

Bergische Universität Wuppertal



Dissertation

**Mentale Chronometrie und die Effekte eines vierwöchigen mentalen Trainings
bei chronischen Rückenschmerzpatienten**

Zur Erlangung des Doktorgrades

Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

Vorgelegt an der Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften Wuppertal

durch

Christoph Michael Kaminski

geboren am

17.09.1978 in Bad Pyrmont

Wuppertal, Dezember 2021

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20220530-120718-2

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3A468-20220530-120718-2>]

DOI: 10.25926/hqda-zw76

[<https://doi.org/10.25926/hqda-zw76>]

Diese Arbeit wurde von der Bergischen Universität Wuppertal angenommen.

Erster Gutachter: Uni. Prof. Dr. J. Freiwald, M.A.

Zweiter Gutachter: Uni. Prof. Dr. M. Engelhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 29.04.2022

Für Julia, Till & Nils

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung	5
1.1 Schmerz	9
1.2.1 Definition Schmerz	9
1.2.2 Unterer Rückenschmerz	9
1.2.3 Akuter Rückenschmerz	9
1.2.4 Chronischer Rückenschmerz	10
1.2.5 Spezifischer und unspezifischer Rückenschmerz	10
1.2.6 Epidemiologie von akutem und chronischem Rückenschmerz.....	10
1.2.7 Risikofaktoren für chronischen Rückenschmerz	13
1.3 Neurophysiologische Adaption bei Rückenschmerz	14
1.4 Funktionelle Bildgebung und neuronale Plastizität	17
1.4.1 Neuronale Plastizität	17
1.4.2 Verfahren zur Kartierung neuronaler Plastizität	18
1.4.3 Kortikale Repräsentation von Schmerzen.....	20
1.5 Zusammenfassung.....	26
2 Bewegungsvorstellungen	27
2.1 Vorstellungen als Führungsgröße der Bewegungsrepräsentation	28
2.2 Aufbau von Bewegungsvorstellungen	29
2.3 Detaillierte Beschreibung der Bewegung	30
2.3.1 Hervorheben der Knotenpunkte	31
2.3.2 Markierung und Rhythmisierung der Knotenpunkte.....	31
2.3.3 Training einer Bewegungsvorstellung	31
2.3.4 Sprachlich-symbolische Ansätze.....	32
2.3.5 Räumlich-bildhafte Ansätze.....	32
2.3.6 Kinästhetische Ansätze	32
2.4 Neurophysiologische Korrelate bei Bewegungsvorstellungen	33
2.5 Neurophysiologische Korrelate bei Rückenschmerzen.....	40
2.6 Zusammenfassung.....	41
3 Theorie und Empirik zur mentalen Chronometrie	43
3.1 Mentale Chronometrie bei Gesunden und Sportlern.....	44
3.2 Mentale Chronometrie bei Rückenschmerzpatienten	47
3.3 Zusammenfassung.....	51
4 Mentales Training	52
4.1 Wirksamkeit des mentalen Trainings	52
4.2 Wirksamkeit des mentalen Trainings bei muskuloskelettalen Beschwerdebildern	55
4.3 Zusammenfassung.....	64

4.4 Forschungsdefizite	64
4.4.1 Datenquelle und Bewertung	65
4.4.2 Ergebnisse der Literaturrecherche	65
4.4.3 Ergebnisse und Übersicht der relevanten Literatur	66
4.4.4 Zusammenfassung der Forschungsdefizite	68
5 Forschungshypothesen	69
5.1 Forschungsfragen und Forschungshypothesen der Studie 1	69
5.2 Forschungshypothesen der Studie 2	70
5.3 Forschungshypothesen der Studie 3	71
6 Material und Methodik	73
6.1 Ein- und Ausschlusskriterien der CLBP Patienten	73
6.1.1 Rekrutierung der CLBP Patienten	74
6.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien (schmerzf freien Probanden)	74
6.1.3 Rekrutierung der rü ckenschmerzf freien Probanden	75
6.1.4 Untersucher	75
6.1.5 Einverständniserklärung	75
6.2 Ergebnisparameter	75
6.2.1 Visuelle Analogskala	76
6.2.2 Roland-Morris Disability Questionnaire	76
6.2.3 Movement Imagery Questionnaire	77
6.2.4 Fear-Avoidance Belief Questionnaire	78
6.2.5 Hospital Anxiety and Depression Scale	78
6.2.6 Pressure Pain Threshold	79
6.3 Alltagsnahe Bewegungen	81
6.3.1 Untersuchung der imaginierten und aktiven Bewegungen	83
6.3.2 Instruktion der imaginierten Bewegungen	83
6.3.3 Instruktion der aktiven Bewegungen	84
6.3.4 Elektromyographie	85
6.3.4.1 Anbringen der Elektroden	86
6.3.4.2 EMG Ableitung	87
6.4 Untersuchungsmethodik	87
6.4.1 Durchführung Studie 1	88
6.4.2 Untersuchungsmethodik der Intraclass Correlation	88
6.4.3 Statistische Auswertung der Intraclass Correlation	90
6.5 Ergebnisse der Studie 1	92
6.5.1 Deskriptive Statistik	92
6.5.2 Ergebnisse der PPT	94
6.5.3 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten der CLBP	95
Patienten (Tag 1 versus Tag 2)	95
6.5.3.1 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten CLBP	96
Patienten (Tag 2 versus Tag 3)	96

6.5.3.2 Intraclass Correlation - CLBP Patienten (Tag 1 versus Tag 2).....	97
6.5.3.3 Intraclass Correlation - CLBP Patienten (Tag 2 versus Tag 3).....	99
6.5.4 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten der	100
rückenschmerzfreien Probanden (Tag 1 versus Tag 2).....	100
6.5.4.1 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten der	102
rückenschmerzfreien Probanden (Tag 2 versus Tag 3).....	102
6.5.4.2 Intraclass Correlation der rückenschmerzfreien Probanden (Tag 1 versus Tag 2)	103
6.5.4.3 Intraclass Correlation der rückenschmerzfreien Probanden (Tag 2 versus Tag 3)	104
6.6 Durchführung Studie 2	106
6.6.1 Untersuchungsmethodik der mentalen Chronometrie.....	106
6.6.2 Statistische Auswertung der mentalen Chronometrie	108
6.7 Ergebnisse der Studie 2	108
6.7.1 Deskriptive Statistik.....	108
6.7.2 Pressure Pain Threshold im Gruppenvergleich.....	110
6.7.3 Mentale Chronometrie der Rückenschmerzpatienten	111
6.7.3.1 Mentale Chronometrie der rückenschmerzfreien Probanden.....	112
6.7.3.2 Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten.....	113
6.7.3.3 Abgleich der aktiven Durchführungszeiten	115
6.8 Durchführung Studie 3	116
6.8.1 Untersuchungsmethode des vierwöchigen mentalen Trainings	116
6.8.2 Beschreibung des mentalen Trainingsprogramms	118
6.8.3 Statistische Auswertung Studie 3.....	122
6.9 Ergebnisse Studie 3	122
6.9.1 Deskriptive Statistik.....	122
6.9.2 Ergebnisse der Schmerz und- psychologischen Parameter	124
6.9.3 Pressure Pain Threshold (Gruppenvergleich, Basis/ 2. Woche).....	126
6.9.3.1 PPT Ergebnisse im Gruppenvergleich (4. Woche)	127
6.9.3.2 Pressure Pain Threshold der Rückenschmerzpatienten.....	128
6.9.3.3 Pressure Pain Threshold rückenschmerzfreien Probanden.....	129
6.9.4 Mentale Chronometrie der CLBP Patienten (Basis/ 2. Woche)	130
6.9.4.1 Mentale Chronometrie der CLBP Patienten (4. Woche)	133
6.9.4.2 Imaginierte Durchführungszeiten der CLBP Patienten (Basis,	135
2. und 4. Woche).....	135
6.9.4.3 Mentale Chronometrie der rückenschmerzfreien Probanden	137
(Basis/ 2. Woche).....	137
6.9.4.4 Mentale Chronometrie der rückenschmerzfreien Probanden	138
(4. Woche).....	138
6.9.4.5 Imaginierte Durchführungszeiten der rückenschmerzfreien.....	140
Probanden (Basis, 2. und 4. Woche)	140
6.9.4.6 Imaginierte Durchführungszeiten im Gruppenvergleich	142
(Basis/ 2. Woche).....	142

6.9.4.7 Imaginierte Durchführungszeiten (Gruppenvergleich/ 4. Woche)	144
6.9.4.8 Aktive Bewegungen im Gruppenvergleich (Basis/ 2. Woche).....	145
6.9.4.9 Aktiven Bewegungen im Gruppenvergleich (4. Woche).....	147
7 Zusammenfassung der Studienergebnisse	149
8 Diskussion	154
8.1 Reliabilität der imaginierten Durchführungszeiten.....	154
8.2 Diskussion Studie 2.....	159
8.2.1 Abgleich der mentalen Chronometrie.....	159
8.2.2 Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten.....	162
8.2.3 Abgleich der aktiven Durchführungszeiten.....	163
8.2.4 Diskussion Pressure Pain Threshold	164
8.3 Diskussion Studie 3.....	165
8.3.1 Schmerz- und psychologischen Parameter	165
8.3.2 Mentales Training und mechanisches Schmerzempfinden.....	168
8.3.3 Veränderungen der mentalen Chronometrie.....	171
8.3.4 Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten.....	173
8.3.5 Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten.....	176
8.4 Methodenkritik.....	177
9 Schlussfolgerung und Ausblick	179
10 Literatur- und Quellenverzeichnis	182
11 Anhang	203
Anhang 1: Bewegungskontrolltest der Lendenwirbelsäule	203
Anhang 2: Roland-Morris Disability Questionnaire	204
Anhang 3: Fragebogen zur Erfassung der Vorstellungsfähigkeit (MIQ).....	205
Anhang 4: Fear Avoidance Beliefs Questionnaire.....	213
Anhang 5: Hospital Anxiety and Depression Scale	214
Anhang 6: Instruktionen	216
Anhang 7: Einverständniserklärung	233

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Vorderer cingulärer Kortex
CMJ	Counter Movement Jump
CLBP	Chronic low back pain
DLPFC	Dorsolateraler präfrontaler Kortex
FABQ	Fear-Avoidance Belief Questionnaire
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
HADS	Hospital Anxiety and Depression Scale
IASP	International Association for the Study of Pain
ICC	Intraclass Correlation
LBP	Low back pain
MC	Mentale Chronometrie
MIQ	Movement Imagery Questionnaire
MT	Mentales Training
M1	Primärer motorischer Kortex
NVL	Nationale Versorgungsleitlinie
PAG	Periaquäduktales Grau
PCC	Hinterer cingulärer Kortex
PET	Positronenemissionstomographie
PFC	Präfrontaler Kortex
PPC	Posteriorer Parietalkortex
PMC	Prämotorischer Kortex
PPT	Pressure pain threshold
RMDQ	Roland-Morris Disability Questionnaire
SMA	Supplementär-motorisches Areal
S1	Primärer sensorischer Kortex
S2	Sekundärer sensorischer Kortex
TMS	Transkranielle Magnetstimulation
VAS	Visuelle Analogskala
vgl.	Vergleiche
ZNS	Zentrales Nervensystem
ZPD	Zwei-Punkt-Diskrimination

Hinweis zur verwendeten Sprache:

Im Laufe dieser Arbeit wird aufgrund des Leseflusses das generische Maskulinum verwendet. Dadurch wird keinerlei Geschlecht ausgeschlossen bzw. benachteiligt.

Zusammenfassung

Die mentale Chronometrie (MC) misst den zeitlichen Verlauf mentaler Abläufe innerhalb des menschlichen Nervensystems. Mithilfe der MC wird die zeitliche Übereinstimmung von imaginärem und aktiv ausgeführtem Ablauf untersucht, um Rückschlüsse zwischen Bewegungsvorstellung, -vorbereitung und -programmierung ziehen zu können (Guillot & Collet, 2005). Der Einsatz und die Beurteilung der Imagination bei Schmerzprozessen, wie beim chronischen Rückenschmerz (CLBP), lässt ein zunehmendes Forschungsinteresse erkennen. Grundlegend lässt sich festhalten, dass CLBP nicht nur auf strukturelle, sondern insbesondere auch auf neurophysiologische Veränderungen zurückzuführen sind. Die neurophysiologischen Veränderungen, die u.a. auf der Plastizität des Nervensystems und des Gehirns basieren, können auf lokaler, spinaler und zentralnervöser Ebene stattfinden. Kortikale Reorganisationen von Hirnregionen sind mitunter Folgen, welche die Schmerzwahrnehmung, die zeitliche Kopplung aktiver Bewegungen und die Fähigkeit, Bewegungsvorstellungen und deren zeitliche Dauer bei CLBP Patienten abzurufen, einschränken. Auf Grundlage der festgestellten Forschungsdefizite konnte zunächst gezeigt werden, dass sich imaginierte Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten als reliabel erwiesen. Der Wertebereich des 95%igen Vertrauensintervalls (95%-KI) wurde ebenfalls berücksichtigt. Wertebereiche unter 0,5 weisen auf eine schlechte Zuverlässigkeit hin, Werte zwischen 0,5 und 0,75 auf eine moderate Zuverlässigkeit, Werte zwischen 0,75 und 0,9 auf eine gute Zuverlässigkeit und Werte über 0,9 auf eine ausgezeichnete Zuverlässigkeit (Koo & Li, 2016). Die Reliabilität wurde mittels der Intraclass Correlation (ICC) imaginärer Durchführungszeiten an drei aufeinanderfolgenden Tagen von 12 alltagsnahen Bewegungen bei 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 12 CLBP Patienten untersucht. Die 12 imaginären alltagsnahen Bewegungen setzten sich aus Inklination, Reklination, Rückenlage in den Langsitz, Sockentest, Kniebeuge und Gehen von 10 Metern zusammen. Die Ausgangsstellung der jeweiligen imaginierten Bewegung erfolgte nach Randomisierung im Sitz oder im Stand. Die Ergebnisse imaginierter Durchführungszeiten zeigten bei rüchenschmerzfreien Probanden zwischen dem ersten und zweiten Tag bei 11 analysierten Alltagsbewegungen eine moderate bis gute Reliabilität auf (1. Tag/2.Tag: ICC 0,52 - 0,92; 2.Tag / 3.Tag: ICC 0,83 - 0,96).

Bei CLBP Patienten wiesen zehn imaginierte Bewegungen eine gute bis moderate Reliabilität auf (1.Tag / 2.Tag: ICC 0,68 - 0,96; 2. Tag / 3. Tag: ICC 0,73 - 0,95). Aufbauend darauf wurden die Unterschiede der MC bei 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 20 CLBP Patienten untersucht. Zur Erfassung der MC erfolgte ein Abgleich von Aktionszeiten (zeitliche Dauer von Bewegungen) zwischen neun imaginierten Bewegungen und neun tatsächlich durchgeführten Bewegungen. Die Erfassung erfolgte ebenso durch den Vergleich rüchenschmerzfreier Probanden und CLBP Patienten. Die Ergebnisse zeigten bei CLBP Patienten mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern im Stand signifikante Unterschiede der MC auf ($p \leq .01$). Bei rüchenschmerzfreien Probanden konnten lediglich bei vier von neun alltagsnahen Bewegungen signifikante Unterschiede der MC gemessen werden (Inklination im Sitz und im Stand, Sockentest im Stand und im Sitz ($p \leq .05$)). Die Aktionszeiten aktiver Bewegungen waren bei den rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit den CLBP Patienten mit Ausnahme des Sockentests im Stand und des Gehens von 10 Metern signifikant kürzer ($p \leq .05$). Die Aktionszeiten der alleinigen imaginierten Durchführung alltagsnaher Bewegungen waren bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern im Stand signifikant geringer ($p \leq .05$).

Abschließend wurden die Veränderungen eines vierwöchigen mentalen Trainings (MT) bei 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 20 CLBP Patienten untersucht. Überprüft wurden Veränderungen der MC, der alleinigen aktiven und der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen. Weitere Untersuchungsparameter waren die Schmerzintensität mittels der visuellen Analogskala (VAS), die taktile Schmerzwahrnehmung (PPT) und Fragebögen zur Erfassung der Einschränkung im Alltag durch Rückenschmerzen (RMDQ-D), zum angstbedingten Vermeidungsverhalten (FABQ-D) und zu physischen Störungen bei muskuloskelettalen Beschwerden (HADS-D). Der Einsatz eines vierwöchigen ausschließlich MT führte bei CLBP Patienten zu einer verringerten Diskrepanz zwischen den durchgeführten Bewegungen und der subjektiven Einschätzung der Bewegungsdauer sowie der subjektiven Einschätzung der imaginierten und aktiven Bewegungen und deren Bewegungsdauer.

CLBP Patienten zeigten nach einem vierwöchigen MT mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern bei allen anderen Alltagsbewegungen (der Inklination im Sitz und im Stand, der Reklination im Sitz und im Stand, dem Sockentest im Sitz und im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und der Kniebeuge im Stand) trotz zeitlicher Annäherung weiterhin signifikante Unterschiede bei der MC ($p \leq .05$).

Rückenschmerzfreie Probanden wiesen vor und nach dem vierwöchigen MT bei vier von neun alltagsnahen Bewegungen signifikante zeitliche Unterschiede bei der MC auf ($p \leq .05$). Der zeitliche Abgleich imaginiertes Durchführungen bei rückenschmerzfreien Probanden vor einem vierwöchigen MT zeigte bei zwei von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen (der Inklination im Stand und im Sitz) signifikante Unterschiede auf ($p \leq .05$). Nach einem vierwöchigen MT ließ sich bei den rückenschmerzfreien Probanden bei einer von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, der Inklination im Stand, ein signifikanter Unterschied in der Durchführungszeit ermitteln ($p \leq .05$).

Der zeitliche Abgleich imaginiertes Durchführungszeiten bei CLBP Patienten vor einem vierwöchigen MT zeigte bei sechs von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen (der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und der Kniebeuge im Sitz) signifikante Unterschiede in den Durchführungszeiten ($p \leq .05$). Nach einem vierwöchigen MT ließ sich bei den CLBP Patienten bei zwei von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, dem Sockentest im Stand und aus der Rückenlage in den Langsitz im Sitz ein signifikanter Unterschied in der Durchführungszeit ermitteln ($p \leq .05$). Der zeitliche Abgleich imaginiertes Durchführungszeiten bei rückenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten wies vor und nach einem vierwöchigen MT bei neun von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen einen signifikanten Unterschied in der Durchführungszeit auf ($p \leq .05$). Der zeitliche Abgleich aktiver Bewegungen bei rückenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten zeigte vor Beginn bei vier von neun Bewegungen (der Inklination im Sitz und im Stand, der Reklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz) signifikante Unterschiede in den Durchführungszeiten ($p \leq .05$).

Nach einem vierwöchigen MT wiesen rückenschmerzfreie Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten beim Abgleich aktiver Durchführungszeiten bei zwei von neun Bewegungen, der Reklination im Stand und dem Sockentest im Sitz signifikante Unterschiede der Durchführungszeiten auf ($p \leq .05$).

Nach einem vierwöchigen MT wiesen CLBP Patienten eine signifikante Schmerzreduktion sowie eine signifikante Zunahme der taktilen Schmerzschwelle auf ($p \leq .05$). Rückenschmerzfreie Probanden wiesen eine signifikant höhere taktile Schmerzschwelle ($p \leq .01$) des unteren Rückens im Vergleich mit CLBP Patienten auf.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass sich imaginierte alltagsnahe Bewegungen bei rückenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten als reliabel erwiesen. CLBP Patienten zeigten im Gegensatz zu rückenschmerzfreien Probanden größere zeitliche Diskrepanzen bei imaginierten Durchführungszeiten und der MC von alltagsnahen Bewegungen auf. Darüber hinaus führt ein vierwöchiges MT bei CLBP Patienten zu einer Schmerzreduktion, zu einer gesteigerten taktilen Schmerzwahrnehmung sowie zu einer Abnahme der zeitlichen Diskrepanz imaginierter und aktiver alltagsnaher Bewegungen.

1 Einleitung

Chronische Rückenschmerzen (CLBP) lassen sich in den seltensten Fällen ausschließlich auf strukturelle Schäden, sondern häufig auch auf plastische und pathophysiologische Anpassungen des Gehirns zurückführen (Nijs et al., 2017; Richards & McMahon, 2013).

Infolgedessen ist ein schmerzphysiologisches Verständnis bei CLBP von großer Bedeutung, um die Verarbeitungsvorgänge von schmerzhaften Reizen aus der Peripherie zum Gehirn sowie die Schmerzmechanismen von CLBP differenzieren zu können (Smart, Blake, Staines, Thacker & Doody, 2012 a). CLBP Patienten weisen unterschiedliche pathophysiologische Schmerzmechanismen auf (Clark, Nijs, Yeowell & Goodwin, 2017; Nijs et al., 2017). Man unterscheidet zwischen nozizeptiven (Smart et al., 2012 a), peripheren neuropathischen (Smart, Blake, Staines, Thacker & Doody, 2012 b) und zentralsensibilisierten Formen (Smart, Blake, Staines, Thacker & Doody, 2012 c). Nozizeptive Schmerzmechanismen unterliegen primär Afferenzen der rezeptiven Felder, ausgelöst durch entzündliche, mechanische oder thermische Stimuli (Smart et al., 2012 a). Periphere neuropathische Schmerzen werden definiert als „Schmerzen, deren Ursache durch eine primäre Läsion oder Dysfunktion des peripheren Nervensystems entsteht“ (Merksey & Bogduk, 1994). Sie stehen wiederum in Verbindung mit Sensibilisierungsprozessen des Nervensystems (Flor & Turk, 2011). Hashmi et al. (2013) zeigten, dass CLBP Patienten im Vergleich zu subakuten Rückenschmerzpatienten signifikant höhere sensorische Schmerzeteiligung im Sinne einer taktilen Empfindlichkeit aufweisen. Zentral sensibilisierte CLBP werden als nicht mechanisch verursachte Rückenschmerzen beschrieben, die nicht in Relation zu schmerzauslösenden Bewegungen, Haltungen und Aktivitäten des Rückens stehen (Masse-Alarie, Beaulieu, Preuss & Schneider, 2016 b). Zudem zeigen CLBP Patienten vergleichsweise höhere affektive Komponenten auf (Hashmi et al., 2013; La Touch et al., 2019). Die Aufrechterhaltung unkontrollierter nozizeptiver Afferenzen führen bei CLBP zu vielseitigen Anpassungsvorgängen sowie einer Übererregbarkeit motorischer und sensorischer Hirnareale (Baliki, Baria & Apkarian, 2011). Darunter ist auch das Körperschema zu verstehen, welches die neurophysiologische Korrelation der Wahrnehmung vom realen Körper mit der Vorstellung desgleichen beschreibt (Bray & Moseley, 2011; Flor, 2003). Die Anordnung des Körperschemas liegt im primären und sekundären somatosensorischen Kortex der parietalen Hirnrinde.

Ein verzerrtes Körperschema wird bei CLBP Patienten mit einer veränderten Wahrnehmung, einer verminderten Druckschmerzschwelle des Gewebes, mit motorischen Kontrolldefiziten und einer verminderten mentalen Repräsentationsfähigkeit des Rumpfes in Zusammenhang gebracht (Bray & Moseley, 2011; Imamura et al., 2013; Moseley, 2008; Wand et al., 2011). Weitere Untersuchungsergebnisse geben Hinweise, dass kortikale Veränderungen bei CLBP Patienten Vorstellungsprozesse verändern (Hashmi et al., 2013; Pijnenburg et al., 2015). Patienten mit CLBP benötigen demnach mehr Zeit für einfache geistige Aufgaben. Die Untersuchungen mittels funktioneller Magnetresonanz-Tomographie (fMRT) zeigten eine Abnahme der funktionellen Konnektivität zwischen den verschiedenen kortikalen Bereichen, die am Prozess der sensomotorischen Integration beteiligt waren (Hashmi et al., 2013; Pijnenburg et al., 2015). Vorstellungsprozesse setzen die kognitive Fähigkeit voraus, Bewegungen mental zu erzeugen, ohne sie aktiv auszuführen. Vorstellungsprozesse beinhalten die Beteiligung von Hirnarealen, die mit der Planung und Ausführung der Bewegung verbunden sind (Decety & Jeannerod, 1995; Frenkel et al., 2010; Iseki, Hanakawa, Shinozaki, Nankaku & Fukuyama, 2008). Im Hinblick auf die an Vorstellungsprozessen beteiligten kortikalen Regionen unterscheiden sich mehrere Studien zur Kognition in ihren Schlussfolgerungen über die Rolle des primären motorischen Kortex. Bekannt ist auch, dass das Kleinhirn an Vorstellungsprozessen beteiligt ist und die Hemmung der ausführenden realen Bewegung implementiert (Lotze et al., 1999). Darüber hinaus haben zahlreiche Studien einen signifikanten Einfluss vom präfrontalen Kortex, supplementär-motorischen Areal, prämotorischen Kortex, vorderen cingulären Kortex sowie hinteren parietalen Kortex bei einer Bewegungsvorstellung beobachtet (Héту et al., 2013; Jeannerod, 2001; Lotze et al., 1999; Munzert, Lorey & Zentgraf, 2009; Lorey et al., 2014; Vrana et al., 2015). Aufgrund der vielseitigen kortikalen Konnektivität bei Bewegungsvorstellungen erfahren kognitive Untersuchungs- und Therapieverfahren bei chronischen Schmerzen zunehmend an Bedeutung (Moseley & Flor, 2012; La Touch et al., 2019; Volz, Suarez-Contreras, Portilla, & Fregni, 2015 b). Eine Untersuchungsmethode zur Erfassung somatosensorischer Defizite, die in der neurophysiologischen und sportpsychologischen Rehabilitation zum Einsatz kommt (Liepert et al., 2016; Wu, Hermann, Ying & Page, 2010), ist die mentale Chronometrie. Sie wurde im 19. Jahrhundert von Frans C. Donders geprägt („Donders, 1868) und beschreibt heute einen Forschungsansatz innerhalb der Kognitionspsychologie.

Die MC geht der Frage nach, zu verstehen, wie menschliche Denkprozesse zu messbaren Ereignissen im Gehirn verknüpft werden können. Die MC wird zum Abgleich von Reaktionszeiten zwischen tatsächlich durchgeführten Bewegungen und imaginierten Bewegungen angewandt (Guillot & Collet, 2005). In Studien, die überwiegend an Sportlern durchgeführt wurden, ließ sich erkennen, dass die Dauer einer imaginierten Bewegung von Faktoren wie Schwierigkeitsgrad, Bewegungserfahrung, Bewegungsvertrautheit und Ausgangsstellung abhängig ist (Decety & Lindgren, 1991; Jeannerod & Frak, 1999; Saimpont, Malouin, Tousignant & Jackson, 2012). Ergebnisse aus einer Übersichtsarbeit von Guillot & Collet (2005) zeigen, dass gesunde Probanden bei Aufgaben mit niedrigem Anforderungsprofil geringere Durchführungszeiten bei imaginierten Bewegungen im Vergleich zu tatsächlich durchgeführten Bewegungen benötigen. Bei gesunden Probanden wurden vergleichbare Durchführungszeiten imaginierten Bewegungen im Verhältnis zu aktiv durchgeführten Bewegungen beobachtet (Guillot & Collet, 2005). Arbeiten zur MC im Sinne eines zeitlichen Abgleichs von imaginierten und tatsächlich durchgeführten Bewegungen (Guillot & Collet, 2005) zeigen, dass Patienten mit anhaltenden Schmerzprozessen und neurologischen Erkrankungen eine Diskrepanz der MC aufweisen (Hashmi et al., 2013; Liepert et al., 2016; Wu, Hermann, Ying & Page, 2010). Erste Untersuchungsergebnisse zeigten, dass sich rüchenschmerzfreie Probanden bei imaginierten Bewegungen zeitlich von CLBP Patienten unterschieden haben (La Touch et al., 2019). Darüber hinaus wiesen CLBP Patienten veränderte Vorstellungsprozesse auf und benötigen mehr Zeit für einfache Denkaufgaben (Hashmi et al., 2013; Pijnenburg et al., 2015). Inwieweit sich die MC von alltagsnahen Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten repräsentieren, ist jedoch weiterhin ungeklärt (La Touch et al., 2019). Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zur MC, welche zum Abgleich von Reaktionszeiten zwischen tatsächlich durchgeführten Bewegungen und imaginierten Bewegungen angewandt wird (Guillot & Collet, 2005), lassen keine eindeutigen Rückschlüsse der MC bei CLBP Patienten zu.

Auf Grundlage der limitierten Ergebnisse wurden grundlegende Fragen abgeleitet, inwieweit sich imaginierte Bewegungen und die MC von alltagsnahen Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten darstellen und gegebenenfalls beeinflussen lassen. Darauf aufbauend wurde die Anwendung eines MT bei CLBP untersucht.

Dem MT wird in den vergangenen Jahren als Therapieansatz in der muskuloskeletalen Rehabilitation eine bedeutende Rolle zugeschrieben (Bowering et al., 2013; Daffada, Walsh, McCabe & Palme, 2015). MT beschreibt die planmäßig wiederholte und bewusst durchgeführte Vorstellung einer Bewegung oder Handlung ohne deren gleichzeitige praktische Ausführung (Eberspächer, 2007).

Beim MT werden durch gezielte Bewegungsvorstellungen vergleichbare Aktivierungsmuster im Gehirn ausgelöst, wie bei einer aktiv durchgeführten Bewegung (Guillot et al., 2008; Lorey et al., 2009; Stinear, Byblow, Steyvers, Levin & Swinnen, 2006) und beeinflussen motorischen Kontrollprozesse sowie die Schmerzwahrnehmung (Beinert, Preiss, Huber & Taube, 2015; Bowering et al., 2013; Cuenca-Martínez, La Touche, Leon-Hernandez & Suso-Martí 2019; Heerkens, Koke, Lotters & Smeets, 2018; Suso-Martí, Leon-Hernandez, La Touche, Paris-Alemanly & Cuenca-Martinez, 2019).

Durch die Anwendung eines MT bei Nackenschmerzen konnte sowohl eine Schmerzreduktion, eine veränderte propriozeptive Fähigkeit als auch eine veränderte mechanische Schmerzempfindung der sogenannten Pressure Pain Threshold (PPT) nachgewiesen werden (Beinert et al., 2015; Suso-Martí et al., 2019). Weitere Arbeiten zeigten, dass sich ein MT auf die PPT und die kortikale Erregbarkeit auswirkt (Flor et al., 2003; Volz, Suarez-Contreras, Portilla & Fregni, 2015 b).

Bei CLBP zeigten sich richtungsweisende Ergebnisse, die den Einsatz des MT bei CLBP Patienten stärken (Daffada et al. 2015). Dennoch lassen die aktuellen Ergebnisse - aufgrund geringer Interventionszeiten, unterschiedlicher Ansätze des MT und fehlender Langzeiteffekte - keine Rückschlüsse auf die Rehabilitation bei CLBP Patienten zu (Bowering et al., 2013; Daffada et al., 2015; Giacobbi et al., 2015; Kaminski, Baumgart & Freiwald, 2013). Allerdings bekräftigen die bisherigen Ergebnisse zur Anwendung des MT bei Nackenschmerzpatienten (Beinert et al., 2015; Suso-Martí et al., 2019), dem komplexen regionalen Schmerzsyndrom und rheumatischen Erkrankungen (Giacobbi et al., 2015; Johnson et al., 2012; Moseley et al., 2004) und neurologischen Erkrankungen (Sun, Wei, Luo, Gan & Hu, 2016) die Wirksamkeit des MT bei CLBP zu untersuchen. Im folgenden Abschnitt werden die theoretischen Hintergründe der neurophysiologischen Prozesse bei CLBP erläutert. Anschließend werden die Forschungsdefizite von imaginierten alltagsnahen Bewegungen, der MC und MT bei CLBP dargestellt.

1.1 Schmerz

In Anlehnung an eine allgemein anerkannte Schmerzdefinition werden im weiteren Verlauf des Kapitels die Definition und die Epidemiologie akuter und chronischer Rückenschmerzen sowie die Unterschiede des spezifischen und unspezifischen Rückenschmerzes erläutert.

1.2.1 Definition Schmerz

Schmerz wird durch die IASP wie folgt definiert:

„Ein unangenehmes sensorisches und emotionales Erlebnis, das in Verbindung mit tatsächlichen oder drohenden Gewebeschädigungen auftritt oder unter Bezugnahme auf solche Gewebeschädigungen beschrieben wird“ (Merksey & Bogduk, 1994).

1.2.2 Unterer Rückenschmerz

Unterer Rückenschmerz (LBP) manifestiert sich im Bereich des Rückens zwischen unterem Rippenbogen und der Gesäßfalte und kann mit oder ohne Ausstrahlung in die Beine auftreten (NVL, 2017). Rückenschmerz wird unterteilt in akuten LBP und chronischen Rückenschmerz (CLBP).

1.2.3 Akuter Rückenschmerz

Akuter LBP wird als „unangenehme sensorische, emotionale und mentale Empfindung mit begleitenden vegetativen Reaktionen, psychologischen Reaktionen und Verhaltensreaktionen beschrieben, verursacht durch eine aktuelle und potenzielle Gewebeschädigung oder eine akute Erkrankung“ (Gehling & Tryba in Zenz & Jura, 2001). Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs wird akuter Rückenschmerz nach den nationalen Versorgungsleitlinien nicht-spezifischer Kreuzschmerzen als neu auftretender LBP bezeichnet, welcher weniger als sechs Wochen anhält.

Wiederum werden Rückenschmerzepisoden, die länger als sechs Wochen und kürzer als zwölf Wochen bestehen als subakuter Rückenschmerz bezeichnet (NVL, 2017).

1.2.4 Chronischer Rückenschmerz

Der Übergang von akutem LBP zu chronischem LBP besteht in Anlehnung an die Schmerzdefinition der IASP als Schmerz, der über die erwartete normale Heilungszeit hinausgeht. Der zeitliche Verlauf beim CLBP wird laut nationale Versorgungsleitlinie für nicht spezifische Kreuzschmerzen (NVL, 2017) definiert. Darunter ist ein Schmerz zu verstehen, welcher länger als 12 Wochen anhält oder mindestens ein halbes Jahr (> 182) spürbar ist (Gehling & Tryba in Zenz & Jura, 2001).

1.2.5 Spezifischer und unspezifischer Rückenschmerz

Spezifischem LBP liegen organische oder anatomische Pathologien zugrunde. Bandscheibenvorfälle, Spinalkanalstenosen, Frakturen, Infektionen oder Tumorerkrankungen sind Ursache für spezifischen LBP (NVL, 2017). Im Gegensatz dazu liegen dem nichtspezifischen LBP keine organischen oder anatomischen Pathologien zugrunde (NVL, 2017).

1.2.6 Epidemiologie von akutem und chronischem Rückenschmerz

9,2 % der Weltbevölkerung leiden unter LBP, was weltweit die Hauptursache gesundheitsbezogener Behinderungen der Gesellschaft darstellt (GBD, 2015). LBP ist das am häufigsten auftretende muskuloskelettale Beschwerdebild bei erwachsenen Patienten (Apeldoorn et al., 2010; Fliesser, De Witt Huberts & Wippert, 2018). In den meisten Fällen liegen LBP keine spezifischen Pathologien zugrunde, wodurch sie als nicht spezifischer LBP diagnostiziert werden (Apeldoorn et al., 2010, Hoy et al., 2012).

Die Prävalenz von LBP variiert zwischen aufsteigend 18,6 und 57,4 %, was zu einer starken Beeinträchtigung der Lebensqualität der Gesellschaft, der Gefahr der Chronifizierung und hohen Fehlzeiten am Arbeitsplatz führt (Hoy et al., 2012; Rossignol, Rozenberg & Leclerc, 2009). Die Lebenszeitprävalenz von LBP weist Werte zwischen 74 % und 85 % auf (Schmidt & Kohlmann, 2007, Schmidt et al., 2007). Abhängig vom Bildungsniveau variieren die Punktprävalenzen wie folgt: niedriges Bildungsniveau 47 %, mittleres Bildungsniveau 26 % und höheres Bildungsniveau 27 % (NVL, 2017). Laut einer Befragung von 1.494 Deutschen im Jahr 2017 konnte ermittelt werden, dass 10 % der Befragten unter täglichem, 17 % unter mehrmals wöchentlichem und 14 % unter mehrmals monatlichem Rückenschmerz leiden (Abbildung 1).

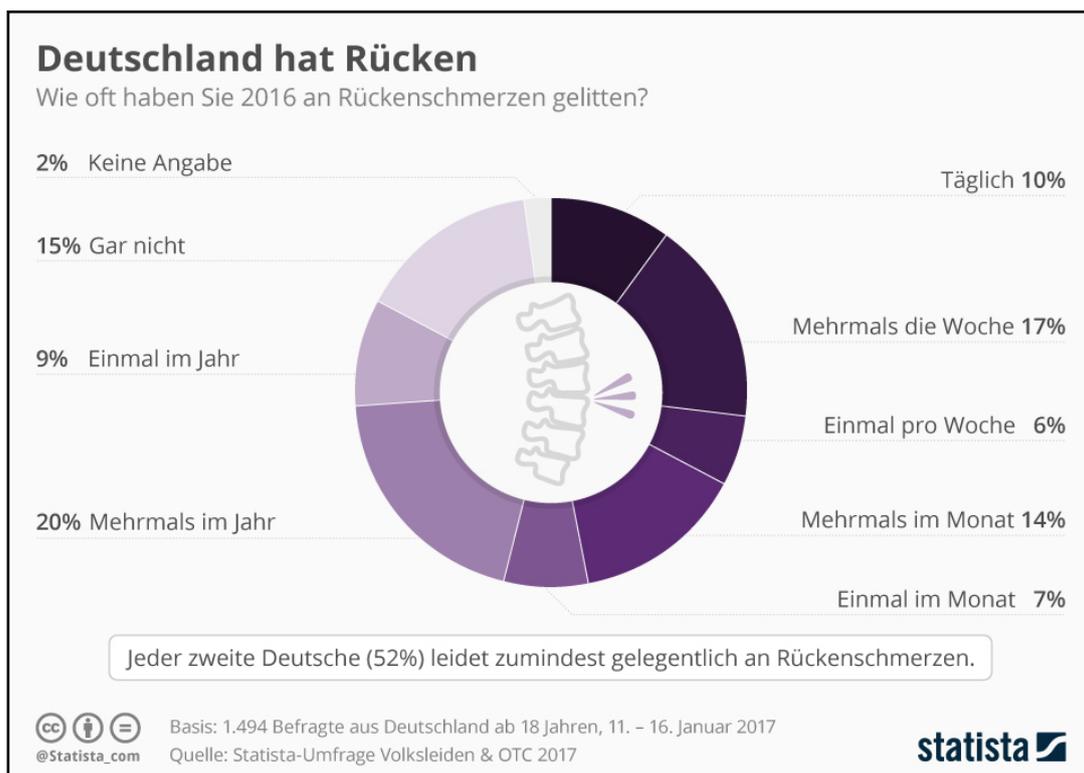


Abbildung 1: Deutschland hat Rücken, aus Statista-Umfrage: Volksleiden & OTC 2017.

Quelle: <https://de.statista.com/infografik/8488/rueckenschmerzen-in-deutschland/>, Abruf am 27.06.2018, 12.45 Uhr.

Die Schwere oder Dauer der Schmerzen für ein Individuum ist unterschiedlich, weshalb ein Übergang von akutem zu chronischem Kreuzschmerz schwer zu bestimmen ist (Coulter et al., 2018). Die Prävalenz von CLBP, welcher als anhaltender oder wiederkehrender Rückenschmerz über einen Zeitraum von mehr als zwölf Wochen definiert wird, liegt in der Allgemeinbevölkerung bei 8 % bis aufsteigend 21 % (Wenig, Schmidt, Kohlmann & Schweikert, 2009). Übersichtsarbeiten zeigen, dass nur 33 % der Patienten mit LBP nach drei Monaten schmerzfrei sind, während etwa 65 % ebendieser nach 12 Monaten weiterhin über Schmerzen klagen (Itz, Geurts, van Kleef & Nelemans, 2013).

Traeger et al. (2016) zeigten in Ihrer Arbeit, dass ca. 40 % aller akuten Rückenschmerzpatienten die Tendenz aufweisen, CLBP zu entwickeln. Darüber hinaus zeigen Längsschnittstudien, dass nur ca. 25 % aller von LBP Betroffenen eine vollständige Beschwerdefreiheit erreichen und somit das Chronifizierungsrisiko höher liegt als früher angenommen (Pfungsten & Hildebrandt, 2017; Schmidt, Rechter, Hansen, Andreasen, & Overvad, 2008). Laut Schmidt und Kohlmann (2007) spielen bei den CLBP Patienten biologische, psychische und soziale Risikofaktoren eine entscheidende Rolle.

1.2.7 Risikofaktoren für chronischen Rückenschmerz

Als bedeutsame Aspekte wurden bereits biologische, psychische und soziale Risikofaktoren für die Patienten identifiziert (Schmidt & Kohlmann, 2007). Im Geschlechtervergleich ergeben sich Unterschiede zu Ungunsten der Frauen. Diese leiden im Erwachsenenalter häufiger an unteren Rückenbeschwerden. Genauere Ursachen für den Unterschied sind bisher noch wenig erforscht. In Befragungen gaben LBP-Patienten im Vergleich zu schmerzfreien Befragten häufiger eine oder mehrere Komorbiditäten an (NVL, 2017). Die am häufigsten genannten Begleiterkrankungen waren Osteoarthrose, degenerative Gelenkerkrankungen sowie kardiovaskuläre und zerebrovaskuläre Erkrankungen (NVL, 2017). Die positiven Zusammenhänge zwischen LBP und gezielter körperlicher Bewegung sind gut erforscht (Heneweer, Staes, Aufdemkampe, van Rijn, & Vanhees, 2011; Heneweer, Picavet, Staes, Kiers & Vanhees 2012; Vuori et al., 2001). Unspezifische körperliche Aktivitäten werden bei LBP als Risikofaktor für CLBP angesehen (Heneweer et al., 2011). Im Fokus stehen die arbeitsbezogenen Faktoren, wie das wiederholte schwere Heben und Tragen sowie Arbeiten in ungünstigen verdrehten Körperpositionen (Bethge, 2010; Hartmann, 2010).

Dabei sei zu berücksichtigen, dass es sich bei den anstrengenden körperlichen Tätigkeiten um langjährige, sehr schwere körperliche Arbeit als Risikofaktor handelt und diese gesetzlich anerkannt sind (Raspe, 2012). Weitere Risikofaktoren sind psychosoziale Faktoren („yellow flags“), die das Risiko einer Chronifizierung von LBP erhöhen.

Die relevanten evidenzbasierten psychosozialen Risikofaktoren sind negativer Stress (Distress), Katastrophisierung, passive Schmerzbewältigung, überaktives Schmerzverhalten, schmerzbezogene Kognition und Neigung zur Somatisierung (Andrews, Browne, Wood & Schug, 2012; Pincus et al., 2002; Wertli et al., 2014, 2014 a, Wertli, Rasmussen-Barr, Weiser, Bachmann & Brunner, 2014 b).

1.3 Neurophysiologische Adaption bei Rückenschmerz

CLBP steht in einem engen Zusammenhang mit neurochemischen, strukturellen und kortikalen Anpassungsvorgängen vieler Gehirnregionen (Apkarian, 2004; Hotz-Boendermarke, Marcar, Meier, Boendermaker & Humphreys, 2016). Inbegriffen ist der somatosensorische und motorische Kortex (Khalid & Tubbs, 2017; Tucker & Hodges, 2010; Wand et al., 2011).

Neurochemische Mechanismen chronischer Schmerzen basieren unter anderem auf einer anhaltenden Stimulation nozizeptiver Afferenzen durch einen Prostaglandin E2 vermittelten Entzündungsprozess (Lotze, 2016). Unter Nozizeption wird die Wahrnehmung von Schmerzen, die durch Rezeptoren, den sogenannten Nozizeptor. Als freie Nervenendigungen sensibler Neuronen des Rückenmarks kommen Nozizeptoren in jeglichem schmerzempfindlichen Gewebe des Körpers vor. Sie reagieren auf mechanische, thermische und chemische Reize (vgl. Abbildung 2).

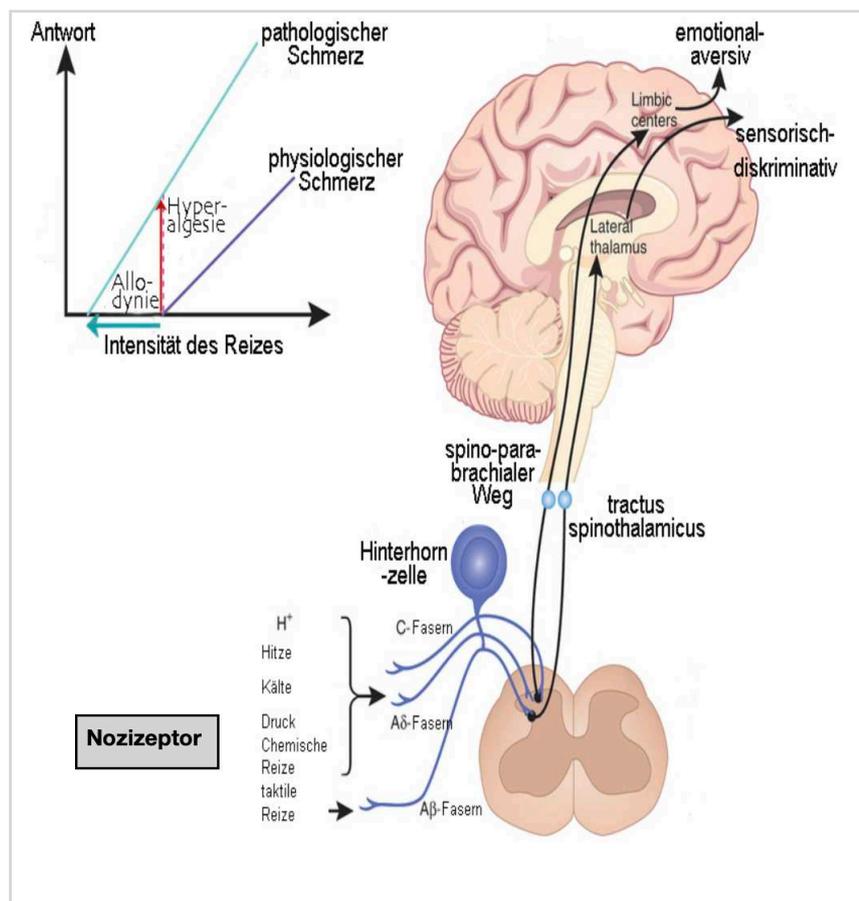


Abbildung 2: Nozizeptor und die Reizverarbeitung auf Rückenmarksebene und dem ZNS in Anlehnung an (Lotze 2016).

Die Folge der anhaltenden Stimulation ist eine Übererregbarkeit peripherer Nozizeptoren (Khalid & Tubus, 2017; Lotze, 2016). Letztendlich kommt es zu einer peripheren Sensibilisierung (Lim, Sterling, Stone & Vicenzino, 2011; Lotze, 2016). Aufgrund kontinuierlicher elektrischer Reizung der Synapsen auf Ebenen des dorsalen Horns folgt eine Minderung hemmender Interneurone. Dies führt zu einem erhöhten Informationsfluss im zentralen Nervensystem (ZNS) (Flor & Turk, 2011; Giesecke et al., 2006; Lotze, 2016).

Infolgedessen sinken Reizschwellen ab und eine Vergrößerung der Rezeptorenfelder findet statt (Lotze, 2016; Manresa et al., 2013). Die Anpassungen des ZNS sind klinisch bedeutsam, da sie bewirken, dass aus normalerweise nicht schmerzhaften neutralen Reizen zukünftig schmerzauslösende Reize werden (Farmer, Baliki & Apkarian, 2012; Lotze, 2016; Biurrun Manresa et al., 2012). Hierbei wird zwischen Allodynie und Hyperalgesie unterschieden (vgl. Abbildung 2). Der Begriff Hyperalgesie beschreibt eine Überempfindlichkeit auf nozizeptive Reize. Allodynie beinhaltet die Schmerzerfahrung bei normalerweise nicht schmerzhaften Reizen. Der Unterschied zwischen Allodynie und Hyperalgesie besteht darin, dass bei der Allodynie die Reizschwelle zur Wahrnehmung von Schmerzen herabgesetzt und bei der Hyperalgesie erhöht ist. Die alleinige Nozizeption reicht nicht aus, um Schmerzen zu generieren, was in der Schmerzdefinition (vgl. Kapitel 1.2.1) sichtbar wurde (Lotze, 2016; Richards & McMahon, 2013). Daraus resultiert, dass bei der Nozizeption mehrere Faktoren, wie ein tatsächlicher oder drohender Gewebeschaden sowie Emotionen eine Rolle spielen. Melzack und Casey (1968) bekräftigen in ihrem Konzept, dass Schmerz als eine Auslese von nozizeptivem Input unter dem Einfluss einer drohenden Gewebeschädigung angesehen werden muss. Der Schmerz spielt sich nicht ausschließlich auf Gewebeebene, sondern darüber hinaus auch auf kortikaler Ebene ab. Demnach können Schmerzen, Verletzungen sowie Lernen zu einer veränderten kortikalen Repräsentation im Kortex - auch kortikale Reorganisation genannt - führen (Flor & Turk, 2011; Richards & McMahon, 2013).

Die kortikale Reorganisation beschreibt die Veränderungen der somatotopischen Karten im Gehirn aufgrund von Schmerzprozessen, Lernstrategien und Verletzungen, welche heutzutage anhand funktioneller bildgebender Verfahren dargestellt werden können (Bilevicius, Kolesar & Kornelsen, 2016; Flor & Turk, 2011).

Dabei werden sensorische, kognitive und affektive motivationale Aspekte als Schlüsselkomponenten bei Schmerzprozessen angesehen (Bilevicius et al., 2016). Diese aktivieren unterschiedliche Gehirnregionen in Relation zum Schmerz. Die sensorischen Schmerzkomponenten aktivieren somatosensorische Gehirnareale und dienen der Schmerzlokalisierung, dem Druckempfinden sowie der Schmerzdauer (Rainville, Duncan, Price, Carrier & Bushnell, 1997).

Bei CLBP Patienten konnte dementsprechend eine veränderte Toleranz gegenüber mechanischen Reizen der sogenannten PPT sowie eine veränderte taktile Wahrnehmung nachgewiesen werden (Falla, Gizzi, Tschapek, Erlenwein & Petzke, 2014; Imamura et al., 2013; Luomajoki & Moseley, 2011; O'Neill et al., 2011; O'Sullivan, Kjaer, Graven-Nielsen, Manniche & Arendt-Nielsen, 2014; Lin et al. 2014). Hotz-Boendermaker et al. (2016) untersuchten, wie sich manualtherapeutische Applikationen an der Lendenwirbelsäule bei CLBP Patienten auf kortikale Prozesse auswirken. Demnach lösen diese – im Vergleich zu Gesunden – eine erhöhte kortikale Aktivität des sekundären somatosensorischen Kortex (S2) aus.

Kong et al. (2013) beobachteten in ihrer Untersuchung bei CLBP Patienten, dass sich nach einer schmerzinduzierten Bewegung des Rückens die Aktivität des primären sensomotorischen Kortex (S1) erhöht. CLBP Patienten zeigen zudem kortikale Reorganisationsprozesse der motorischen Areale (Masse-Alarie & Schneider, 2016). Darunter befindet sich der primäre motorische Kortex (M1), der die Bewegung koordiniert, bei Schmerzprozessen involviert ist und motorische Kontrollabläufe beeinflusst (Masse-Alarie & Schneider, 2016; Tsao, Galea & Hodges, 2008). CLBP Patienten zeigen bei der Planung einer Bewegung sowie bei der Reaktion auf Haltungsänderungen andere motorische Muster als schmerzfreie Personen (Strutton, Theodorou, Catley, McGregor & Davey, 2005; Tsao, Galea & Hodges, 2008). Des Weiteren weisen sie motorische Kontrolldefizite und veränderte Feedforward-Strategien auf (Luomajoki, Kool, de Bruin & Airaksinen, 2008; Tsao et al., 2008; Woolf, 2011). Diese Prozesse werden durch Angstvermeidungsverhalten sowie durch maladaptive und passive Bewältigungsstrategien begleitet (Mercado, Carroll, Cassidy, & Côté, 2005). Neben der veränderten Neurophysiologie zeigen CLBP Patienten Einschränkungen in der Beweglichkeit (Radebold et al., 2000) sowie Kraft- und Ausdauer der Lendenwirbelsäulenmuskulatur (Conway, Behennah, Fisher, Osborne & Steele, 2016).

Aufgrund der vielseitigen pathophysiologischen Anpassungen bei CLBP Patienten, zeigen diese gegenüber konventionellen Interventionen wie Übungstherapie, Dehnübungen und manualtherapeutischen Applikationen widersprüchliche Ergebnisse der Wirksamkeit (Appeldoorn et al., 2010; Coulter et al., 2018; Van Middelkoop et al., 2011). Gründe dafür könnten in den unterschiedlichen neurophysiologischen und plastischen Anpassungsvorgängen bei LBP Patienten liegen. Im folgenden Kapitel werden Anpassungsprozesse, wie die der neuronalen Plastizität bei LBP anhand funktioneller Bildgebung dargestellt.

1.4 Funktionelle Bildgebung und neuronale Plastizität

Die moderne Neurowissenschaft sieht das ausgewachsene menschliche Gehirn als ein flexibles und plastisches, in sich selbst kompetitives und problemlösendes Organ an. Lern- und adaptive Prozesse basieren auf Veränderungen in der Effizienz synaptischer Verbindungen innerhalb bestehender neuronaler Schaltkreise (Dettmers, Rijntjes & Weiler, 1999).

1.4.1 Neuronale Plastizität

Die neuronale Plastizität umfasst die Anpassungsfähigkeit des Gehirns an funktionelle Anforderungen des Alltags und der Umwelt (Flor & Turk, 2011).

Demnach stellt die neuronale Plastizität eine wichtige Voraussetzung für das motorische Lernen dar. Diese steht in enger Verbindung mit Veränderung, Optimierung, Stabilisierung und Automatisierung von Handlungen und Bewegungen unter wechselnden situativen Anforderungen (Meyer & Herrmann, 2011). Resultierend daraus kann das Gehirn als eine sich beständig selbst optimierende Struktur angesehen werden: Es funktioniert nach eigenen Organisationsprinzipien und entwickelt sich kontinuierlich und lebenslang weiter, unabhängig vom Lebensalter einer Person (Spitzer, 1996).

1.4.2 Verfahren zur Kartierung neuronaler Plastizität

Die gängigen Verfahren zur Kartierung neuronaler Plastizität in vivo sind die transkranielle Magnetstimulation (TMS), Positronenemissionstomographie (PET) sowie die funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT). Die TMS beschreibt ein nicht invasives Verfahren zur Untersuchung der Efferenzen des motorischen Kortex. Mittels einer achtförmigen Stimulationsspule lassen sich extrakraniell applizierte Magnetreize fokussieren, so dass die Repräsentationsareale einzelner Muskelgruppen identifiziert werden können (Barker et al., 1985; Dettmers et al., 1999). Bei der TMS wird eine Spule nahe der Kopfhaut angelegt, die einen starken magnetischen Puls von wenigen Millisekunden mit einer Intensität von ein bis zwei Tesla erzeugt und im Hirngewebe einen elektrischen Impuls auslöst.

Die ausgelösten Ströme sind vergleichbar mit dem Strom, der üblicherweise zur direkten elektrischen Reizung einer Nervenfasern führt. Mit der TMS besteht die Möglichkeit, das Gewebe ohne Abschwächung zu durchdringen und somit nichtinvasiv und ohne Berührung einen Reiz in einem Umkreis von einigen Millimetern und einer Tiefe von bis zu drei Zentimetern auf die Kortexoberfläche zu applizieren. Die TMS kann zum Beispiel bei Reizung des motorischen Kortex zu einer unwillkürlichen Kontraktion der entsprechenden Muskeln führen. In der biologischen Psychologie dient die TMS der Messung der sensomotorischen Reorganisation des Gehirns bei chronischen Schmerzen und beim Lernen (Birbaumer, 2010). Bei der PET handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren, das mit einer Halbwertszeit von zwei Minuten den regionalen zerebralen Blutfluss sowie den Glukosestoffwechsel direkt im Gewebe identifiziert und ein Maß der neuronalen Aktivierung darstellt (Dettmers et al., 1999). Am Ende des Prozesses stehen markierte Rezeptorliganden, die eine Erfassung der Biochemie des Gehirns erlauben (Dettmers et al., 1999). Ein weiteres bildgebendes Verfahren ist die fMRT. Diese untersucht zentralnervöse Funktionen und erfasst neuronale Aktivitäten mit einer räumlichen und zeitlichen Auflösung (Dettmers et al., 1999). Hierzu wird in der fMRT der Sauerstoffgehalt des Blutes als körpereigenes Kontrastmittel genutzt (BOLD: blood oxygen level dependent contrast).

Der BOLD-Effekt basiert auf Konzentrationsänderungen von Desoxyhämoglobin im Verhältnis zum Oxyhämoglobin und wurde erstmalig von Ogawa, Lee, Kay & Tank (1990) beschrieben. Desoxygeniertes und oxygeniertes Hämoglobin haben unterschiedliche magnetische Eigenschaften.

Das oxygenierte Hämoglobin ist nur schwach magnetisch (Diamagnetismus) und bewirkt keine relevante Beeinflussung des Magnetfeldes. Das desoxygenierte Hämoglobin besitzt hingegen starke magnetische Eigenschaften (Paramagnetismus) und verursacht dadurch Magnetfeldinhomogenitäten in seiner Umgebung. Bei Aktivierung einer Hirnregion, z. B. der Insel durch einen Schmerzstimulus, kommt es durch erhöhte synaptische Aktivität zu einer vermehrten Sauerstoffaufnahme aus dem Blut (Raichle et al., 1976). Daraus resultiert zunächst eine regionale Abnahme des oxygenierten Hämoglobins. Dies führt zu einer reflektorischen Gefäßdilatation in den entsprechenden Arealen mit überproportionalem Anstieg des regionalen kortikalen Blutflusses (Raichle et al., 1976). Dadurch erhöht sich die Konzentration des diamagnetischen Oxyhämoglobins. Gleichzeitig wird vermehrt Desoxyhämoglobin aus der Zelle ausgewaschen (Ogawa et al., 1993, 2012), wodurch die lokalen Magnetfeldinhomogenitäten abnehmen (vgl. Abbildung 3). Infolgedessen nimmt das BOLD-Signal zu, wobei die hämodynamische Antwortfunktion (HRF) ihr Maximum nach fünf bis sechs Sekunden erreicht. Die Änderung des BOLD-Signals hängt von der Magnetfeldstärke und von der Stärke der physiologischen Reaktion ab. Ein deutlicher Vorteil der BOLD-Technik gegenüber anderen funktionellen Techniken (z. B. PET) ist die einfache Anwendung ohne externe Kontrastmittelgabe, die Nichtinvasivität und die fehlende Strahlenexposition.

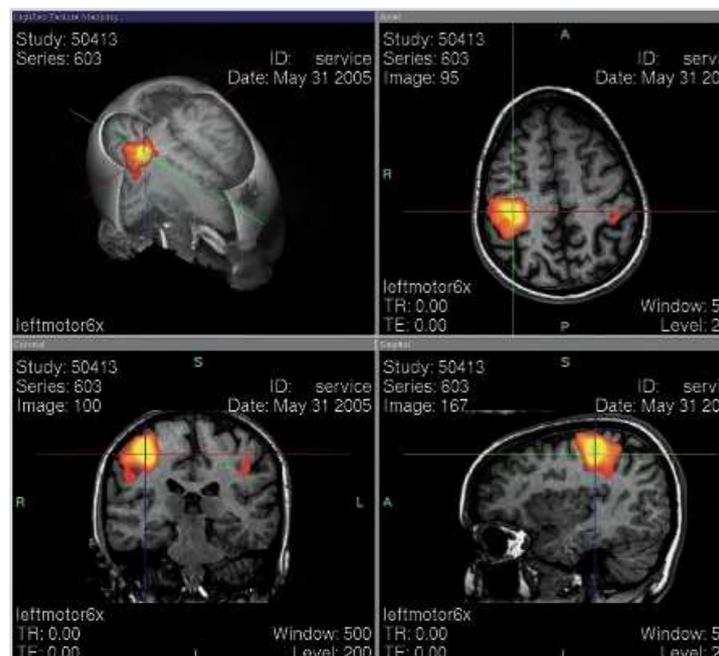


Abbildung 3: Bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnet- Resonanz-Tomographie (fMRT) erlauben es, kortikale Reorganisationsprozesse im Gehirn darzustellen. Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionelle_Magnetresonanztomographie, Abruf am 02.06.2019, 12.45 Uhr.

1.4.3 Kortikale Repräsentation von Schmerzen

Durch die Entwicklung moderner, bildgebender Verfahren (PET, fMRT) ist es seit den frühen 90er möglich, unter experimentellen und klinischen Bedingungen hämodynamische Veränderungen und damit die kortikale Repräsentation von Schmerzen abzubilden. Aus Untersuchungsergebnissen ging hervor, dass nicht etwa einzelne kortikale Schmerzregionen, sondern vielmehr komplexe kortikale Netzwerke auf noxische Reize reagieren (Nijs et al., 2017). Hierbei verursachen schmerzhafte thermische, mechanische und chemische Stimuli eine ausgedehnte Aktivierung dieses Netzwerkes von kortikalen und subkortikalen Strukturen (Apkarian, Bushnell, Treede & Zubieta 2005, Apkarian, Baliki & Geha & Apkarian, 2009; Borsook, Moulton, Schmidt & Bercera 2007; Small & Apkarian, 2006).

Es lässt sich eine interindividuelle Variabilität der Aktivierungsmuster der schmerzassoziierten Areale durch schmerzhafte Stimuli beobachten (Baliki, Geha & Apkarian, 2009). Die von nozizeptiven Reizen aktivierten Hirnareale beinhalten unter anderem den primären und sekundären somatosensorischen Kortex (S1, S2), die Insula, den anterioren cingulären Kortex (ACC), den präfrontalen Kortex (PFC) sowie den Thalamus. Weitere subkortikale veränderte Strukturen, wie der Hirnstamm, die Amygdala und das Zerebellum konnten infolge schmerzhafter Stimulationen dargestellt werden (Apkarian et al., 2005). Die schmerzassoziierten Areale in Abbildung 4 können als eine Art von Schmerznetzwerk angesehen werden, die kortikale und subkortikale Regionen mit afferenten Verbindungen beschreiben und erfassen. Die Areale stellen letztendlich eine Repräsentation des Schmerzes dar (Moseley, 2003; Treede, 1999).

Dabei handelt es sich nicht um ein stabiles, invariables neuronales Netzwerk, sondern vielmehr um den wichtigen Knotenpunkt eines dynamischen neuronalen Netzwerkes, das kontextabhängigen Modulationen unterliegt (Bingel & Wiech, 2013). Innerhalb der Schmerzareale wird zwischen medialem und lateralem System, unterschieden. Beide leisten unterschiedliche Beiträge zur Schmerzcharakterisierung.

Dem lateralen System wird der laterale Thalamus, die hintere Insula, der S1 und der S2 zugeordnet. Die im S1 endenden Afferenzen entsprechen den sensorischen-diskriminativen Aufgaben, die primär aus dem lateralen Thalamus stammen. Unter sensorisch-diskriminativen Aspekten versteht man Intensität, Dauer, Ort und Qualität der nozizeptiven Stimulation. Darüber hinaus liefert der somatosensorische Kortex eine somatotope Repräsentation der Körperoberfläche in Form des Homunkulus. Dieser encodiert räumlich sensorische Informationen (Bushnell, Ceko & Low, 2013).

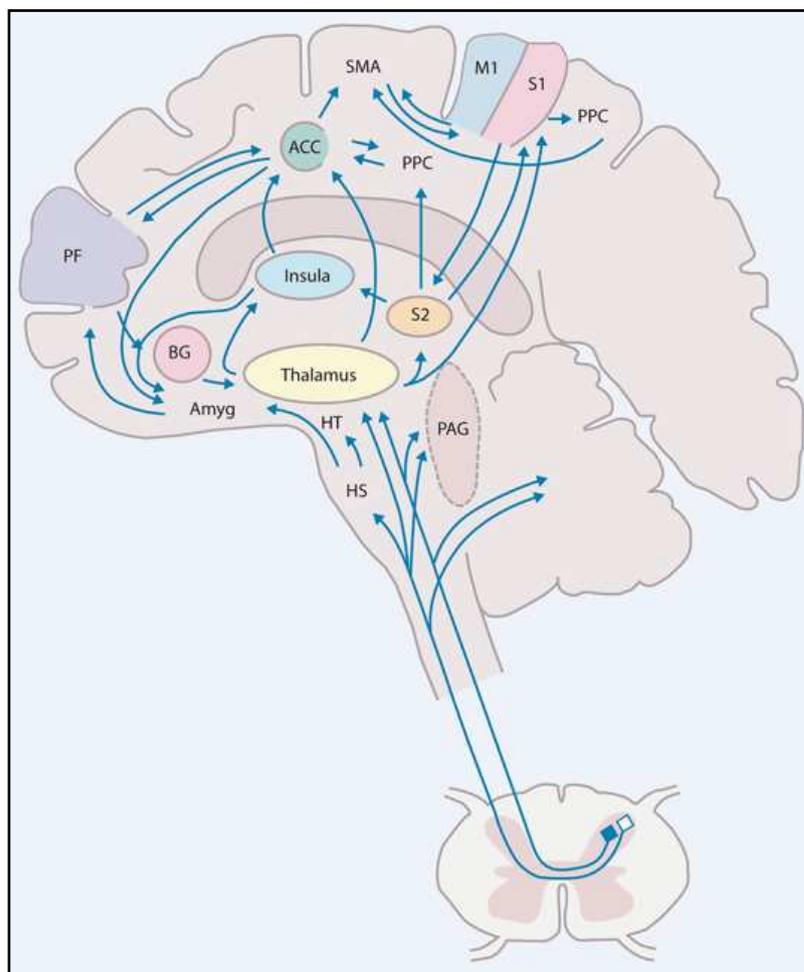


Abbildung 4: Kortikale und subkortikale Regionen der Schmerzareale, die an der Schmerzverarbeitung beteiligt sind: S1 und S2 = primärer und sekundärer somatosensorischer Kortex, M1 und SMA = primärer und supplementärer motorischer Kortex, Thalamus, ACC = anteriorer cingulärer Kortex, Insula = Insula, PCC = posteriorer cingulärer Kortex, PF = präfrontaler Kortex, PPC = posteriorer Parietalkortex, BG = Basalganglien, Amyg = Amygdala, PAG = periaquäduktales Grau (aus Price, 2000).

Im S1 lassen sich einerseits spezifische Reaktionen auf nozizeptive Reize nachweisen, andererseits sind die Reaktionen auf nicht schmerzhaft Berührungen eindeutiger. Der S2 beteiligt sich an der Reizverarbeitung nozizeptiver Stimuli, z. B. schmerzbezogene Aufmerksamkeitsprozesse und ist in Gedächtnisprozessen involviert (Flor, 2012). Seine Informationen erhält der S2 sowohl somatosensorischen Thalamus als auch vom S1. Bereiche der Inselregion synchronisieren Signale sensorischer, emotionaler und affektiver Schmerzeigenschaften (Apkarian, Hashmi & Baliki, 2011).

Die Inselregion erhält somatische und viszerale afferente Reize aus dem lateralen System, projiziert diese in das limbische System und trägt damit zur emotionalen Verarbeitung sensorischer Reize bei. Die hintere Inselregion reagiert auf nozizeptive und thermische Reize (Baliki et al., 2009). Im medialen System werden im Gegensatz zum lateralen System die kognitiven affektiven Schmerzkomponenten repräsentiert. Das mediale System setzt sich aus den medialen Thalamuskernen, der vorderen Insula, dem ACC sowie Teilen des PFC zusammen. Der Thalamus, der somatotop gegliedert ist, enthält eine Vielzahl von verschiedenen - paarweise angeordneten - Kernen. Dieser kann als Kommunikationszentrale zwischen subkortikalen Arealen und dem Neokortex angesehen werden. In den spezifischen Kernen werden unterschiedliche Modalitäten übertragen. Darunter befinden sich taktile und propriozeptive Reize, schmerzhaft thermische Reize und Informationen der inneren Organe (Trojan & Diers, 2013).

Die vordere Insula beteiligt sich an der Verarbeitung unterschiedlicher sensorischer Reize, weist zudem Gedächtnisfunktionen auf und ist an emotionalen Reaktionen der sensomotorischen Integration beteiligt (Apkarian et al., 2011; Massé-Alarie, 2016). Eine weitere Aufgabe der hinteren Insula liegt in der Körperwahrnehmung. Der ACC beteiligt sich an affektiven Schmerzkomponenten (Rainville et al., 1997). Die emotionale Reaktion auf Schmerz unterliegt dem ventralen Bereich, der Kognition und dem mittleren Bereich (Davis & Kotowski, 2005). Schon beim Antizipieren schmerzhafter Stimuli wird der ACC aktiviert. Der ACC ist nach aktuellem Wissensstand für die Verarbeitung emotionaler und motivationaler Faktoren des Schmerzes verantwortlich (Bushnell et al., 2013). Buchel et al. (2002) zeigten, dass die überwiegend affektiv angenommenen Komponenten des ACC zur Codierung der Schmerzintensität beitragen.

Die vorderen Anteile des vorderen ACC sind entscheidend an den Mechanismen der deszendierenden Schmerzhemmung beteiligt (Bingel & Wiech, 2013). Weitere Funktionen des ACC liegen unter anderem in der Kontrolle zielgerichteter Bewegungen (Brown & Braver, 2005). Zudem beteiligt er sich an vegetativen Funktionen, wie der Regulation des Blutdrucks und des Herzschlages. Ein weiterer Bestandteil der deszendierenden Schmerzhemmung ist das periaquäduktale Grau (PAG) (Zambreanu, Wise, Brooks, Iannetti & Tracey, 2005), die Amygdala und die rostrale ventromediale Medulla (Bingel & Wiech, 2013).

Der PFC beteiligt sich an vielen höheren kognitiven und motivationalen Funktionen, z. B. Planungsprozessen und Sozialverhalten sowie an der zeitlichen und räumlichen Orientierung (Smallwood et al., 2013). Die kognitive Kontrolle von Bewegungen wird durch die Verbindung des PFC mit dem prämotorischen Kortex sichergestellt. Der PFC ist auch an emotionalen Regulationsmechanismen von Schmerz beteiligt. Er reguliert die antizipatorische Angst in Zusammenhang mit Schmerz und ihren Einfluss auf die weitere Schmerzverarbeitung (Wiech et al., 2005). Die exekutiven Funktionen sind im Wesentlichen, aber nicht ausschließlich im präfrontalen Kortex angesiedelt (Roberts, Robbins & Weiskrantz, 1998). Sie lassen sich eher funktionell definieren und sind bestimmten Bereichen des Gehirns anatomisch nur schwer zuzuordnen. Funktionell betrachtet zählen zu den exekutiven Funktionen unterschiedliche, nicht klar definierte Kontrollprozesse, wie Inhibition (Hemmung automatisierter Prozesse bzw. nicht adäquater Reaktionen), Steuerung bewusster, selektiver Aufmerksamkeit, Fehlererkennung und -korrektur, Planung und vorausschauendes Handeln sowie der Entwurf von Strategien und die Planung beabsichtigter Handlungen. Auch das Arbeitsgedächtnis wird zu den exekutiven Funktionen gezählt (Carlson, Broome & Vessey, 2000; Roberts et al., 1998).

1.4.4 Kortikale Veränderungen bei chronischem Schmerz

CLBP gehört zu den häufigsten chronischen Beschwerden in unserer Gesellschaft, die nicht nur Veränderungen auf körperlicher Ebene, sondern auch auf kortikaler Ebene aufweisen (Flor, Braun, Elbert & Birbaumer, 1997; Hashemi et al., 2013). Anpassungsvorgänge des Gehirns durch Schmerzen werden mit der kortikalen Reorganisation beschrieben (Flor et al., 1997; Fritz et al., 2016; Moseley & Flor, 2012).

Die somatischen Karten im Gehirn verändern sich aufgrund von Schmerz- und Lernprozessen (Flor et al., 2003). Apkarian et al. (2004) konnten beispielsweise bei CLBP Patienten eine Verminderung des PAG im rechten Thalamus und bilateral im dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) nachweisen. Die Autoren interpretieren dies primär als Ausdruck neurodegenerativer Prozesse im Rahmen der Entstehung von chronischen Schmerzen (Apkarian et al., 2004; Baliki et al., 2006). Schmidt-Wilcke et al. (2006) beobachteten zu der PAG-Minderung im rechten DLPFC keine Veränderungen im Bereich des dorsolateralen Pons und des somatosensorischen Kortex. Konträr zu den Ergebnissen von Apkarian et al. (2004) registrierte Schmidt-Wilcke eher eine Zunahme des PAG im Thalamus und bilateral im Putamen (Schmidt-Wilcke et al., 2006). Tierversuche ergaben, dass lang andauernde und/oder intensive Schmerzzustände zu einer Sensibilisierung spinaler Neuronen und zu einer vergrößerten Repräsentation des schmerzenden Areals im Thalamus und im somatosensorischen Kortex führen (Daffada et al., 2014; Flor, 2004). Im weiteren Sinne besteht bei chronischen Schmerzpatienten eine vergleichbare Hyperreagibilität auf taktile bzw. noxische Reize.

Flor et al. (1997) beobachteten bei rüchenschmerzfreien Probanden, subakute LBP Patienten und CLBP Patienten, dass schmerzhafte und nicht schmerzhafte Reize, die am Finger appliziert wurden, im somatosensorischen Kortex repräsentiert waren. Anhand einer magnetoenzephalographischen Analyse der drei Gruppen zeigte sich, dass die Finger der rüchenschmerzfreien Probanden eine physiologische Repräsentation im somatosensorischen Kortex aufwiesen. Die Abbildung des Rückens bei den CLBP Patienten präsentierte sich signifikant näher am Beinareal als bei den subakuten LBP Patienten und den rüchenschmerzfreien Probanden. Neben der veränderten Reorganisation war eine signifikant erhöhte Aktivität im sensomotorischen Kortex in Kombination mit einer früheren Hirnantwort vorhanden. Flor et al. (1997) schlussfolgerten, dass bei chronischen Schmerzpatienten schmerzhafte Reize eine größere Anzahl von Neuronen aktivieren als bei schmerzfüreren Probanden. Die größere Neuronenaktivität war umso ausgeprägter, je länger der Schmerzreiz andauerte. Vergleichbares konnte in Tierversuchen beobachtet werden: Hierbei führten anhaltende Schmerzreize zu einer größeren Präsentationszone und einer höheren Empfindlichkeit des korrespondierenden peripheren Areals.

Es wird postuliert, dass eine Hyperalgesie und eine Allodynie ansatzweise auf diesen Vorgang zurückzuführen sind und diese infolge mit einer zentralen Veränderung korrespondieren (Lotze, 2016; Richards & McMahon, 2013). Giesecke et al. (2006) untersuchten mittels fMRT an CLBP Patienten im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden die Auswirkung von Druckstimuli auf den Kortex.

Die CLBP Patienten zeigten bei einem Druckstimuli von 3,9 Kilogramm eine signifikant höhere Aktivität im kontralateralen S1, S2 und im lateralen orbitofrontalen Kortex im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden (5,6 kg). Ein weiterer Aspekt in der CLBP Gruppe war die signifikante Funktionsverminderung des PAG. Die Abnahme der grauen Substanz im orbitofrontalen Kortex stellt eine wichtige Quelle von nozizeptiven Eingängen der Hirnrinde dar und hat aufgrund der inhibitorischen Schmerzregulation einen Einfluss auf das absteigende Schmerzhemmungssystem. Schädigungen in dieser Region stehen in enger Verbindung mit chronischen Schmerzprozessen (Giesecke et al., 2006). Zudem ließ sich in Abhängigkeit schmerzassoziierter Bewegungen bei CLBP Patienten eine signifikant höhere Aktivität im S1 im Vergleich zu rüchenschmerzfreien Probanden nachweisen. Kong et al. (2013) beobachteten, dass neben der erhöhten Aktivität des S1 eine Verbindung zur Rückenschmerzintensität nach schmerzhaften Bewegungen besteht. Weitere Untersuchungen bestätigen einen Zusammenhang von rüchenschmerzinduzierten kortikalen Veränderungen und einer verminderten Vorstellungsfähigkeit (Hashmi et al., 2013; Pijnenburg et al., 2015). Es konnte beobachtet werden, dass CLBP Patienten mehr Zeit für einfache Denkaufgaben benötigen (Pijnenburg et al., 2015). Im Gegensatz dazu wiesen Vrana et al. (2015) nach, dass CLBP Patienten im Vergleich zu gesunden Probanden die Fähigkeit besitzen, komplexe imaginierte Bewegungen durchzuführen, dafür aber eine höhere kortikale Rekrutierung aufweisen (Vrana et al., 2015). Vor dem Hintergrundwissen, dass imaginierte Bewegungen denselben neuronalen Aktivierungsvorgängen unterliegen wie aktiv durchgeführte Bewegungen, werden die theoretischen Grundlagen von Bewegungsvorstellungen im folgenden Kapitel erläutert (Jeannerod, 2001). Diese dienen in späteren Kapiteln der Integration ins therapeutische Setting bei CLBP Patienten.

1.5 Zusammenfassung

Im zurückliegenden Kapitel wurden die theoretischen Hintergründe unterschiedlicher Rückenschmerzstadien sowie die Epidemiologie von Rückenschmerzen erläutert. Darauf aufbauend wurden neurophysiologische Anpassungen bei CLBP in Form der kortikalen Repräsentation- und Reorganisation erläutert.

Anhand unterschiedlicher Methoden bildgebender Verfahren wurden plastische Anpassungen in Form der kortikalen Reorganisation bei CLBP beschrieben und erste Hinweise von veränderten Vorstellungsprozessen bei CLBP Patienten beleuchtet. In Relation zu den veränderten Vorstellungsprozessen bei CLBP Patienten wurden im ersten Schritt die mentale Chronometrie (MC) beschrieben. Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Untersuchung der MC sowie der Durchführungszeiten imaginierter Bewegungen. Darüberhinaus sollen die Effekte eines MT bei CLBP Patienten untersucht werden. Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Hintergründe der Bewegungsvorstellungen sowie die neurophysiologischen Korrelate der Bewegungsvorstellungen erläutert.

2 Bewegungsvorstellungen

Ein Bewegungsablauf unterliegt gemeinsamen Inhalten von Bewegungsbeobachtung und Bewegungsvorstellung (Decety & Grézes, 1999; Jeannerod, 2001). Es wird angenommen, dass bei imaginierten Handlungen dieselben neuronalen Bereiche aktiviert werden wie bei einer aktiven Handlung. Eine gute Bewegungsvorstellung kann demnach die Qualität der aktiven Bewegung maßgeblich beeinflussen (Jeannerod, 2001). Eine Frage ist, inwieweit sich Bewegungsvorstellungen auf die zeitlichen Komponenten imaginerter und aktiver Bewegungsabläufe unter schmerzphysiologischen Prozessen auswirken. Aus diesem Grund scheint es lohnenswert, sich mit dem Konstrukt der Bewegungsvorstellung begrifflich näher zu beschäftigen und zu erörtern, wie eine Bewegungsvorstellung entsteht (siehe Kapitel 2.2). Die Bandbreite von Bewegungsvorstellungen reicht von konkreten Erinnerungsbildern bis zu reinen Fantasievorstellungen. Die Wahrnehmung spielt dabei eine übergeordnete Rolle (siehe Kapitel 2.4).

Vorstellungen bauen auf wahrnehmungsartigen Erscheinungen auf und aktivieren zu weiten Teilen gleiche Gehirnzentren, ohne dass zwangsläufig externe Wahrnehmungsstimuli vorhanden sein müssen (Munzert, 2001). Bei der Betrachtung von Bewegungsvorstellungen zeigt sich, dass es sich um einen aktiven kortikalen Prozess handelt und eine interne Repräsentation von Bewegungen im Arbeitsspeicher produziert wird (Decety & Grézes, 1999; Jeannerod et al., 2001). Bewegungsvorstellungen sind ein aktiver kortikaler Prozess, bei dem eine mentale Repräsentation von Bewegungen im Arbeitsspeicher internal produziert wird, ohne dass die Bewegung tatsächlich durch die Arbeitsmuskulatur ausgeführt wird (Decety & Grézes, 1999; Jeannerod et al., 2001). In der englischsprachigen Literatur finden sich sehr viele Bezeichnungen für das Phänomen der Bewegungsvorstellung (McAvinue & Robertson, 2008). Im Sinne einer terminologischen Präzision wird der Begriff „imaginiert“ hier als Vorstellungsfähigkeit definiert, die ein gewisses Maß an bewusster Kontrolle vonseiten des Vorstellenden erfordert (Anett, 1995). Weitere Autoren versuchten, die vielfältigen Bezeichnungen auf die in Tabelle 1 dargestellten Begriffe zu reduzieren (Madan & Singhal, 2012).

Tabelle 1: Begriffserklärung der unterschiedlichen Formen der Bewegungsvorstellungen. Quelle: eigene Darstellung

Begriff	Erklärung
Visuelle Bewegungsvorstellung	Visuelles Vorstellen von Bewegungen, ohne dass Personen mit Objekten involviert wären, aus Sicht der Dritte-Person-Perspektive
Einfache Bewegungsvorstellung	Vorstellen von einfachen Körperbewegungen von sich selbst aus der Erste-Person-Perspektive (internal) oder von einer anderen Person aus Sicht der Dritte-Person-Perspektive
Komplexe Bewegungsvorstellung	Vorstellen der eigenen komplexen Bewegungshandlung von sich selbst, wobei eine dynamische Interaktion mit Objekten erfolgen kann, aus der Erste-Person-Perspektive
Kinästhetische Bewegungsvorstellung	Bewegungsvorstellung, die ausschließlich auf propriozeptiven Informationen basiert, in der Erste-Person-Perspektive
Räumlich-bildhafte Bewegungsvorstellung	Bewegungsvorstellung, die mittels einer Filmaufzeichnung unterstützt wird; dabei dienen Filmaufzeichnung oder Modelle zur zielgerichteten und alltagsrelevanten Bewegungsausführung

2.1 Vorstellungen als Führungsgröße der Bewegungsrepräsentation

Bewegungsvorstellungen setzen eine optimale, differenzierte und intensive Bewegungs- bzw. Handlungsvorstellung voraus. Dies ist nicht ausschließlich auf sportliche Handlungen begrenzt. In fast jeder Anforderungssituation spielen Vorstellungen eine wesentliche Rolle. Diese können durch Training eine Lern- und Leistungssteigerung erzielen. Vorstellungen spiegeln im täglichen Leben eine Art Schablone des Handelns wider. Dabei entsteht aus allen erlebten Gegebenheiten eine Vorstellung. Weiterhin werden Vorstellungen aus zukünftigen Situationen und Gegebenheiten generiert (Eberspächer, 2007). Grundlage aller Vorstellungen ist nach Munzert (2001) die Aktualisierung von Gedächtnisbesitz. Vorstellungen können sich sowohl auf die Vergangenheit als auch auf die Zukunft beziehen.

Sie grenzen sich von Wahrnehmungen dadurch ab, dass sie auf wahrnehmungsartigen Erscheinungen basieren, ohne dass letztendlich externe Wahrnehmungsstimuli vorliegen (Munzert, 2001). Bewegung und Wahrnehmung werden systemtheoretisch betrachtet (Balgo, 1998). Dies bedeutet, dass jede Bewegung einer Wahrnehmung unterliegt und jedes Wahrnehmungsbewegen ist. Beides ist untrennbar miteinander verbunden und kann als System verstanden werden.

Das Bewegungs-Wahrnehmungs-System prüft kontinuierlich, ob eine absolvierte Bewegung, die eine Konstruktion aus Bewegungsmöglichkeiten darstellt und die aufgrund angenommener Umweltbedingungen vom System als angemessen eingeschätzt wird, für die tatsächliche Umwelthanforderung passend ist. Zeigt sich aktuelles Bewegun/Wahrnehmen als unangemessen, geht diese Unterscheidung in die interne Bewegung/Wahrnehmung über und verursacht eine Veränderung des Systems, bis letztendlich eine funktionale Übereinstimmung erreicht wird. Der Ansatz für die interne Wahrnehmung findet sich wieder in der Theorie der subjektiven Anatomie (Meyer & Hermann, 2011). Der grundlegende Ansatz der subjektiven Anatomie ist es, aus dem Erleben des Körpers ein individuelles Konzept zu entwickeln. Der Bewegungsapparat liefert dem System dementsprechende Informationen, vergleichbar mit einem Gefühlscodex, der als Zeichen für sich selbst interpretiert werden kann und als Körperschema bekannt ist. Das Körperschema beruht auf neurophysiologischer Tiefensensibilität. Hinter Tiefensensibilität verbirgt sich der Begriff der Propriozeption, der durch Sherrington im Jahre 1906 geprägt wurde. Propriozeption beschreibt, dass der Körper sich selbst empfindet und dadurch selbst erkennt. Bezugnehmend auf den Ausgangspunkt von Balgo (1998), bedeutet das, dass durch Wahrnehmung Bewegung entsteht. Eine Bewegungsvorstellung ist demnach der aktive Nachvollzug einer Bewegungsrepräsentation, die am Erleben orientiert ist.

2.2 Aufbau von Bewegungsvorstellungen

Bewegungsvorstellungen rufen die mentale motorische Repräsentation im Arbeitsspeicher ab, ohne dass es zu einer tatsächlichen Bewegung kommt (Lebon et al., 2012). Die alleinige Aufforderung zum Vorstellen von Handlungen oder Bewegungen ist nicht ausreichend, um die Qualität und Differenzierung einer Vorstellung sicherzustellen, die maßgeblich zu einer Lern- oder Leistungssteigerung führt (Lebon, Guillot & Collet, 2012 b; Stinear et al., 2006).

Voraussetzung für die Realisierung einer Bewegung ist, dass ein systematisches Vorgehen zum Aufbau einer Bewegungsvorstellung erarbeitet wird. Mit dem vorrangigen Ziel, eine Bewegungsvorstellung zu erarbeiten bzw. zu entwickeln, werden entsprechende Verfahren genutzt, die motorische Abläufe abzubilden. In der Praxis kommen die sprachlich-symbolischen, die räumlich-bildhaften und die kinästhetischen Ansätze zur Anwendung. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Ansätze nach dem Stufenmodell nach Eberspächer (2001) erläutert.

Das Stufenmodell beinhaltet die:

1. Detaillierte Beschreibung der Bewegung.
2. Hervorheben der Knotenpunkte.
3. Symbolische Markierung und Rhythmisierung der Knotenpunkte.
4. Mentales Training der symbolisch markierten und rhythmisierten Knotenpunkte.

2.3 Detaillierte Beschreibung der Bewegung

Die detaillierte Beschreibung der Bewegung stellt die erste Stufe des Modells dar. Sie beinhaltet, dass die Person den zu trainierenden Bewegungsablauf über das Ansprechen vieler Sinnesmodalitäten ins Gedächtnis abrufen, ihn nachvollziehen, beschreiben und daraufhin in Worte fassen. Eine optimale und angemessene Beschreibung der Bewegung ist hierbei von Relevanz. Denn ein und dieselbe Bewegung wird von verschiedenen trainierenden Personen unter Umständen völlig unterschiedlich wahrgenommen bzw. erlebt. Ein Kriterium ist, dass die Vorstellung der Bewegung mit der tatsächlichen Bewegungen ausführung übereinstimmt. Der Abgleich ermöglicht es, eine sinnvolle Korrektur vorzunehmen, um so frühzeitige Fehler und Störquellen aufzudecken. Die Beschreiben einer Bewegung setzt das Erleben und das Nachvollziehen der Bewegung voraus. Die gesamte Bewegungsbeschreibung stellt dann eine sinnvolle Grundlage des mentalen Trainings dar, wenn Wissenslücken geschlossen und Fehler entfernt wurden sowie alle bewusstseinsfähigen Anteile in der Beschreibung einer Bewegung enthalten sind (Eberspächer, 2001).

2.3.1 Hervorheben der Knotenpunkte

Die zweite Stufe des Modells von Eberspächer (2001) beinhaltet die Herausarbeitung von zentralen Punkten eines Bewegungsablaufs, die als Knotenpunkte der Bewegung bezeichnet werden. Sie sind die entscheidenden Stellen eines Bewegungsablaufs, die unbedingt durchlaufen werden sollten. Allerdings liegt die Entscheidung für die Stellen einer Bewegungsausführung bei der ausführenden Person selbst. Zudem können sich Knotenpunkte aufgrund eines Trainingsfortschritts verändern (Eberspächer, 2001).

2.3.2 Markierung und Rhythmisierung der Knotenpunkte

Die dritte Stufe setzt zunächst voraus, dass die Person die für sie relevante Stellen einer Bewegung markiert hat. Darunter sind Aspekte, wie Ausgangsstellung und Spannungszustände in verschiedenen Körperabschnitten zu verstehen, die zu einem rhythmischen Bewegungsablauf führen. Die Knotenpunkte der zu trainierenden Bewegung werden symbolisch markiert, was bedeutet, dass sie in individuelle Kurzformeln umbenannt werden.

So werden Informationen verdichtet. Für die Durchführung eines mentalen Trainings sollte die Vorstellung an die Dynamik und den zeitlichen Ablauf einer optimalen Realbewegung angepasst werden, um eine Differenzierung und Stabilisierung der Bewegungsrepräsentation zu erreichen (Eberspächer, 2001).

2.3.3 Training einer Bewegungsvorstellung

Im letzten Schritt des Stufenmodells wird schließlich die entwickelte Bewegungsvorstellung mental trainiert. Der Vorteil des sprachlich-symbolischen Zugangs besteht darin, dass durch das Aufschreiben der Bewegungsvorstellung eine verbesserte Kommunikation zwischen Trainer und trainierender Person entsteht. Das kann ein Nachteil bei Personen sein, die Schwierigkeiten bei der Verbalisierung von nicht visuellen Vorstellungsinhalten aufweisen (Eberspächer, 2001).

2.3.4 Sprachlich-symbolische Ansätze

Die sprachlich-symbolischen Ansätze werden häufig als Vorstellungsinhalte verbalisiert, schriftlich fixiert und auf wesentliche Punkte reduziert, um letztendlich den Bewegungsrhythmus anzupassen. In der sportpsychologischen Praxis bedient man sich eines Verfahrens, das als Stufenmodell des mentalen Trainings von Eberspächer bekannt ist (Eberspächer, 2001).

2.3.5 Räumlich-bildhafte Ansätze

Mithilfe von Videoaufzeichnungen wird beim räumlich-bildhaften Ansatz versucht, Bewegungsvorstellungen zu entwickeln (Beinert et al., 2015; Liepert, Busching, Sehle & Schoenfeld, 2016). Hierbei steht die Bewegungsbeobachtung im Vordergrund und nimmt die Perspektive aus Sicht der dritten Person ein. Die Beobachtung eines Modells oder einer Videoaufzeichnung eignet sich besonders beim Neuerlernen von Bewegungen (Ste-Marie, Vertes, Law & Rymal, 2012). Mit der Spiegelmethode besteht eine weitere Möglichkeit, eine Bewegungsvorstellung von einzelnen Körpertechniken zu entwickeln (Bowering et al., 2013; Chan et al., 2019; Wittkopf & Johnson, 2017, Wittkopf, Lloyd & Johnson, 2018). Dabei liegen dem visuellen Ansatz die Erkenntnisse der Spiegelneuronen zugrunde (Ramachandran & Altschuler, 2009; Spitzer, 1996; Wittkopf & Johnson, 2017).

2.3.6 Kinästhetische Ansätze

Beim kinästhetischen Ansatz stellt sich der Ausführende die Bewegung vor bzw. ruft diese aus der Erinnerung ab. Die kinästhetischen Bewegungsvorstellungen werden in der Ich-Perspektive durchgeführt (Lebon et al., 2012 b; Stinear et al., 2006). Propriozeptive Informationen, welche eine höhere neuronale Aktivierung sensomotorischer Areale als aus der Perspektive der dritten Person hervorrufen, werden integriert (Lorey et al., 2009; Stinear et al., 2006). Die Ich-Perspektive beinhaltet die kinästhetische Repräsentation, welche die motorische Simulation des eigenen Körpers hervorrufft.

Zudem besteht unter bestimmten Bedingungen die Möglichkeit, emotional positiv besetzte Erlebnisse als Ausgangspunkt zur Vorstellungsgenerierung zu nutzen (Eberspächer, 2001).

2.4 Neurophysiologische Korrelate bei Bewegungsvorstellungen

Mit dem Grundverständnis, dass gezielte Bewegungsvorstellungen vergleichbare kortikale Aktivierungsmuster ausgelöst werden wie bei aktive Bewegungen, kommt die Frage auf, inwieweit sich unterschiedliche Ansätze der Bewegungsvorstellungen auf kortikaler Ebene auswirken? Um diese Frage im ersten Schritt zu beantworten, ist davon auszugehen, dass kinästhetische Bewegungsvorstellungen in enger Verbindung zu den Aktivierungsmustern der motorischen und sensorischen Hirnareale stehen (Lotze et al., 1999; Munzert, Oldrati, Finisguerra, Avenanti, Maria Aglioti & Urgesi 2021; Zentgraf, Stark & Vaitl 2008). Bei der Beobachtung kortikaler Hirnregionen bei der Durchführung von Bewegungsvorstellungen lassen sich eine Vielzahl an Variationen der aktivierten Hirnregionen erkennen (Munzert et al., 2008; Vrana et al., 2015).

Generell weisen kinästhetische Bewegungsvorstellungen enge Verbindungen zur linken Hemisphäre, die sowohl für die eigene Handlung als auch für die Handlungssimulation dominant ist, auf (Munzert et al., 2008). Diskrepanzen lassen sich in Zusammenhang mit der Aktivität des M1 beobachten, die bis zu einem gewissen Grad durch seine Definition erklärt werden können. Einige Arbeiten bestätigten die aktive Rolle des M1 während einer kinästhetischen Bewegungsvorstellung (Guillot & Collet, 2008; Lotze et al., 1999), während andere dies anzweifeln (Hanakawa, Dimyan & Hallett, 2008; Vrana et al., 2015).

Schon Ende der 90er Jahre konnten Lotze et al. (1999) in einer fMRT-Untersuchung zeigen, dass die alleinige kinästhetische Vorstellung einer Finger-Daumen-Bewegung die Aktivität des M1, des prämotorischen Kortex (PMC) und des supplementär-motorischen Areals (SMA) hervorruft. Stinear et al. (2006) beobachteten unterschiedliche Aktivierungsmuster des M1 anhand verschiedener Ansätze der Bewegungsvorstellung sowie einer unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Muskelfazilitation. Die Stichprobe setzte sich aus insgesamt 20 rechtshändigen Probanden zusammen, die in zwei gleich große experimentelle Gruppen eingeteilt wurden.

In der ersten experimentellen Gruppe wurde die transkranielle Magnetstimulation in Kombination mit einer Oberflächen-EMG-Ableitung des dominanten M. abductor pollicis brevis (ABP) und des M. abductor digiti minimi (ADM), der eine Kontrollfunktion hatte, durchgeführt. In der zweiten experimentellen Gruppe erfolgte die Beurteilung der Nervenleitgeschwindigkeit in Kombination mit einer Oberflächen-EMG-Ableitung des dominanten M. abductor pollicis brevis (APB) und des M. abductor digiti minimi (ADM).

Die unterschiedlichen Bewegungsvorstellungen setzten sich aus dem visuellen und dem kinästhetischen Ansatz zusammen. Die Bewegungsvorstellungen wurden mittels Metronoms in zeitliche Phasen von 30 Sekunden eingeteilt und danach durchgeführt. Bei den visuellen Bewegungsvorstellungen, aus Sicht der Dritte-Person-Perspektive, erhielten die Probanden zunächst in Ruheposition die Instruktion, sich vorzustellen, dass sie sich draußen vor einem Haus befinden, allein und in einer ruhiger Atmosphäre. Sie sollten dem Metronom keine Bedeutung zumessen. Als nächstes wurden sie aufgefordert, sich die Bewegung des eigenen Daums im Takt des Metronoms vorzustellen. Im Gegensatz dazu erhielten die Probanden bei den kinästhetischen Bewegungsvorstellung die Instruktion, sich einerseits die Daumenbewegung im Takt des Metronoms vorzustellen und gleichzeitig das Bewegungsgefühl nachzuempfinden. Das entspricht dem kinästhetischen Ansatz. Die Ergebnisse beider Gruppen wiesen in Bezug auf die Vorstellungsfähigkeit keinen Unterschied auf. Es konnten Effekte der motorisch evozierten Potentiale beim kinästhetischen Ansatz in Relation der ABD-Phasen beobachtet werden. Zudem zeigte sich hierbei ein signifikantes Zusammenspiel von Vorstellungsaufgaben und ABD-Phasen im Vergleich zu den visuelles Bewegungsvorstellungen, aus Sicht der Dritte-Person-Perspektive. Bei den EMG-Ergebnissen ließen sich ebenfalls signifikante Unterschiede in den Aktivierungs- und Ruhephasen des ABD zugunsten des kinästhetischen Ansatzes erkennen. Bei der F-Welle des ABD und des ADM zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Daraus ergibt sich, dass kinästhetische Bewegungsvorstellungen den Effekt einer Fazilitation im prämotorischen Kortex als die visuelle Bewegungsvorstellung hervorrufen. Die Untersuchung mittels TMS in Kombination mit einer Oberflächen-EMG-Ableitung beim kinästhetischen Ansatz zeigte eine signifikant höhere Erregbarkeit des präsentierten Thenarmuskels im M1 im Vergleich zu den visual imagery.

Vrana et al. (2015) beobachteten in Ihrer fMRT-Studie, welche darauf abzielte, die Funktion der Netzwerke, welche Bewegungsvorstellungen repräsentieren bei CLBP Patienten zu untersuchen. Die Stichprobe bestand aus 15 CLBP Patienten und 14 rüchenschmerzfreien Probanden. Es konnte eine signifikant reduzierte Aktivität in bewegungsvorstellungsassoziierten Hirnregionen bei imaginierten Alltagsaktivitäten wie Staubsaugen, Gartenarbeit, Treppensteigen und Gehen gezeigt werden (Vrana et al., 2015). Weitere Ergebnisse von Aktivitätsanalysen von Hirnregionen während imaginierten Bewegungen stimmen mit den bekannten Bewegungsvorstellungsassoziierten Hirnaktivitäten überein, die ein fronto-parietales Netzwerk und subkortikale Strukturen wie den Thalamus umfassen (Héту et al., 2013; Lotze & Halsband, 2006). Interessanterweise konnte zur geringen Aktivität des M1 ebenfalls eine verminderte Aktivität des SMA bei den CLBP Patienten nachgewiesen werden. Das SMA ist dabei ein integrierter Teil eines Netzwerkes, der an einer adäquaten Bewegungsplanung beteiligt ist (Héту et al., 2013; Lotze & Halsband, 2006). Weitere Arbeiten identifizierten das SMA als beste prädiktive Region zur Differenzierung von Hand- und Greifbewegungen, was wiederum darauf hindeutet, dass die Rolle des SMA hauptsächlich darin liegt, Inhalte von Signalen zu übersetzen, anstatt diese zu vermitteln (Park et al., 2015). Eine Erklärung für die Beobachtung der geringen Aktivität des SMA könnte die Komplexität der ausgewählten Alltagsaktivitäten sein. CLBP Patienten weisen aufgrund von Schmerzen und Angst eine verminderte Bewegungs- und Gleichgewichtskontrolle auf (Goossens, Janssens & Brumagne, 2019; Henry, Hitt, Jones & Bunn, 2006; O'Sullivan, 2005, O'Sullivan, Mitchell, Bulich, Waller & Holte, 2006, O'Sullivan et al., 2014).

Bakker, Boschker & Chung (1996) beobachteten im weiteren Zusammenhang, dass während einer Bewegungsvorstellung - in Form eines anzuhebendes Gewicht unter elektromyographischer (EMG) Ableitung - die hemmende Funktion des SMA der agonistischen und auch der antagonistischen Muskulatur fehlt. Das deutet darauf hin, dass imaginäre Prozesse den Hemmmechanismus beeinflussen. Weiterhin gibt es erhebliche Hinweise auf eine Beteiligung des SMA an der Haltungskontrolle im Sinne der antizipatorischen Gleichgewichtskontrolle bei CLBP (Jacobs, Henry & Nagle, 2009; Mihara, Miyai, Hatakenaka, Kubota & Sakoda, 2008).

Darauf aufbauend wurde der Einfluss von imaginierten Bewegungen auf die posturale Kontrolle nachgewiesen (Grangeon, Guillot & Collet, 2011). Unter posturaler Kontrolle wird das Vermögen des menschlichen Körpers, unter Einfluss der Schwerkraft eine aufrechte Körperposition beizubehalten verstanden (Goossens, Janssens, Caeyenberghs, Albouy & Brumagne, 2019; Grangeon et al., 2011). Dazu untersuchten Grangeon et al. (2011) in einer Studie mit 20 gesunden Probanden den Effekt von visuellen und kinästhetischen Bewegungsvorstellungen. Die posturale Kontrolle wurde mittels Kraftmessplattenableitung des Körperschwerpunkts und des Druckzentrums der anterioren, posterioren, der medial-lateralen und vertikalen Achse abgeleitet. Die visuellen sowie die kinästhetischen Bewegungsvorstellungen umfassten neben den Kontrollparametern jeweils drei imaginierte Countermovement-Sprünge (CMJ) und drei Finger-Daumen-Bewegungen. Die Kontrollparameter setzten sich aus imaginierten Bewegungen von Rückwärtssprüngen, tatsächlich durchgeführten CMJ und keinen Bewegungsaufgaben zusammen.

Die Variabilität der posturalen Kontrolle wiesen signifikante Unterschiede zu den Kontrollparametern in allen drei Achsen auf. Zudem konnten unterschiedliche Effekte der unterschiedlichen Bewegungsvorstellung auf der vertikalen Achse im Vergleich zur anterioren, posterioren und medial-lateralen Achse beobachtet werden. Die imaginierten CMJ führten zu einer Zunahme der posturalen Variabilität im Vergleich zu keiner Bewegungsaufgabe. Beim Vergleich zwischen den kinästhetischen und den visuellen Bewegungsvorstellungen zeigte sich eine signifikant höhere Variabilität der ersteren bei der posturalen Kontrolle in der anterioren, posterioren und der medial-lateralen Achse. Die Autoren schlussfolgerten, dass sich eine Bewegungsvorstellung auf die posturale Kontrolle auswirkt und eine Reduktion herbeiführt. Das steht wiederum im Zusammenhang mit dem Schweregrad der Aufgabenstellung.

Dazu konnten Rodrigues et al. (2010) mittels Kraftmessplatte zeigen, dass eine kinästhetische Bewegungsvorstellung der Plantarflexionsbewegung eine vermehrte Schwingung des Druckzentrums sowie der anterioren-posterioren Achse verursacht. Des Weiteren gingen Rodrigues et al. (2010) in ihrer Arbeit der Frage nach, ob signifikante Unterschiede bei der EMG-Ableitung des M. gastrocnemius in Bezug auf die kinästhetische und die visuelle Bewegungsvorstellung der Plantarflexion bestehen. Die Ergebnisse zeigten jedoch keinen signifikanten Unterschied im Hinblick auf die unterschiedlichen Ansätze der Bewegungsvorstellung.

Weitere Studien bestätigten bei reinen Bewegungsvorstellungen die Aktivierung neuronaler Strukturen wie dem prämotorischen Kortex (PMC), dem posterioren parietalen Kortex (PPC), dem inferioren Parietallappen (IPL) und den Basalganglien (Munzert et al., 2008; Hanakawa et al., 2008). Zahlreiche fMRT-Untersuchungen attestierten eine Aktivität des PPC während der Bewegungsvorstellung (Hanakawa et al., 2003; Hanakawa et al., 2008; Iseki, Hanakawa et al., 2008). Im Zusammenhang mit einer Läsion in dieser Region verlieren Patienten die Fähigkeit, die benötigte Zeit für die Ausführung von Bewegungsaufgaben vorherzusagen. Folglich wird die Zeit unterschätzt beziehungsweise überschätzt (Sirigu & Duhamel, 1996). Weitere fMRT-Arbeiten untersuchten den Einfluss von Körperpositionen in Relation unterschiedlicher Perspektiven der Bewegungsvorstellung (Lorey, Bischoff, Pilgramm, Stark, Munzert & Zentgraf, 2009).

Die Hypothese der Autoren (Lorey et al., 2009) war, dass die Integration propriozeptiver Informationen bei einer Bewegungsvorstellung eine höhere Relevanz beim kinästhetischen als beim visuellen Ansatz einnimmt. Zudem wurde vermutet, dass die kinästhetischen Bewegungsvorstellungen in Kombination mit einer propriozeptiven Information aus der Ich-Perspektive eine stärkere Aktivierung sensomotorischer Areale hervorrufen, als aus Sicht der dritten Person, was mit den Untersuchungsergebnissen von Oldrati et al., (2021) übereinstimmt.

Lorey et al. (2009) untersuchten dazu 20 rechtshändige gesunde Probanden. Der Fokus lag auf dem Aktivierungsmuster der Gehirnregionen bei einer Bewegungsvorstellung der Hand aus verschiedenen Perspektiven sowie propriozeptiven Informationen. Während der fMRT wurden den Probanden vier Videoeinheiten mit zwei Handbewegungen von einer Dauer von sechs bis neun Sekunden vorgeführt. Daraufhin sollten sie sich die Handbewegungen zunächst aus der Perspektive der ersten Person und danach aus der der dritten Person vorstellen. Ein weiterer Kernaspekt bestand darin, sich die Hand aus der Perspektive der ersten und der dritten Person in einer kompatiblen und einer nicht kompatiblen Handposition vorzustellen. Dazu erhielten die Probandinnen eine Trainingseinheit, in der sie sich vorstellen sollten, im Wechsel mit der rechten Faust auf den Tisch zu schlagen sowie mit der rechten flachen Hand über den Tisch zu streichen. Die imaginierten Bewegungen wurden insgesamt 60-mal in den verschiedenen Handpositionen und Perspektiven wiederholt.

Die muskulären Auswirkungen der imaginierten Bewegungen wurden mittels EMG des M. extensor digitorum und des M. flexor digitorum superficialis des Unterarms begleitet. Die Ergebnisse zeigten, dass propriozeptive Informationen in der Bewegungsvorstellung aus der Ich-Perspektive relevanter sind.

Zudem führten die imaginierten Bewegungen aus der Perspektive der ersten Person in einer kompatiblen Handposition zu einer Aktivierung im inferioren Parietallappen und in der Insula. Weiterhin konnten aus beiden Perspektiven, der ersten und der dritten Person, Rückschlüsse auf die enge Verbindung der Aktivierungsmuster der motorischen Hirnareale gewonnen werden. Hierbei zeigte sich, dass die imaginierten Bewegungen der Hand eine starke Aktivierung der motorischen Areale hervorrufen. Im Gegensatz dazu wies die kompatible und die nicht kompatible Handposition bei der Vorstellung aus der Perspektive der dritten Person keine Unterschiede auf. Es wurde geschlussfolgert, dass sich die Hand- bzw. die Armposition positiver auf die Modulation der neuronalen Aktivität bei der Vorstellung aus der Perspektive der ersten als aus der Perspektive der dritten Person auswirkt.

Ruby und Decety (2001) zeigten, dass die objektbezogene Bewegungsvorstellungen der Hand aus der Ich-Perspektive ausschließlich eine Aktivierung des inferioren Parietallappens, des präzentralen Gyrus, des superioren frontalen Gyrus, der occipital-temporalen Verbindungen und der anterioren Insula der linken Hemisphäre verursachen. Die Regionen der linken Hemisphäre stehen sowohl dominant für die eigene Handlung als auch für die Handlungssimulation. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Ausführung einer Handlung eine Aktivierung bestimmter Nervenzellen im Frontal- und Parietallappen im Kortex auslöst, die als Spiegelneuronen bekannt sind. Rizzolatti und Craighero (2004) beobachteten in Tierversuchsreihen an Affen, dass die Spiegelneuronen nur bei der Bewegungsbeobachtung aktiviert werden und die Repräsentation von Bewegungen im PMC stattfindet. Dem PMC wird wiederum ein großer Anteil beim Timing einer kortikalen Netzwerkaktivität zugesprochen (Ducque, Labruna, Verset, Olivier & Ivry, 2012; Kroeger et al., 2010). Frühere Arbeiten von Rizzolatti et al. (2004) wiesen ebenfalls anhand reiner Beobachtungen auf, dass Spiegelneuronen im PMC aktiv waren (Rizzolatti, Fadiga, Gallese & Fogassi, 1996). Der Übertrag auf den Menschen wurde durch eine weitere Untersuchung mittels Beobachtung von Fingerbewegungen festgestellt (Iacobini et al., 1999).

Das motorische Spiegelneuronensystem wird somit bei der Bewegungsbeobachtung und -ausführung aktiviert und stellt die Basis des Imitationsverhaltens und des motorischen Lernens dar (Ertelt & Binkofski, 2011). Zusammenfassend kann in Anlehnung an Gonzalez-Rosa et al. (2015) sowie Wright, Cormick, Williams & Holmes (2016) festgehalten werden, dass die Beobachtung und die Vorstellung einer motorischen Bewegung dieselben motorischen Areale aktivieren. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird den zwei Therapieformen Bewegungsbeobachtung Training und dem MT ein großer Anteil zum motorischen Lernen beigemessen (Gatti et al., 2013). Das Hauptziel des MT und der Bewegungsbeobachtung ist demnach, die motorische Aktivität (Bewegungsausführung) zu verbessern, indem die Bewegungsvorstellung und die Bewegungswahrnehmung beeinflusst und trainiert werden.

2.5 Neurophysiologische Korrelate bei Rückenschmerzen

Schmerzen im Bereich der Wirbelsäule zeigen eine veränderte sensomotorische Integration mit der Folge einer fehlerhaften Bewegungsteuerung (Haavik & Murphy, 2012). Maladaptive Bewegungsteuerung steht in Relation zu einer Reorganisation des M1, einer gestörten Vorstellungsfähigkeit, einem Kontrollverlust der Lendenwirbelsäule sowie einem Verlust der antizipatorischen Haltungsanpassung (Hashmi et al., 2013; Jacobs et al., 2009; Pijnenburg et al., 2015; Tsao et al., 2008, Tsao, Tucker, Coppieters & Hodges, 2010). CLBP Patienten weisen zudem ein gestörtes Körperschema und einen Verlust der mentalen Rotationsfähigkeit auf (Bray & Moseley, 2011; Moseley, 2008). Im Zusammenhang mit der mentalen Rotation konnten Bray und Moseley (2011) bei CLBP Patienten eine reduzierte Genauigkeit der Links-Rechts-Diskrimination des Rumpfes beobachten. Um die Links-Rechts-Diskrimination beurteilen zu können, wurde die Software „Recognise“ (vgl. Bray & Moseley, 2011) entwickelt. Diese Software spielt u. a. 56 Bilder eines rotierten männlichen Rumpfes in verschiedenen Positionen randomisiert ab. Jeweils 28 Bilder bilden eine Rotationsrichtung ab. Die Links-Rechts-Diskrimination unterliegt wiederum der mentalen Rotation. Darunter versteht man die Fähigkeit, räumliche Informationen durch Bilder von Extremitäten bzw. vom Rumpf in unterschiedlichen Links-, Rechts- und Rotationsstellungen mental zu präsentieren und diese Repräsentation durch eine formgerechte Drehung zu transformieren (Shepard & Metzler, 1971). Diese Querschnittsstudie untersuchte 14 rückenschmerzfreie Probanden sowie 21 CLBP Patienten. Eine Besonderheit lag in der Unterteilung der Rückenschmerzgruppe in der Präsentation einseitiger und beidseitiger Rückenschmerzen. Zum einen erfolgte die Links-Rechts-Diskrimination der Hand an 40 unterschiedlichen Fotografien, die in erster Linie eine Kontrollfunktion besaßen. Der eigentliche Untersuchungszweck der Probanden bestand in der Links-Rechts-Diskrimination des Rumpfes.

Die Ergebnisparameter bestanden aus der Genauigkeitsbeurteilung und den korrekten Antworten der beurteilten Fotos in Prozent und der dafür benötigten Reaktionszeit. Die Ergebnisse zeigten in Bezug auf die Reaktionszeit keine Unterschiede bei den Teilnehmern. Bei der Genauigkeit konnten bei CLBP Patienten mit beidseitigen Rückenschmerzen im Vergleich zur einseitigen LBP Gruppe und zur Kontrollgruppe signifikant mehr Fehler bei der Links-Rechts-Diskrimination des Rumpfes beobachtet werden.

Bei CLBP Patienten mit beidseitigen Rückenschmerzen lag die Genauigkeit durchschnittlich bei 53,4 % (44,5–62,3 %), bei der einseitigen bei 67,2 % (60,2–74,1 %). Die rückenschmerzfreien Probanden zeigten mit 87 % (75–98 %) eine niedrigere Fehlerquote. Die Autoren (Bray & Moseley, 2011) stellten fest, dass die prozentuale Genauigkeit in der Kontrollaufgabe in den drei Gruppen bei etwa 83 % lag. Wie schon in älteren Arbeiten schlussfolgerten sie, dass CLBP mit einem veränderten Körperschema einhergehen (Moseley et al., 2005, 2008). Die gleiche Empfehlung geht aus einer Übersichtsarbeit von Ravat et al. (2019) hervor.

In weiteren Arbeiten konnte beobachtet werden, dass Bewegungsvorstellungen bei alltagsbezogenen Aktivitäten bei CLBP Patienten mit den bekannten Bewegungsvorstellungsassozierten Hirnaktivitäten übereinstimmen, die ein vorderes parietales Netzwerk und subkortikale Strukturen wie den Thalamus umfassen (Hétu et al., 2013; Lotze & Halsband, 2006; Vrana et al., 2015).

Geschlussfolgert wurde, dass CLBP Patienten die Fähigkeit beibehalten, imaginierte Bewegungen abzurufen, jedoch im Vergleich zu rückenschmerzfreien Probanden auf eine höhere kortikale Rekrutierung zurückgreifen müssen, um eine imaginierte Bewegung auszuführen (Vrana et al., 2015). In Anbetracht der Studienergebnisse kann eine Vielzahl von Fragen abgeleitet werden, beispielsweise, inwieweit sich CLBP auf die zeitliche Durchführung einer Bewegungsvorstellung in Relation zu einer aktiven Bewegung auswirken. Um dieser Frage intensiver nachzugehen, wird im folgenden Abschnitt die zeitliche Operationalisierung von Bewegungsvorstellungen in Form der MC erläutert.

2.6 Zusammenfassung

Gezielte Bewegungsvorstellungen rufen motorische Repräsentation im Arbeitsspeicher ab, ohne dass es zu einer tatsächlichen Bewegung kommt. Gezielte Bewegungsvorstellungen verbessern die motorische Aktivität (Bewegungsausführung), indem Bewegungsvorstellung und Bewegungswahrnehmung beeinflusst und trainiert werden. Bei den verschiedenen Ansätzen der Bewegungsvorstellungen zeigen sich allerdings Unterschiede in der Qualität und kortikaler Aktivierungsmuster. Der Ansatz aus der Ich-Perspektive beinhaltet die kinästhetische Repräsentation, welche die motorische Simulation des eigenen Körpers hervorruft.

Der kinästhetische Ansatz, welcher aus der Ich-Perspektive durchgeführt wird, scheint eine höhere neuronale Aktivierung sensomotorischer Areale hervorzurufen als aus der Perspektive der dritten Person.

Bei der Bewegungsvorstellung aus Sicht der dritten Person wird unter Mithilfe von Videoaufzeichnungen versucht, Bewegungsvorstellungen zu entwickeln. Der Einsatz gezielter imaginierten Bewegungen bei CLBP erscheint sinnvoll, da Rückenschmerzpatienten zwar ihre Fähigkeit beibehalten, imaginierte Bewegungen auszuführen, jedoch im Vergleich zu rüchenschmerzfreien Probanden auf eine höhere kortikale Rekrutierung zurückgreifen müssen, um Bewegungsvorstellungen abzurufen. Allerdings können anhand der bisherigen Untersuchungen keine Rückschlüsse auf die mentale Chronometrie, welche im folgenden Kapitel beschrieben wird erfolgen.

3 Theorie und Empirik zur mentalen Chronometrie

Die mentale Chronometrie (MC) wurde im 19. Jahrhundert von Frans C. Donders (1868) geprägt und beschreibt einen Forschungsansatz innerhalb der Kognitionspsychologie. Die MC hat zum Forschungsgegenstand wie menschliche Denkprozesse zu messbaren Ereignissen im Gehirn verknüpft werden.

Die MC misst den zeitlichen Verlauf von mentalen Abläufen im menschlichen Nervensystem – organisiert und aufeinander abgestimmt (Posner, Nissen & Ogde, 1978). Die zeitliche Übereinstimmung von imaginärem und aktiv ausgeführtem Ablauf wird verglichen und daraus Rückschlüsse gezogen auf den Zusammenhang zwischen Bewegungsvorstellung, -vorbereitung und -programmierung (Guillot & Collet, 2005). Decety, Jeannerod & Prablanc (1989) zeigten als bereits frühzeitig in Experimenten, dass eine zeitliche Übereinstimmung zwischen Bewegungsvorstellung und -ausführung besteht. Im Fokus stand die imaginäre und reale Durchführung verschiedener Gehstrecken (5, 10 und 15 Meter). In folgenden Untersuchungen wurde ersichtlich, dass eine Veränderung der Fortbewegungsbedingungen unterschiedlichen Einfluss auf die Übereinstimmung hat (Cerritelli, Maruff, Wilson & Currie, 2000). Die Mitnahme eines 25-Kilogramm-Gewichts lässt beispielsweise eine imaginierte Bewegungsausführung länger erscheinen als die aktiv durchgeführte Bewegung (Cerritelli et al., 2000), während aufwärts oder abwärts führende Strecken wiederum exakt mental simuliert werden können (Courtine, Papaxanthis, Gentili, & Pozzo, 2004). Entscheidend bei der MC sind Faktoren wie die Dauer einer imaginierten Bewegung, Schwierigkeitsgrad, Bewegungserfahrung, Bewegungsvertrautheit und Ausgangsstellung (Decety, Jeannerod, Germain & Pastene, 1991; Decety & Lindgren, 1991; Jeannerod & Frak, 1999; Guillot, Haguenaer, Dittmar & Collet, 2005). Aus einer Übersichtsarbeit von Guillot und Collet (2005) ging hervor, dass gesunde Probanden bei Aufgabenstellungen mit niedrigem Anforderungsprofil geringere imaginäre Durchführungszeiten im Vergleich zu tatsächlich durchgeführten Bewegungen aufweisen. Im engeren Sinne bewältigen sie einige Aufgabenstellungen imaginär schneller.

Die folgenden Kapitel beschäftigen sich schwerpunktmäßig mit Ergebnissen zeitlicher Äquivalenzen imaginärer und aktiver Bewegungen und vermitteln den aktuellen Wissensstand der MC bei Sportlern, gesunden und CLBP Patienten.

3.1 Mentale Chronometrie bei Gesunden und Sportlern

Die Durchführung einer motorischen Handlung setzt eine interne Repräsentation voraus (Meyer & Hermann, 2011). Im weiteren Sinne versteht sich die Bewegungsregulation als informationeller Prozess: Dieser bezieht die Entstehung und die Verwertung interner Bewegungsrepräsentation sowie die jeweils aktuellen Vergleichsprozesse und Korrekturinformationen als Teilprozesse der Informationsorganisation mit ein (Metoui, 2005; Schnabel, 2008).

So kam Parsons (1994) zu dem Ergebnis, dass imaginierte Bewegungen stark mit den Bewegungsprogrammen korrespondieren. Dabei ist es von Bedeutung, dass je sicherer und automatisierter eine Bewegung beherrscht wird, desto geringer die Abweichung des mental nachvollzogenen Bewegungsablaufs im Vergleich zur realen Ausführung ist. Automatisierte Bewegungen mit niedrigem Anforderungsprofil – wie beispielsweise Schreiben und Greifen – zeigen enge zeitliche Überschneidungen mit der Bewegungsvorstellungen. Beeinflussende Faktoren der Genauigkeit bei imaginierten Bewegungen liegen in der mentalen Stimulation (Guillot & Collet, 2005).

Decety und Michel (1989) zeigten, dass die zeitliche Organisation einer imaginierten Bewegung zu einer aktiven Bewegung in vergleichbaren zentralen Planungsprozessen involviert ist. Watson und Rubin (1996) untersuchten die zeitlichen Charakteristiken des Zeichnens einer Linie. Dabei konnten vergleichbare Durchführungszeiten einer imaginierten zu einer aktiven Zeichnung beobachtet werden (Papaxanthis, Schieppati, Gentili & Pozzo, 2002; Watson & Rubin, 1996). Eine weitere Erkenntnis bestätigt, dass sich zeitliche Charakteristiken einer imaginären Aufgabenstellung – erneut exemplarisch beim Schreiben und Greifen – bei Gesunden nicht unterscheiden (Guillot & Collet, 2005). Zyklische Aktivitäten wie das Laufen in Richtung eines Ziels zeigen bei der aktiven Durchführung zu imaginierten Bewegungen vergleichbare Zeiten (Decety et al., 1989; Papaxanthis, Schieppati, Gentili & Pozzo, 2002). Die Dauer einer imaginierten und tatsächlichen Aktion eines 500-Meter-Skatingsprint-Athleten kam der persönlichen Bestleistung jedes Teilnehmers mit Zeiten zwischen 35 und 38 Sekunden sehr nahe (Oishi, Kasai & Maeshima, 2000). Die Athleten erhielten vorab die Anweisung, dass sie sich während der aktiven und imaginierten Durchführung in einen realen Wettkampf hineinzusetzen. Generell zeigen sich bei zyklischen Bewegungen wie dem Gehen, Skaten, Pedalo oder Rudern vergleichbare Zeiten der imaginierten und aktiven Durchführung (Barr & Hall, 1992; Munzert, 2002).

Das sichert die Hypothese, dass Bewegungsvorstellungen nicht in vollem Umfang in Abhängigkeit zur prämotorischen Planung stehen (Jeannerod, 1994), sondern in den Programmierprozess selbst einbezogen werden können. Diese konvergenten Ergebnisse unterstützen auch die funktionelle Äquivalenz zwischen Bewegungsvorstellungen und der Vorbereitung einer motorischen Handlung (Mellet, Tzourio, Denis & Mazoyer, 1998). Eine steigende Aufgabenschwierigkeit steht ebenfalls im Verhältnis zu einer Zunahme der imaginierten Durchführungszeiten (Pylyshyn, 1981; Richman, Mitchell & Reznic, 1979).

Decety et al. (1989) fanden in Übereinstimmung mit Fitts' Gesetz (1954) heraus, dass sich die imaginierte Bewegungszeit in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit linear erhöht. Das Fitts' Gesetz besagt, dass ein logarithmischen Zusammenhang zwischen der Schwierigkeit einer Bewegung und der Ausführungsgeschwindigkeit besteht. Dies wird anhand des folgenden Beispiels deutlich: Je kleiner eine Zielfläche ist, desto anstrengender gestaltet sich die Bewegungsaufgabe und desto langsamer fällt die Bewegungsausführung aus. Der Zeitfaktor, den eine Person benötigt, um eine solche Bewegungsaufgabe gedanklich zu vollziehen, korrespondiert dabei mit der eigentlichen Ausführungszeit. Der Zeitfaktor kann somit ein Gradmesser für die Qualität des tatsächlichen Bewegungsvollzugs sein (Fitts, 1954). Dieser Befund wurde von Decety (1996) mittels einer imaginierten Aufgabenstellung bestätigt. Sie zeigten, dass die benötigte Zeit um imaginär durch ein Tor zu laufen, von der Entfernung des Tores, seinem Startpunkt und seiner Breite beeinflusst wird. Der Zeitfaktor nahm somit in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit zu (Jeannerod & Frak, 1999). Daneben wirken sich auch externe Belastungen auf die imaginären Prozesse aus (Decety & Boisson, 1990). Decety et al. (1989) zeigten, dass sich die Dauer der imaginären Strecke im Vergleich zur tatsächlichen Strecke bei Personen, die einen 25 Kilogramm schweren Rucksack trugen, signifikant zunahm (> 30 %). Ebenso konnten bei technisch oder taktisch anspruchsvollen Bewegungen wie Badmintonspielen (Munzert, 2008) und Bodenturnen (Calmels & Fournier, 2001) zeitliche Abweichungen zwischen aktiver und imaginierter Bewegungsausführung beobachtet werden. Die Abweichungen werden in erster Linie damit begründet, dass die Bewegungsausführung und -vorstellung durch unterschiedliche Faktoren miteinander korrelieren.

Primär liegt der Erklärungsansatz darin begründet, dass bei komplexen azyklischen Bewegungen - wie einem Ballwechsel im Badminton - die Teilkomponente keine relevante Größe darstellt. Ein Ballwechsel ist in erster Linie von der Reaktion auf die gegnerischen Schläge geprägt, jede Spielsituation stellt eine neue Anforderung dar.

Deshalb weist die Dauer imaginerter Ballwechsel im Vergleich zu den tatsächlich gespielten einen geringeren Zeitaufwand auf (Munzert, 2008). Der Vorgang der reduzierten imaginierten Durchführung wurde bei gymnastischen Turnübungen damit begründet, dass diese vor dem Wettkampf nochmals zur Einstimmung oder Beruhigung abgelaufen und daher zeitlich komprimiert werden (Calmels & Fournier, 2001).

Allgemein ist davon auszugehen, dass imaginierte Durchführungszeiten im Vergleich zur tatsächlichen mit der Aufgabenkomplexität ansteigen. Ebenfalls wirkt sich eine steigende Expertise des entsprechenden Sportlers positiv auf die MC aus (Reed, 2002). Auch die Art der Körperhaltung im Raum wirkt sich auf die Links-Rechts-Diskrimination und die Qualität imaginerter Bewegungen aus (Conson, Mazzarella & Trojano, 2011; Lorey et al., 2009; Saimptom, Malouin, Tousignant & Jackson, 2012). Beispielsweise konnte bei der Links-Rechts-Diskrimination von rotierten Händen gezeigt werden, dass sich Reaktionszeiten verkürzen, wenn sich die eigenen Hände in einer vergleichbaren Körperhaltung befinden (Conson et al., 2011; Florio et al., 2007; Lorey et al., 2009; Parsons, 1994; Shenton, Schwoebel & Coslett, 2004; Sirigu & Duhamel, 2001). Darauf aufbauend ließ sich in Bezug zum Alter beobachten, dass jüngere und ältere Probanden im Allgemeinen eine vergleichbare MC bei einfachen Bewegungen, wie dem Gehen von kurzen Strecken aufweisen (Schott & Munzert, 2007; Skoura, Papaxanthis, Vinter & Pozzo, 2005). In Kontrast dazu zeigten jüngere Probanden bei komplexere Bewegungen - dem Gehen auf schmalen oder langen Strecken - eine zeitliche Übereinstimmung von imaginierten Bewegungen im Vergleich mit aktiven Bewegungen (Personnier, Kubicki, Laroche & Papaxanthis, 2010; Schott & Munzert, 2007).

Saimpont et al. (2012) gingen in ihrer Arbeit der Frage nach, inwieweit sich die Körperhaltung auf die MC beim Gehen von drei und sechs Metern auswirkt. Sie untersuchten an zwei Gruppen im unterschiedlichen Altersspektrum, inwieweit sich die sitzende oder stehende Körperhaltung auf die MC auswirkt. Die Ergebnisse zeigten, dass die imaginierten Durchführungszeiten des Gehens im Stand kürzer und näher an den tatsächlichen Zeiten sind im Vergleich zur sitzenden Position.

Vergleichbare Ergebnisse konnten auch an den oberen Extremitäten beobachtet werden (Conson et al., 2011; Florio et al., 2007; Funk, Brugger & Wilkening, 2005; Lorey et al., 2009; Papaxanthis, Schieppati, Gentili & Pozzo, 2002). Ältere und jüngere Probanden präsentierten vergleichbare Ergebnismuster. Daraus wurde abgeleitet, dass die Integration der Körperhaltung während der Bewegungsvorstellung des Gehens bei gesunden Personen nicht durch das Alter beeinflusst wird (Conson et al., 2011; Lorey et al., 2009; Saimpont et al., 2012).

3.2 Mentale Chronometrie bei Rückenschmerzpatienten

Die Forschungsgruppe rund um La Touche et al. (2019) ging in ihrer Untersuchung der Frage nach, ob Patienten mit CLBP eine längere Zeit zur Generierung visueller und kinästhetischer Bewegungsvorstellungen benötigen. Die Studie wurde an 100 CLBP Patienten und an 100 asymptomatischen Probanden durchgeführt. Anhand der Items des MIQ-Fragebogens (vgl. Anhang 2) wurde die Zeit der kinästhetischen und visuellen Vorstellungsfähigkeit ermittelt. Beim MIQ-R handelt es sich um einen Fragebogen mit acht Items zur Beurteilung der visuellen und kinästhetischen Bewegungsvorstellung. Der MIQ-R ist eine überarbeitete Version des MIQ (Hall & Martin, 1997). Er enthält im Gegensatz zum MIQ jeweils vier visuelle (Anheben des rechten Beins, Bewegen des Arms, Springen in die Luft, Inklination der Lendenwirbelsäule) und vier kinästhetische Items (Anheben des rechten Beins, Bewegen des Arms, Springen in die Luft, Inklination der Lendenwirbelsäule). Zu jedem Item lasen die Teilnehmer eine Beschreibung der Bewegung. Anschließend führten sie die Bewegung physisch aus und wurden angewiesen, nach Beendigung der Bewegung und vor der imaginierten Bewegung, die darin bestand, sich die Bewegung visuell oder kinästhetisch vorzustellen, die Ausgangsposition erneut einzunehmen. In der Untersuchung erfolgte eine Modifikation der Items 2 und 5, die einen kleinen Sprung beinhalteten. Die Sprungform wurde auf das einfache Stehen auf Zehenspitzen angepasst.

Diese Variable wurde modifiziert, um mögliche unerwünschte Wirkungen, die die Symptome der Probanden verschlimmern könnten, zu reduzieren, da der verwendete Fragebogen für asymptomatische Probanden konzipiert wurde. Die Zeiterfassung der unterschiedlichen Aufträge zur Bewegungsvorstellung erfolgte durch den Probanden selbst mittels Stoppuhr.

Die Ergebnisse zeigten, dass CLBP Patienten im Vergleich mit asymptomatischen Probanden signifikant längere Durchführungszeiten bei den kinästhetischen ($p \leq .05$, $d = 0,76$) und den visuellen MIQ-Scores aufwiesen ($p \leq .05$, $d = 0,57$). Bei den CLBP Patienten konnte ein signifikanter Unterschied in der Zeiterfassung sowohl bei der kinästhetischen ($p \leq .05$, $d = -0,68$) als auch bei der visuellen Vorstellungsarbeit ($p \leq .05$, $d = -0,86$) ermittelt werden. Darüber hinaus wiesen CLBP Patienten einen negativen Zusammenhang zwischen der Fähigkeit, visuelle Motorbilder zu erzeugen, und der Angst vor Aktivität auf ($p \leq .05$).

Pijnenburg et al., (2015) zeigten, dass Patienten mit CLBP im Vergleich zu rücken-schmerzfreien Patienten signifikant mehr Zeit für aktive Bewegungen (Hinsetzen- und wieder aufstehen) benötigen ($p \leq .05$). Mittels fMRT konnte eine Abnahme der funktionellen Konnektivität zwischen den verschiedenen kortikalen Bereichen, die am Prozess der sensomotorischen Integration beteiligt waren, beobachtet werden. Weitere Ergebnisse zur MC bei CLBP Patienten wurden durch eine Untersuchung vom Autor selbst generiert (Kaminski, Hoppe & Freiwald, 2015). Sie erfolgte an einer Stichprobe von acht CLBP Patienten und neun rücken-schmerzfreien Probanden. Die durchschnittliche Schmerzintensität der CLBP Patienten, die mittels Visuelle-Analog-Skala erfasst wurde, lag bei $5,9 \pm 1,3$. Die zu untersuchenden Bewegungen für die zeitlichen Unterschiede der MC bestand aus alltagsnahen Bewegungsabläufen (vgl. Tabelle 2). Bei den CLBP Patienten zeigten sich bei allen alltagsnahen Bewegungen signifikante Unterschiede ($p \leq .01$) der MC beobachtet, die mittels kinästhetischen Ansatzes erfasst wurden.

Tabelle 2: MC Ergebnisse, Aktiv versus Imaginär der CLBP Patienten (Kaminski et al., 2015)

Gruppe	CLBP Patienten (n=8)		
Testbewegungen	Aktive Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	p-Wert
1. Inklination der LWS (Stand)	4,2 ± 0,8	7,0 ± 2,0	**
2. Inklination der LWS (Sitz)	3,6 ± 0,7	6,9 ± 2,1	**
3. Reklination der LWS (Stand)	4,2 ± 1,4	5,8 ± 1,9	*
4. Reklination der LWS (Sitz)	4,2 ± 0,1	6,0 ± 2,5	**
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	5,0 ± 0,8	8,4 ± 2,6	**
7. Sockentest (Sitz)	2,7 ± 0,6	6,0 ± 3,2	*
8. Sockentest (Stand)	3,5 ± 0,9	6,9 ± 2,7	**
9. Kniebeuge (Stand)	3,2 ± 0,5	6,6 ± 2,5	*

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, CLBP Patienten = Rückenschmerzpatienten.

Eine weitere Erkenntnis war, dass CLBP Patienten signifikant höhere imaginierte Durchführungszeiten ($p \leq .01$) bei den alltagsnahen Bewegungen aufwiesen als die rückenschmerzfreen Probanden (vgl. Tabelle 3). Allerdings mussten die ersten Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobe und dem fehlenden Wissen, ob die imaginierten Bewegungen über eine ausreichende Reliabilität verfügt, mit Einschränkungen berücksichtigt werden.

Tabelle 3: Vorstellungszeiten (imaginäre Zeit) CLBP versus Kontrollgruppe/ (Kaminski et al., 2015)

Gruppe	CLBP Patienten (n=8)	Rückenschmerzfreie Probanden (n=9)	
Testbewegungen	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	p-Wert
1. Inklination der LWS (Stand)	7,0 ± 2,0	3,5 ± 1,7	**
2. Inklination der LWS (Sitz)	6,9 ± 2,1	2,9 ± 0,8	**
3. Reklination der LWS (Stand)	5,8 ± 1,9	3,1 ± 1,2	**
4. Reklination der LWS (Sitz)	6,0 ± 2,5	2,9 ± 0,8	**
5. Rückenlage in den Lang- sitz im Liegen	8,4 ± 2,6	4,3 ± 2,4	**
7. Sockentest (Sitz)	6,0 ± 3,2	3,0 ± 1,1	*
8. Sockentest (Stand)	6,9 ± 2,7	3,7 ± 1,2	**

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, CLBP Patienten = Rückenschmerzpatienten.

Tagliazucchi, Balenzuela, Fraiman & Chialvo (2010) kamen zu dem Ergebnis, dass das Vorhandensein von anhaltenden Schmerzen zu Veränderungen auf kortikaler Ebene führt, was eine erhöhte Aktivität von Netzwerken im Standardmodus verursacht. Dieser Prozess führte zu Anpassungsvorgängen funktionaler Zusammenhänge bei der motorischen Planung und Ausführung. Die Autoren (Tagliazucchi et al., 2010) gingen davon aus, dass CLBP zu Veränderungen in der Eingabe, Integration und Verarbeitung der Informationen führen, welche die Fähigkeit zur Erzeugung motorischer Bilder beeinträchtigen. Weitere Untersuchungen weisen auf den Einfluss psychologischer Faktoren bei der Erzeugung motorischer Bilder hin. Psychosoziale Variablen spielen eine entscheidende Rolle im Prozess der chronischen Schmerzen (Hashmi et al., 2013). CLBP Patienten leiden aufgrund anhaltender Schmerzen unter Katastrophisierung, Kinesiophobie und Angstvermeidungsverhalten (Crombez, Vervaet, Lysens, Baeyens & Eelen, 1998; Moseley et al., 2004). Auch La Touche et al. (2019) konnten bei CLBP Patienten statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die Kinesiophobie im Vergleich mit asymptomatischen Teilnehmern ($p \leq .01$) beobachten.

Diese präsentierten ebenfalls eine negative Korrelation hinsichtlich der Fähigkeit, sowohl kinästhetische ($p \leq .05$) als auch visuelle Bewegungsbilder ($p \leq .05$) zu erzeugen.

3.3 Zusammenfassung

Die MC dient zum Abgleich von Reaktionszeiten zwischen imaginierten und aktiven Bewegungen, um Rückschlüsse auf die Bewegungsvorstellung, -vorbereitung und -programmierung zu ziehen. Grundlegend lassen sich Unterschiede bei der MC bei gesunden Probanden, Sportlern und Rückenschmerzpatienten beobachten. Gesunden und Sportlern zeigen bei der Durchführung von zyklischen - und Alltagsbewegungen im Vergleich zu Bewegungen mit hohem Anforderungsprofil vergleichbare Zeiten der MC. Die Erkenntnisse der vergleichbaren MC von alltagsnahen Bewegungen bei gesunden Probanden und Sportlern führten zu der übergeordneten Frage, inwieweit sich CLBP auf die MC von Alltagsbewegungen auswirkt. Eine vorbereitende Pilotstudie des Autors zeigte, dass CLBP Patienten signifikante Unterschiede der MC von alltagsnahen Bewegungen aufweisen. Der Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten von alltagsnahen Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten zeigte signifikant längere imaginierte Durchführungszeiten bei CLBP Patienten.

In Bezug auf die unterschiedlichen Ansätze der Bewegungsvorstellung konnten andere Autoren signifikant längere Durchführungszeiten beim kinästhetischen Ansatz im Vergleich zum visuellen Ansatz bei CLBP Patienten ermitteln. Die ersten Untersuchungsergebnisse der MC an CLBP Patienten lassen die Annahme zu, weitere Untersuchungen durchzuführen, um die bisherigen Ergebnisse der MC mit einer größeren Stichprobe sicherzustellen. Darauf aufbauend sollte die Reliabilität imaginierter alltagsnaher Bewegungen sowie die Wirksamkeit des mentalen Trainings bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten überprüft werden.

4 Mentales Training

Die Definitionen des mentalen Trainings (MT), die in den verschiedenen gesundheitswissenschaftlichen Disziplinen verwendet werden, sind inkonsistent. In der Literatur finden sich folgende Arbeitsdefinitionen:

1. Unter mentalem Training ist die planmäßig wiederholte und bewusst durchgeführte Vorstellung einer Bewegung oder Handlung ohne deren gleichzeitige praktische Ausführung zu verstehen (Eberspächer, 2001). In der Regel kommen die sprachlich-symbolischen Ansätze, die räumlich-bildhaften in Form einer Bewegungsbeobachtung und die kinästhetischen Ansätze zur Anwendung (siehe Kapitel 2.3.5 und 2.3.6).
2. Das stufenförmige MT (engl. guided motor imagery) beinhaltet die Erzeugung unterschiedlicher mentaler Bilder unter Berücksichtigung des räumlich-bildhaften und des kinästhetischen Ansatzes (Bowering et al., 2013).

Im Gegensatz zum oben beschriebenen MT wird das stufenförmige MT mit dem Spiegeltraining und der Links-Rechts-Diskrimination kombiniert (Bowering et al., 2013; Bray & Moseley, 2011; Wittkopf & Johnson, 2017).

4.1 Wirksamkeit des mentalen Trainings

Die unterschiedlichen Varianten des MT werden in mehreren Untersuchungen in Relation zum Körperschema gesetzt (Bowering et al., 2013; Vrana et al., 2015). Mit seiner Repräsentation im S1 und S2 der parietalen Hirnrinde ermöglicht das Körperschema den subjektiven Gesamteindruck für die Stellung des Körpers im Raum (Birbaumer & Schmidt, 2010). Wie bereits in Kapitel 2.5 thematisiert, setzt die optimale Präsentation des Körperschemas das Paradigma der mentalen Rotation von Shepard und Metzler (1971) voraus. Demnach ermöglicht die mentale Rotation die Fähigkeit, räumliche Informationen in diesem Fall durch Bilder von Extremitäten bzw. vom Rumpf in unterschiedlichen Links-, Rechts- und Rotationsstellungen mental zu präsentieren und diese Repräsentation durch eine formgerechte Drehung zu transformieren (Shepard & Metzler, 1971).

Bei Rückenschmerzpatienten wurden in der Vergangenheit in mehreren Hirnregionen kortikale Reorganisationsprozesse beobachtet (Flor et al., 1997; Marcuzzi, Dean, Wrigley & Hush, 2015; Meier et al., 2018, Meier, Vrana & Schweinhardt, 2019). Rückenschmerzpatienten zeigen eine erhöhte Erregbarkeit des primären motorischen Kortex un der PPT auf, welche in Abbildung 5a und 5b schematisch dargestellt wird (Flor, Diers & Andoh, 2013; Meier et al., 2019; Poreisz et al., 2008; Volz et al., 2015, 2015 b). Andererseits lassen sich die erhöhte Erregbarkeit des M1 und die PTT nachweislich durch imaginierte Prozesse positiv verändern (vgl. Abbildung 6) (Beinert et al., 2015; Volz et al., 2013, 2015).

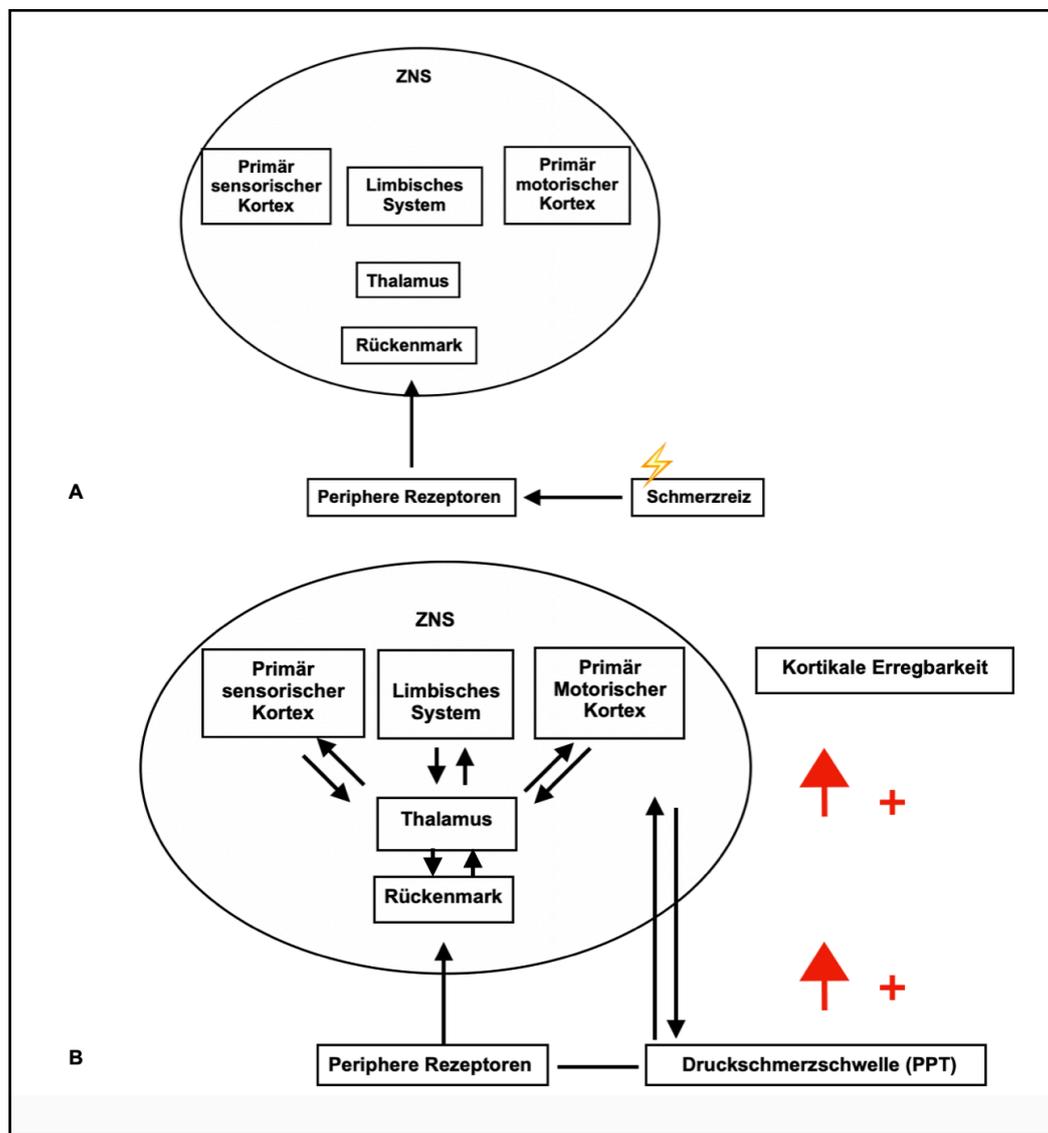


Abbildung 5: Zusammenhänge zwischen der Schmerzwahrnehmung und einer erhöhten Erregbarkeit des motorischen Kortex. **A:** Zusammenhänge der Schmerzwahrnehmung und der Erregbarkeit des motorischen Kortex. **B:** Zusammenhänge der Schmerzwahrnehmung und die Folgen im Sinne einer erhöhten kortikalen Erregbarkeit des motorischen Kortex und Abnahme der PPT. Modifiziert nach Flor et al., 2003; Volz et al., 2015.

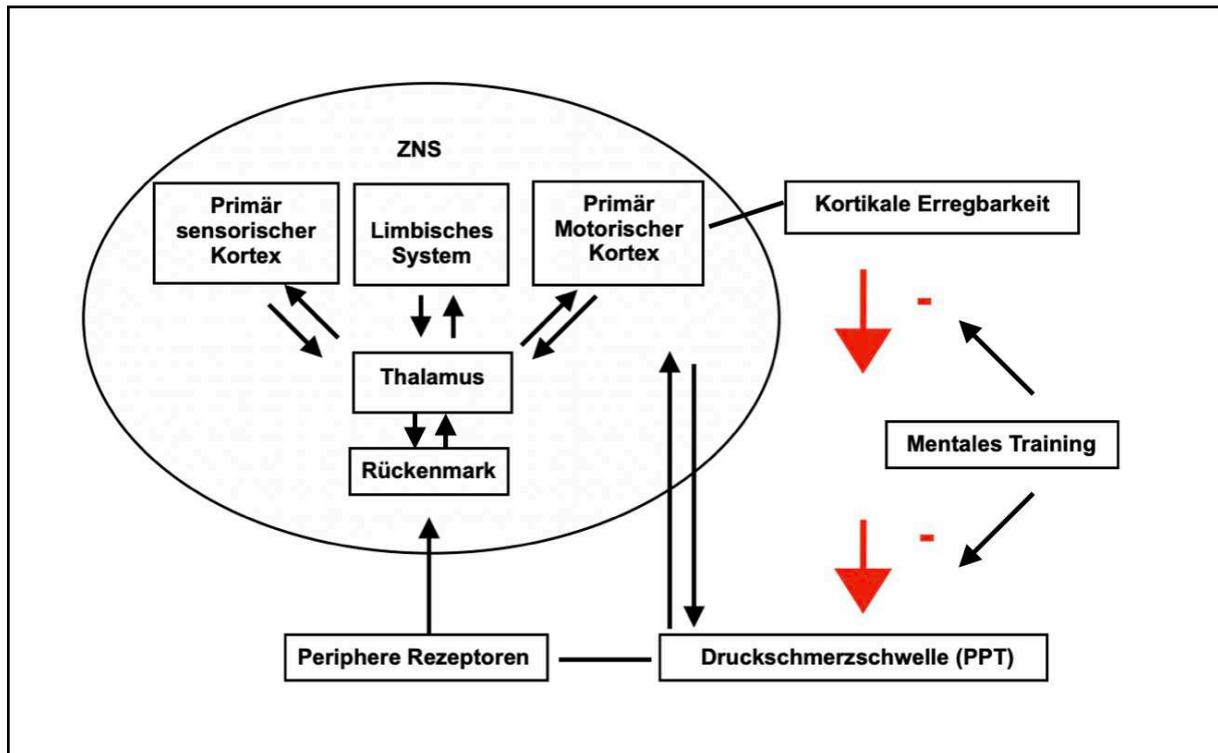


Abbildung 6: Zusammenhänge, wie mentales Training die PPT und die Erregbarkeit des motorischen Kortex verändern. Modifiziert nach Flor et al., 2003; Volz et al., 2015.

Die mentalen Bilder werden in der Regel mit dem Ziel visualisiert, einen Zustand der Entspannung zu erreichen. Das MT führt so unter anderem zur positiven Beeinflussung der motorischen Kontrolle und zur Schmerzlinderung (Gatti et al., 2013; Volz et al., 2015). MT wird als effektive Behandlung von Schmerzen bei unterschiedlichen Pathologien, wie dem komplexen regionalen Schmerzsyndrom, neurologischen und rheumatischen Erkrankungen vorgeschlagen (Giacobbi et al., 2015; Johnson et al., 2012; Moseley et al., 2004). Bei Schlaganfallpatienten mit Beeinträchtigung des Arms verbesserte sich durch MT die Griffkraft der gelähmten Hand (Sun, Wei, Luo, Gan & Hu, 2016). Darüber hinaus werden dem MT ein positiver Einfluss auf die Regulation des Immunsystems zugesprochen (Engert, Kok, Papassotiriou, Chrousos & Singer, 2017; Ernst et al., 2005). Weitere Arbeiten generierten Ergebnisse, die einen positiven Effekt auf das neuroendokrine System bestätigen (Chen et al., 2010; Finestone, Alfeeli & Fisher, 2008). Zur besseren Einschätzung der Effekte des MT folgt im nächsten Kapitel eine Übersicht zur Wirksamkeit des MT bei muskuloskelettalen Beschwerdebildern.

4.2 Wirksamkeit des mentalen Trainings bei muskuloskelettalen Beschwerdebildern

Die Anwendungen des MT bei muskuloskelettalen Schmerzsyndromen und deren Effekte haben in den vergangenen Jahren enormes Interesse geweckt (Beinert et al., 2015; Bowering et al., 2013; Gatti et al., 2013; Moseley et al., 2004; Volz et al., 2015). Neuere Untersuchungen konnten die Wirksamkeit des MT bei Nackenschmerzen ermitteln (Beinert et al., 2015; Heerkens et al., 2018; Suso-Martí, Leon-Hernandez, La Touche, Paris-Alemaný & Cuenca-Martinez, 2019). Beinert et al. (2015) gingen bei Patienten mit chronischen Nackenschmerzen der Frage nach, inwieweit sich neben der Vibrationstherapie Bewegungsvorstellungen mithilfe von kinästhetischem und räumlich-bildhaftem Ansatz auf die Propriozeption mittels Winkelreproduktionstest und der mechanischen Schmerzwahrnehmung (PPT) des Nackenmuskulatur auswirkt. Dazu erfolgte die Ableitung der PPT, die in kg/pro cm² über den Facettenbereich des zweiten Halswirbels und dem Schulterblattheber (M. levator scapulae) gemessen wurde. Die Grundlagen der Intervention waren die Bewegungsvorstellung und -beobachtung der Durchführung des Winkelreproduktionstests (Beinert et al., 2015). Daraus geht hervor, dass der Winkelreproduktionstest in der Untersuchung einerseits als Ergebnisparameter und andererseits als Intervention diente. Der zervikale Winkelreproduktionstest wurde in erster Linie zur Überprüfung der propriozeptiven Qualität des Stellungssinns eingesetzt, der bei Personen mit chronischen Nackenschmerzen nachweislich eingeschränkt ist (Kristjansson et al., 2009; Revel et al., 1994). Die Teilnehmer in der Arbeit von Beinert et al. (2015) erhielten im Vorfeld folgende Instruktionen für die Durchführung der imaginierten Bewegungen (vgl. Abbildung 7):

„Ich sitze aufrecht mit dem Kopf gerade vor der Station und schaue auf eine weiße Tafel mit einem schwarzen Kreuz als Ziel. Der Laser auf meinem Kopf zielt auf das schwarze Kreuz in der Mitte. Ich denke daran, meinen Kopf so weit wie möglich in Rotation nach rechts zu bewegen. Dann kehre ich zum Ausgangspunkt zurück, bis der Laser auf meinem Kopf das schwarze Kreuz genau in der Mitte trifft. Nun stelle ich mir vor, meinen Kopf so weit wie möglich nach links zu drehen, bevor ich meinen Kopf wieder in die Ausgangsposition zurückbringe, bis der Laser wieder auf das schwarze Kreuz genau in der Mitte trifft. Jetzt stelle ich mir vor, meinen Kopf wieder in den Nacken zu legen, um zur Decke zu schauen, danach drehe ich meinen Kopf zurück, bis der Laser das schwarze Kreuz genau in der Mitte trifft. Jetzt stelle ich mir vor, meinen Kopf zu bewegen, bis ich auf den Boden schaue, danach kehre ich mit dem Kopf zurück, so dass der Laser das schwarze Kreuz genau in der Mitte trifft.“

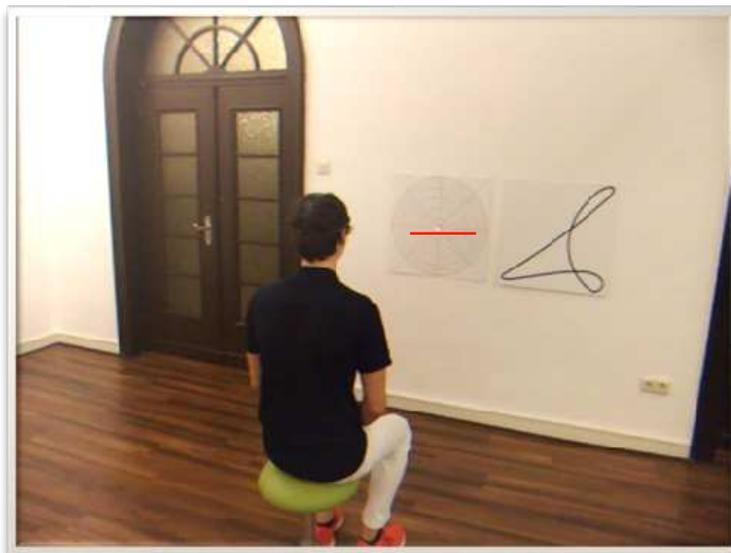


Abbildung 7: Winkelreproduktionstest zur Überprüfung der Propriozeption (Halswirbelsäule).
Quelle: eigene Darstellung.

Weiterführend wurde eine Sitzposition gewählt, in der sich jeder Teilnehmer 45 Sekunden lang die aufgezeichneten Anweisungen vorstellte, mit einer Pause von 15 Sekunden dazwischen. Innerhalb von fünf Minuten wurden fünf Sitzungen durchgeführt. Zur Bewegungsbeobachtung demonstrierte eine Videoaufzeichnung den Winkelreproduktionstest. Der Teilnehmer sah eine Person, die die oben beschriebene Aufgabe des Winkelreproduktionstests der Halswirbelsäule mit Bewegungen in allen Ebenen (Rotation, Inkarnation, Reklamation) durchführte.

Der Teilnehmer wurde angewiesen, drei Serien à 90 Sekunden mit 30 Sekunden Pause dazwischen aufmerksam zu beobachten. Die Ergebnisse in Bezug auf den Stellungssinn mittels Winkelreproduktionstest der Halswirbelsäule zeigten einen signifikanten Effekt durch das MT. In der Arbeit wurde ausschließlich die Winkelreproduktion der Rotation der Halswirbelsäule als Ergebnisparameter ausgewertet.

Die Prä- und Postergebnisse, die am selben Tag ermittelt wurden, zeigten in beiden Gruppen (imaginierten Bewegungen und Bewegungsbeobachtung) einen positiven Effekt auf den Winkelreproduktionstest der Halswirbelsäule im Sinne einer zunehmenden Genauigkeit, die Ausgangsposition der Halswirbelsäule wieder einzunehmen. Der kinästhetische Ansatz ($p \leq .01$) zeigte im Vergleich zur Bewegungsbeobachtung ($p \leq .05$) den größeren Effekt. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch Cuenca-Martínez et al. (2019) in ihrer randomisiert-kontrolliert einfach verblindeten Placebostudie. Zum Vergleich wurden die Veränderungen des Winkelproduktionstests der Halswirbelsäule durch Bewegungsvorstellung und -beobachtung in den vertikalen und horizontalen Ebenen (Inklination, Reklination, Rotation) der Halswirbelsäule untersucht. Als Grundlage für die Bewegungsvorstellungen und die Bewegungsbeobachtung dienten spezifische Übungen der Halswirbelsäule (vgl. Abb. 8). Bei den Ergebnisparametern wurde neben dem sofortigen Interventionseffekt auch der Effekt nach zehn Minuten berücksichtigt.

Daraus konnten weitere Erkenntnisse durch Anwendung der Bewegungsbeobachtung in der vertikalen Bewegungsausmaße gewonnen werden. Es wurden signifikante Verbesserungen der Reklination und der Inklination der Halswirbelsäule im Vergleich zur Placebogruppe beobachtet. Wobei die Verbesserungen der Reklination am Ende der Intervention (nach zehn Minuten) ermittelt wurden; genauso verhielt es sich bei der Inklination durch Bewegungsbeobachtung.

Die Anwendung der Bewegungsbeobachtung zeigte eine größere Verbesserung der Winkelreproduktion der Reklination der Halswirbelsäule als die Bewegungsvorstellungen. Die Ergebnisse der PPT zeigten eine signifikante Zunahme nach der Anwendung des MT. Der Vorher-Nachher-Vergleich der Druckschmerzschwelle ergab einen größeren Effekt zugunsten des kinästhetischen Ansatzes ($4,9 \text{ kg} \pm 1,5 \text{ kg}$ vs. $4,5 \text{ kg} \pm 2,2 \text{ kg}$). Die Autoren schlussfolgerten, dass der verbesserte Stellungssinn sowie die gesteigerte Druckschmerzschwelle der Nackenmuskulatur von der Intervention und nicht unbedingt von Veränderungen des afferenten Inputs abhängig sind (Cuenca-Martínez et al., 2019). Suso-Martí et al. (2019) kamen zu einem gegenteiligen Ergebnis wie Beinert et al. (2015). Sie stellten fest, dass die Bewegungsbeobachtung im Sinne des räumlich-bildhaften Ansatzes im Vergleich zum kinästhetischen Ansatz die effizientere Methode zur Schmerzmodulation bei chronischen Nackenschmerzen ist. Eine randomisierte kontrollierte Studie mit drei Gruppen untersuchte den Effekt der Bewegungsbeobachtung und der imaginierten Bewegungen. Die Probanden der Bewegungsbeobachtung sahen sich zwei Übungen am Laptop an, die typischerweise bei der Behandlung von Patienten mit chronischen Nackenschmerzen eingesetzt werden (vgl. Abbildung 8).

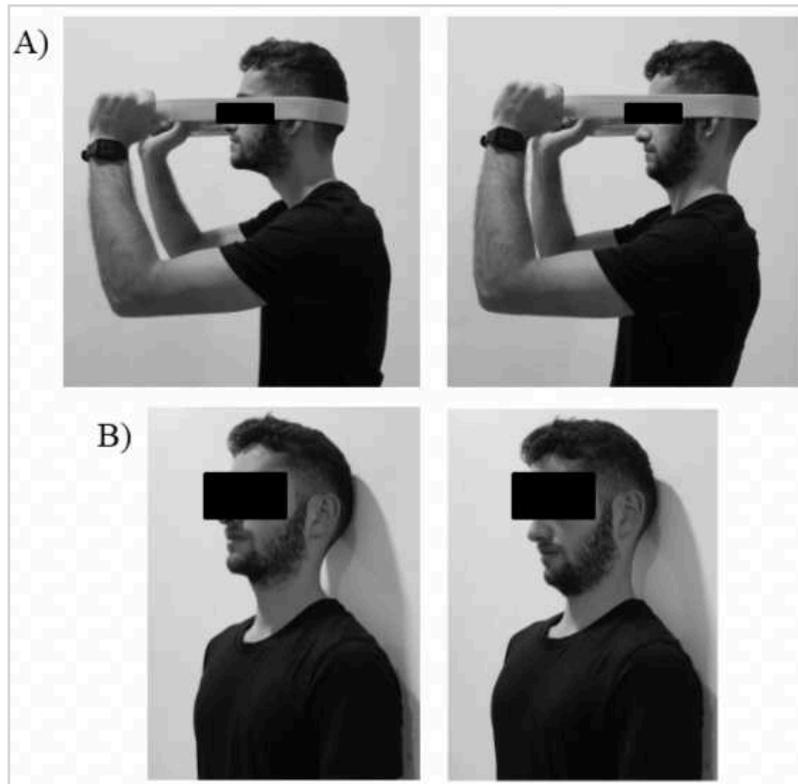


Abbildung 8: Aus „Motor Imagery and Action Observation of Specific Neck Therapeutic Exercises Induced Hypoalgesia in Patients with Chronic Neck Pain: A Randomized Single-Blind Placebo Trial“ von Suso-Martí et al., 2019. Spezifische Übungsinhalte der Studie: (A) Flexion Extensions-Übung: Übung gegen einen Widerstand, (B) Übung für die tiefen Nackenflexoren an der Wand.

Die erste Übung bestand aus einer Bewegung des Kopfes gegen den Widerstand eines elastischen Bandes. Die Bewegung setzte sich aus einer tiefzervikalen Flexion (Beugung) mit hochzervikaler Extension (Streckung) in eine tiefzervikale Extension mit hochzervikaler Flexion (vgl. Abbildung 8 A) zusammen. Bei der zweiten Übung wurde darauf geachtet, dass die zervikale Wirbelsäule während des Sitzens in neutraler Position gehalten und durch die Kontraktion der tiefen Halswirbelsäulenflexoren ein Kopfnicken erzeugt wird (vgl. Abbildung 8 B). Die Übungen dauerten insgesamt eine Minute und wurden jeweils zweimal wiederholt. Die Patienten wurden angewiesen, die Übungen weder aktiv durchzuführen noch sie sich vorzustellen, sondern sie sich nur anzuschauen. Die Durchführung der imaginierten Bewegungen der Probanden erfolgte wie bei Beinert et al. (2015) mit dem kinästhetischen Ansatz. Dazu schauten sich die Probanden zunächst dieselben Übungen an wie die Bewegungsbeobachtungs-Gruppe.

Die Durchführung der Übungen wurde präzise erklärt. Anschließend sollten sich die Patienten die Übungen zweimal jeweils eine Minute lang so lebhaft wie möglich vorstellen. Die Kontrollgruppe schaute sich vier Minuten lang ein Video mit Naturlandschaften an. Die primären Ergebnisparameter bestanden aus der Messung der PPT auf Höhe der Facettengelenke des zweiten und dritten Halswirbels, des rechten und linken M. trapezius pars descendens und am Epicondylus lateralis des nicht dominanten Armes. Die Messung der PPT erfolgte direkt nach der Intervention und zehn Minuten später. Die PPT der Facettengelenke zeigte eine signifikante Zunahme nach der Anwendung der Bewegungsbeobachtungen und -vorstellungen von Nackenübungen. Zudem wurden die Effektstärken nach Cohen (1988) in der Arbeit von Suso-Martí et al. (2019) berechnet. Demnach beschreibt ein Wert $d = 0,2$ einen kleinen Effekt, $d = 0,5$ einen mittleren und ab $0,8$ einen großen Effekt.

Suso-Martí et al. (2019) zeigten in Ihrer Arbeit mittlere Effektstärke bei der Zunahme der PPT zugunsten der Bewegungsbeobachtung. Zu erwähnen ist, dass sich nach zehn Minuten kein signifikanter Unterschied mehr nachweisen ließ. Im Bereich des rechten und linken M. trapezius führten die vorgestellten Übungen und die Bewegungsbeobachtung direkt nach der Intervention zu einer signifikanten Zunahme der Druckschmerzschwelle. Mittlere Effektstärken konnten im rechten M. trapezius bei Bewegungsvorstellung und bei der Bewegungsbeobachtung berechnet werden. Die linke Seite wies mit einer mittleren Effektstärke nach der Bewegungsvorstellungen-Intervention auf. Bei der Bewegungsbeobachtung zeigte sich große Effektstärken. Zehn Minuten nach der Intervention wurde nur noch eine kleine Effektstärke ermittelt werden. Am Epicondylus lateralis des nicht dominanten Armes kam es ausschließlich zu einer signifikanten Zunahme der Druckschmerzschwelle durch die Bewegungsbeobachtung. Die unmittelbare Effektstärke wies einen großen Effekt auf. Zehn Minuten nach der Intervention zeigte sich eine mittlere Effektstärke. Die Kontrollgruppe zeigte als einzige Ausnahme eine Abnahme der Druckschmerzschwelle des Armes (10 Minuten nach der Intervention) und konnte keine signifikanten Unterschiede der Druckschmerzschwelle aufweisen. Ein weiteres Behandlungsfeld MT bei muskuloskelettalen Schmerzsyndromen stellt das komplexe regionale Schmerzsyndrom (CRPS) dar (Johnson et al., 2012; Moseley et al., 2004, 2005). Das CRPS lässt sich in Typ I und Typ II unterteilen (van den Berg, 2008). Das CRPS entsteht nach Traumen an den Extremitäten.

Es verursacht häufig starke spontane und evozierte Schmerzen. Klinisch äußern sich die Symptome durch die Veränderung der Haut, der Hautanhangsgebilde, der subkutanen Strukturen und des Knochens. Außerdem zeigen sich ein ausgeprägtes Ödem in der akuten und subakuten Phase sowie eine Hyperalgesie. Ebenso treten komplexe motorische Störungen wie Parese, Tremor und Dystonie auf. Schmerzen bei CRPS Typ II sind neuropathische Schmerzen, die sich laut Definition nach Traumen mit Nervenläsionen entwickeln können (Johnson et al., 2012; Moseley et al., 2004). Anders bei CRPS Typ I, früher bekannt als Morbus Sudeck oder sympathische Reflexdystrophie: Dieser Typ beinhaltet keine neuropathischen Schmerzen, weil sich das Syndrom nach Traumen ohne Nervenläsionen entwickeln kann (Moseley et al., 2008). Beide CRPS-Typen sind durch Erkrankungen des Zentralnervensystems gekennzeichnet- Sie unterliegen zentralnervösen Prozessen, die sensorische, sympathische, motorische und neuroendokrine Veränderungen beinhalten (Dimova & Birklein, 2019). Anhand von fMRT-Untersuchungen konnte bei Patienten mit CRPS I und einer dystonischen Hand während der Ausführung von echten und vorgestellten Bewegungen eine verringerte Aktivität des ipsilateralen prämotorischen Kortex im Vergleich zu schmerzfreien Probanden beobachtet werden. Bei der kontralateralen Seite zeigte sich eine verringerte Aktivität im inferioren parietalen sowie im angrenzenden S1. Außerdem wiesen CRPS-I-Patienten und die schmerzfreien Probanden keine Unterschiede bei echten und vorgestellten Bewegungen der nicht betroffenen Hand auf (Gieteling et al., 2008). Die Evidenz für eine verzerrte Kommunikation der betroffenen Extremität zwischen dem motorischen und dem sensorischen Kortex bei CRPS I bestätigten zunehmende Wirksamkeitsnachweise für das stufenförmige MT (Johnson et al., 2012; Méndez-Rebolledo, Gatica-Rojas, Torres-Cueco, Albornoz-Verdugo & Guzman-Munoz, 2017). Bei Patienten konnte durch die Anwendung eines MT eine signifikante Schmerzreduktion sowie eine Zunahme von motorischen Fähigkeiten beobachtet werden (Méndez-Rebolledo et al., 2017). Moseley & Arntz (2007) zeigten in einer Studie mit 51 Probanden, die an CRPS I und Phantomschmerzen litten, signifikante Effekte hinsichtlich der Schmerzreduktion. Die Interventionsgruppe erhielt ein zweiwöchiges stufenförmiges MT bestehend aus Links-Rechts-Diskrimination der Extremität, Vorstellungstraining und Spiegeltraining. Die Kontrollgruppe unterzog sich einer herkömmlichen physiotherapeutischen Anwendung und einer medikamentösen Therapie.

Im Vergleich zeigten die Ergebnisse signifikante Behandlungseffekte zugunsten der Interventionsgruppe bei der Schmerzreduktion und bei der Funktion. Sie wiesen eindeutige Effekte in den Variablen Schmerz und Schwellung der Hand nach. Außerdem erfüllte etwa die Hälfte der Patienten nach dem sechswöchigen stufenförmigen MT nicht mehr die diagnostischen Kriterien für CRPS I (Bove, Flatters, Inglis & Mantyh, 2009; Moseley, 2004). Es lässt sich festhalten, dass sich die ersten positiven Erkenntnisse durch die Anwendung von MT bei muskuloskelettalen Beschwerdebilder beobachten lassen (Beinert et al., 2015; Bowering et al., 2013; Cuenca-Martínez et al., 2019; Heerkens et al., 2018; Gatti et al., 2013; Moseley, 2004, 2005; Suso-Martí et al., 2019; Volz et al., 2015, 2015 b). Dennoch können aufgrund kurzer Interventionszeiten und fehlender Langzeiteffekte keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden (Beinert et al., 2015; Bowering et al., 2013; Cuenca-Martínez et al., 2019; Giacobbi et al., 2015). Zudem fehlen einheitliche Wirksamkeitsnachweise des MT bei LBP- beziehungsweise CLBP Patienten. Weitere Hinweise auf mögliche Effekte konnten auf Basis einer Einzelfallstudie des Autors ermittelt werden (Kaminski, Baumgart & Freiwald, 2013). Im Fokus der Einzelfallstudie stand eine 49-jährige Frau mit bilateralem LBP, der seit sechs Jahren anhielt. Über einen Zeitraum von fünf Wochen wurde dreimal wöchentlich für 30 Minuten ein MT durchgeführt.

Das MT beinhaltete die Bewegungsbeobachtung sowie den Bewegungsvorstellung mittels kinästhetischen Ansatzes alltagsnaher Bewegungen. Vor Therapiebeginn sowie nach der zweiten, vierten und fünften Woche wurden die Visuelle-Analogschmerzintensität (VAS), der Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ), die Zwei-Punkt-Diskrimination (ZPD) beidseits der LWS und die Bewegungskontrolltests der LWS durchgeführt (vgl. Abbildung 9). Die ZPD diente dabei als Beurteilung der taktilen Wahrnehmungsfähigkeit. Die Untersuchung der Bewegungskontrolle erfolgte in Anlehnung an die Testbatterie (siehe Anhang 1) von Luomajoki et al. (2007). Die Ausgangswerte der Probandin zeigten vier Punkte im RMDQ, 49 mm auf der VAS, drei positive Bewegungskontrolltests der LWS sowie eine ZPD (rechts 51 mm/links 56 mm). Infolge von MT kam es nach der zweiten Interventionswoche zu einer signifikanten Verringerung auf der VAS, die bis zur fünften Interventionswoche anhielt (vgl. Abbildung 10 links oben).



Abbildung 9: Zwei-Punkt-Diskrimination (ZPD) mittels Stechzirkel. Quelle: eigene Darstellung.

Die positiven Tests für die Bewegungskontrolle der LWS konnten reduziert werden (vgl. Abbildung 10 rechts oben). Die ZPD-Werte wiesen ausgehend vom Basiswert ebenfalls eine Reduktion auf (vgl. Abb.10 rechts und links unten). Unklar bleibt, ob die Behandlungsergebnisse allein auf die Interventionen zurückzuführen sind.

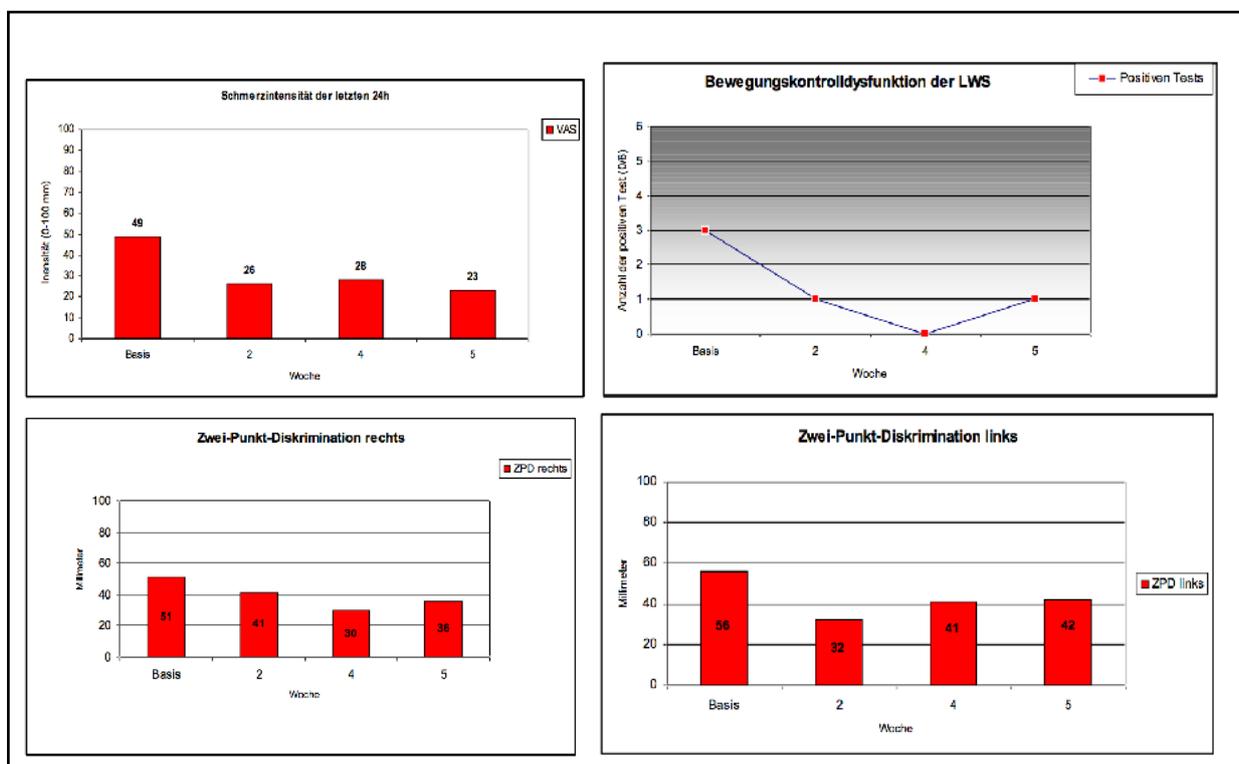


Abbildung 10: Ergebnisse der Einzelfallstudie (Kaminski et al., 2013) Links oben: Veränderung der VAS, rechts oben Veränderung der motorischen Kontrolltests, links und rechts unten die Veränderungen der ZPD nach einem wöchigen MT bei einer CLBP Patientin.

Die Einzelfallanalyse diente primär als Grundlage für die vorliegende Arbeit. In Anbetracht der fehlenden Wirksamkeit des MT schien es lohnenswert, eine Studie mit einer größeren Stichprobe und einer Kontrollgruppe zu organisieren, um die Wirksamkeit des MT bei LBP zu evaluieren. Im folgenden Abschnitt werden auf Grundlage des Hintergrundwissens zum MT (siehe Kapitel 4) und zur MC (siehe Kapitel 3) abgeleitete Forschungshypothesen aufgestellt.

4.3 Zusammenfassung

Die Definitionen des MT weist inhaltliche Unterschiede auf. Übergeordnet versteht man unter dem MT die planmäßig wiederholte und bewusst durchgeführte Vorstellung einer Bewegung oder Handlung ohne deren gleichzeitige praktische Ausführung. Das MT erfolgt unter den sprachlich-symbolischen und der räumlich-bildhaften Ansätzen. Die Unterschiede im stufenförmige MT liegen in der Ergänzung des Spiegeltrainings und der Links-Rechts-Diskrimination. Die Wirksamkeit des mentalen Trainings reicht von der Schmerzlinderung, einer gesteigerten PPT, einer verminderten kortikalen Erregbarkeit bis hin zu einer positiven Beeinflussung der motorischen Kontrolle. Der positive Einfluss des MT auf die unterschiedlichsten kortikalen Areale bekräftigt die aufgestellten Hypothesen in der vorliegenden Arbeit. Ein weiterer Punkt die Wirksamkeit des MT im Rahmen der Rehabilitation von LBP zu untersuchen, liegt in den noch geringen Evidenzen bei der Anwendung des MT in Relation zur MC bei CLBP Patienten. Anhand einer Literaturrecherche wurden Forschungsdefizite gesichtet und bewertet. Im Anschluss folgt eine Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und -defizite der gesichteten Studien.

4.4 Forschungsdefizite

In den zurückliegenden Kapiteln ließ sich erkennen, dass die imaginierten Bewegungen, die MC sowie die Wirksamkeit des MT bei Schmerzprozessen ein Forschungsinteresse aufweisen. Allerdings konnten nur wenig bis keine Rückschlüsse imaginierter Alltagsbewegungen und Darstellung der MC aus CLBP Patienten gezogen werden. Bei der Wirksamkeit des MT konnten bereits erste Wirksamkeitsnachweise erbracht werden.

Allerdings lassen die bisherigen Ergebnisse keinen Rückschluss auf die Veränderung imaginierter Durchführungszeiten sowie der MC bei CLBP Patienten zu. Gegenstand dieses Unterkapitels ist daher die Ableitung der MC, der Reliabilität imaginierter Bewegungen sowie der Wirksamkeit des MT bei CLBP Patienten.

4.4.1 Datenquelle und Bewertung

Für die Literaturrecherche wurde PubMed (Datenbank MEDLINE) als Quelle ausgewählt. MEDLINE wird durch die NLM (United States National Library of Medicine) zusammengestellt, steht online zur Verfügung und ermöglicht eine Suche über PubMed.

Die meisten systematischen Reviewartikel werden heutzutage über eine ausführliche MEDLINE-Suche erstellt (Quelle: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed).

Die Bewertung der Qualität der Publikationen und der darin präsentierten Ergebnisse erfolgt nach den folgenden Evidenztypen (Sacket, Rosenberg, Gray, Haynes & Richardson, 1996):

- I a: wenigstens ein systematischer Review auf der Basis methodisch hochwertiger kontrollierter, randomisierter Studien (RCTs)
- I b: wenigstens ein ausreichend großer, methodisch hochwertiger RCT
- II a: wenigstens eine hochwertige Studie ohne Randomisierung
- II b: wenigstens eine hochwertige Studie eines anderen Typs quasi-experimentell
- III: mehr als eine methodisch hochwertige nicht-experimentelle Studie
- IV: Meinungen und Überzeugungen von angesehenen Autoritäten
(aus klinischer Erfahrung); Expertenkommissionen; beschreibende Studien

4.4.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

Im Vorfeld der Literaturrecherche wurden Suchbegriffe, Kombinationen und Suchergebnisse definiert (vgl. Tabelle 4). Die Literaturrecherche erfolgte vom 03.08.2018 bis einschließlich 06.08.2019. Nach der Literaturrecherche wurden die relevanten Suchkategorien und -ergebnisse identifiziert (vgl. Tabelle 5 in 4.4.3).

Tabelle 4: Suchkategorien, Suchbegriffe, Kombinationen und Suchergebnisse

Suchkategorien	Suchbegriffe + Kombinationen	Suchergebnisse
Schmerzen, imaginierte Bewegungen und Bewegungsbeobachtung	"pain" AND "motor imagery" OR „action observation“	8.933
CLBP, imaginierte Bewegungen und Bewegungsbeobachtung	"chronic low back pain" AND "motor imagery" OR "action observation"	4.120
Schmerzen und imaginierte Bewegungen	"chronic low back pain" AND "motor imagery"	249
CLBP und imaginierte Bewegungen	"chronic low back pain" AND "motor imagery" OR fmrt OR „brain connectivity“	13 *
Schmerzen und mentale Chronometrie	"pain" AND „mental chronometry"	2
CLBP und mentale Chronometrie	"chronic low back pain " AND „mental chronometry"	1 *
Reliabilität, mentale Chronometrie und CLBP	"reliability " AND "mental chronometry" AND "chronic low back pain"	9
Reliabilität mentaler Chronometrie und CLBP	"reliability of mental chronometry" AND „chronic low back pain"	0 *
Reliabilität, imaginierte Bewegungen	"reliability“ AND "motor imagery"	196
Reliabilität, imaginierte Bewegungen und Schmerzen	"reliability of motor imagery" AND "pain"	6
CLBP und Reliabilität imaginierter Bewegungen	"reliability of motor imagery" AND „chronic low back pain"	0 *
CLBP und mentales Training	"mental training" AND "chronic low back pain"	145
CLBP und abgestuftes mentales Training	"chronic low back pain" AND „graded motor imagery “ OR "chronic low back pain" AND“ motor imagery training“	6 *

Abkürzungen: CLBP = chronische untere Rückenschmerzen, * = relevante Suchergebnisse.

4.4.3 Ergebnisse und Übersicht der relevanten Literatur

Nach der Literaturrecherche wurden die identifizierten Artikel einer Volltextsuchung (vgl. Tabelle 4 in 4.4.2) unterzogen und auf ihre Relevanz zur Beantwortung des aktuellen Forschungsstands überprüft.

Abschließend wurden die relevanten Artikel, welche das aktuelle Forschungsdefizit untermauern sollten, ausgewertet (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Auswertung der relevanten Literatur zur Ermittlung der Forschungsdefizite

Relevante Studien/ Kategorie	Studie	Studienteilnehmer, Alter und Beschwerden	Studiendesign	Prozedere	Messmethoden	Ergebnisse	Defizite
CLBP und zeitlicher Abgleich imaginierter Bewegungen	LaTouche et al., 2019	CLBP Patienten (n=100), 34 M, 66 F, Alter 40,4 ± 13,7 NCLBP (n=100), 42 M, 58 F, Alter 38,8 ± 13,3	Prospektive Querschnittsstudie	Zeitlicher Abgleich visueller und kinästhetischer imaginierter Bewegungen	Primäre: MC der visuellen und kinästhetischen Vorstellungsfähigkeit (MIQ-R) Sekundäre: RMDQ, TSK-11, PCS, CPSS	CLBP Patienten weisen im Vergleich mit NCLBP Probanden signifikant längere Durchführungszeiten der visuellen und kinästhetischen Bewegungsvor- stellungen auf (p = .01).	Kein zeitlicher Abgleich von aktiven versus imaginierter Bewegungen
CLBP und imaginierte Bewegungen	Vrana et al., 2015	CLBP (n=15), 11 M, 4 F, Alter 39,7 ± 13,5 NCLB (n=14) 5 M, 9 F, Alter 33,6 ± 12,6	Prospektive Querschnittsstudie	Hirnaktivität bei alltagsnahen durchgeführten imaginierter Bewegungen (Heben, Saugen, Gartenarbeit, Treppen steigen, Gehen)	Primäre: fMRT aktivierte Gehirnregionen während der Bewegungsvor- stellungen	CLBP Patienten wiesen im Vergleich zu NCLBP Probanden eine signifikant reduzierte Aktivität in bewegungsvor- stellungsassoziierten Hirnregionen auf (p = .01). Ergebnisse zeigen Unterschiede in den bewegungsvor- stellungsgesteuerten kortikalen Verarbeitung bei CLBP, die auf Reorganisations- prozesse im sensomotorischen Netzwerk hinweisen.	Kein Übertrag auf den Alltag im Sinne der zeitlichen Darstellung imaginierter Bewegungen
CLBP und imaginierte Bewegungen	Pijnenburg et al., 2015	CLBP (n=17), 11 M, 6 F, Alter 33,3 ± 7,9 NCLB (n=17) 5 M, 12 F, Alter 31,8 ± 8,2	Prospektive Querschnittsstudie	Hirnaktivität und zeitliche Unterschiede des aktiven Sit-To- Stand-to-Sit Task (STSTS)	Primäre: fMRT aktivierte Gehirnregionen und zeitliche Unterschiede während des STSTS	CLBP Patienten zeigen im Vergleich mit NCLBP Probanden signifikant längere Durchführungszeiten des STSTS auf (p = .05). Kortikale Reorganisation sensorischer und motorischer Hirnregionen (p = .001).	Kein zeitlicher Abgleich von aktiven und imaginierter Bewegungen
Relevante Studien/ Kategorie	Studie	Studienteilnehmer, Alter und Beschwerden	Studiendesign	Prozedere	Messmethoden	Ergebnisse	Defizite
CLBP und Reliabilität der MC und imaginierter Bewegungen	LaTouche et al., 2019	CLBP Patienten (n=100), 34 M, 66 F, Alter 40,4 ± 13,7 NCLBP (n=100), 42 M, 58 F, Alter 38,8 ± 13,3	Prospektive Querschnittsstudie	Zeitlicher Abgleich visueller und kinästhetischer Bewegungsvor- stellungen	MIQ-R	Cronbach α- Koeffizienten von über 0,84 für die Gesamtskala, 0,80 für die visuelle Subskala und 0,84 für die kinästhetische Subskala	Keine Aussage zur Reliabilität imaginierter Bewegungen bei CLBP
Relevante Studien/ Kategorie	Studie	Studiendesign	Eingeschlossene Studien	Intervention	Messmethoden	Ergebnisse	Defizite
CLBP, Schmerzen und MT	Bowering et al., 2013	systematischer Review	6 (RCT's)	Stufenförmiges MT	VAS, NRS, MPQ	Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein stufenförmiges MT- Programm wahrscheinlich modifizierte bis mäßige Effekte im Vergleich zu einem nicht stufenförmigen MT aufweist und große Effekte im Vergleich zur üblichen Physiotherapie.	-Eingeschränkte Wirksamkeit des MT MSP -Eingeschränkte Übertragbarkeit auf CLBP Patienten -Keine klar definierten Ansätze des MT
	Daffada et al., 2015	systematischer Review	5 (3 RCT's, 1 Überkreuzstudie, 1 Multipler Fallbericht)	Stufenförmiges MT	Primär: VAS Sekundär: ODI, TSK, PCS, MPQ	Die Visualisierung lumbaler Bewegungen kann den Schweregrad und die Dauer bewegungsbedingter Schmerzen signifikant verbessern (p = .05).	Defizite in der Anwendung und Wirksamkeit des stufenförmigen MT bei der Behandlung von CLBP
	Posadzki et al., 2011	systematischer Review	9 (RCT's)	MT	Primäre: VAS, NRS, AIMS2, MPQ	Positive Ergebnisse für die Schmerzlinderung zugunsten der Behandlungsgruppe	Limitierte Wirksamkeitsnach- weise des MT bei CLBP

Abkürzungen: CLBP = chronische untere Rückenschmerzen, NCLBP = rüchenschmerzfreie, MSP = muskuloskelettale schmerzen, n = Anzahl der Studienteilnehmer, M = Männer, F = Frauen, MIQ-R =, VAS = visuelle Analogskala, NRS = NRS, Numeric rating scale, TSK = Tampa Scale of Kinesiophobia, fMRT = funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie, RMDQ = Roland Morris Disability Questionnaire, PCS = Pain Catastrophizing Scale, CPSS = Chronic Pain Self-Efficacy Scale, MC = mentale Chronometrie, MPQ = McGill Pain Questionnaire, ODI = Oswestry disability index, AIMS2 = Arthritis Impact Measurement Scales, RCT's = randomisierte kontrollierte Studien, MT = mentales Training.

4.4.4 Zusammenfassung der Forschungsdefizite

In dem zurückliegenden Kapitel erfolgte die Betrachtung der Forschungsdefizite anhand einer Literaturrecherche. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Literaturrecherche, dass imaginierte Bewegungen bei Schmerzprozessen und CLBP eine Relevanz haben (vgl. Tabelle 4). Allerdings lässt sich erkennen, dass nur wenig bis keine Untersuchungen zum zeitlichen Abgleich von imaginierten und aktiven Bewegungen im Sinne der MC existieren (Kaminski et al. 2015). La Touche et al. (2019) fanden erstmalig zeitliche Unterschiede bei den Durchführungszeiten kinästhetischer und visueller imaginierter Bewegungen bei CLBP Patienten im Vergleich mit rückenschmerzfreien Probanden heraus. Ein Abgleich der MC, welcher normalerweise die zeitlichen Unterschiede imaginierter und aktiv durchgeführter Bewegungen misst, wurde nicht untersucht (La Touche et al., 2019). Mittels funktioneller Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) untersuchten Vrana et al. (2015) die Unterschiede der aktivierten Hirnregionen bei alltagsnahen imaginierten Bewegungsabläufen bei CLBP im Vergleich mit rückenschmerzfreien Probanden. Anhand der Ergebnisse kamen die Autoren zum Fazit, dass CLBP Patienten die Fähigkeit beibehalten, komplexe imaginierte Bewegungen durchzuführen, dafür aber eine höhere kortikale Rekrutierung im Vergleich mit rückenschmerzfreien Probanden benötigen (Vrana et al., 2015). Allerdings lassen die Untersuchungsergebnisse von Vrana et al. (2015) keine Rückschlüsse auf die Unterschiede der Durchführungszeiten imaginierter Bewegungen und aktiv durchgeführter Bewegungen bei CLBP Patienten zu.

Zudem stellte sich bei Durchsicht der Literatur die Frage, ob sich imaginierte alltagsnahe Bewegungen reliable reproduzieren lassen (vgl. Tabelle 4). Zur Reliabilität imaginierter alltagsnaher Bewegungen konnte keine relevante Literatur gefunden werden. Hier konnten lediglich Arbeiten im neurologischen Bereich gesichtet werden (Malouin et al., 2008; Williams et al., 2015). Weiterhin zeigen sich limitierte Wirksamkeitsnachweise des MT bei CLBP Patienten (vgl. Tabelle 5).

Darüber hinaus blieben Fragen, wie sich ein MT auf die Durchführungszeiten von imaginierten und aktiven Bewegungen auswirkt. Im nächsten Kapitel erfolgt auf Basis des zurückliegenden Kapitels die Definition der Forschungshypothesen.

5 Forschungshypothesen

In diesem Kapitel wurden die Forschungshypothesen für rüchenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten anhand der bisherigen Erkenntnisse zu MC und imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen definiert. Darauf aufbauend wurden aus den gewonnenen Forschungsergebnissen zum mentalen Training die Forschungshypothesen für rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten definiert.

5.1 Forschungsfragen und Forschungshypothesen der Studie 1

Das Ziel der ersten Studie bestand darin, bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten imaginierte Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen auf ihre Reliabilität zu überprüfen.

Abgeleiteten Forschungsfragen zur Reliabilität:

Frage 1: Zeigt sich zwischen dem ersten und zweiten Tag eine zuverlässige Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden?

Frage 2: Zeigt sich zwischen dem ersten und zweiten Tag eine zuverlässige Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei CLB Patienten?

Frage 3: Zeigt sich zwischen dem zweiten und dritten Tag eine zuverlässige Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden?

Frage 4: Zeigt sich zwischen dem zweiten und 3ten Tag eine zuverlässige Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei CLBP Patienten?

5.2 Forschungshypothesen der Studie 2

Im zweiten Studienabschnitt wurden die zeitlichen Unterschiede 12 imaginerter alltagsnaher Bewegungen sowie die MC mittels neun alltagsnaher Bewegungen untersucht.

Abgeleiteten Hypothesen zur MC:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der MC von neun alltagsnahen Bewegungen bei rüschmerzfreen Probanden.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede der MC von neun alltagsnahen Bewegungen bei rüschmerzfreen Probanden.

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der MC von neun alltagsnahen Bewegungen bei CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede der MC von neun alltagsnahen Bewegungen bei CLBP Patienten.

Abgeleiteten Hypothesen zur PPT:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der PPT bei rüschmerzfreen Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede der PPT bei rüschmerzfreen Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten.

Abgeleiteten Hypothesen zu den imaginierten und aktiven Durchführungszeiten:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede imaginiertes Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei rückschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede imaginiertes Durchführungszeiten von 12 alltagsnahen Bewegungen bei rückschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten.

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede der Durchführungszeiten von neun aktiven alltagsnahen Bewegungen bei rückschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede der Durchführungszeiten von neun aktiven alltagsnahen Bewegungen bei rückschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten.

5.3 Forschungshypothesen der Studie 3

In der dritten Studie wurde die Wirksamkeit eines vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm (MT) bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht.

Abgeleiteten Hypothesen zum MT und MC:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei der Normalisierung der MC alltagsnaher Bewegungen bei CLBP Patienten nach einem vierwöchiges MT.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Normalisierung der MC alltagsnaher Bewegungen bei CLBP Patienten nach einem vierwöchiges MT.

Abgeleiteten Hypothesen zum MT und den imaginierten und aktiver Durchführungszeiten:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei der Normalisierung imaginiertes Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei CLBP Patienten nach einem vierwöchigen MT.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Normalisierung imaginiertes Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei CLBP Patienten nach einem vierwöchigen MT.

H0: Es zeigt sich keine signifikanten Unterschiede bei der Normalisierung aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Gruppenvergleich nach einem vierwöchigen MT.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Normalisierung aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Gruppenvergleich nach einem vierwöchigen MT.

Abgeleiteten Hypothesen zum MT und der VAS, PPT, RMDQ-D, FABQ-D, HADS:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschieden der Normalisierung der VAS (akut), VAS (24 Stunden), des RMDQ-D, FABQ-D und HADS nach einem vierwöchigen MT bei CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Normalisierung der VAS (akut), VAS (24 Stunden), des RMDQ-D, FABQ-D und HADS nach einem vierwöchigen MT bei CLBP Patienten.

Abgeleiteten Hypothesen zur PPT:

H0: Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei der Zunahme der PPT bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten.

H1: Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Zunahme der PPT bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten.

6 Material und Methodik

Im folgenden Abschnitt werden die Auswahl und Vorbereitung der Probanden, die Erhebung der Ergebnisparameter und die alltagsnahen Bewegungen zur Erfassung der MC und imaginierten und aktiven Durchführungszeiten beschrieben.

6.1 Ein- und Ausschlusskriterien der CLBP Patienten

Tabelle 6 zeigt die Ein- und Ausschlusskriterien für die Probanden für alle drei Studienabschnitte.

Tabelle 6: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Alter zwischen 18 und 55 Jahre	Alter unter 18 Jahre sowie über 55 Jahre
Rückenschmerzdauer von > 12 Wochen	Rückenschmerzdauer < 12 Wochen, akuter Bandscheibenvorfall, geplante Operation, geplante Operation innerhalb der Studienphase
Schmerzintensität > 3 auf der VAS	neurologische Erkrankungen, Einnahme von Antidepressivum
Unterzeichnung der Einverständniserklärung	fehlende Einverständniserklärung

6.1.1 Rekrutierung der CLBP Patienten

Die Rekrutierung der CLBP Patienten erfolgte aus orthopädischen Arztpraxen in Essen, die im Vorfeld über die Studie des Arbeitsbereichs Trainings- und Bewegungswissenschaft der Bergischen Universität Wuppertal informiert wurden. Die Ärzte erhielten im Vorfeld ein Dokument mit den Ein- und Ausschlusskriterien (siehe Kapitel 6.2), um die Eignung der Patienten sicherzustellen. Danach erfolgte eine telefonische Kontaktaufnahme zur Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien durch den Untersucher. Die Patienten erhielten einen ersten Termin zur Erläuterung der Studie, Datenaufnahme und zur letztendlichen Absicherung der Ein- und Ausschlusskriterien. Vor jeder Untersuchung erfolgte bei Unklarheiten in Bezug auf die Rückenschmerzsymptomatik eine Rücksprache mit dem zuständigen Arzt. Dieser entschied, ob der Proband an der Untersuchung teilnehmen durfte. Vor Beginn der Studie unterzeichneten die Probanden eine Einverständniserklärung zur Studienteilnahme.

6.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien (schmerzfreien Probanden)

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden für die rückenschmerzfreien Probanden für alle drei Studienabschnitte festgelegt (siehe Tabelle 7). Rückenschmerzfreie Probanden wurden in die Studien eingeschlossen, wenn die Kriterien in Tabelle 5 erfüllt wurden.

Tabelle 7: Ein- und Ausschlusskriterien der rückenschmerzfreien Probanden

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Alter zwischen 18 und 55 Jahre	Alter unter 18 Jahre sowie über 55 Jahre
Kein Auftreten von Rückenschmerzen in den letzten 12 Wochen	Rückenschmerzen in den letzten 12 Wochen, akuter Bandscheibenvorfall, geplante Operation, geplante Operation innerhalb der Studienphase
Unterzeichnung der Einverständniserklärung	neurologische Erkrankungen, Einnahme von Antidepressivum
	fehlendes Verständnis für die Studie

6.1.3 Rekrutierung der rüchenschmerzfreien Probanden

Die rüchenschmerzfreien Probanden wurden über Aushänge an mehreren Institutionen wie Physiotherapieschulen, Kindergärten, Universitäten und dem deutschen roten Kreuz in Essen rekrutiert. Bei Unklarheiten in Bezug auf die Ein- und Ausschlusskriterien wurde zur Absicherung der zuständige Arzt kontaktiert.

6.1.4 Untersucher

Der Hauptuntersucher dieser Arbeit ist der Autor selbst. Begleitet wurde die wissenschaftliche Arbeit durch die Arbeitsgruppe der Bergischen Universität Wuppertal aus dem Arbeitsbereich der Trainings- und Bewegungswissenschaft. Damit wurde neben der ärztlichen Begleitung die Sicherheit der Patienten gewährleistet. Weiterhin verfügten alle beteiligten Mitarbeiter der Bergischen Universität Wuppertal über mehrjährige Erfahrungen in der Durchführung von Untersuchungen an CLBP Patienten und waren in Erste-Hilfe-Maßnahmen geschult.

6.1.5 Einverständniserklärung

Wenn der Studienteilnehmer die Einschlusskriterien erfüllte und keine Ausschlusskriterien vorhanden waren, wurde er schriftlich und mündlich über mögliche Risiken aufgeklärt. Die Studienteilnehmer erteilten eine schriftliche Einwilligung gemäß der Helsinki Deklaration (siehe Anhang 7). Die vorliegende Arbeit wurde von der Ethikkommission der Universität Wuppertal genehmigt.

6.2 Ergebnisparameter

Zur Darstellung der Unterschiede wurden in den jeweiligen Studienabschnitten subjektive und objektive Messinstrumente und Fragebögen eingesetzt. Im nächsten Abschnitt werden die eingesetzten Messinstrumente und Fragebögen erläutert.

6.2.1 Visuelle Analogskala

Die Visuelle Analogskala (VAS) wurde in der vorliegende Studie eingesetzt, da die Messung von subjektiven Schmerzen und deren Veränderungen ein zentrales Element bei CLBP Patienten darstellt (Bray et al., 2011; Imamura et al., 2013; Moseley et al., 2008; Wand et al., 2010). Bei der VAS handelt es sich um ein Selbsteinschätzungsverfahren, das sich einer 100 Zentimeter langen Linie behilft. Zur Schmerzeinschätzung schätzt der Patient die Schmerzintensität auf der 100 mm langen Linie ein. Der Anfang der Linie entspricht keinem Schmerz und das Ende der Linie dem stärksten vorstellbaren Schmerz. Die geschätzte Schmerzintensität wurde von dem Patienten auf der Vorderseite der VAS markiert (vgl. Abbildung 11). Der Untersucher misst im Anschluss die Distanz zwischen dem Anfang der Linie und der Patientenmarke auf der Rückseite der VAS (vgl. Abbildung 11). In der vorliegenden Untersuchung wurden der aktuelle Schmerz sowie die Schmerzen der vergangenen 24 Stunden ermittelt. Die Reliabilität, Validität und Responsivität der VAS wurden von mehreren Autoren als gut bewertet (Ferraz et al., 1990).

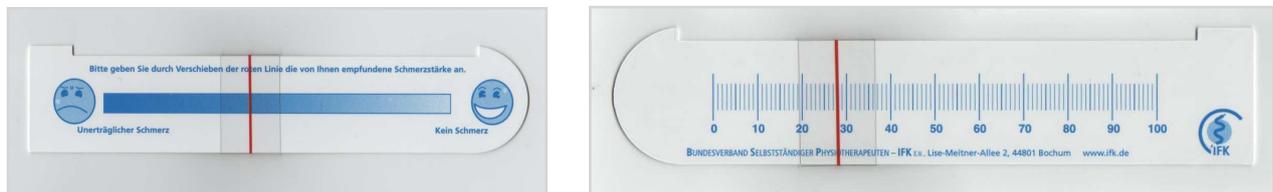


Abb. 11: Visuelle Analogskala (links:Vorderseite und rechts: Rückseite).
Quelle: eigene Darstellung.

6.2.2 Roland-Morris Disability Questionnaire

Die deutsche Version des Roland-Morris Disability Fragebogen (RMDQ-D) wurde zur Ergebnismessung eingesetzt. Der validierte RMDQ-D basiert auf 24 Aussagen (siehe Anhang 2) über Rückenschmerzen, die auf das Sickness Impact Profile zurückgehen (Wiesinger et al., 1999). Items wie Aktivitätsebene, Bewegung, Aktivitäten des täglichen Lebens, Essen sowie Schlafen werden berücksichtigt und durch Ankreuzen abgefragt. Der RMDQ-D erfasst allerdings nicht die psychosozialen Faktoren. Die Reliabilität wurde in mehreren Arbeiten mithilfe des Pearson-Reliabilitätskoeffizienten untersucht (Patrick et al., 1995; Stratford & Binkley, 2000).

Die RMDQ-Werte reichen von Null (keine Einschränkung) bis 24 (maximale Einschränkung). Werte ab drei Punkten gelten als klinisch relevant, ein bis zwei Punkte bezeichnen wenig Behinderung durch den Rückenschmerz im Alltag, Werte ab sieben Punkten entsprechen einem hohen Behinderungsgrad durch den Rückenschmerz. Die Reliabilitätswerte lagen zwischen sehr gut mit $r = 0,91$ (Roland & Morris, 1983) und gut mit $r = 0,72-0,8$ (Deyo, 1986; Jensen et al., 1992; Wiesinger et al., 1999). Allgemein konnte eine gute Reliabilität mit einem ICC = $0,76-0,89$ gemessen werden (Patrick et al., 1995; Stratford & Binkley, 2000; Underwood, Barnett & Vickers, 1999).

6.2.3 Movement Imagery Questionnaire

Zur Erfassung der Vorstellungsfähigkeit hat sich im englischsprachigen Raum der Movement Imagery Questionnaire (MIQ) nach Hall (Gregg, Hall & Butler, 2010) durchgesetzt. Eine deutsche Version des MIQ wurde von Ziemainz et al. (2003) vorgestellt. Beim MIQ handelt es sich um einen Fragebogen mit 18 Items (siehe Anhang 3), der sowohl die bildliche als auch die kinästhetische Vorstellungsfähigkeit erfasst (Ziemainz et al., 2003). Der MIQ befasst sich mit zwei Arten, Bewegungen mental auszuführen. Diese sind in Abhängigkeit des Bewegungstyps unterschiedlich gut anwendbar. Die erste Aufgabe betrifft die Bildung eines mentalen (visuellen) Eindrucks oder eines »Bildes« der Bewegung. Bei der zweiten Art ist der Befragte bestrebt, zu spüren, wie sich der Bewegungsvollzug anfühlt, ohne die Bewegung tatsächlich auszuführen.

Die Antworten werden numerisch von 1 („sehr schwierig vorzustellen“) bis 7 („sehr leicht vorzustellen“) zugeordnet. Somit ergeben sich für beide Skalen Wertebereiche zwischen 63 (sehr gute bildliche bzw. kinästhetische Bewegungsvorstellungsfähigkeit) und 9 (sehr schlechte bildliche bzw. kinästhetische Bewegungsvorstellungsfähigkeit). Es liegen aktuell keine Reliabilitätsstudien des MIQ aus dem deutschsprachigen Raum vor. Eine Untersuchung der französischen Version ermittelte eine interne Konsistenz von 0,9. Die Reliabilität in Form der ICC wurde für die visuellen Elemente mit 0,68 und für die kinästhetischen Elemente mit 0,78 beziffert (Loison et al., 2013).

Die Ergebnisse zeigen, dass die interne Konsistenz (Cronbach alpha = 0,9) und die Test-Retest-Reliabilität in Form des ICC-Koeffizient für visuelle Elemente = 0,68 und für kinästhetische Elemente = 0,78) der französischen Version von MIQ zufriedenstellend sind.

6.2.4 Fear–Avoidance Belief Questionnaire

Die deutsche Version des Fear–Avoidance Belief Questionnaire (FABQ-D) wurde von Waddell, Newton, Henderson, Somerville & Main (1993) zur Erfassung einer angstbedingten Vermeidungshaltung bezüglich physischer Aktivität und Arbeit entwickelt (siehe Anhang 4). Der Fragebogen basiert auf der Erkenntnis, dass die Überzeugungen von Patienten bezüglich des Einflusses von physischer Aktivität und Arbeit auf ihre Kreuzschmerzen, eine Wechselwirkung zwischen Kreuzschmerzen und resultierender Behinderung bewirken.

Der Fragebogen besitzt zwei Skalen: Die erste Skala erfasst mit sechs Items die angstbedingte Vermeidungshaltung in Relation zur Arbeit. Die zweite Skala erfasst die physische Aktivität. Der FABQ-D wird als validierter und reliabler Fragebogen angesehen (Pfungsten, Kroner-Herwig, Leibing, Kronshage & Hildebrandt, 2000). Die Reliabilität wird bei der deutschen Version mit $r = 0,87$ angegeben (Pfungsten et al., 2000).

6.2.5 Hospital Anxiety and Depression Scale

Die deutsche Version des Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS-D) wurde in der vorliegenden Studie eingesetzt, weil Angst und/oder Depressivität etwa dreiviertel der psychischen Störungen bei Patienten mit muskuloskelettalen Erkrankungen bzw. Beschwerden charakterisieren. Nicht selten sind die psychischen Störungen bei diesen Patienten niedriger Ausprägung, für Lebensqualität und Prognose aber dennoch hochrelevant. Trotz ihrer Häufigkeit werden sie meist unterdiagnostiziert (Herrmann-Lingen et al., 1995). Die HADS-D ist ein kurzes, rasch zu bearbeitendes und gut akzeptiertes Selbstbeurteilungsverfahren mit je sieben alternierend dargebotenen Angst- und Depressions-Items (siehe Anhang 5).

Itemauswahl und -formulierung berücksichtigen besonders die spezifischen Anforderungen eines durch psychische Krankheit bestimmten Settings. Erfasst wird die Ausprägung ängstlicher und depressiver Symptomatik während der vergangenen Woche (Herrmann et al., 1995). Die interne Konsistenz (Cronbachs Alpha-Koeffizient) beträgt für die Angstskala 0,80 und für die Depressionsskala 0,81; die Reliabilität liegt bei 0,81 (Angstskala) bzw. 0,89 (Depressionsskala) (Hermann, Henry, Hitt, Jones, & Bunn, 1995).

6.2.6 Pressure Pain Threshold

Die Beurteilung der mechanischen Druckschmerzschwelle, die als Pressure Pain Threshold (PPT) bekannt ist, erfolgte an definierten Messpunkten am unteren Rücken mit dem Algometer FPX 100 von Wagner. Das Instrument besteht aus einem Druckmesser mit einer Hartgummifläche im Durchmesser von einem Zentimeter (vgl. Abbildung 12). Der applizierte Druck wird digital in kg/cm² übertragen. Der Messbereich des Geräts beträgt 0 bis 10 Kilogramm mit 0,1 Divisionen. Die PPT definiert den Punkt, an dem der Proband den applizierten Druck erstmals als unangenehme Druckveränderung wahrnimmt. Der mechanische Druck wurde ab diesem Punkt gestoppt und abgelesen.



Abbildung 12: Pressure-Pain-Threshold-Algometer. Quelle: eigene Darstellung.

Die Messung erfolgte dreimal in Folge vom selben Untersucher mit einer Pause von 10 bis 15 Sekunden zwischen den Messungen. Die Messung der PPT erfolgte in der Rückenschmerzgruppe auf der schmerzdominanten Seite, in der rüchenschmerzfreien Gruppe auf der rechten Seite. Die Festlegung der einzelnen Messpunkte (vgl. Abbildung 13) erfolgte in Anlehnung an die Arbeit von Fall et al. (2014). Im Vorfeld markierte der Untersucher die acht definierten Punkte an der Wirbelsäule, welche im folgenden Absatz definiert werden. Die Distanz zwischen den Messpunkten betrug 2,5 cm und ging vom 5. Lendenwirbel in kranialer Richtung aus.

Die seitliche Distanz betrug 2,5 cm; ausgehender Punkt war die Wirbelsäule. Bei der Messung wurde die Hartgummifläche senkrecht zur Haut positioniert. Die PPT erwies sich in Untersuchungen bei CLBP Patienten als zuverlässiges Messverfahren (Balaguier, Madeleine & Vuillerme, 2018; Falla et al., 2014).

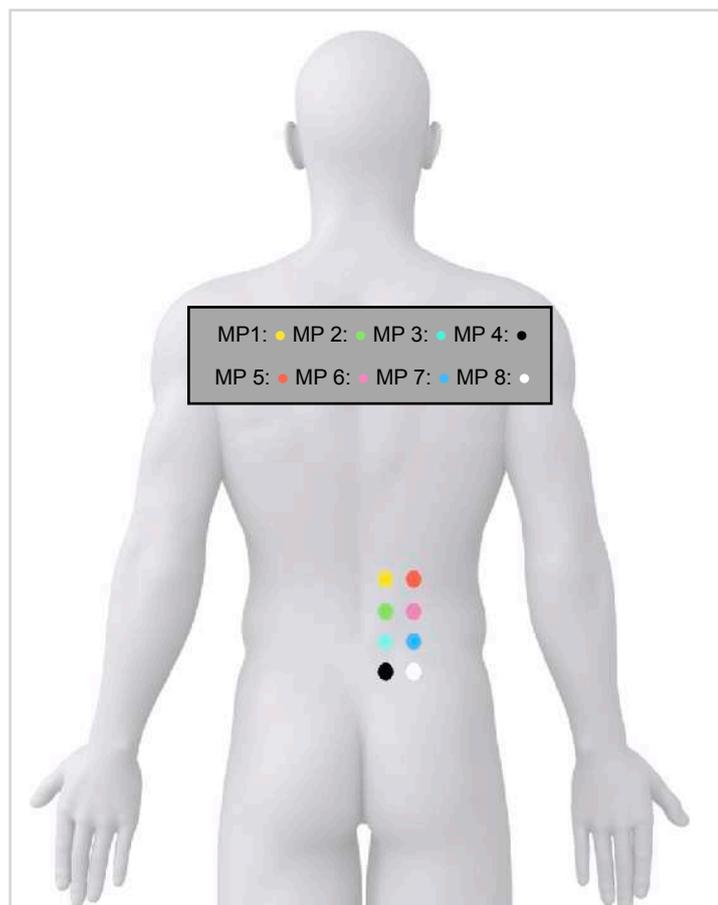


Abbildung 13: Untersuchung der Pressure-Pain-Threshold. Die Ableitung erfolgte in Reihenfolge der Messpunkte (MP) 1-8. Quelle: eigene Darstellung.

6.3 Alltagsnahe Bewegungen

Die Untersuchung der imaginierten Durchführungszeiten, aktiven Durchführungszeiten und die der MC erfolgte anhand alltagsnaher Bewegungen (vgl. Abbildung 14 und 15).

Bewegung	Bewegung	Bewegung	Bewegung
(1) Inklinati- on im Stand		(2) Inklinati- on im Sitzen	
		(3)Reklina- tion im Sitzen	
		(4) Reklina- tion im Stand	
(5) Rücken- lage in den Langsitz im liegen		(6) Rücken- lage in den Langsitz im Sitz	
		(7) Socken- test im Stand	
		(8) Socken- test im Sit- zen	
(9) Kniebeu- ge im Stand		(10) Knie- beuge im Sitz	
		(11) Gehen von 10 Me- tern im Stand	
		(12) Gehen von 10 Me- tern im Sit- zen	

Abbildung 14: Übersicht der 12 imaginierten alltagsnahen Bewegungen. Quelle: eigene Darstellung.

Bewegung		Bewegung		Bewegung	
(1) Inklination im Stand		(2) Inklination im Sitzen		(3) Reklination im Sitzen	
(4) Reklination im Stand		(5) Rückenlage in den Langsitz im liegen		(6) Sockentest im Stand	
(7) Sockentest im Sitzen		(8) Kniebeuge im Stand		(9) Gehen von 10 Metern im Stand	

Abbildung 15: Übersicht der 9 aktiven alltagsnahen Bewegungen. Quelle: eigene Darstellung.

Die evaluierte Back Performance Scale, welche die Alltagsaktivitäten der Wirbelsäule erfasst, diente als Grundlage für die Auswahl der alltagsnahen Bewegungen (Strand, Moe-Nilssen & Ljunggren, 2002).

6.3.1 Untersuchung der imaginierten und aktiven Bewegungen

Die Studienteilnehmer erhielten im Vorfeld eine 15-minütige Einweisung für die Durchführung der imaginierten Bewegungen anhand des kinästhetischen Ansatzes (Eberspächer et al., 2001) sowie der aktiven Bewegungen (vgl. Kapitel 6.3.2). Die Instruktion der imaginierten und aktiven Bewegungen unterlag einem standardisierten Ablauf. Die Messung unterlag einem standardisierten Ablauf. Mittels Stoppuhr startete der Proband die eigenständige Zeitmessung, die mit dem Start der randomisierten imaginären Bewegung begann und mit dem Ende der imaginären Bewegung stoppte. Während der Durchführung der Bewegungsvorstellung wurden die Augen geschlossen. Insgesamt wurde jede imaginierte Bewegung drei Messungen unterzogen. Nach jeder abgeschlossenen Messung wurde die Zeit abgelesen und vom Untersucher notiert. Der Proband bekam die Anweisung, nach der Messung nicht auf die Stoppuhr zu schauen.

6.3.2 Instruktion der imaginierten Bewegungen

Die Durchführung der 12 imaginierten alltagsnahen Bewegungen (vgl. Abbildung 14 in Kapitel 6.3) unterlag einem standardisierten Ablauf. Im folgenden Abschnitt wird die Instruktion anhand der imaginierten Inklination der Lendenwirbelsäule im Stand, welche Bestandteil der alltagsnahen Bewegungen war (siehe Kapitel 6.6) beschrieben:

„Schließen Sie bitte die Augen. Stellen Sie sich vor, Ihren Oberkörper so weit nach vorne zu beugen wie möglich. Nehmen Sie dabei bitte die Perspektive der ersten Person ein. Sie sehen Ihre Person so lebhaft wie möglich und führen Ihre gedankliche Bewegung durch. Leiten Sie dabei die Bewegung über den Oberkörper ein, so dass sich am Ende der Bewegung der Hauptdruck im Bereich des unteren Rückens, der Oberschenkelhinterseite und der unteren Brustwirbelsäule befindet. Ihre Arme befinden sich gedanklich vor dem Körper, so dass sich Ihre Hände bei der Vorbeuge des Oberkörpers nach vorne Richtung Boden annähern. Wenn Sie gedanklich die Bewegung des Oberkörpers abgeschlossen haben, kommen Sie bitte wieder in die Ausgangsstellung zum Stand zurück. Erst wenn Sie sich gedanklich wieder im aufrechten Stand befinden, ist der Bewegungsablauf abgeschlossen.“

Die Studienteilnehmer begannen mit der Durchführung der imaginierten Bewegungen. Die Studienteilnehmer stellten sich die Bewegung in der Ausgangsstellung vor, von der sie diese tatsächlich ausgeführt hätten. Die zeitliche Erfassung erfolgte mittels digitaler Handstoppuhr von Seiko (Typ S23593J-S141) und wurde jeweils dreimal vom Studienteilnehmer durchgeführt. Die Zuordnung der zwölf imaginierten Bewegungsaufträge (vgl. Tabelle 14 in 6.3) wurde randomisiert per Losverfahren durchgeführt. Die Randomisierung wurde gewählt, um Lerneffekte zu vermeiden.

6.3.3 Instruktion der aktiven Bewegungen

Im Anschluss an die imaginierten Bewegungsdurchführungen folgte die zeitliche Erfassung der aktiven Bewegungen. Die Durchführung jeder einzelnen der neun aktiven Bewegungen unterlag ebenfalls einem standardisierten Ablauf. Die Reihenfolge der neun aktiven Bewegungsaufträge wurde per Losverfahren randomisiert (vgl. Abbildung 15 in Kapitel 6.3). Die Randomisierung wurde gewählt, um Lerneffekte zu vermeiden. Zu Beginn erhielt jeder Proband eine Einführung. Diese gestaltete sich durch den Untersucher, welcher die auszuführenden Bewegungen durch eine aktive Ausführung demonstrierte.

Daraufhin wurde der Studienteilnehmer gebeten, mit Beginn der aktiven Zielbewegung die Handstoppuhr zu starten und am Ende der Bewegung diese zu stoppen. Die zeitliche Erfassung der aktiven Bewegungen aus der Alltags-Testbatterie erfolgte ebenfalls mittels digitaler Handstoppuhr von Seiko (Typ S23593J-S141) in drei Durchgängen.

6.3.4 Elektromyographie

Die EMG sollte im Rahmen dieser Untersuchung die Kontrollfunktion zur Einhaltung einer reinen imaginierten Bewegung einnehmen. Hierunter war eine planmäßig wiederholte und bewusst durchgeführte Vorstellung einer Bewegung oder Handlung ohne deren gleichzeitige praktische Ausführung zu verstehen (Eberspächer, 2001). Um eine aktive Handlung auszuschließen, erfolgte während der Bewegungsvorstellung eine kontinuierliche Signalaufzeichnung mit einem Oberflächen-Elektromyographie-Gerät (EMG), Modell Myosystem 2006 (Noraxon, USA).

In Anlehnung an Freiwald, Baumgart & Konrad (2007) wurden insgesamt 4 Kanäle der autochthonen Rückenmuskulatur abgeleitet. Unterteilt wurden die Kanäle in die Segmente L4/5 rechts und links. Es wurde mit einem Abstand von 2 cm zum Dornfortsatz die EMG-Ableitung untersucht sowie im Segment L3/4 rechts und links mit einem Abstand 4 cm zum Dornfortsatz (vgl. Abbildung 16). Als Kontrollwert zur Vermeidung einer aktiven Bewegung wurde eine Zunahme von mehr als 10 Mikrovolt (μV) während der Bewegungsvorstellung festgelegt.

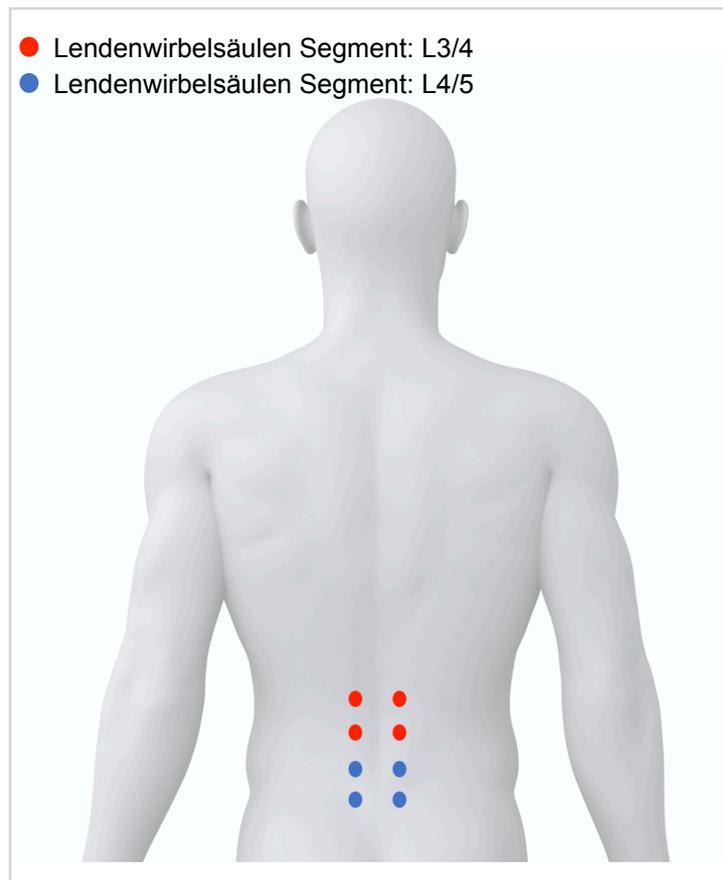


Abb.16: EMG Ableitungsbereiche in den Segmenten L3/4 und L4/5 auf der rechten und linken Seite.
Quelle: eigene Darstellung.

6.3.4.1 Anbringen der Elektroden

Die EMG-Ableitung fand unter hygienischen Umständen statt. Die Probanden mussten sich für die Vorbereitung in Bauchlage auf die Behandlungsbank legen. Die Lokalisation der Ableitungsorte erfolgte aufgrund sorgfältiger Palpation der Dornfortsätze der Wirbelsäule. Es erfolgte die Markierung der Stellen, auf die die Elektroden geklebt werden sollten. Daraufhin wurde die Haut mit einem rauen Tuch gereinigt und anschließend mit Polyalkohol entfettet. Dies hat sich als eine bewährte Methode herausgestellt, um den Widerstand zwischen Elektrode und Haut zu minimieren. Die elektrischen Potentiale über der Muskulatur wurden mit Silber/Silberchlorid Klebeelektroden (Norotrode 20™) bipolar abgeleitet. Die Elektroden haben eine Leitfläche von 1,2 cm². Der Elektrodenabstand betrug 2 cm.

6.3.4.2 EMG Ableitung

Die EMG Ableitung während der imaginierten Bewegungen unterlag einem standardisierten Ablauf. Vor der Information, dass der Proband die Zeitmessung starten kann, wurde die EMG Ableitung aktiviert. Daraufhin startete der Proband eigenständig seine Zeitmessung, die mit dem Start der imaginierten Bewegung begann und mit dem Ende der imaginären Bewegung stoppte. Die imaginären Bewegungen wurden mit geschlossenen Augen durchgeführt. Nach jeder abgeschlossenen Messung wurde die Zeit abgelesen. Der Proband bekam die Anweisung, nach der Messung nicht auf die Stoppuhr zu schauen. Die ermittelte Zeit wurde nur vom Untersucher erfasst. Die Zeiterfassung der aktiven Bewegungen erfolgte unter den gleichen Grundbedingungen. Im Unterschied zur Zeiterfassung der imaginierten Bewegungen kam die EMG-Ableitung bei den aktiven Bewegungen nicht zum Einsatz. Der Proband wurde zudem gebeten, die Augen während der Absolvierung der aktiven Bewegung nicht zu schließen, um mögliche Stürze zu vermeiden.

6.4 Untersuchungsmethodik

Die vorliegende Untersuchung unterteilt sich in drei Abschnitte. Im ersten Schritt wurde die Reliabilität der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen mittels Intraclass Correlation (ICC) untersucht. Die Untersuchung der ICC der imaginierten Durchführungszeiten erfolgte anhand randomisierter alltagsnaher Bewegungen (siehe Kapitel 6.3). Im zweiten Schritt wurden zeitliche Unterschiede imaginierter- und aktiven Durchführungszeiten von alltagsnahen Bewegungen im Sinne der MC untersucht. Im letzten Schritt wurde in einer Interventionsstudie ohne Randomisierung die Wirksamkeit eines vierwöchigen MT bei rückenbeschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht (Sacket et al., 1996). Die vorliegende Arbeit möchte die aufgestellte Forschungshypothese klären, um daraus Erkenntnisse für den praktischen Alltag zu gewinnen. Die Wirksamkeit der unabhängigen auf die abhängigen Variablen soll untersucht werden (vgl. Kapitel 5). Ein anschließender Vergleich innerhalb und zwischen den Gruppen könnte den in der klinischen Praxis tätigen Therapeuten Hinweise erbringen, ob ein vierwöchiges MT sich als eine wirksame Behandlungsmethode bei CLBP Patienten erweist.

Im Anschluss an die Behandlungsphase wurden die Ergebnisse beider Gruppen miteinander verglichen und kausal interpretiert. Eventuelle Unterschiede und Normalisierung innerhalb und zwischen den Gruppen wurden ursächlich gedeutet und auf die Behandlungsmethoden zurückgeführt (Scherfer, 2005).

6.4.1 Durchführung Studie 1

Die erste Studie untersuchte bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten imaginierte Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen auf ihre Reliabilität. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Untersuchungsmethode der Reliabilität imaginiertes Durchführungszeiten mittels alltagsnaher Bewegungen beschrieben.

6.4.2 Untersuchungsmethodik der Intraclass Correlation

Die Untersuchung der Reliabilität imaginiertes Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen erfolgte an drei aufeinanderfolgenden Tagen. Die Untersuchung wurde in den Praxisräumen des Autors in Essen durchgeführt. Die Reliabilität imaginiertes Durchführungszeiten wurden anhand von 12 alltagsnahen Bewegungen bei 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 12 CLBP Patienten gemessen. Die 12 imaginären alltagsnahen Bewegungen (vgl. Abbildung. 14 in Kapitel 6.3) setzten sich aus Inklination, Reklination, Rückenlage in den Langsitz, Sockentest, Kniebeuge und Gehen von 10 Metern zusammen. Die Ausgangsstellung der jeweiligen imaginiertes Bewegung erfolgte nach Randomisierung im Sitz und im Stand. Zur Durchführung der einzelnen imaginiertes Bewegungen erhielten die Studienteilnehmer eine standardisierte Schulung. Die Berechnung der Reliabilität der Zeitparameter der 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 12 CLBP Patienten erfolgte mittels der Intraclass Correlation (ICC). Zuerst wurden die 12 imaginiertes Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen gemessen (vgl. Kapitel 6.3 und 6.3.2). Im Anschluss wurden die Mittelwerte auf Normalverteilung überprüft und die ICC mittels statistischer Rechenanalyse berechnet. Darauf basierend fand eine Bewertung der Reproduzierbarkeit der 12 imaginiertes Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen statt (vgl. Abbildung 17).

Zudem wurden anthropometrische und demografische Daten, wie das Lebensalter, das Geschlecht, die Körpergröße, das Körpergewicht und die Dauer der Rückenschmerzen (in Wochen) erfasst. Weitere Untersuchungsparameter waren die bildliche und kinästhetische Vorstellungsfähigkeit mittels MIQ, die Schmerzintensität (VAS), die taktile Schmerzwarnnehmung (PPT), Fragebögen zur Erfassung der Einschränkung im Alltag durch Rückenschmerzen (RMDQ-D), des angstbedingten Vermeidungsverhaltens (FABQ-D) und der physischen Störungen bei muskuloskelettalen Beschwerden.

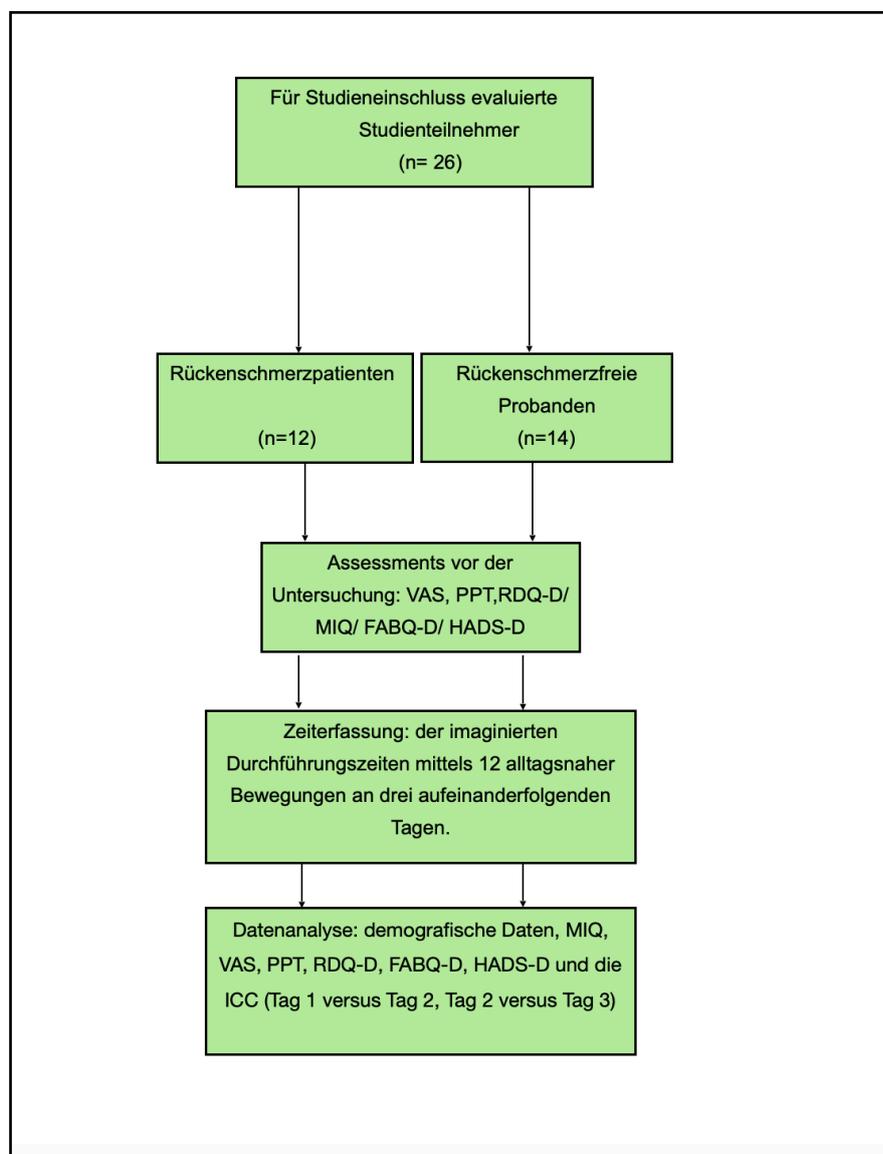


Abbildung 17: Flowchart des Untersuchungsablauf für die ICC der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen.

6.4.3 Statistische Auswertung der Intraclass Correlation

Die manuell und digital erfassten Daten wurden zur statistischen Auswertung in einer Datenmatrix übertragen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS-Statistikpaket Version 15 (SPSS Inc, Chicago, IL). Zunächst wurde eine Prüfung auf Normalverteilung der anthropometrischen und demografischen Daten mittels Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt ($p \geq .05$). Die Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der drei aufeinander folgenden Tage wurden anhand von Rängen bei verbundenen Stichproben mittels Friedmantest bei rüchenschmerzfreien Probanden und den CLBP Patienten geprüft ($P \geq .05$). Post-hoc Vergleiche der Mittelwerte der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen (3 Tagen) zur Alphafehlerkumulierung wurden mittels Bonferroni-Korrektur berechnet. Im Anschluss erfolgte die Berechnung der ICC. Die ICC-Schätzungen und ihre 95 %-Konfidenzintervalle wurden mit dem SPSS-Statistikpaket Version 15 (SPSS Inc, Chicago, IL) auf der Grundlage eines 1-Wege-Mixed-Effects-Modells mit Mittelwertbildung (ICC = 1,1) und absoluter Übereinstimmung berechnet. Die ICC ist ein parametrisches statistisches Verfahren zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen mehreren Beurteilern oder mehreren Beobachtungszeitpunkten in Bezug auf mehrere Beobachtungsobjekte. Das dazugehörige Maß, die ICC, setzt intervallskalierte Daten voraus und wird in der Regel berechnet, wenn es mehr als zwei Beobachter gibt oder/und mehrere Beobachtungszeitpunkte miteinander verglichen werden sollen (Asendorpf & Wallbott, 1979; Shrout & Fleiss, 1979; McGraw & Wong, 1996; Wirtz & Caspar, 2002). Es bestehen verschiedene Berechnungsweisen der ICC, die jeweils unterschiedliche Maßgaben des experimentellen Designs auf Reliabilität untersuchen. Zur Differenzierung der jeweiligen Bedingungen haben Shrout und Fleiss (1979) eine Übersichtsarbeit erstellt. Die letzte Bedingung des Schemas stellt fest, ob die gemessenen Rohwerte einzelne oder Mittelwerte repräsentieren. Auf der Datengrundlage wurden die jeweiligen Einzelwerte zu Mittelwerten aller Probanden berechnet. Den Bedingungen des experimentellen Designs dieser Arbeit folgend, ist die ICC 1,1 die Berechnungsversion, die eine verlässliche Aussage zur Reliabilität treffen kann (Fliessbach et al., 2010).

Die Grundlage der ICC-Berechnungsweise ist eine Varianzanalyse, die solche Messfehler quantifiziert, die die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen können. Dabei wird zwischen einer systematischen Varianz zwischen den Individuen (interindividuelle Varianz) und einer Fehlervarianz, basierend auf zeitlichen Unterschieden innerhalb eines Individuums (intraindividuelle Varianz), differenziert.

Die ICC ist der Quotient aus der Differenz der interindividuellen Varianz und der Summe der Varianz zwischen und innerhalb der Individuen (Zandbelt et al., 2008). Von einer reliablen Beobachtung kann ausgegangen werden, wenn die Unterschiede zwischen den Messobjekten relativ groß und gleichzeitig die Varianz zwischen den Beobachtern in Bezug auf die Messobjekte klein sind. Der Korrelationskoeffizient kann ICC-Werte zwischen $-1,0$ und $+1,0$ annehmen. Die Reliabilitätsmaße wurden definitionsgemäß auf einen Wertebereich von 0 bis 1 beschränkt, indizieren negative ICCs eine Reliabilität von 0 (Wirtz & Caspar, 2002). Ab einem Wert von 0,7 kann von einer hohen Übereinstimmung ausgegangen werden (Greguras & Robie, 1998; Nunnally, 1978). Weitere Autoren schlagen Werte zwischen 0,4 und 0,7 als untere und obere Reliabilitätsgrenze vor (Leslie & Fleenor, 1998). Die Interpretation der ICC Werte erfolgte unter Berücksichtigung des 95%igen Vertrauensintervalls (95%-KI). Wertebereiche des 95%-KI unter 0,5 weisen auf eine schlechte Zuverlässigkeit hin, Werte zwischen 0,5 und 0,75 auf eine moderate Zuverlässigkeit, Werte zwischen 0,75 und 0,9 auf eine gute Zuverlässigkeit und Werte über 0,90 auf eine ausgezeichnete Zuverlässigkeit (Koo & Li, 2016).

6.5 Ergebnisse der Studie 1

Im folgenden Kapitel wird mithilfe der deskriptiven Statistik ein Überblick über die einzelnen Studienergebnisse geliefert. Dieser besteht aus den Darstellungen der anthropometrischen und demografischen Daten, der PPT sowie der Schmerz-, psychologischen und Vorstellungsparemeter der Studienteilnehmer. Abschließend werden die ICC Ergebnisse der 12 imaginierten Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen von rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten präsentiert.

6.5.1 Deskriptive Statistik

Die Tabelle 8 zeigt eine Gesamtübersicht der anthropometrischen und demografischen Daten sowie der schmerz-, psychologischen und Vorstellungsparemeter der Studienteilnehmer. Da es während der Studie keine Verluste von Teilnehmern gab, schlossen alle Studienteilnehmer die Studie ab. Dies hat zur Folge, dass alle Daten analysiert und für die vorliegende Arbeit genutzt werden konnten.

Bei den 12 CLBP Patienten (6 Frauen/ 6Männer) betrug die Körpergröße $170,2 \pm (8,5)$ cm und das Durchschnittsalter $38,7 \pm (11,1)$ Jahre. Die 14 rüchenschmerzfreien Probanden (9 Frauen/ 5 Männer) wiesen eine Körpergröße von $171,6 \pm 3,2$ cm auf und das durchschnittliche Alter betrug $37,1 (\pm 11,0)$ Jahre. Das durchschnittliche Körpergewicht der CLBP Patienten lag bei $68 (\pm 8,5)$ kg und $70,1 (\pm 15,4)$ kg bei den rüchenschmerzfreien Probanden. Die durchschnittliche Rückenschmerzdauer der CLBP Patienten lag bei $224,3 (\pm 223,7)$ Wochen. Zum Zeitpunkt der Basismessung konnte beim Alter, Größe und dem Gewicht eine Normalverteilung berechnet werden (vgl. Tabelle 8). Die bildlichen und kinästhetischen Vorstellungsfähigkeit (MIQ) und der HADS-D zeigten zum Zeitpunkt der Basismessung keine signifikanten Gruppenunterschiede (vgl. Tabelle 8). Der RMDQ-D wies bei dem CLBP Patienten einen Score von $5,8 (\pm 3,48)$ auf. Signifikante Gruppenunterschiede zeigten sich beim FABQ-D in den Kategorien Arbeit und Aktivität (vgl. Tabelle 6). Zum Zeitpunkt der Basismessung wiesen die CLBP Patienten eine akute Schmerzintensität von $6,7 (\pm 1,6)$ auf der VAS. Die Schmerzintensität in den vergangenen 24 Stunden betrug $4,6 (\pm 1,7)$ auf der VAS.

Tabelle 8: Anthropometrie, Demografie , Schmerz-, psychologische und Vorstellungsparameter der Studienteilnehmer der ICC-Studie

	CLBP Patienten MW ± SD	Rückenschmerz- freie Probanden MW ± SD	p-Wert
Teilnehmer	12	14	-
Alter in Jahren	38,7 ± 11,11	37,1 ± 11	n.s
Geschlecht	6 Frauen/ 6 Männer	9 Frauen/ 5 Männer	-
Größe in Zentimetern (cm)	170,2 ± 8,5	171,6 ± 3,2	n.s
Gewicht in Kilogramm (kg)	68,0 ± 14,0	70,1 ± 15, 4	n.s
Dauer der Rückenschmerzen in Wochen	224,3 ± 223,7	-	-
MIQ bildlich	47,5 ± 10	53,3 ± 8	n.s
MIQ kinästhetisch	43,0 ± 10,6	50,1 ± 8,4	n.s
VAS akut	6,7 ± 1,6	-	-
VAS 24 Stunden	4,6 ± 1,7	-	-
RMDQ-D	5,8 ± 3,4	-	-
HADS Angst	4,0 ± 2,8	3,5 ± 3	n.s
HADS Depressionen	3,2 ± 3,2	1,3 ± 1,5	n.s
FABQ Arbeit	11,6 ± 7,3	3,4 ± 7,9	*
FABQ Aktivität	11,6 ± 5,1	2,8 ± 4,4	**

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, MIQ = Motor-Imagery-Fragebogen, VAS = Visuelle-Analoge-Schmerzskala, RMDQ-D = Roland-Morris-Fragebogen, Hospital Anxiety and Depression Scale, FABQ = Fear-Avoidance-Beliefs-Questionnaire, CLBP = Chronic Low Back Pain, MW = Mittelwert und SD = Standardabweichung.

6.5.2 Ergebnisse der PPT

Die Tabelle 9 zeigt die Gruppenunterschiede der PPT der CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden. Zum Zeitpunkt der Basismessung wurde an allen acht Messpunkten (MP) eine signifikant geringere PPT bei den CLBP Patienten gemessen ($p \leq .05$). Der niedrigste gemessene Druckwerte der CLBP Patienten betrug $1 (\pm 0,8) \text{ kg/cm}^2$ bei dem MP 8 und der höchste $1,2 (\pm 0,8) \text{ kg/cm}^2$ bei dem MP 2. Die rüschenschmerzfreien Probanden zeigten bei dem MP 5 Druckwerte von $2,3 (\pm 1,1) \text{ kg/cm}^2$ (niedrigster Wert) im Vergleich zu dem MP 7 ein Druckwerk von $2,7 (\pm 1,7) \text{ kg/cm}^2$ (höchster Wert).

Tabelle 9: Basiswerte der Pressure Pain Threshold der CLBP Patienten und der rüschenschmerzfreien Probanden

Messpunkte in kg/cm^2	CLBP Patienten (n=12) MW \pm SD	Rüschenschmerzfreie Probanden (n=14) MW \pm SD	Statistik	p-Wert
PPT MP 1	1,2 \pm 0,7	2,5 \pm 1,3	t = -3,15	**
PPT MP 2	1,2 \pm 0,8	2,4 \pm 1,1	t = -2,98	**
PPT MP 3	1,1 \pm 1	2,4 \pm 1,27	t = -2,85	*
PPT MP 4	1,1 \pm 1	2,4 \pm 1,15	t = -3,15	**
PPT MP 5	1 \pm 0,9	2,3 \pm 1,1	t = -3,11	**
PPT MP 6	1 \pm 0,7	2,3 \pm 1,1	t = -3,26	**
PPT MP 7	1 \pm 0,9	2,7 \pm 1,7	t = -3,13	**
PPT MP 8	1 \pm 0,8	2,5 \pm 1,4	t = -3,29	**

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT = Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain.

6.5.3 Mittelwertanalyse imaginerter Durchführungszeiten der CLBP Patienten (Tag 1 versus Tag 2)

Die Tabelle 10 zeigt die Mittelwertanalyse zwischen dem ersten und zweiten Tag 12 imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen. Die 12 imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen wiesen zwischen dem ersten und zweiten Tag bei CLBP Patienten mit Ausnahmen der Reklination im Stand ein Signifikanzniveau von $p \geq .05$ auf .

Tabelle 10: Mittelwertanalyse der 12 imaginierten Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen der CLBP Patienten (Tag 1 versus Tag 2)

Testbewegungen	CLBP Patienten (n=12)		p-Wert
	Tag 1: MW \pm SD	Tag 2: MW \pm SD	
1. Inklination (Stand)	8,1 \pm 2,6	6,4 \pm 1,9	n.s
2. Inklination (Sitzen)	6,9 \pm 1,9	6,0 \pm 2,1	n.s
3. Reklination (Stand)	6,4 \pm 2,3	5,1 \pm 1,9	**
4. Reklination (Sitz)	6,6 \pm 2,9	5,6 \pm 2,2	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	7,8 \pm 2,6	7,2 \pm 2,7	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	7,2 \pm 2,1	7,5 \pm 3,3	n.s
7. Sockentest (Sitz)	6,3 \pm 2,8	5,6 \pm 2,7	n.s
8. Sockentest (Stand)	6,9 \pm 2,5	6,1 \pm 2,4	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	6,1 \pm 2,2	5,8 \pm 2,5	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	6,7 \pm 2,0	5,7 \pm 2,0	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,4 \pm 4,4	15,7 \pm 5,4	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	17,6 \pm 5,0	15,7 \pm 5,1	n.s

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT = Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain.

6.5.3.1 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten CLBP Patienten (Tag 2 versus Tag 3)

Die Tabelle 11 zeigt die Mittelwertanalyse zwischen dem zweiten und dritten Tag 12 imaginierter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen. Die Mittelwertanalyse zeigte bei 12 imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zwischen dem zweiten und dritten Tag bei CLBP Patienten ein Signifikanzniveau von $p \geq .05$ auf (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Mittelwertanalyse der 12 imaginierten Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen der CLBP Patienten (Tag 2 versus Tag 3)

Testbewegungen	CLBP Patienten (n=12)		p-Wert
	Tag 2: MW \pm SD	Tag 3: MW \pm SD	
1. Inklination (Stand)	6,4 \pm 1,9	6,5 \pm 2,0	n.s
2. Inklination (Sitz)	6,0 \pm 2,1	5,5 \pm 2,0	n.s
3. Reklination (Stand)	5,1 \pm 1,9	5,9 \pm 2,3	n.s
4. Reklination (Sitz)	5,6 \pm 2,2	5,6 \pm 1,6	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	7,2 \pm 2,7	7,0 \pm 2,0	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	7,5 \pm 3,3	7,1 \pm 2,4	n.s
7. Sockentest (Sitz)	5,6 \pm 2,7	4,8 \pm 2,1	n.s
8. Sockentest (Stand)	6,1 \pm 2,4	5,5 \pm 2,3	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	5,8 \pm 2,5	5,8 \pm 2,3	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	5,7 \pm 2,0	6,1 \pm 2,1	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	15,7 \pm 5,4	15,5 \pm 5,3	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	15,7 \pm 5,1	15,8 \pm 4,7	n.s

Abkürzungen: Signifikanzniveau: * = $p \leq 0,5$; ** = $p \leq 0,01$, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT = Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain.

6.5.3.2 Intraclass Correlation - CLBP Patienten (Tag 1 versus Tag 2)

Die Tabelle 12 zeigt die Reliabilität imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zwischen dem ersten und dem zweiten Tag der CLBP Patienten. Die Reklination im Stand wurde aufgrund des Signifikanzniveaus von $p \leq .05$ (vgl. Tabelle 10 in Kap. 6.5.3) aus der Analyse ausgeschlossen. Die Reliabilität der 11 analysierten imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zeigte bei den CLBP Patienten zwischen dem ersten und dem zweiten Tag ICC Werte von 0,68 - 0,96. Bei 10 von 11 imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) konnte bei CLBP Patienten zwischen dem ersten und zweiten Tag eine Reliabilität \geq ICC 0,8 berechnet werden. Unter Berücksichtigung der Varianzen des 95%-KI zeigten CLBP Patienten für die Kniebeuge (Stand) ICC = 0,97 (95%-KI: 0,9 - 0,99) eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit. Der Sockentest (Sitz) ICC = 0,96 (95%-KI: 0,88 - 0,99) zeigte eine gute Reproduzierbarkeit. Drei imaginierte Bewegungen, die Reklination (Sitz) ICC = 0,88 (95%-KI: 0,61 - 0,97), die Inklination (Sitz) ICC = 0,88 (95%-KI: 0,6 - 0,96) und das Gehen von 10 Metern (Stand) ICC = 0,85 (95%-KI: 0,53-0,96) wiesen bei CLBP Patienten eine moderate Reproduzierbarkeit auf (Tab.10). Die imaginierten Durchführungszeiten aus der Rückenlage aus dem Langsitz im Liegen 0,82 (95%-KI: 0,41-0,95) und Sitz 0,8 (95%-KI: 0,34-0,94), der Sockentest im Stand 0,82 (95%-KI: 0,42-0,95), die Kniebeuge im Sitz 0,81 (95%-KI: 0,36-0,94) und das Gehen von 10 Metern 0,83 (95%-KI: 0,45-0,95) wiesen einen ICC Wert von \geq ICC 0,8, zeigte jedoch Schwankungen beim 95%-KI. Die Inklination im Sitz 0,68 (95%-KI: 0,34-0,91) unterhalb \geq ICC 0,7 sowie eine Schwankung des 95%-KI.

Tabelle 12: Ergebnisse der ICC der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen (Tag 1 versus Tag 2) der CLBP Patienten

	CLBP Patienten (n=12)
Testbewegungen	ICC (95% KI)
1. Inklination (Stand)	0,68 (0,34-0,91)
2. Inklination (Sitzen)	0,88 (0,60-0,96)
3. Reklination (Stand)	-
4. Reklination (Sitz)	0,88 (0,61-0,97)
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	0,82 (0,41-0,95)
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	0,83 (0,34-0,94)
7. Sockentest (Sitz)	0,96 (0,88-0,99)
8. Sockentest (Stand)	0,82 (0,42-0,95)
9. Kniebeuge (Stand)	0,97 (0,90-0,99)
10. Kniebeuge (Sitz)	0,81 (0,36-0,94)
11. Gehen 10 Meter (Stand)	0,85 (0,53-0,96)
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	0,83 (0,45-0,95)

Abkürzungen: MW = Mittelwert, KI = Konfidenzintervall, ICC = Intraclass Correlation, 95%-KI = 95 %-iges Vertrauensintervall, CLBP = Chronic Low Back Pain.

6.5.3.3 Intraclass Correlation - CLBP Patienten (Tag 2 versus Tag 3)

Die Tabelle 13 zeigt die Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zwischen dem zweiten und dritten Tag der CLBP Patienten. Die Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten 12 alltagsnaher Bewegungen zeigte bei den CLBP Patienten zwischen dem zweiten und dem dritten Tag bei 12 von 12 imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) eine Reliabilität \geq ICC 0,8. Unter Berücksichtigung der Varianzen des 95%-KI konnten bei den CLBP Patienten bei fünf imaginierten Bewegungen, dem Sockentest (Sitz) ICC = 0,95 (95%-KI: 0,84 - 0,99), der Reklination (Sitz) ICC = 0,94 (95%-KI: 0,81 - 0,98), aus der Rückenlage in den Langsitz (Sitz) ICC = 0,94 (95%-KI: 0,8 - 0,98) und der Kniebeuge (Sitz) ICC = 0,93 (95%-KI: 0,78 - 0,98) eine gute Reproduzierbarkeit berechnet werden. Die CLBP Patienten zeigten bei fünf imaginierte Bewegungen, dem Sockentest (Stand) ICC = 0,91 (95%-KI: 0,71 - 0,97), das Gehen von 10 Meter (Sitz) ICC = 0,91 (95%-KI: 0,69-0,97), das Gehen von 10 Meter (Stand) ICC = 0,87 (95%-KI: 0,58-0,96), der Inklination (Stand) ICC = 0,87 (95%-KI: 0,56 - 0,96), aus der Rückenlage in den Langsitz (Liegen) ICC = 0,87 (95%-KI: 0,56 - 0,96) und der Reklination (Stand) ICC= (0,85 (0,5-0,96) eine moderate Reproduzierbarkeit. Die imaginierten Durchführungszeiten der Inklination (Sitz) ICC = 0,82 (95%-KI: 0,42 - 0,95) und die Kniebeuge im Stand (0,73 (95%-KI: 0,1-0,92) wiesen einen ICC Wert von \geq ICC 0,7 auf zeigte jedoch Schwankungen beim 95%-KI.

Tabelle 13: Ergebnisse der ICC der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen (Tag 2 versus Tag 3) der CLBP Patienten

	CLBP Patienten (n=12)
Testbewegungen	ICC (95% KI)
1. Inklination (Stand)	0,87 (0,58-0,96)
2. Inklination (Sitzen)	0,82 (0,42-0,95)
3. Reklination (Stand)	0,85 (0,5-0,96)
4. Reklination (Sitz)	0,94 (0,81-0,98)
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	0,87 (0,56-0,96)
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	0,94 (0,8-0,98)
7. Sockentest (Sitz)	0,95 (0,84-0,99)
8. Sockentest (Stand)	0,91 (0,71-0,97)
9. Kniebeuge (Stand)	0,73 (0,1-0,92)
10. Kniebeuge (Sitz)	0,93 (0,78-0,98)
11. Gehen 10 Meter (Stand)	0,87 (0,58-0,96)
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	0,91 (0,69-0,97)

Abkürzungen: MW = Mittelwert, KI = Konfidenzintervall, ICC = Intraclass Correlation, 95%-KI = 95 %-iges Vertrauensintervall, CLBP = Chronic Low Back Pain.

6.5.4 Mittelwertanalyse imaginerter Durchführungszeiten der rüschenschmerzfreien Probanden (Tag 1 versus Tag 2)

Die Tabelle 14 zeigt die Mittelwertanalyse zwischen dem ersten und zweiten Tag 12 imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen. Die 12 imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen wiesen zwischen dem ersten und zweiten Tag bei rüschenschmerzfreien Probanden mit Ausnahmen der Inklination im Sitz ein Signifikanzniveau von $P \geq .05$ auf .

Tabelle 14: Mittelwertanalyse der 12 imaginierten Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen der rüschschmerzfreien Probanden (Tag 1 versus Tag 2)

Rüschschmerzfreie Probanden (n=14)			
Testbewegungen	Tag 1: MW ± SD	Tag 2: MW ± SD	p-Wert
1. Inklination (Stand)	4,6 ± 1,6	3,6 ± 1,5	n.s
2. Inklination (Sitzen)	3,9 ± 1,7	3,1 ± 0,9	*
3. Reklination (Stand)	3,4 ± 1,2	3,1 ± 1,0	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,7 ± 1,5	3,0 ± 0,9	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4,3 ± 1,6	4,4 ± 2,0	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	4,5 ± 1,3	3,9 ± 1,1	n.s
7. Sockentest (Sitz)	3,5 ± 1,3	3,2 ± 1,1	n.s
8. Sockentest (Stand)	4,5 ± 2,2	3,6 ± 1,1	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	3,0 ± 0,9	3,2 ± 1,1	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	3,3 ± 1,0	3,3 ± 1,2	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	14,3 ± 3,7	13,3 ± 3,3	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	14,6 ± 4,3	14,2 ± 3,5	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p = \leq .01$.

6.5.4.1 Mittelwertanalyse imaginierter Durchführungszeiten der rüchenschmerzfreien Probanden (Tag 2 versus Tag 3)

Die Tabelle 15 zeigt die Mittelwertanalyse zwischen dem zweiten und dritten Tag 12 imaginierter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden. Die Kniebeuge (Stand) wurde aufgrund der fehlenden Varianzgleichheit bei den rüchenschmerzfreien Probanden aus der weiteren Analyse ausgeschlossen ($\leq .05$). Die analysierten elf imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen wiesen zwischen dem ersten und zweiten Tag bei rüchenschmerzfreien Probanden mit Ausnahmen der Kniebeuge im Stand ein Signifikanzniveau von $p \geq .05$ auf.

Tabelle 15: Mittelwertanalyse der 12 imaginierten Durchführungszeiten der alltagsnahen Bewegungen der rüchenschmerzfreien Probanden (Tag 2 versus Tag 3)

Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)			
Testbewegungen	Tag 2: MW \pm SD	Tag 3: MW \pm SD	p-Wert
1. Inklination (Stand)	3,6 \pm 1,5	3,6 \pm 1,4	n.s
2. Inklination (Sitzen)	3,1 \pm 0,9	3,0 \pm 0,9	n.s
3. Reklination (Stand)	3,1 \pm 1,0	3,0 \pm 1,0	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,0 \pm 0,9	3,2 \pm 1,0	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4,4 \pm 2,0	3,9 \pm 1,5	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	3,9 \pm 1,1	4,0 \pm 1,6	n.s
7. Sockentest (Sitz)	3,2 \pm 1,1	3,1 \pm 1,0	n.s
8. Sockentest (Stand)	3,6 \pm 1,1	3,3 \pm 1,0	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	3,2 \pm 1,1	2,9 \pm 1,0	*
10. Kniebeuge (Sitz)	3,3 \pm 1,2	3,1 \pm 1,0	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	13,3 \pm 3,3	13,6 \pm 3,1	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	14,2 \pm 3,5	14,9 \pm 3,8	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p = \leq .01$.

6.5.4.2 Intraclass Correlation der rüchenschmerzfreien Probanden (Tag 1 versus Tag 2)

Die Tabelle 16 zeigt die Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zwischen dem ersten und dem zweiten Tag ICC Werte von 0,47 - 0,92 bei den rüchenschmerzfreien Probanden. Die Inklination im Sitz wurde aufgrund des Signifikanzniveaus von $p \leq .05$ (vgl. Tabelle 14 in Kapitel 6.5.4) aus der Analyse ausgeschlossen.

Die Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten elf alltagsnaher Bewegungen zeigte bei Betrachtung des ersten und zweiten Tages für acht von elf imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) eine Reliabilität \geq ICC 0,8. Unter Berücksichtigung der Varianzen des 95%-KI zeigten rüchenschmerzfreie Probanden beim imaginierten Gehen von 10 Metern (Sitz) ICC = 0,92 (95%-KI: 0,76 - 0,97) eine gute Reproduzierbarkeit. Eine moderate Reproduzierbarkeit zwischen dem ersten und zweiten Tag zeigten rüchenschmerzfreie Probanden bei der Reklination (Stand) ICC = 0,9 (95%-KI: 0,7 - 0,97), dem Gehen von 10 Metern (Stand) ICC = 0,85 (95%-KI: 0,67-0,96), der Rückenlage in den Langsitz (Sitz) ICC = 0,87 (95%-KI: 0,60 - 0,96), der Kniebeuge (Sitz) ICC = 0,85 (95%-KI: 0,54 - 0,95), der Kniebeuge (Stand) ICC = 0,89 (95%-KI: 0,68 - 0,97), Reklination (Sitz) ICC = 0,67 (0,62-0,83) und das Gehen von 10 Metern im Stand 0,89 (95%-KI: 0,67-0,96) eine moderate Reproduzierbarkeit. Der Sockentest (Sitz) ICC = 0,83 (95%-KI: 0,49 - 0,94) und die Inklination (Stand) ICC = 0,8 (95%-KI: 0,39 - 0,93) wiesen bei der Reproduzierbarkeit der imaginierten Durchführungszeiten zwischen ersten und zweiten Tag einen ICC Wert von \geq ICC 0,7 auf zeigte jedoch Schwankungen beim 95%-KI. Die imaginierte Bewegung aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen 0,52 (95%-KI: 0,45 - 0,84) und der Sockentest im Stand 0,67 (95%-KI: 0,03 - 0,9) zeigten bei den rüchenschmerzfreien Probanden eine schlechte Reproduzierbarkeit der imaginierten Durchführungszeiten zwischen dem ersten und zweiten Tag auf.

Tabelle 16: Ergebnisse der ICC der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen (Tag 1 versus Tag 2) der rüchenschmerzfreien Probanden

	Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)
Testbewegungen	ICC (95% KI)
1. Inklination (Stand)	0,82 (0,39-0,93)
2. Inklination (Sitzen)	-
3. Reklination (Stand)	0,9 (0,72-0,97)
4. Reklination (Sitz)	0,67 (0,62-0,83)
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	0,52 (0,45-0,84)
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	0,87 (0,60-0,96)
7. Sockentest (Sitz)	0,83 (0,49-0,94)
8. Sockentest (Stand)	0,67 (0,03-0,9)
9. Kniebeuge (Stand)	0,89 (0,68-0,97)
10. Kniebeuge (Sitz)	0,85 (0,54-0,95)
11. Gehen 10 Meter (Stand)	0,89 (0,67-0,96)
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	0,92 (0,76-0,97)

Abkürzungen: MW = Mittelwert, KI = Konfidenzintervall, ICC = Intraclass Correlation, 95%-KI = 95 %-iges Vertrauensintervall.

6.5.4.3 Intraclass Correlation der rüchenschmerzfreien Probanden (Tag 2 versus Tag 3)

Die Tabelle 17 zeigt die Reliabilität imaginierten Durchführungszeiten elf alltagsnaher Bewegungen zwischen dem zweiten und dritten Tag ICC Werte von 0,83 - 0,96 bei den rüchenschmerzfreien Probanden. Die Reliabilität imaginierten Durchführungszeiten elf alltagsnaher Bewegungen zeigte bei den zwischen dem zweiten und dem dritten Tag für elf von 12 imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) eine Reliabilität \geq ICC 0,8. Die Kniebeuge im Stand wurde aufgrund des Signifikanzniveaus von $p \leq .05$ aus der Analyse ausgeschlossen (vgl. Tabelle 15 in Kapitel 6.5.4.1).

Unter Berücksichtigung der Varianzen des 95%-KI zeigten rüchenschmerzfreie Probanden bei vier imaginierten Bewegungen Inklination (Stand) ICC = 0,96 (95%-KI: 0,88 - 0,99), Gehen von 10 Metern (Stand) ICC = 0,95 (95%-KI: 0,86 - 0,98), Sockentest im Sitz 3 ICC = 0,95 (95%-KI: 0,86 - 0,98) und der Reklination (Stand) ICC = 0,94 (95%-KI: 0,81 - 0,98) eine gute Reproduzierbarkeit berechnet werden. Mit Ausnahmen des Sockentests im Stand ICC = 0,83 (95%-KI: 0,49 - 0,94) zeigten die rüchenschmerzfreien Probanden bei sechs imaginierten Bewegungen bei der Reklination (Sitz) ICC = 0,91 (95%-KI: 0,73 - 0,97), der Kniebeuge (Sitz) ICC = 0,89 (95%-KI: 0,68 - 0,97), aus der Rückenlage in den Langsitz (Sitz) ICC = 0,89 (95%-KI: 0,68 - 0,97), der Inklination (Sitz) ICC = 0,88 (95%-KI: 0,65 - 0,96), beim Gehen von 10 Metern (Sitz) ICC = 0,88 (95%-KI: 0,64-0,96) und Rückenlage in den Langsitz (Liegen) ICC = 0,85 (95%-KI: 0,54 - 0,95) eine moderate Reproduzierbarkeit der imaginierten Durchführungszeiten zwischen dem zweiten und dritten Tag.

Tabelle 17: Ergebnisse der Bewegungsvorstellungen (Testbatterie), ICC Tag 2 versus Tag 3 der rüchenschmerzfreien Probanden

	Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)
Testbewegungen	ICC (95% KI)
1. Inklination (Stand)	0,96 (0,88-0,99)
2. Inklination (Sitzen)	0,88 (0,65-0,96)
3. Reklination (Stand)	0,94 (0,81-0,98)
4. Reklination (Sitz)	0,91 (0,73-0,97)
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	0,85 (0,54-0,95)
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	0,89 (0,68-0,97)
7. Sockentest (Sitz)	0,95 (0,86-0,98)
8. Sockentest (Stand)	0,83 (0,49-0,94)
9. Kniebeuge (Stand)	-
10. Kniebeuge (Sitz)	0,89 (0,68-0,97)
11. Gehen 10 Meter (Stand)	0,95 (0,86-0,98)
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	0,88 (0,64-0,96)

Abkürzungen: MW = Mittelwert, KI = Konfidenzintervall, ICC = Intraclass Correlation, 95%-KI = 95 %-iges Vertrauensintervall.

6.6 Durchführung Studie 2

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Beschreibung des Untersuchungsablaufs. Des Weiteren wird die Auswertungsmethodik sowie die MC der imaginierten Durchführungszeiten und die MC von alltagsnahen Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten näher beschrieben.

6.6.1 Untersuchungsmethodik der mentalen Chronometrie

Insgesamt wurden 34 Studienteilnehmer (14 Rückenschmerzfreie Probanden/ 20 CLBP Patienten) für die Erfassung der MC rekrutiert, die die Einschlusskriterien (siehe Tabelle 6 in Kapitel 6.1) erfüllten. Die Untersuchung wurde in den Praxisräumen des Autors in Essen durchgeführt. Vor Beginn der Untersuchung wurden anthropometrische und demografische Daten sowie Schmerz-, psychologische und Vorstellungsparmeter ermittelt. Darauf erfolgte die Zeiterfassung 12 imaginierten Durchführungszeiten alltagsnahen Bewegungen (vgl. Kapitel 6.3). Die Messung unterlag einem standardisierten Ablauf, welcher in Kapitel 6.3 beschrieben wurde. Zunächst erfolgte die Zeiterfassung der 12 imaginierten Bewegungen (vgl. Kapitel 6.3.2) und im Anschluss erfolgte die Zeiterfassung der neun aktiven Bewegungen (vgl. Kapitel 6.3.3). Die Zeiterfassung der imaginierten Bewegungen fand im Gegensatz zu den aktiven Bewegungen unter EMG-Ableitung statt (vgl. Kapitel 6.3.4).

Die Studienteilnehmer wurden im Gegensatz zu den aktiven darum gebeten, während der imaginierten Bewegungen die Augen zu schließen. Um mögliche Stürze bei den aktiven Bewegungen zu vermeiden, wurde auf das Schließen der Augen verzichtet. Die manuell und digital erfassten Daten wurden zur statistischen Auswertung in eine Datenmatrix übertragen und einer Datenanalyse unterzogen (vgl. Abbildung 18).

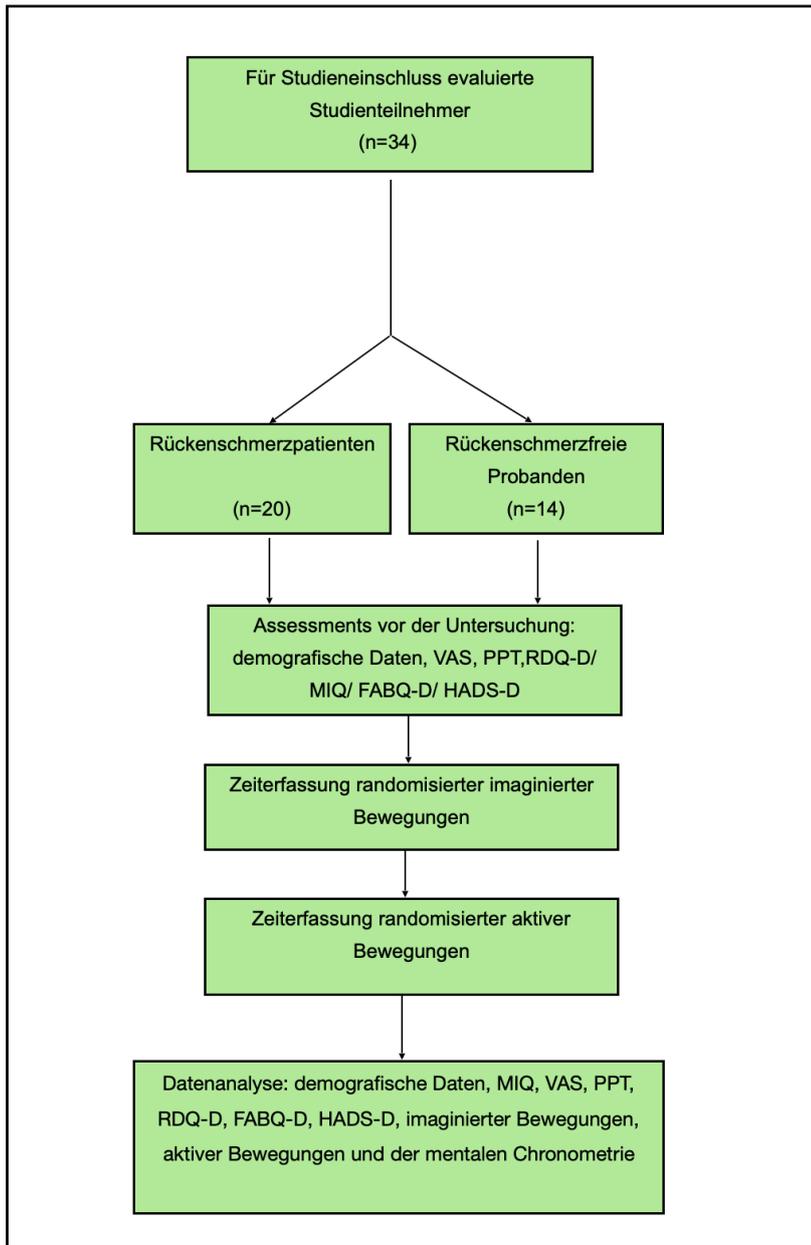


Abbildung 18: Flowchart-Untersuchung der mentalen Chronometrie.

6.6.2 Statistische Auswertung der mentalen Chronometrie

Die Datenanalyse fand mit dem SPSS-Statistikpaket Version 15 (SPSS Inc, Chicago, IL) statt. Es folgte eine Transformation in Prozentränge in Bezug auf den höchsten möglichen Wert, um einen Vergleich innerhalb und zwischen den Untersuchungsteilnehmern zu ermöglichen. Daraufhin wurde eine Prüfung auf Normalverteilung der anthropometrischen und demografischen Daten mittels Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt ($p \geq .05$). Nach der Überprüfung der Normalverteilung wurden Mittelwertvergleiche innerhalb und zwischen den Gruppen zum Basiszeitpunkt mittels abhängigen und unabhängigen t-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau in allen statistischen Tests wurde auf $p = \leq .05$ festgelegt.

6.7 Ergebnisse der Studie 2

Mithilfe der deskriptiven Statistik wird im folgenden Abschnitt ein Überblick über die zweite Studie geliefert. Dieser besteht aus den Darstellungen der anthropometrischen und demografischen Daten sowie schmerz-, psychologische und Vorstellungparameter der Studienteilnehmer. Im zweiten Schritt werden die einzelnen Messpunkte der PPT beider Gruppen dargestellt. Im letzten Abschnitt erfolgt die Untersuchung und die Ergebnispräsentation der MC der CLBP Patienten und der rü-ckenschmerzfreen Probanden.

6.7.1 Deskriptive Statistik

Die Tabelle 18 zeigt eine Gesamtübersicht der anthropometrischen und demografischen Daten sowie der Schmerz-, psychologischen und Vorstellungparameter der Studienteilnehmer. Da es keine Dropouts gab, wurden alle Studienteilnehmer, welche die Studie abschlossen, analysiert. Bei den 20 CLBP Patienten (14 Frauen/6Männer) betrug die Körpergröße 173,4 ($\pm 8,6$) cm und das Durchschnittsalter 41,1 ($\pm 11,1$) Jahre. Die 14 rü-ckenschmerzfreen Probanden (14 Frauen/5 Männer) wiesen eine Körpergröße auf von 171,6 ($\pm 3,2$) cm und das durchschnittliche Alter lag bei 37,1 (± 11) Jahre.

Das durchschnittliche Körpergewicht der CLBP Patienten betrug 74,8 (\pm 15,7) kg und 70,1 (\pm 15,4) kg bei den rüschenschmerzfreien Probanden. Die durchschnittliche Rückenschmerzdauer der CLBP Patienten lag bei 252,5 (\pm 211,6) Wochen. Zum Zeitpunkt der Basismessung konnte beim Alter, Größe und dem Gewicht eine Normalverteilung berechnet werden (vgl. Tabelle 18). Die bildlichen und kinästhetischen Vorstellungsfähigkeit (MIQ) waren ebenfalls normalverteilt (vgl. Tabelle 18). Der HADS-D wies bei CLBP Patienten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden einen signifikant höheren Depressionsscore auf ($p \leq .01$). In der Kategorie „Angst“ des HADS-D konnte eine Normalverteilung berechnet werden (vgl. Tabelle 6). Der RMDQ-D wies bei dem CLBP Patienten einen Score von 4,5 auf. CLBP Patienten weisen im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden signifikant höhere Werte des FABQ-D (Kategorie: Arbeit und Aktivität) auf (vgl. Tabelle 18). Bei CLBP Patienten konnte zum Zeitpunkt der Basismessung eine akute Schmerzintensität von 6,2 (\pm 1,7) auf der VAS gemessen werden. Die Schmerzintensität in den vergangenen 24 Stunden betrug 4,3 (\pm 1,8) auf der VAS (vgl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Anthropometrie, Demografie sowie Schmerz-, psychologische und Vorstellungsparameter

	CLBP Patienten MW ± SD	Rückenschmerzfreie Probanden MW ± SD	p-Wert
Teilnehmer	20	14	-
Alter in Jahren	41,1 ± 11,1	37,1 ± 11	n.s
Geschlecht	14 Frauen/6 Männer	9 Frauen/5Männer	-
Größe in Zentimetern (cm)	173,4 ± 8,6	171,6 ± 3,2	n.s
Gewicht in Kilogramm (kg)	74,8 ± 15,7	70,1 ± 15,4	n.s
Dauer der Rückenschmerzen in Wochen	252,5 ± 211,6	-	-
MIQ bildlich	48 ± 8,5	53,3 ± 8	n.s
MIQ kinästhetisch	43,7 ± 9,8	50,1 ± 8,4	n.s
VAS akut	6,2 ± 1,7	-	-
VAS 24 Stunden	4,3 ± 1,8	-	-
RMDQ	4,5	-	-
HADS Angst	5,6 ± 3,7	3,6 ± 3	n.s
HADS Depressionen	4,2 ± 3,5	1,3 ± 1,5	*
FABQ Arbeit	16,3 ± 8,9	3,7 ± 8,2	**
FABQ Aktivität	12,3 ± 4,3	2,8 ± 4,4	**

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, MIQ = Motor-Imagery-Fragebogen, VAS = Visuelle-Analogue-Schmerzskala, RMDQ-D = Roland-Morris-Fragebogen, Hospital Anxiety and Depression Scale, FABQ = Fear-Avoidance-Beliefs-Questionnaire, CLBP = Chronic Low Back Pain, MW = Mittelwert und SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.7.2 Pressure Pain Threshold im Gruppenvergleich

Die Tabelle 19 zeigt die Unterschiede der PPT der rückenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten (vgl. Kapitel 6.4.6). Zum Zeitpunkt der Basismessung wurde an allen acht Messpunkten (MP) eine signifikant geringere PPT bei den CLBP Patienten gemessen ($p \leq .01$). Der niedrigste gemessene Druckwert der CLBP Patienten betrug $0,9 (\pm 0,7) \text{ kg/cm}^2$ an dem MP 6 und MP 8. Der höchste PPT Wert betrug $1,1 \pm (0,6) \text{ kg/cm}^2$ bei dem MP 1. Die rückenschmerzfreien Probanden zeigten bei dem MP 5 und MP 6 Druckwerte von $2,3 (\pm 1,1) \text{ kg/cm}^2$ (niedrigster Wert) im Vergleich zu dem MP 7 einen Druckwert von $2,7 (\pm 1,7) \text{ kg/cm}^2$ (höchster Wert).

Tabelle 19: Ausgangswerte der Pressure Pain Threshold im Gruppenvergleich

Messpunkte in kg/cm ²	CLBP Patienten (n=20) MW ± SD	Rückenschmerzfreie Probanden (n=14) MW ± SD	p-Wert
PPT MP 1	1,1 ± 0,6	2,5 ± 1,3	**
PPT MP 2	1 ± 0,7	2,4 ± 1,1	**
PPT MP 3	1 ± 0,8	2,4 ± 1,3	**
PPT MP 4	1 ± 0,8	2,4 ± 1,1	**
PPT MP 5	1, ± 0,8	2,3 ± 1,1	**
PPT MP 6	0,9 ± 0,7	2,3 ± 1,1	**
PPT MP 7	0,9 ± 0,8	2,7 ± 1,7	**
PPT MP 8	0,9 ± 0,7	2,5 ± 1,4	**

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT = Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.7.3 Mentale Chronometrie der Rückenschmerzpatienten

Die Tabelle 20 zeigt die Vergleiche der imaginierten Durchführungszeiten und aktiven Bewegungen im Sinne der MC bei CLB Patienten. Das Gehen von 10 Metern im Stand zeigte keine signifikanten Unterschiede der MC bei CLBP Patienten ($p \geq .05$). Bei der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, Sockentest im Sitz und im Stand und die Kniebeuge im Stand konnten signifikante Unterschiede der MC bei den CLBP Patienten berechnet werden ($p \leq .01$). Im Vergleich der MC wiesen allen 8 Bewegungen der CLBP Patienten längere imaginierte Durchführungszeiten auf. Die Rückenlage in den Langsitz im Sitzen, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitzen waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 20: Ergebnisse der mentalen Chronometrie innerhalb der CLBP Patienten

Testbewegungen	CLBP Patienten (n=20)		p-Wert
	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	8,1 ± 2,6	4,5 ± 1,3	**
2. Inklination (Sitz)	6,9 ± 2,0	3,9 ± 1,1	**
3. Reklination (Stand)	6,5 ± 2,3	4,3 ± 1,2	**
4. Reklination (Sitz)	6,7 ± 2,9	4,3 ± 1,5	**
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	7,8 ± 2,6	5,1 ± 1,3	**
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	6,3 ± 2,8	3,6 ± 1,2	**
8. Sockentest (Stand)	6,9 ± 2,5	3,4 ± 0,8	**
9. Kniebeuge (Stand)	6,1 ± 2,2	3,1 ± 0,8	**
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,4 ± 4,4	16,2 ± 1,8	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p = \leq .01$.

6.7.3.1 Mentale Chronometrie der rüchenschmerzfreien Probanden

Die Tabelle 21 zeigt die Vergleiche der imaginierten Durchführungszeiten und aktiven Bewegungen im Sinne der MC bei den rüchenschmerzfreien Probanden. Bei der MC der Inklination im Stand ($p \leq .01$) und im Sitz sowie beim Sockentest im Sitz und im Stand ($p \leq .05$) wurde ein signifikanter Unterschied der MC bei den rüchenschmerzfreien Probanden berechnet. Bei dem Vergleich der MC der oben aufgezählten Bewegungen zeigen sich bei allen vier untersuchten Bewegungen längere imaginierte Durchführungszeiten bei den rüchenschmerzfreien Probanden. Keine signifikanten Unterschiede der MC zeigten sich bei der Reklination im Stand und im Sitz aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand sowie beim Gehen von 10 Metern ($p \geq .05$).

Die Rückenlage in den Langsitz im Sitzen, die Kniebeuge im Sitzen sowie das Gehen von 10 Metern im Sitzen waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 21: Ergebnisse der Mentalen Chronometrie der rüchenschmerzfreien Probanden

Testbewegungen	Rüchenschmerzfreie Probanden	Rüchenschmerzfreie Probanden	p-Wert
	(n=14) Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	(n=14) Aktive Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,6 ± 1,6	3,3 ± 1,0	**
2. Inklination (Sitzen)	3,9 ± 1,7	3,2 ± 0,8	*
3. Reklination (Stand)	3,4 ± 1,2	3,2 ± 0,7	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,7 ± 1,6	3,2 ± 0,7	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4,3 ± 1,6	3,8 ± 1,0	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3,5 ± 1,3	2,7 ± 0,8	*
8. Sockentest (Stand)	4,5 ± 2,2	2,9 ± 0,9	*
9. Kniebeuge (Stand)	3,0 ± 0,9	2,6 ± 0,7	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	14,3 ± 3,7	15 ± 1,8	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.7.3.2 Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten

Die Tabelle 22 zeigt die imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der CLBP Patienten und der rüchenschmerzfreien Probanden. Der Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten zeigt beim Gehen von 10 Metern im Stand keinen signifikanten Unterschied ($p \geq .05$).

Die restlichen elf Alltagsbewegungen, die Inklination im Stand und im Sitz, die Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und Sitz, der Sockentest im Sitz und im Stand ($p \leq .05$) und die Kniebeuge im Stand und im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitz ($p \leq .05$) konnten signifikante Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten ($p \leq .01$) berechnet werden. Bei dem zeitlichen Abgleich wiesen CLBP im Vergleich zu rüchenschmerzfreien Probanden in allen Bewegungen längere imaginierte Durchführungszeiten auf.

Tabelle 22: Vergleich der imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnahe Bewegungen) der CLBP Patienten und rüchenschmerzfreien Probanden

Testbewegungen	CLBP Patienten	Rüchenschmerzfreie Probanden	p-Wert
	(n=20) Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	(n = 14) Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	8,1 ± 2,6	4,6 ± 1,6	**
2. Inklination (Sitz)	6,9 ± 1,9	3,9 ± 1,7	**
3. Reklination (Stand)	6,5 ± 2,3	3,4 ± 1,2	**
4. Reklination (Sitz)	6,7 ± 3,0	3,7 ± 1,6	**
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	7,8 ± 2,1	4,3 ± 1,6	**
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	7,2 ± 2,1	4,5 ± 1,3	**
7. Sockentest (Sitz)	6,3 ± 2,7	3,5 ± 1,3	**
8. Sockentest (Stand)	6,9 ± 2,5	4,3 ± 2,2	*
9. Kniebeuge (Stand)	6,1 ± 2,2	3,0 ± 0,9	**
10. Kniebeuge (Sitz)	6,7 ± 2,0	3,3 ± 1,0	**
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,4 ± 4,4	14,3 ± 4,4	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	17,6 ± 4,9	14,6 ± 4,3	*

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.7.3.3 Abgleich der aktiven Durchführungszeiten

Die Tabelle 23 zeigt die aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der CLBP Patienten und der rüschenschmerzfreien Probanden. Der Abgleich der aktiven Durchführungszeiten beim Gehen von 10 Metern und dem Sockentest im Stand zeigte keine signifikanten Unterschiede ($p \geq .05$). Die verbleibenden sieben Alltagsbewegungen, die Inklination im Stand und im Sitz, die Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, dem Sockentest im Sitz und der Kniebeuge im Stand wiesen signifikante Unterschiede der aktiven Durchführungszeiten auf ($p \leq .05$). Der zeitliche Abgleich aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zeigt bei CLBP im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden bei den sieben Bewegungen längere aktive Durchführungszeiten auf. Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitz waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 23: Durchführungszeiten der aktiven Bewegungen im Gruppenvergleich

Testbewegungen	CLBP Patienten (n=20)	Rückenschmerzfreie Probanden (n = 14)	p-Wert
	Aktive Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,5 ± 1,3	3,4 ± 1,0	*
2. Inklination (Sitzen)	3,9 ± 1,1	3,2 ± 0,8	*
3. Reklination (Stand)	4,3 ± 1,2	3,2 ± 0,7	**
4. Reklination (Sitz)	4,3 ± 1,5	3,2 ± 0,7	*
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	5,1 ± 1,3	3,8 ± 1,0	**
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3,6 ± 1,2	2,7 ± 0,8	*
8. Sockentest (Stand)	3,4 ± 0,8	2,9 ± 0,9	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	3,1 ± 0,8	2,6 ± 0,7	*
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,2 ± 1,8	15 ± 1,8	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.8 Durchführung Studie 3

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Beschreibung der Untersuchungsmethode des vierwöchigen mentalen Trainings (MT) und der Auswertungsmethodik bei rücken-schmerzfreien Probanden und CLBP Patienten.

6.8.1 Untersuchungsmethode des vierwöchigen mentalen Trainings

Im letzten Studienabschnitt wurde eine vierwöchige Interventionsphase anhand eines MT an 20 CLBP Patienten und 14 rücken-schmerzfreien Gruppe durchgeführt. Die Untersuchung wurde in den Praxisräumen des Autors in Essen durchgeführt. Vor Beginn der Untersuchung wurden die Einschlusskriterien sichergestellt.

Außerdem wurden anthropometrische und demografische Daten sowie Schmerz-, psychologische und Vorstellungparameter ermittelt. Das MT umfasste wöchentlich zwei Sitzungen, welche eine Dauer von 25 bis 30 Minuten pro Sitzung hatten. Das vierwöchige MT setzte sich aus insgesamt acht Übungen zusammen, die einer wöchentlichen Progression unterlagen (vgl. Kapitel 6.7.2). In dem Untersuchungszeitraum des vierwöchigen MT fand keine zusätzliche physiotherapeutische Behandlung der Studienteilnehmer statt. Die manuell und digital erfassten Daten wurden zur statistischen Auswertung in eine Datenmatrix übertragen und einer Datenanalyse unterzogen (vgl. Abbildung 19).

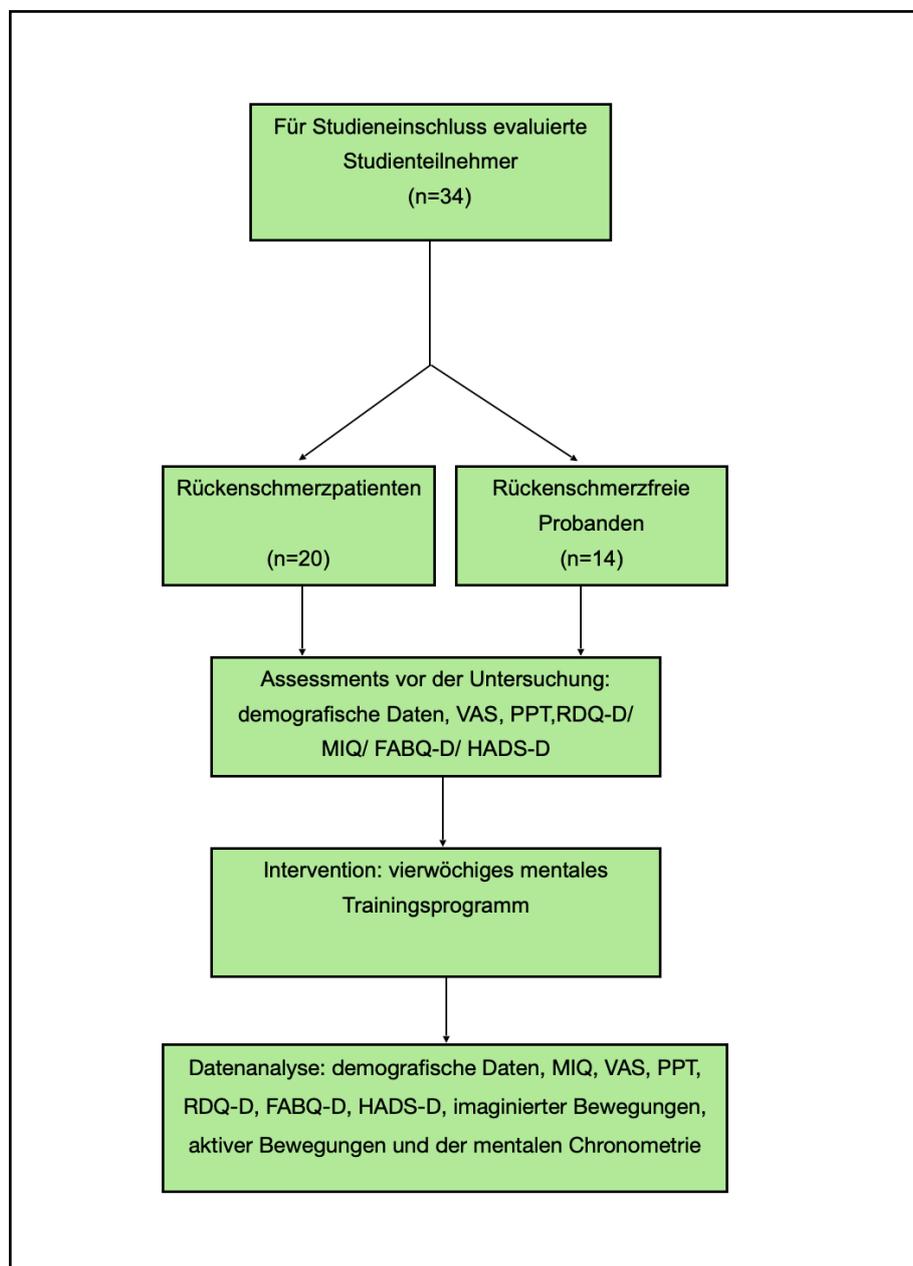


Abbildung 19: Flowchart-Untersuchung des vierwöchigen mentalen Trainings.

6.8.2 Beschreibung des mentalen Trainingsprogramms

In der ersten Behandlungswoche wurden zwei Übungen erarbeitet (vgl. Abbildung 20). Pro mentaler Übung wurden vier Sätze à zehn Wiederholungen durchgeführt. Die erste Intervention schloss die Erarbeitung der Bewegungskontrolle der Lendenwirbelsäule aus einfachen Ausgangssituationen ein (vgl. Abb.20). Die Auswahl der motorischen Kontrollübungen erfolgte auf Grundlage von Wirksamkeitsnachweisen bei der aktiven Anwendung bei Patienten mit CLBP (Rasmussen, Leboeuf-Yde, Hestbaek & Manniche, 2009; Sherean et al., 2012)

Bewegung	Ausgangssituation	Endposition
(1) Beckenkipfung		
(2) Beckenkipfung im Sitz		

Abbildung 20: Übungsinhalte der ersten Interventionswoche 1. Übung: Motorische Kontrolle der Lendenwirbelsäule (Beckenkipfung im Liegen) 2. Übung: Beckenkipfung im Sitz. Quelle: eigene Darstellung.

Der Studienteilnehmer nahm beim MT immer die gleiche Körperhaltung wie bei der durchzuführenden Bewegung ein. Pro Sitzung wurde jeweils nur eine neue Bewegung sowie maximal drei bekannte Bewegungen mental trainiert. Die Basis des Mentalen Trainings stellte die Erarbeitung der Bewegungsvorstellung für die Zielbewegung dar, die sich in zwei Phasen unterteilte. In der ersten Phase stand die Erarbeitung durch den räumlich-bildhaften Ansatz unter Mithilfe von einminütigen Videoaufnahmen der Zielbewegung an.

Darauf aufbauend erfolgten die Bewegungsvorstellungen mittels kinästhetischer Trainingskomponente in Anlehnung an das Modell zum Aufbau von Bewegungsvorstellungen in fünf Schritten nach Eberspächer (1996).

Die Details der ersten Behandlung werden im folgenden Abschnitt anhand der ersten Basisbewegung exemplarisch (Beckenkipfung in Rückenlage) verdeutlicht.

Dafür lag der Studienteilnehmer in der Rückenlage, die Beine sind mit einer Halbrolle unterlagert. Den Ausgangspunkt bildet die Beschreibung der Zielbewegung durch den Versuchsleiter (Schritt 1). Diese lautete: „Kippen Sie Ihr Becken nach vorne, so dass ein Hohlraum zwischen Unterlage und Ihrem unteren Rücken entsteht. Leiten Sie dabei die Bewegung über das Becken ein, so dass am Ende der Bewegung der Hauptdruck am Kreuzbein und im unteren Brustwirbelsäulenbereich liegt. Das Spannungsgefühl befindet sich dominant am Ende der Bewegung vorwiegend in dem gebildeten Hohlraum zwischen Lendenwirbelsäule und Unterlage.“

Wenn das Ende der Bewegung erreicht wird, kippen Sie Ihr Becken wieder nach hinten, so dass es keinen Hohlraum mehr zwischen Unterlage und Lendenwirbelsäule gibt. In dieser Endposition besteht nun kein maximaler Kontakt der Lendenwirbelsäule zur Unterlage. Die Hauptspannung befindet sich in der Endposition im unteren Bauchbereich.“ Im Anschluss ist der Patient in der Lage, den Bewegungsablauf in eigenen Worten zusammenzufassen (Schritt 2). Im nächsten Schritt erfolgte die Internalisierung des Bewegungsablaufes, indem sich der Patient die Bewegung immer wieder in Form eines Selbstgespräches vorsagte (Schritt 3). Danach legten der Patient und der Therapeut die Knotenpunkte der Bewegung gemeinsam fest (Schritt 4). Für die ersten Basisbewegungen ist der Aufbau der Spannung über die Beckenbewegung nach „vorne“ und nach „hinten“ in Relation zur Unterlage eine grundlegende Voraussetzung. Im letzten Schritt wurden diese Schlüsselstellen (Knotenpunkte) individuell mit Kurzformeln symbolisch markiert (Schritt 5). Daraus ergaben sich die Kurzformel: „Das Becken nach vorne kippen und nach hinten kippen.“ Zum Schluss führte der Studienteilnehmer die Übung mental durch und erhielt dabei folgende Instruktionen: „Schließen Sie bitte die Augen.“

Versuchen Sie, die Innenperspektive einzunehmen. Gehen sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung Ihres Körpers gespürt?

Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung? Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung, wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird.“ In der zweiten (vgl. Abb. 21), dritten (vgl. Abb. 22) und vierten Woche (vgl. Abb. 23) wurde pro Sitzung eine neue Bewegung mental trainiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Progression von einfach zu schwer erfolgt. Das bedeutet, dass in der ersten Woche einfache Körperhaltungen wie die Rückenlage und der Sitz für das MT gewählt wurden (vgl. Abb.20). Darauf aufbauend wurde in der zweiten Woche eine Kombination aus Sitz und Stand als Progression gewählt (vgl. Abbildung 21). In der dritten und vierten Woche erfolgten komplexere Bewegungsabläufe wie die Kniebeuge im Stand und die Übungen im Vierfüßlerstand (Rocking) (vgl. Abb. 22). Die genauen Instruktionen zu jeder einzelnen Bewegungsvorstellung befinden sich im Anhang 6.

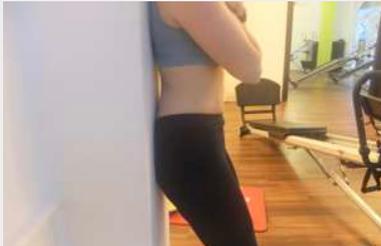
Bewegung	Ausgangssituation	Endposition
(3) Kniestreckung im Sitz		
(4) Lendenwirbelsäulenkontrolle an der Wand		

Abbildung 21: Übungsinhalte der zweiten Interventionswoche. 3. Übung: aktive Knieextension mit stabilisierter Lendenwirbelsäule (LWS) im Sitz 4. Übung: Kontrolle der Extension der LWS an der Wand. Quelle: eigene Darstellung.

Bewegung	Ausgangssituation	Endposition
(5) Kniebeuge		
(6) Rocking		

Abbildung 22: Übungsinhalte der dritten Interventionswoche 5. Übung: Kniebeuge, 6. Übung: Rocking im Vierfüßler. Quelle: eigene Darstellung.

Bewegung	Ausgangssituation	Endposition
(7) Rocking		
(8) Kontrolle der Lendenwirbelsäule in Seitenlage		

Abbildung 23: Übungsinhalte der vierten Interventionswoche 7. Übung: Rocking im Vierfüßler, 8. Übung: Beckenkontrolle in der Seitenlage mit Bein abheben. Quelle: eigene Darstellung.

6.8.3 Statistische Auswertung Studie 3

Nach Erhebung der Daten fand zunächst der Übertrag in die Datenmatrix statt, um einen Vergleich innerhalb und zwischen den Untersuchungsteilnehmern zu ermöglichen. Es wurden Mittelwertvergleiche innerhalb und zwischen den Gruppen zum Basiszeitpunkt, zwei Wochen und vier Wochen mittels abhängigen und unabhängigen t-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau in allen statistischen Tests wurde auf $p = .05$ festgelegt. Ein signifikanter Mittelwertunterschied ist gegeben bei $p \leq .05$, ein hoch signifikanter Unterschied ab $p \leq .01$, ein höchst signifikanter Unterschied ab $p \leq .001$ (Clauß & Ebner, 1985). Die Testverfahren der vorliegenden Doktorarbeit wurden durch das Programmpaket SPSS-Statistikpaket Version 20 (SPSS Inc, Chicago, IL) auf diesen p-Wert vereinheitlicht.

6.9 Ergebnisse Studie 3

Im folgenden Kapitel wird mithilfe der deskriptiven Statistik ein Überblick über den dritten Studienabschnitt dargestellt. Dieser besteht aus den anthropometrischen und demografischen Daten, der Darstellung der PPT sowie der Schmerz-, psychologischen und Vorstellungparameter der Studienteilnehmer. Darauf aufbauend werden die Ergebnisse der Veränderungen der MC, der imaginierten Durchführungszeiten sowie der PPT nach einem vierwöchigen MT bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten dargestellt.

6.9.1 Deskriptive Statistik

Die Tabelle 24 zeigt eine Gesamtübersicht der anthropometrischen und demografischen Daten sowie der Schmerz-, psychologischen und Vorstellungparameter der Studienteilnehmer. Bei den 20 CLBP Patienten (14 Frauen/6Männer) betrug die Körpergröße $173,4 (\pm 8,6)$ cm und das Durchschnittsalter $41,1 (\pm 11,1)$ Jahre. Die 14 rüschenschmerzfreien Probanden (9 Frauen/ 5 Männer) wiesen eine Körpergröße von $171,6 \pm 3,2$ cm auf. Das durchschnittliche Alter lag bei $37,1 (\pm 11,0)$ Jahre. Das durchschnittliche Körpergewicht der CLBP Patienten lag bei $74,8 (\pm 15,7)$ kg und $70,1 (\pm 15,4)$ kg bei den rüschenschmerzfreien Probanden. Die durchschnittliche Rückenschmerzdauer der CLBP Patienten lag bei $252,5 (\pm 211,6)$ Wochen.

Zum Zeitpunkt der Basismessung konnte beim Alter, Größe und dem Gewicht eine Normalverteilung berechnet werden. Die bildliche und kinästhetische Vorstellungsfähigkeit (MIQ) war ebenfalls normalverteilt. Der HADS-D wies bei CLBP Patienten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden einen signifikant höheren Depressionsscore auf. In der Kategorie Angst des HADS-S konnte eine Normalverteilung berechnet werden. Der RMDQ-D wiesen bei dem CLBP Patienten einen Score von 4,5 auf. CLBP Patienten weisen im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden signifikant höhere Werte des FABQ-D (Kategorie: Arbeit und Aktivität) auf. Bei CLBP Patienten konnte zum Zeitpunkt der Basismessung eine akute Schmerzintensität von 6,2 (± 1,7) auf der VAS gemessen werden. Die Schmerzintensität in den vergangenen 24 Stunden betrug 4,3 (± 1,8) auf der VAS.

Tabelle 24: Anthropometrie, Demografie, Schmerz-, psychologische und Vorstellungsparameter der Studienteilnehmer

	CLBP Patienten	Rückenschmerzfreie Probanden	p-Wert
	MW ± SD	MW ± SD	
Teilnehmer	20	14	-
Alter in Jahren	41,1 ± 11,1	37,1 ± 11	n.s
Geschlecht	14 Frauen/6 Männer	9 Frauen/5 Männer	-
Größe in Zentimetern (cm)	173,4 ± 8,6	171,6 ± 3,2	n.s
Gewicht in Kilogramm (kg)	74,8 ± 15,7	70,2 ± 15,4	n.s
Dauer der Rückenschmerzen in Wochen	252,5 ± 211,6	-	-
MIQ bildlich	48 ± 8,5	53,3 ± 8	n.s
MIQ kinästhetisch	43,7 ± 9,8	50,1 ± 8,4	n.s
VAS akut	6,2 ± 1,7	-	-
VAS 24 Stunden	4,3 ± 1,8	-	-
RMDQ-D	4,5	-	-
HADS-D Angst	5,6 ± 3,7	3,6 ± 3	n.s
HADS-D Depressionen	4,2 ± 3,5	1,3 ± 1,5	*
FABQ-D Arbeit	16,3 ± 8,9	3,7 ± 8,2	**
FABQ-D Aktivität	12,3 ± 4,3	2,8 ± 4,4	**

Abkürzungen: MIQ = Motor-Imagery-Fragebogen, VAS = Visuelle-Analoge-Schmerzskala, RMDQ-D = Roland-Morris-Questionnaire, Hospital Anxiety and Depression Scale, FABQ = Fear-Avoidance-Beliefs-Questionnaire, CLBP = Chronic Low Back Pain, MW = Mittelwert und SD = Standardabweichung. n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.2 Ergebnisse der Schmerz und- psychologischen Parameter

Die Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse nach einem vierwöchigen MT des RMDQ-D, HADS-D, des FABQ-D sowie der VAS nach zwei und vier Wochen bei den CLBP Patienten. Zwischen der Basismessung und der zweiten Woche ist ein Studienteilnehmer aufgrund einer Wohnortverlegung aus der Studie ausgeschieden. Nach der zweiten Woche konnte nach der Anwendung des MT bei CLBP Patienten mit Ausnahmen der VAS (24 Stunden) signifikanten Veränderungen im Sinne der Normalisierung des RMDQ-D, HADS-D, FABQ-D sowie der VAS (akut) berechnet werden.

Zwischen der zweiten und vierten Woche zeigten sich nach der Anwendung des MT signifikante Veränderungen im Sinne der Normalisierung des RMDQ-D, des FABQ-D (Arbeit), sowie der VAS (akut). Bei der VAS (24 Stunden) ließ sich nach dem vierwöchigen MT mit $p = .06$ eine Tendenz erkennen (vgl. Tab. 23). Keine signifikanten Veränderungen zeigten sich zwischen der zweiten und vierten Woche beim HADS-D (Kategorie: Angst/Depressionen), und dem FABQ-D (Aktivität).

Tabelle 25: Ergebnisse der Schmerz und- psychologischen Parameter

	Basis	Nach 2 Wochen	Nach 4 Wochen	p-wert nach 2 Wo	p-Wert nach 4 Wo
	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD
	CLBP Patienten (n=20)	CLBP Patienten (n=19)	CLBP Patienten (n=19)	CLBP Patienten (n=19)	CLBP Patienten (n=19)
VAS (akut)	6,2 ± 1,8	3,0 ± 2,3	2,1 ± 1,6	**	*
VAS (24 Stunden)	4,3 ± 1,9	3,3 ± 2,0	2,4 ± 2,4	n.s	n.s
RMDQ-D	5,4 ± 3,4	3,4 ± 2,5	2,4 ± 2,3	**	**
HADS-D Angst	5,9 ± 3,5	4,5 ± 3,0	4,1 ± 3,4	**	n.s
HADS-D Depressionen	4,4 ± 3,5	3,6 ± 2,9	3,2 ± 3,2	**	n.s
FABQ-D Arbeit	16,8 ± 8,8	14,8 ± 8,8	13,2 ± 8,4	*	*
FABQ-D Aktivität	12,7 ± 4,18	10,8 ± 4,1	10,0 ± 4,0	*	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, VAS = Visuelle-Analogue-Schmerzskala, RMDQ = Roland-Morris-Questionnaire, HADS= Hospital Anxiety and Depression Scale und der FABQ = Fear-Avoidance-Beliefs-Questionnaire nach MT Intervention (Basis, zweite und vierte Woche) der CLBP Patient und rüchenschmerzfreien Patienten. n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.3 Pressure Pain Threshold (Gruppenvergleich, Basis/ 2. Woche)

In Tabelle 26 sind die Unterschiede der PPT nach einem zwei- und vierwöchigen MT bei CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden dargestellt. An acht Messpunkten (MP) konnten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich zur zweiten Wochen signifikante Unterschiede ($p \leq .05$) im Sinne einer geringeren PPT bei den CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden berechnet werden. Die Messung der 8 MP der PPT bei den 19 CLBP Patienten ergab zum Zeitpunkt der Basismessung Messbereiche von 0,9 bis 1,1 kg/cm².

Die 14 rüschenschmerzfreie Probanden zeigten Messbereiche von 2,3 bis 2,7 kg/cm² auf. Die Messung der 8 MP der PPT der 19 CLBP Patienten zeigte auch nach einem zweiwöchigem MT an den 8 MP Messbereiche von 1,2 bis 1,3 kg/cm², bei den 14 rüschenschmerzfreien Probanden Messbereiche von 2,2 bis 3 kg/cm².

Tabelle 26: Ergebnisse nach MT Intervention der PPT zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich zur zweiten Interventionswoche (CLBP Patienten versus rüschenschmerzfreien Probanden)

Messpunkte in kg/cm ²	Basis	Basis	p-Wert	Nach 2 Wochen	Nach 2 Wochen	p-Wert
	CLBP Patienten (n=20)	Rüschenschmerzfreie Probanden (n=14)		CLBP Patienten (n=19)	Rüschenschmerzfreie Probanden (n=14)	
	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
PPT MP 1	1,1 ± 0,6	2,5 ± 1,3	**	1,2 ± 0,7	2,2 ± 1,2	*
PPT MP 2	1 ± 0,7	2,4 ± 1,1	**	1,3 ± 0,7	2,4 ± 1,3	*
PPT MP 3	1 ± 0,8	2,4 ± 1,3	**	1,2 ± 0,8	2,5 ± 1,5	**
PPT MP 4	1 ± 0,8	2,4 ± 1,1	**	1,2 ± 0,8	2,5 ± 1,4	*
PPT MP 5	1 ± 0,8	2,3 ± 1,1	**	1,2 ± 0,6	2,2 ± 1,4	*
PPT MP 6	0,9 ± 0,7	2,3 ± 1,1	**	1,2 ± 0,7	2,3 ± 1,5	*
PPT MP 7	0,9 ± 0,8	2,7 ± 1,7	**	1,3 ± 1	2,4 ± 1,5	*
PPT MP 8	0,9 ± 0,7	2,5 ± 1,4	**	1,2 ± 0,9	3,0 ± 2,0	*

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT= Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.3.1 PPT Ergebnisse im Gruppenvergleich (4. Woche)

In Tabelle 27 sind die Unterschiede der PPT nach einem vierwöchigen MT bei 19 CLBP Patienten im Vergleich mit 14 rüschenschmerzfreien Probanden dargestellt. An acht MP wurde zum Zeitpunkt der zweiten im Vergleich zur vierten Wochen signifikante Unterschiede ($p \leq .05$) im Sinne einer niedrigeren PPT bei den 19 CLBP Patienten im Vergleich mit 14 rüschenschmerzfreien Probanden berechnet. Nach einem vierwöchigen MT konnte bei den 19 CLBP Patienten an dem 8 MP Messbereiche von 1,3 bis 1,5 kg/cm² gemessen werden. Bei den 14 rüschenschmerzfreien Probanden konnten Messbereiche von 2,5 bis 3,1 kg/cm² gemessen werden (vgl. Tab. 27).

Tabelle 27: Ergebnisse der PPT nach MT im Gruppenvergleich (vierte Woche)

Messpunkte in kg/cm ²	Nach 4 Wochen	Nach 4 Wochen	p-Wert
	CLBP Patienten (n=19)	Rüschenschmerzfreie Probanden (n=14)	
	MW ± SD	MW ± SD	
PPT MP 1	1,5 ± 1	2,7 ± 1,6	*
PPT MP 2	1,5 ± 1	2,7 ± 1,7	*
PPT MP 3	1,2 ± 0,8	2,5 ± 1,5	*
PPT MP 4	1,4 ± 0,9	2,9 ± 2	*
PPT MP 5	1,5 ± 1	2,7 ± 1,7	*
PPT MP 6	1,5 ± 1	2,8 ± 1,9	*
PPT MP 7	1,3 ± 1	2,8 ± 2,1	*
PPT MP 8	1,4 ± 1	3,1 ± 2,2	*

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT= Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.3.2 Pressure Pain Threshold der Rückenschmerzpatienten

Die Tabelle 28 zeigt die Veränderungen der PPT nach einem zwei- und vierwöchigen MT bei CLBP Patienten. An den Messpunkten (MP) 1, MP 2, MP 3, MP 4 und MP 5 konnten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich zur zweiten Woche keine signifikante Veränderungen der PPT bei den 19 CLBP Patienten berechnet werden ($p \geq .05$).

Bei den MP 6, MP 7 und MP 8, zeigten sich signifikante Veränderungen der PPT im Sinne einer gesteigerten PPT ($p \leq .05$). Die Messbereiche der MP zeigten zum Zeitpunkt der Basismessung Werte von 0,9 bis 1,1 kg/cm², nach zwei Wochen 1,2 bis 1,2 kg/cm². Die Messungen der PPT zwischen der zweiten zur vierten Woche bei den 19 CLBP Patienten ergaben acht MP Messbereiche 1,2 bis 1,3 kg/cm². Die 14 rücken-schmerzfreen Probanden zeigten Messbereiche von 2,2 bis 3 kg/cm² auf. An dem MP 1, MP 2, MP 3, MP 5, und MP 6, konnte bei dem Vergleich der zweiten Woche zur vierten Woche signifikante Veränderungen der PPT im Sinne einer Zunahme der PPT bei den 19 CLBP Patienten berechnet werden ($p \leq .05$). CLBP Patienten wiesen an den MP 4, MP 7, und MP 8, keine signifikanten Veränderungen der PPT auf ($p \geq .05$). Im Vergleich der Basismessung zur zweiten Woche ließen sich nach MT eine signifikante Zunahme der PPT bei den CLBP Patienten beobachten. Im Vergleich der zweiten zur vierten Woche zeigte – bis auf die MP 4, MP 7 und MP 8 – eine signifi-kante Zunahme der PPT bei den CLBP Patienten ($p \leq .05$). Die Messbereiche der MP lagen nach vier Wochen bei 1,2 bis 1,5 kg/cm² (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: Ergebnisse der PPT nach MT Intervention der CLBP Patienten (Basis, zweite und vierte Woche)

Messpunkte in kg/cm ²	Basis CLBP Patienten (N=20)	Nach 2 Wochen CLBP Patienten (N=19)	p-Wert	Nach 2 Wochen CLBP Patienten (N=19)	Nach 4 Wochen CLBP Patienten (N=19)	p-wert
	Mean ± SD	Mean ± SD		Mean ± SD	Mean ± SD	
PPT MP 1	1,1 ± 0,6	1,2 ± 0,7	n.s	1,2 ± 0,7	1,5 ± 1	*
PPT MP 2	1 ± 0,7	1,3 ± 0,7	n.s	1,3 ± 0,7	1,5 ± 1	*
PPT MP 3	1 ± 0,8	1,2 ± 0,8	n.s	1,2 ± 0,8	1,4 ± 0,8	*
PPT MP 4	1 ± 0,8	1,2 ± 0,8	n.s	1,2 ± 0,8	1,3 ± 0,9	n.s
PPT MP 5	1 ± 0,8	1,2 ± 0,6	n.s	1,2 ± 0,6	1,5 ± 1	*
PPT MP 6	0,9 ± 0,7	1,2 ± 0,7	*	1,2 ± 0,7	1,5 ± 1	*
PPT MP 7	0,9 ± 0,8	1,2 ± 1	*	1,2 ± 1	1,3 ± 1,0	n.s
PPT MP 8	0,9 ± 0,7	1,2 ± 0,9	*	1,2 ± 0,9	1,4 ± 1	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT= Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.3.3 Pressure Pain Threshold rüchenschmerzfreien Probanden

Die Tabelle 29 zeigt die Veränderungen der PPT nach einem zwei- und vierwöchigen MT bei rüchenschmerzfreien Probanden. An den acht Messpunkten (MP) konnten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich zur zweiten Woche keine signifikante Veränderungen der PPT bei den 14 rüchenschmerzfreien Probanden berechnet werden ($p \geq .05$). Die Messung der 8 MP zum Zeitpunkt der Basismessung ergab Messbereiche von 2,3 bis 2,7 kg/cm², nach zwei Wochen 2,2 bis 3 kg/cm².

Bei rüchenschmerzfreien Probanden konnte an den MP 1, MP 2, MP 3, MP 4, MP 5 und MP 6 bei dem Vergleich der zweiten zur vierten Woche signifikante Veränderungen der PPT im Sinne einer gesteigerten PPT nach MT berechnet werden ($p \leq .05$). An den MP 7 und den MP 8 konnten keine signifikanten Veränderungen der PPT nach MT berechnet werden ($p \geq .05$). Die Messbereiche der 8 MP lagen nach der vierten Woche bei 2,5 bis 3,1 kg/cm².

Tabelle 29: Ergebnisse der PPT nach MT Intervention der rüchenschmerzfreie Probanden (Basis, zweite, vierte Woche)

Messpunkte in kg/cm ²	Basis	Nach 2 Wochen	p-Wert	Nach 2 Wochen	Nach 4 Wochen	p-Wert
	Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)	Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)		Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)	Rüchenschmerzfreie Probanden (n=14)	
	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	Mean ± SD	
PPT MP 1	2,5 ± 1,3	2,2 ± 1,2	n.s	2,2 ± 1,2	2,7 ± 1,6	*
PPT MP 2	2,4 ± 1,1	2,4 ± 1,3	n.s	2,4 ± 1,3	2,7 ± 1,7	*
PPT MP 3	2,4 ± 1,3	2,5 ± 1,5	n.s	2,5 ± 1,5	2,5 ± 1,5	*
PPT MP 4	2,4 ± 1,1	2,5 ± 1,4	n.s	2,5 ± 1,4	2,9 ± 2	*
PPT MP 5	2,3 ± 1,1	2,2 ± 1,4	n.s	2,2 ± 1,4	2,7 ± 1,7	*
PPT MP 6	2,3 ± 1,1	2,3 ± 1,5	n.s	2,3 ± 1,5	2,8 ± 1,9	*
PPT MP 7	2,7 ± 1,7	2,4 ± 1,5	n.s	2,4 ± 1,5	2,9 ± 2,1	n.s
PPT MP 8	2,5 ± 1,4	3 ± 2	n.s	3 ± 2	3,1 ± 2,2	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, PPT= Pressure Pain Threshold, MP = Messpunkte, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p = \leq .01$.

6.9.4 Mentale Chronometrie der CLBP Patienten (Basis/ 2. Woche)

Die Tabelle 30 zeigt die zeitlichen Veränderungen der imaginierten- und aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Sinne der MC nach einem zweiwöchigem MT bei den CLBP Patienten. Mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern ($p = .82$) konnten zum Zeitpunkt der Basismessung bei allen alltagsnahen Bewegungen signifikante Unterschiede ($p \leq .05$) der MC berechnet werden.

Die signifikanten Unterschiede der MC wiesen bei allen acht Bewegungen (Inklination im Stand = imaginiert: 5 (\pm 2,2) Sekunden versus aktiv: 3,6 (\pm 1,1) Sekunden und im Sitz = imaginiert: 5,1 (\pm 2,2) Sekunden versus aktiv: 3,2 (\pm 0,8) Sekunden, Reklination im Stand = imaginiert: 4,5 (\pm 1,7) Sekunden versus aktiv: 3,6 (\pm 0,8) Sekunden und im Sitz = imaginiert: 4,5 (\pm 1,5) Sekunden versus aktiv: 3,6 (\pm 0,7) Sekunden, aus der Rückenlage in den Langsitz = imaginiert: 6,1 (\pm 2,3) Sekunden versus aktiv: 5,1 (\pm 1,3) Sekunden, der Sockentest im Sitz = imaginiert: 4,9 (\pm 1,9) Sekunden versus aktiv: 3,4 (\pm 1,1) Sekunden und im Stand = imaginiert: 5,6 (\pm 1,2) Sekunden versus aktiv: 3,2 (\pm 0,9) Sekunden und die Kniebeuge im Stand = imaginiert: 4,8 (\pm 1,9) Sekunden versus aktiv: 3,0 (\pm 0,7) Sekunden nach einem zweiwöchigen MT längere imaginierten Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten auf. Die Rückenlage in den Langsitz im Sitzen, die Kniebeuge im Sitzen sowie das Gehen von 10 Metern aus dem Sitzen waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 30: Ergebnisse der MC nach MT Intervention der CLBP Patienten (Basis, und zweite)

Gruppe	Basis	Basis	p-Wert	2 Woche	2 Woche	p-Wert
	CLBP Patienten (n=20)	CLBP Patienten (n=20)		CLBP Patienten (n=19)	CLBP Patienten (n=19)	
Testbewegungen	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)		Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	8,1 ± 2,6	4,5 ± 1,3	**	5 ± 2,2	3,6 ± 1,1	**
2. Inklination (Sitz)	6,9 ± 2	3,9 ± 1,1	**	5,1 ± 2,2	3,2 ± 0,8	**
3. Reklination (Stand)	6,5 ± 2,3	4,3 ± 1,2	**	4,5 ± 1,7	3,6 ± 0,8	*
4. Reklination (Sitz)	6,7 ± 2,9	4,3 ± 1,5	**	4,5 ± 1,5	3,6 ± 0,8	**
5. Rückenlage i.d. Langsitz im Liegen	7,8 ± 2,6	5,1 ± 1,3	**	6,1 ± 2,3	4,4 ± 1,1	*
6. Rückenlage i.d. Langsitz im Sitz	-	-	-	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	6,3 ± 2,8	3,6 ± 1,2	**	4,9 ± 1,9	3,4 ± 1,1	**
8. Sockentest (Stand)	6,9 ± 2,5	3,4 ± 0,8	**	5,6 ± 2,1	3,2 ± 0,9	**
9. Kniebeuge (Stand)	6,1 ± 2,2	3,1 ± 0,8	**	4,8 ± 1,9	3,0 ± 0,7	**
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,4 ± 4,4	16,2 ± 1,8	n.s	16,6 ± 3,2	15,8 ± 1,4	n.s
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	-	-	-	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.1 Mentale Chronometrie der CLBP Patienten (4. Woche)

Die Tabelle 31 zeigt die zeitlichen Veränderungen der imaginierten- und aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Sinne der MC nach einem vierwöchigem MT bei CLB Patienten. Das Gehen von 10 Metern zeigte keinen signifikanten Unterschied der MC ($p \geq .05$). Die restlichen acht alltagsnahen Bewegungen (vgl. Tabelle 31) zeigten einen signifikanten Unterschied der MC auf ($p \leq .05$).

Der signifikante Unterschied der MC wies bei allen acht Bewegungen (Inklination im Stand = imaginiert: 4,9 ($\pm 1,6$) Sekunden versus aktiv: 3,0 ($\pm 0,8$) Sekunden und Sitz = imaginiert: 4,1 $\pm 1,3$ Sekunden versus aktiv: 3,0 ($\pm 0,9$) Sekunden, Reklination im Stand = imaginiert: 4,1 ($\pm 1,1$) Sekunden versus aktiv: 3,3 ($\pm 0,7$) Sekunden und im Sitz = imaginiert: 4,3 ($\pm 1,4$) Sekunden versus aktiv: 3,3 ($\pm 0,6$) Sekunden, aus der Rückenlage in den Langsitz = imaginiert: 4,7 ($\pm 1,5$) Sekunden versus aktiv: 3,9 ($\pm 1,0$) Sekunden, der Sockentest im Sitz = imaginiert: 4,5 ($\pm 1,7$) Sekunden versus aktiv: 3,1 ($\pm 1,0$) Sekunden und im Stand = imaginiert: 4,7 ($\pm 1,9$) Sekunden versus aktiv: 3,0 ($\pm 1,2$) Sekunden und die Kniebeuge im Stand = imaginiert: 4,2 ($\pm 1,6$) Sekunden versus aktiv: 2,7 ($\pm 1,9$) Sekunden) längere imaginierten Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten auf. Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von zehn Metern im Sitzen waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung (vgl. Tabelle 31).

Tabelle 31: Ergebnisse der MC nach MT Intervention der CLBP Probanden (vierte Woche)

Gruppe	4 Woche		p-Wert
	CLBP Patienten (n = 19)	CLBP Patienten (n = 19)	
Testbewegungen	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,9 ± 1,6	3,0 ± 0,8	**
2. Inklination (Sitzen)	4,1 ± 1,3	3 ± 0,9	**
3. Reklination (Stand)	4,1 ± 1,1	3,3 ± 0,7	*
4. Reklination (Sitz)	4,3 ± 1,4	3,3 ± 0,6	**
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4,7 ± 1,5	3,9 ± 1	*
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	4,5 ± 1,7	3,1 ± 1	**
8. Sockentest (Stand)	4,7 ± 1,9	3 ± 1,2	**
9. Kniebeuge (Stand)	4,2 ± 1,6	2,7 ± 0,9	**
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,7 ± 4,7	15,8 ± 1,8	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.2 Imaginierte Durchführungszeiten der CLBP Patienten (Basis, 2. und 4. Woche)

Tabelle 32 zeigt den zeitlichen Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zwei- und vierwöchigem MT bei den CLB Patienten. Bei dem zeitlichen Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten der Basis-messung im Vergleich zur zweiten Woche konnte bei der Rückenlage in den Langsitz im Sitz, dem Sockentest im Stand und im Sitz und dem 10 Meter Gehen im Stand und im Sitz keine signifikanten Veränderungen berechnet werden ($p \geq .05$).

Bei dem zeitlichen Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten (zweite versus vierte Woche) der alltagsnahen Bewegungen wiesen die Inklinaton im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen, dem Sockentest im Sitz der Kniebeuge und im Sitz sowie dem Gehen von 10 Metern im Stand und im Sitz keine signifikanten Veränderungen auf ($p \geq .05$). Signifikante Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten zeigten sich im Vergleich von zweiter zu vierter Woche beim Sockentest im Stand ($p \leq .05$). Hochsignifikante Unterschiede konnten bei der Rückenlage in den Langsitz im Sitz berechnet werden ($p \leq .01$).

Tabelle 32: Ergebnisse der imaginären Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach MT Intervention der CLBP Patienten (Baseline, zweite und vierte Woche)

Gruppe	Basis	2 Woche	p-Wert	2 Woche	4 Woche	p-Wert
	CLBP Patienten (n = 20)	CLBP Patienten (n = 19)		CLBP Patienten (n = 19)	CLBP Patienten (n = 19)	
Bewegungen	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)		Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	8,1 ± 2,6	5 ± 2,2	**	5 ± 2,2	4,9 ± 1,6	n.s
2. Inklination (Sitz)	6,9 ± 2	5,1 ± 2,2	*	5,1 ± 2,2	4,1 ± 1,3	n.s
3. Reklination (Stand)	6,6 ± 2,9	4,5 ± 1,7	**	4,5 ± 1,7	4,1 ± 1,1	n.s
4. Reklination (Sitz)	8 ± 2,5	4,5 ± 1,5	*	4,5 ± 1,5	4,3 ± 1,4	n.s
5. Rückenlage i.d Langsitz im Liegen	6 ± 2,3	6,1 ± 2,3	**	6,1 ± 2,3	4,7 ± 1,5	n.s
6. Rückenlage i.d Langsitz im Sitz	7,3 ± 2,1	6,5 ± 2,1	n.s	6,5 ± 2,1	5,2 ± 1,3	**
7. Sockentest (Sitz)	6,5 ± 2,9	4,9 ± 1,9	n.s	4,9 ± 1,9	4,5 ± 1,7	n.s
8. Sockentest (Stand)	7 ± 2,5	5,6 ± 2,2	n.s	5,6 ± 2,2	4,7 ± 1,9	*
9. Kniebeuge (Stand)	6,2 ± 2,3	4,8 ± 1,9	n.s	4,8 ± 1,9	4,2 ± 1,6	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	6,7 ± 2,1	5 ± 1,8	*	5 ± 1,8	4,5 ± 1,7	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,6 ± 4,5	16,6 ± 3,2	n.s	16,6 ± 3,24	16,7 ± 4,7	n.s
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	17,7 ± 5	18 ± 3,7	n.s	18 ± 3,7	17,7 ± 5,1	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.3 Mentale Chronometrie der rüchenschmerzfreien Probanden (Basis/ 2. Woche)

In Tabelle 33 sind die zeitlichen Veränderungen der imaginierten- und aktiven Durchführungzeiten alltagsnaher Bewegungen im Sinne der MC nach einem zweiwöchigen MT bei rüchenschmerzfreien Probanden dargestellt. Zum Zeitpunkt der Basismessung konnten für die Inklination im Stand und im Sitz und den Sockentest im Stand und im Sitz signifikante Unterschiede der MC berechnet werden ($p \leq .05$). Zum Zeitpunkt der Basismessung konnten bei der MC bei rüchenschmerzfreien Probanden bei der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand und das Gehen von 10 Metern keine signifikanten Unterschiede berechnet werden ($p \geq .05$). Nach einem zweiwöchigen MT konnte beim zeitlichen Abgleich der MC bei der Inklination im Stand, der Reklination im Sitz, Sockentest im Sitz und im Stand sowie der Kniebeuge im Stand signifikante Unterschiede berechnet werden ($p \leq .05$).

Keine signifikanten Unterschiede beim zeitlichen Abgleich der MC bei rüchenschmerzfreien Probanden konnten bei der Inklination im Sitz, Reklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz sowie beim Gehen von 10 Metern berechnet werden ($p \geq .05$). Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitz waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 33: Ergebnisse der MC nach MT Intervention der rüchenschmerzfreien Probanden (Basis, zweite Woche)

Gruppe	Basis		p-Wert	2 Woche		p-Wert
	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)		Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	
	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)		Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
Test-bewegungen	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,6 ± 1,6	3,3 ± 1,0	**	3,8 ± 1,4	3,1 ± 1	**
2. Inklination (Sitz)	3,9 ± 1,7	3,2 ± 0,8	*	3,0 ± 1,3	3 ± 0,7	n.s
3. Reklination (Stand)	3,4 ± 1,2	3,2 ± 0,7	n.s	3,5 ± 2,2	3 ± 1	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,7 ± 1,6	3,2 ± 0,7	n.s	3,2 ± 1,1	3 ± 0,9	*
5. Rückenlage i.d Langsitz im Liegen	4,3 ± 1,6	3,8 ± 1	n.s	4,0 ± 1,5	3,6 ± 0,8	n.s
6. Rückenlage i.d Langsitz im Sitz	-	-	-	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3,5 ± 1,3	2,7 ± 0,8	**	3,1 ± 0,9	3,4 ± 0,6	**
8. Sockentest (Stand)	4,5 ± 2,3	2,9 ± 0,9	**	3,4 ± 1,2	2,5 ± 0,6	**
9. Kniebeuge (Stand)	3 ± 0,9	2,6 ± 0,7	n.s	4,8 ± 1,2	3 ± 0,74	*
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	14,2 ± 3,7	15 ± 1,8	n.s	14,2 ± 3,3	14,3 ± 3,1	n.s
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	-	-	-	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.4 Mentale Chronometrie der rüchenschmerzfreien Probanden (4. Woche)

Die Tabelle 34 zeigt die zeitlichen Veränderungen der imaginierten - und aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Sinne der MC nach einem vierwöchigem MT bei rüchenschmerzfreien Probanden. Nach vierwöchigem MT konnten bei der MC die Inklination im Stand, Sockentest im Sitz und im Stand und der Kniebeuge im Stand signifikante Unterschiede berechnet werden ($p \leq .05$).

Der signifikante Unterschied der MC der vier Bewegungen (Inklination im Stand = imaginiert: 3,3 (\pm 1) Sekunden versus aktiv: 2,9 (\pm 0,9) Sekunden, der Sockentest im Sitz = imaginiert: 3 (\pm 1) Sekunden versus aktiv: 2,4 (\pm 0,6) Sekunden und Stand = imaginiert: 3,3 (\pm 1,2) Sekunden versus aktiv: 3,0 (\pm 1,2) Sekunden und die Kniebeuge im Stand = imaginiert: 3,2 (\pm 1,1) Sekunden versus aktiv: 2,6 (\pm 0,9) Sekunden zeigte längere imaginierten Durchführungszeiten bei den rüschenschmerzfreien Probanden auf. Die MC der Inklination im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz und dem Gehen von 10 Metern wies keine signifikanten Unterschiede auf ($p \geq .05$). Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitz waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 34: Ergebnisse der MC nach MT Intervention der rüschenschmerzfreien Probanden (vierte Woche)

Gruppe	4 Woche		p-Wert
	Rüschenschmerzfreie Probanden (n = 14)	Rüschenschmerzfreie Probanden (n = 14)	
	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
Testbewegungen	MW \pm SD	MW \pm SD	
1. Inklination (Stand)	3,3 \pm 1	2,9 \pm 0,9	*
2. Inklination (Sitzen)	3,1 \pm 1,1	2,8 \pm 0,7	n.s
3. Reklination (Stand)	3,3 \pm 1	2,8 \pm 0,7	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,1 \pm 1,1	2,9 \pm 0,8	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4 \pm 1,5	3,4 \pm 0,8	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3 \pm 1	2,4 \pm 0,6	*
8. Sockentest (Stand)	3,3 \pm 1,2	2,5 \pm 0,6	*
9. Kniebeuge (Stand)	3,2 \pm 1,1	2,6 \pm 0,9	**
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	14,8 \pm 3,6	14,5 \pm 2,7	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.5 Imaginierte Durchführungszeiten der rückenschmerzfreien Probanden (Basis, 2. und 4. Woche)

Die Tabelle 35 zeigt die zeitlichen Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zwei- und vierwöchigem MT bei rückenschmerzfreien Probanden. Beim zeitlichen Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der Basismessung im Vergleich zur zweiten Woche konnte bei der Inklination im Stand und im Sitz ein signifikanter Unterschied ($p \leq .05$) der imaginierten Durchführungszeiten berechnet werden (vgl. Tabelle 35). Beim zeitlichen Abgleich (Basis versus zweite Woche) der imaginierten Durchführungszeiten der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und im Sitz, dem Sockentest im Sitz und im Stand, der Kniebeuge im Sitz sowie dem Gehen von 10 Meter im Stand und im Sitz konnten keine signifikanten Veränderungen ($p \geq .05$) berechnet werden (vgl. Tab. 33). Der zeitliche Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten der zweiten Woche im Vergleich zur vierten Woche wies mit Ausnahme der Inklination im Stand ($p \leq .05$) keine signifikanten Unterschiede auf (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 35: Ergebnisse der Durchführungszeiten der Bewegungsvorstellungen nach MT Intervention Innerhalb der Kontrollgruppe (Basis, zweite und vierte Woche)

Gruppe	Basis	2 Woche	p-Wert	2 Woche	4 Woche	p-Wert
	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)		Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	
Test-bewegungen	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)		Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	
	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,6 ± 1,6	3,8 ± 1,4	*	3,8 ± 1,4	3,3 ± 1	*
2. Inklination (Sitz)	3,9 ± 1,7	3 ± 1,3	*	3 ± 1,3	3,1 ± 1,1	n.s
3. Reklination (Stand)	3,4 ± 1,2	3,5 ± 2,2	n.s	3,5 ± 2,2	3,3 ± 1	n.s
4. Reklination (Sitz)	3,7 ± 1,6	3,2 ± 1,1	n.s	3,2 ± 1,1	3,1 ± 1,1	n.s
5. Rückenlage i.d Langsitz im Liegen	4,3 ± 1,6	4 ± 1,5	n.s	4 ± 1,5	3,7 ± 1	n.s
6. Rückenlage i.d Langsitz im Sitz	4,5 ± 1,3	4,3 ± 1,7	n.s	4,3 ± 1,7	3,9 ± 1	n.s
7. Sockentest (Sitz)	3,5 ± 1,3	3 ± 0,9	n.s	3 ± 0,9	3 ± 1	n.s
8. Sockentest (Stand)	4,5 ± 2,3	3,4 ± 1,2	n.s	3,4 ± 1,2	3,3 ± 1,2	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	3 ± 0,9	3 ± 1,2	n.s	3 ± 1,2	3,2 ± 1,1	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	3,3 ± 1,0	3,2 ± 1,3	n.s	3,2 ± 1,3	3,4 ± 1,2	n.s
11. Gehen 10 Meter (Stand)	14,3 ± 3,7	14,2 ± 3,3	n.s	14,2 ± 3,3	14,8 ± 3,6	n.s
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	14,6 ± 4,3	15 ± 3,9	n.s	15 ± 3,9	15,4 ± 4	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, n.s = nicht signifikant, * = p ≤ .05, ** p = ≤ .01.

6.9.4.6 Imaginierte Durchführungszeiten im Gruppenvergleich (Basis/ 2. Woche)

Die Tabelle 36 zeigt die zeitlichen Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zweiwöchigem MT bei CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden.

Beim Abgleich der zeitlichen Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zweiwöchigem MT bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLB Patienten konnten zum Zeitpunkt der Basismessung beim Gehen von 10 Metern im Stand und im Sitz keine signifikanten Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten ($p \geq .05$) gemessen werden. Die restlichen neun alltagsnahen Bewegungen zeigten signifikante Unterschiede im Sinne von längeren imaginierten Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten ($p \leq .05$). Nach der zweiten Woche wiesen rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten bei zehn alltagsnahen Bewegungen einen signifikanten Unterschied der imaginierten Durchführungszeiten im Sinne längere imaginierte Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten auf ($p \leq .05$). Die Reklination im Stand zeigte keine signifikanten Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten ($p \geq .05$). Die Kniebeuge im Stand wurde aufgrund der fehlenden Reproduzierbarkeit (vgl. Kapitel 6.5.3.1) keiner Analyse unterzogen.

Tabelle 36: Ergebnisse der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach MT Intervention im Gruppenvergleich (Basis/zweite Woche)

Gruppe	Basis		p-Werte	2 Wo		p-Werte
	CLBP Patienten (n = 20)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)		CLBP Patienten (n = 19)	Rücken-schmerzfreie Probanden (n = 14)	
	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)		Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	
Test-bewegungen	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD		
1. Inklination (Stand)	8,1 ± 2,6	4,6 ± 1,6	**	5 ± 2,2	3,8 ± 1,4	*
2. Inklination (Sitz)	6,9 ± 2	3,9 ± 1,7	**	5,1 ± 2,2	3 ± 1,3	*
3. Reklination (Stand)	6,6 ± 2,9	3,4 ± 1,2	**	4,5 ± 1,7	3,5 ± 2,2	n.s
4. Reklination (Sitz)	8 ± 2,5	3,7 ± 1,6	**	4,5 ± 1,5	3,2 ± 1,1	*
5. Rückenlage i.d Langsitz im Liegen	6 ± 2,3	4,3 ± 1,6	**	6,1 ± 2,3	4 ± 1,5	**
6. Rückenlage i.d Langsitz im Sitz	7,3 ± 2,1	4,5 ± 1,3	**	6,5 ± 2,1	4,3 ± 1,7	**
7. Sockentest (Sitz)	6,5 ± 2,9	3,5 ± 1,3	**	4,9 ± 1,9	3 ± 0,9	**
8. Sockentest (Stand)	7 ± 2,5	4,5 ± 2,3	*	5,6 ± 2,2	3,4 ± 1,2	**
9. Kniebeuge (Stand)	6,2 ± 2,3	3 ± 0,9	**	4,8 ± 1,9	3 ± 1,2	**
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,6 ± 4,5	14,3 ± 3,7	n.s	16,6 ± 3,2	14,2 ± 3,3	*
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	17,7 ± 5	14,6 ± 4,3	n.s	18 ± 3,7	15 ± 3,9	*

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p = \leq .01$.

6.9.4.7 Imaginierte Durchführungszeiten (Gruppenvergleich/ 4. Woche)

Die Tabelle 37 zeigt die zeitlichen Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem vierwöchigem MT bei rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten. Beim zeitlichen Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen konnten nach einem vierwöchigem MT beim Gehen von 10 Metern im Stand und im Sitz keine signifikanten Unterschiede berechnet werden ($p \geq .05$). Bei neun Bewegungen konnten signifikante Unterschiede im Sinne von längeren imaginierten Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten berechnet werden ($p \leq .05$). Die Kniebeuge im Stand wurde aufgrund der fehlenden Reproduzierbarkeit (vgl. Kapitel 6.5.4.1) keiner Analyse unterzogen.

Tabelle 37: Ergebnisse der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach MT Intervention im Gruppenvergleich (4 Woche)

Gruppe	4 Wo		p-Wert
	CLBP Patienten (n = 19)	Rüschenschmerzfreie Probanden (n = 14)	
	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	Imaginäre Zeit in Sekunden (s)	
Testbewegungen	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,9 ± 1,6	3,3 ± 1	**
2. Inklination (Sitzen)	4,1 ± 1,3	3,1 ± 1,1	*
3. Reklination (Stand)	4,1 ± 1,1	3,3 ± 1	*
4. Reklination (Sitz)	4,3 ± 1,4	3,1 ± 1,1	*
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	4,7 ± 1,5	3,7 ± 1	*
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	5,2 ± 1,3	3,9 ± 1	**
7. Sockentest (Sitz)	4,5 ± 1,7	3 ± 1	**
8. Sockentest (Stand)	4,7 ± 1,9	3,3 ± 1,2	*
9. Kniebeuge (Stand)	-	-	-
10. Kniebeuge (Sitz)	4,5 ± 1,7	3,4 ± 1,2	*
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,7 ± 4,7	14,8 ± 3,6	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	17,7 ± 5,1	15,4 ± 4	n.s

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.8 Aktive Bewegungen im Gruppenvergleich (Basis/ 2. Woche)

Die Tabelle 38 zeigt die zeitlichen Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zweiwöchigem MT bei CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden. Beim Abgleich der zeitlichen Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem zweiwöchigem MT bei den CLBP Patienten und bei rüschenschmerzfreien Probanden konnten zum Zeitpunkt der Basismessung bei der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und aus der Rückenlage in den Langsitz ein signifikanter Unterschied im Sinne von längeren aktiven Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten berechnet werden ($p \leq .05$). Die Reklination im Sitz, der Sockentest im Stand und im Sitz, die Kniebeuge im Stand sowie das Gehen von 10 Metern wiesen bei CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden nach der zweiten Woche keine signifikanten Unterschiede der aktiven Durchführungszeiten auf ($p \geq .05$). Nach der zweiten Woche wiesen CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden bei der Inklination im Stand und im Sitz, der Kniebeuge im Stand sowie das Gehen von 10 Metern keine signifikanten Unterschiede bei aktiven Durchführungszeiten auf ($p \geq .05$). Nach einem zweiwöchigem MT bei den CLBP Patienten und den rüschenschmerzfreien Probanden konnte bei der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz und dem Sockentest im Sitz ein signifikanter Unterschied im Sinne einer längeren aktiven Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten berechnet werden ($p \leq .05$). Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von 10 Metern im Sitz waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 38: Ergebnisse Durchführungszeiten der aktiven Bewegungen nach MT Intervention Gruppenvergleich (Basis/zweite Woche)

Gruppe	Basis		Statistik p-Werte	2 Wo		Statistik p-Werte
	CLBP Patienten (n = 20)	Rücken- schmerzfrie Probanden (n = 14)		CLBP Patienten (n = 19)	Rücken- schmerzfrie Probanden (n = 14)	
	Aktive Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)		Aktive Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
Test- bewegungen	MW ± SD	MW ± SD		MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	4,5 ± 1,3	3,3 ± 1,0	*	3,6 ± 1,1	3,1 ± 1	n.s
2. Inklination (Sitz)	3,9 ± 1	3,2 ± 0,8	*	3,2 ± 0,8	3 ± 0,7	n.s
3. Reklination (Stand)	4,3 ± 1,2	3,2 ± 0,7	*	3,6 ± 0,8	2,9 ± 1	*
4. Reklination (Sitz)	4,3 ± 1,5	3,2 ± 0,7	n.s	3,6 ± 0,8	3 ± 0,9	*
5. Rückenlage i.d Langsitz im Liegen	5,1 ± 1,3	3,8 ± 1	**	4,4 ± 1,1	3,6 ± 0,8	*
6. Rückenlage i.d Langsitz im Sitz	-	-	-	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3,6 ± 1,2	2,7 ± 0,8	n.s	3,4 ± 1,1	2,5 ± 0,6	*
8. Sockentest (Stand)	3,4 ± 0,8	2,9 ± 0,9	n.s	3,2 ± 0,9	2,5 ± 0,6	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	3,1 ± 0,76	2,6 ± 0,7	n.s	3 ± 0,7	2,6 ± 0,8	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	16,2 ± 1,8	15 ± 1,8	n.s	15,8 ± 3,24	14,3 ± 3,1	n.s
12. Gehen 10 Meter (Sitz)	-	-	-	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

6.9.4.9 Aktiven Bewegungen im Gruppenvergleich (4. Woche)

Die Tabelle 39 zeigt die zeitlichen Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen nach einem vierwöchigem MT bei CLBP Patienten im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden. Beim zeitlichen Abgleich der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen konnten nach einem vierwöchigem MT bei CLBP Patienten und rüschenschmerzfreien Probanden bei der Reklination im Stand und dem Sockentest im Sitz signifikante Unterschiede im Sinne von längeren aktiven Durchführungszeiten berechnet werden ($p \leq .05$). Der Abgleich der aktiven Durchführungszeiten der Inklinatation Stand und im Sitz, der Reklination im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, dem Sockentest im Stand, der Kniebeuge im Stand sowie das Gehen von 10 Metern wiesen bei CLBP Patient im Vergleich mit rüschenschmerzfreien Probanden keine signifikanten Unterschiede der aktiven Durchführungszeiten nach einem vierwöchigen MT auf ($p \geq .05$). Die Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Sitz sowie das Gehen von zehn Metern im Sitz waren aufgrund der nicht aktiven Durchführbarkeit ausschließlich Bestandteil der imaginären Zeiterfassung.

Tabelle 39: Ergebnisse Durchführungszeiten der aktiven Bewegungen nach MT Intervention Gruppenvergleich (vierte Woche)

Gruppe	4 Wo		p-Wert
	CLBP Patienten (n = 19)	Rückenschmerzfremie Probanden (n = 14)	
	Aktive Zeit in Sekunden (s)	Aktive Zeit in Sekunden (s)	
Testbewegungen	MW ± SD	MW ± SD	
1. Inklination (Stand)	3,1 ± 0,8	2,9 ± 0,9	n.s
2. Inklination (Sitzen)	3 ± 0,9	2,8 ± 0,7	n.s
3. Reklination (Stand)	3,3 ± 0,7	2,8 ± 0,7	*
4. Reklination (Sitz)	3,3 ± 0,6	2,9 ± 0,7	n.s
5. Rückenlage in den Langsitz im Liegen	3,9 ± 1	3,4 ± 0,8	n.s
6. Rückenlage in den Langsitz (Sitz)	-	-	-
7. Sockentest (Sitz)	3,1 ± 1,0	2,4 ± 0,6	*
8. Sockentest (Stand)	3,0 ± 1,2	2,5 ± 0,6	n.s
9. Kniebeuge (Stand)	2,7 ± 0,9	2,6 ± 0,9	n.s
10. Kniebeuge (Sitz)	-	-	-
11. Gehen 10 Meter (Stand)	15,8 ± 1,8	14,5 ± 2,7	n.s
12. Gehen 10 Meter im (Sitz)	-	-	-

Abkürzungen: MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, CLBP = Chronic Low Back Pain, n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

7 Zusammenfassung der Studienergebnisse

Das Ziel der ersten Studie bestand darin, imaginierte Durchführungszeiten von alltagsnahen Bewegungen auf ihre Reliabilität zu überprüfen. An drei aufeinanderfolgenden Tagen wurden die imaginierten Durchführungszeiten anhand von 12 alltagsnahen Bewegungen (vgl. Abbildung 14 in Kapitel 6.3) bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten gemessen. Die 12 imaginären alltagsnahen Bewegungen setzten sich aus Inklination, Reklination, Rückenlage in den Langsitz, Sockentest, Kniebeuge und Gehen von 10 Metern zusammen. Die Ausgangsstellung der jeweiligen imaginierten Bewegung erfolgte nach Randomisierung im Sitz oder im Stand (vgl. Kapitel 6.3). Zur Durchführung der imaginierten Bewegungen erhielten die Studienteilnehmer eine standardisierte Schulung. Die Berechnung der Reliabilität der Zeitparameter erfolgte mit 14 rüchenschmerzfreien Probanden und 12 CLBP Patienten mittels der Intraclass Correlation (ICC).

Die Ergebnisse der Reliabilität imaginierten Durchführungszeiten zeigten bei rüchenschmerzfreien Probanden zwischen dem ersten und zweiten Tag bei den elf analysierten Alltagsbewegungen ICC Werte von 0,52 - 0,92 und zwischen dem zweiten und dritten Tag ICC Werte von 0,83 - 0,96. Bei den rüchenschmerzfreien Probanden konnte zwischen dem ersten und zweiten Tag bei acht von elf analysierten imaginierten Alltagsbewegungen eine Reliabilität \geq ICC 0,8 berechnet werden. Unter Berücksichtigung des Wertebereichs des 95%-KI zeigten rüchenschmerzfreie Probanden bei dem imaginierten Gehen von 10 Metern im Sitz eine gute Reliabilität. Die Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Sitz, die Kniebeuge im Stand und im Sitz und das Gehen von 10 Metern zeigten eine moderate Reliabilität. Die Inklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen sowie der Sockentest im Sitz und im Stand wiesen eine schlechte Reliabilität auf. Die rüchenschmerzfreien Probanden wiesen zwischen dem zweiten und dritten Tag bei elf von elf analysierten imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) eine Reliabilität \geq ICC 0,8 auf.

Unter Berücksichtigung des Wertebereichs des 95%-KI zeigten rüchenschmerzfreie Probanden bei der Inklination im Stand, der Reklination im Stand, dem Sockentest im Sitz und dem Gehen von 10 Metern im Stand eine gute Reliabilität.

Eine moderate Reliabilität ließ sich bei der Inklination und Reklination im Sitz, der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und im Stand, der Kniebeuge im Sitz und dem Gehen von 10 Metern im Sitz berechnen. Der Sockentest im Stand zeigte eine schlechte Reliabilität. Die CLBP Patienten zeigten hinsichtlich der Reliabilität der elf analysierten imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zwischen dem ersten und dem zweiten Tag ICC Werte von 0,68 - 0,96 und zwischen dem zweiten und dritten Tag ICC Werte von 0,73 - 0,95. Bei zehn von elf imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) konnte bei CLBP Patienten zwischen dem ersten und zweiten Tag eine Reliabilität \geq ICC 0,8 berechnet werden. Unter Berücksichtigung des Wertebereichs des 95%-KI zeigte die Kniebeuge im Stand bei CLBP Patienten eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit. Der Sockentest im Sitz zeigte eine gute Reproduzierbarkeit. Drei imaginierte Bewegungen, die Reklination und Inklination im Sitz und das Gehen von 10 Metern im Stand wiesen bei CLBP Patienten eine moderate Reproduzierbarkeit auf. Die restlichen fünf Bewegungen wiesen eine schlechte Reliabilität auf. Zwischen dem zweiten und dritten Tag zeigten die CLBP Patienten bei den 12 analysierten imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) eine Reliabilität \geq ICC von 0,8. Unter Berücksichtigung des Wertebereichs des 95%-KI konnte bei den CLBP Patienten bei vier imaginierten Bewegungen, dem Sockentest im Sitz und der Reklination im Sitz, der Rückenlage in den Langsitz im Sitz und der Kniebeuge im Sitz eine gute Reproduzierbarkeit berechnet werden. Mit Ausnahme der Inklination im Sitz und der Kniebeuge im Stand zeigten bei den CLBP Patienten sechs imaginierte Bewegungen, der Sockentest im Stand, das Gehen von 10 Meter im Sitz und im Stand, die Inklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und die Reklination im Stand eine moderate Reproduzierbarkeit auf.

In der zweiten Studie wurden die zeitlichen Unterschiede imaginiertes und aktiver Durchführungszeiten bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht. Bei 14 rüchenschmerzfreien Probanden sowie bei 20 CLBP Patienten wurden mittels mentaler Chronometrie (MC) die zeitlichen Unterschiede zwischen den rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht. Zur Erfassung der MC erfolgte ein Abgleich von Aktionszeiten (zeitliche Dauer von Bewegungen) zwischen imaginierten Bewegungen und tatsächlich durchgeführten Bewegungen. Des Weiteren wurde zwischen den rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten unterschieden (vgl. Abbildung 15 in Kapitel 6.3).

CLBP Patienten wiesen beim Gehen von 10 Metern im Stand keine signifikanten Unterschiede der MC auf ($p \geq .05$). Die restlichen acht Bewegungen (Inklination im Stand und im Sitz, Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, Sockentest im Stand und im Sitz, Kniebeuge im Stand) zeigten signifikante Unterschiede der MC auf ($p \leq .01$). Die Ausgangsstellung der jeweiligen imaginierten Bewegung erfolgte nach Randomisierung im Sitz oder im Stand (vgl. Kapitel 6.3).

Bei den rüchenschmerzfreien Probanden konnten lediglich bei vier von neun alltagsnahen Bewegungen signifikante Unterschiede der MC gemessen werden (Inklination im Stand ($p \leq .01$) und im Sitz ($p \leq .05$), Sockentest im Stand und im Sitz ($p \leq .01$). Der Abgleich zeitlicher Aktionszeiten der alleinigen imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen waren bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern im Stand signifikant geringer ($p \leq .01$).

In der dritten Studie wurden basierend auf den beiden vorherigen Untersuchungen und deren Ergebnissen die Effekte eines vierwöchigen MT bei 14 rüchenschmerzfreien Patienten und 20 CLBP Patienten untersucht. Überprüft wurden Veränderungen der MC, der alleinigen aktiven und der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen. Weitere Untersuchungsparameter waren die Schmerzintensität mittels der visuellen Analogskala (VAS), die taktile Schmerz Wahrnehmung (PPT), Fragebögen zur Erfassung der Einschränkung im Alltag durch Rüchenschmerzen (RMDQ-D), des angstbedingten Vermeidungsverhaltens (FABQ-D) und der physischen Störungen bei muskuloskelettalen Beschwerden (HADS-D).

Der Einsatz eines vierwöchigen ausschließlich MT führte bei CLBP Patienten zu einer verringerten Diskrepanz zwischen den durchgeführten Bewegungen und der subjektiven Einschätzung der Bewegungsdauer sowie der subjektiven Einschätzung der imaginierten und aktiven Bewegungen und deren Bewegungsdauer. CLBP Patienten wiesen nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm eine durchgängig zeitliche Annäherung der MC auf.

Allerdings zeigten CLBP Patienten nach einem vierwöchigen MT mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern bei den anderen Alltagsbewegungen (der Inklination im Sitz und im Stand, der Reklination im Sitz und im Stand, dem Sockentest im Sitz und im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und der Kniebeuge im Stand) trotz Annäherung weiterhin zeitliche signifikante Unterschiede bei der MC ($p \leq .05$) auf.

Rückenschmerzfreie Probanden zeigten vor und nach dem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm bei vier von neun alltagsnahen Bewegungen, der Inklination im Stand, dem Sockentest im Sitz und im Stand und der Kniebeuge im Stand signifikante zeitliche Unterschiede bei der MC auf ($p \leq .05$) auf.

Der zeitliche Abgleich imaginerter Durchführungszeiten bei rüchenschmerzfreien Probanden vor einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm zeigte bei zwei von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz signifikante Unterschiede in den Durchführungszeiten ($p \leq .05$). Nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm ließ sich bei den rüchenschmerzfreien Probanden lediglich bei einer von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, der Inklination im Sitz ein signifikanter Unterschied in der Durchführungszeit ermitteln ($p \leq .05$).

Der Abgleich imaginerter Durchführungszeiten bei CLBP Patienten vor einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm zeigte bei sechs von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und der Kniebeuge im Sitz signifikante Unterschiede in den Durchführungszeiten ($p \leq .05$). Nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm ließ sich bei den CLBP Patienten bei zwei von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen, dem Sockentest im Stand und aus der Rückenlage in den Langsitz im Sitz ein signifikanter Unterschied in der Durchführungszeit ermitteln ($p \leq .05$). Der zeitliche Abgleich imaginerter Durchführungszeiten bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten wies vor und nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm bei neun von elf imaginierten alltagsnahen Bewegungen einen signifikanten Unterschied in der Durchführungszeit auf ($p \leq .01$). Der zeitliche Abgleich aktiver Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten zeigte vor Beginn bei vier von neun Bewegungen, der Inklination im Sitz und im Stand, der Reklination im Stand und aus der Rückenlage in den Langsitz signifikante Unterschiede in den Durchführungszeiten ($p \leq .01$).

Nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm konnten bei rüchenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten beim zeitlichen Abgleich aktiver Bewegungen bei zwei von neun Bewegungen, der Reklination im Stand und Sockentest im Sitz signifikante Unterschiede der Durchführungszeiten der Gruppen berechnet werden ($p \leq .05$). Nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm zeigten die CLBP Patienten eine signifikante Schmerzreduktion ($p \leq .05$).

Rückenschmerzfreie Probanden wiesen eine signifikant höhere taktile Schmerzschwelle ($p \leq .01$) des unteren Rückens im Vergleich mit CLBP Patienten auf.

Nach einem vierwöchigen mentalen Trainingsprogramm konnte bei CLBP Patienten eine signifikante Zunahme der taktilen Schmerzschwelle gemessen werden ($p \leq .05$).

8 Diskussion

In diesem Kapitel werden die drei Studienabschnitte diskutiert. Zu diesen gehören die Reliabilität, die Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen und die MC bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten. Weitere Diskussionspunkte sind die Anwendung eines vierwöchigen MT auf die zeitlichen Veränderungen imaginiertes Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen, die MC alltagsnaher Bewegungen und die Veränderungen der subjektiven und taktilen Schmerzempfindung.

8.1 Reliabilität der imaginierten Durchführungszeiten

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass imaginierte Durchführungszeiten ausgewählter alltagsnaher Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten eine zuverlässige Reproduzierbarkeit aufweisen. Die Ergebnisse der Reliabilität imaginiertes Durchführungszeiten zeigten bei rüschenschmerzfreien Probanden zwischen dem ersten und zweiten Tag bei den elf analysierten Alltagsbewegungen ICC Werte von 0,52 - 0,92. Rüschenschmerzfreie Probanden wiesen bei den imaginierten Bewegungen des Gehens von 10 Metern im Sitz eine gute Reliabilität auf. Die Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Sitzen, die Kniebeuge im Stand und im Sitz und das Gehen von 10 Metern zeigten eine moderate Reliabilität. Die Inklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen sowie der Sockentest im Sitz und im Stand wiesen eine schlechte Reliabilität auf. Zwischen dem zweiten und dritten Tag zeigten rüschenschmerzfreie Probanden ICC Werte von 0,83 - 0,96. Die Inklination im Stand, die Reklination im Stand, der Sockentest im Sitz und das Gehen von 10 Metern im Stand wiesen eine gute Reliabilität bei rüschenschmerzfreien Probanden auf. Eine moderate Reliabilität bei rüschenschmerzfreien Probanden zeigte sich bei der Inklination und Reklination im Sitz, der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und im Stand, der Kniebeuge im Sitz und beim Gehen von 10 Metern im Sitz. Der Sockentest im Stand wies eine schlechte Reliabilität bei rüschenschmerzfreien Probanden auf. Die Reliabilität imaginiertes Durchführungszeiten elf analysierter alltagsnaher Bewegungen zeigte bei CLBP Patienten zwischen dem ersten und dem zweiten Tag ICC Werte von 0,68 - 0,97 auf.

CLBP Patienten zeigten bei der Kniebeuge im Stand eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit auf. Beim Sockentest im Sitz konnte bei den CLBP Patienten eine gute Reproduzierbarkeit berechnet werden. Drei imaginierte Bewegungen, die Reklination und Inklination im Sitz, die Inklination im Stand und das Gehen von 10 Metern im Stand wiesen bei CLBP Patienten eine moderate Reproduzierbarkeit auf. Die restlichen sechs Bewegungen (Inklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und im Sitzen, der Sockentest im Stand, die Kniebeuge im Sitz, Gehen von 10 Metern im Sitz) zeigten eine schlechte Reliabilität. Zwischen dem zweiten und dritten Tag zeigten die CLBP Patienten bei den 12 analysierten imaginierten Durchführungszeiten (alltagsnaher Bewegungen) Tag ICC Werte von 0,73 - 0,95. CLBP Patienten zeigten bei vier imaginierten Bewegungen, dem Sockentest und Reklination im Sitz, der Rückenlage in den Langsitz im Sitz und der Kniebeuge im Sitz eine gute Reproduzierbarkeit. Mit Ausnahme der Inklination im Sitz und der Kniebeuge im Stand wiesen CLBP Patienten bei sechs imaginierten Bewegungen, der Sockentest im Stand, das Gehen von 10 Meter im Sitz und im Stand, die Inklination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und die Reklination im Stand eine moderate Reproduzierbarkeit auf. Im Vergleich der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen konnten in beiden Gruppen zwischen dem ersten und zweiten Tag niedrigere ICC Werte im Vergleich zum zweiten und dritten Tag beobachtet werden. Ein möglicher Grund dafür besteht darin, dass imaginierte Bewegungen Lerneffekte vom ersten und zweiten Tag voraussetzen, um eine reliable Reproduzierbarkeit imaginierter Alltagsbewegungen zu generieren. Zur Beurteilung der Imagination wurde in der Vergangenheit verschiedene Untersuchungsmethoden eingesetzt. Zu diesen gehören psychometrische Fragebögen (Williams, Pearce, Loporto, Morris & Holmes 2013), qualitative Interviews (MacIntyre & Moran, 2007), physiologische Techniken (Collet et al., 2010), fMRT (Guillot et al., 2008) und die mentale Chronometrie (Collet et al., 2011; Decety & Jeannerod, 1995; Decety et al., 1989; Guillot & Collet, 2005). In der vorliegenden Untersuchung wurde zur Beurteilung der Imagination der Grundgedanke der MC angewandt. Die Messung der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen erfolgte mittels Stoppuhr.

Die vorliegenden Ergebnisse sind nach aktuellem Kenntnisstand des Autors die ersten, welche imaginierte Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rücken-schmerzfreien Probanden und CLBP Patienten auf ihre Reliabilität an unterschiedlichen Messzeitpunkten quantifiziert haben.

Weitere Untersuchungen der Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten fanden im Bereich der Neurologie statt und kamen in Bezug auf die Reliabilität der Reproduzierbarkeit imaginierter Durchführungszeiten zu vergleichbaren Ergebnissen (Malouin et al., 2008; Malouin, Richards, Durand & Doyon, 2008 b; Williams, Guillot, Di Rienzo & Cumming, 2015; Wu et al., 2010). Malouin et al. (2008) untersuchten beispielsweise die Reliabilität mittels ICC imaginierter Durchführungszeiten bei Schlaganfallpatienten mit dem Time-Dependent Motor Imagery (TDMI) Screening-Test und dem Zeitlichen-Kongruenz-Test (ZKT). Im TDMI-Test stellen sich Probanden, die auf einem Stuhl mit Rückenlehne sitzen, verschiedene Schrittbewegungen über unterschiedliche Zeiträume vor. Das Ziel der verschiedenen Schrittbewegungen im Rahmen des TDMI besteht darin, einen Fuß vorwärts auf ein Brett (Ziel) zu setzen und es dann wieder auf den Boden zurückzuführen. Während des Tests sollen die Probanden die Augen schließen. Die Vorstellung, das Brett mit dem Fuß zu berühren, wird durch die Probanden durch ein verbales Signal bestätigt. Jeder Versuch wird nach unterschiedlichen Zeitabschnitten von 15, 25 und 45 Sekunden beendet. Beim TDMI werden beide Beine abwechselnd getestet. Die drei Zeiträume werden wie folgt dargestellt: 15 Sekunden auf der einen Seite, gefolgt von 25 Sekunden auf der anderen Seite. Mit den Extremitätenwechsel soll es dem Probanden erschwert werden, die Dauer der nächsten Zeitperiode vorherzusagen. Der Untersucher zeichnet die Anzahl der imaginären Bewegungen in jedem Zeitabschnitt auf. Die Reliabilität des TDMI-Screening-Tests zeigte mit ICC-Werten von 0,87 bis 0,93 eine gute Reproduzierbarkeit auf. Beim ZKT erfolgt ein zeitlicher Abgleich von MI und physischen Bewegungen wie beim TDMI-Screening-Test (Malouin et al., 2008).

Es wurden fünf Serien von Schrittbewegungen auf beiden Seiten ausgeführt, wobei die imaginierten Durchführungszeiten zuerst erfasst wurden, um die Möglichkeit zu minimieren, dass die Testperson durch die Dauer der realen Bewegung beeinflusst oder eine Zählstrategie verwendet wird. Das gleiche Verfahren wurde für die zweite Serie wiederholt. Auf jede Serie und jede Bedingung (Imagination und Ausführung) folgte eine 30-sekündige Ruhezeit. Die Probanden hatten während der imaginären Bedingung ihre Augen geschlossen. Der ZKT wies an unterschiedlichen Messzeitpunkten eine zuverlässige Reproduzierbarkeit von ICC Werten von 0,9 bis 0,98 auf (Malouin et al., 2008).

Ein Übertrag der vorliegenden Untersuchung auf CLBP Patienten kann allerdings nicht erfolgen (Malouin et al., 2008; Williams et al., 2015), da die pathophysiologischen Mechanismen und das Aktivitätsniveau bei Schlaganfallpatienten mit denen von CLBP Patienten nicht vergleichbar sind (Flor et al., 1996; Li et al., 2019; Malouin, Richards, Durand & Doyon, 2008). Weitere Ergebnisse zur Reliabilität imaginierter und aktiver Bewegungen konnten in der Arbeit von Williams et al. (2015) gesichtet werden, die mittels MIQ-3 die Vorstellungsfähigkeit in Form von imaginierten Durchführungszeiten bei jungen Sportlern und Sportlerinnen erfassten. Der Fragebogen mit 12 Items misst vier Bewegungen (Kniebeuge, Sprung, Armbewegung und Hüftbewegung) in Relation zum kinästhetischen, visuellen und aktiven Ansatz. Williams et al. (2015) untersuchten die 12 Items ebenfalls mittels MC, um Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen Bewegungsvorstellung, Bewegungsvorbereitung und Bewegungsprogrammierung zu ziehen (Guillot & Collet, 2005). Der MIQ-3 verfügt über eine gute Validität (Williams et al., 2012, 2015). Er wies eine ausreichende interne Zuverlässigkeit mit einem Cronbach-Alpha-Koeffizienten $\geq 0,7$ für die Vorstellungsfähigkeit mittels räumlich-bildhaftem und kinästhetischem Ansatz auf (Williams et al., 2012).

Allerdings konnte aus der Untersuchung von Williams et al. (2012, 2015), die an jungen Probanden ohne Beschwerden stattfand, kein eindeutiger Übertrag auf die Zuverlässigkeit der imaginierten Durchführungszeiten bei CLPB Patienten erfolgen. Die vorliegende Untersuchung konnte im Hinblick auf die neurophysiologischen Anpassungen bei CLBP erste Hinweise zur Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten von alltagsnahen Bewegungen liefern. Demnach scheinen CLBP Patienten trotz kortikaler Reorganisation im S1 und S2 einer schmerzinduzierten Bewegung des Rückens (Kong et al., 2013, Marcuzzi; Dean, Wrigley & Hush, 2015) und einer Veränderung des M1 (Vrana et al., 2015) die Fähigkeit beizubehalten, reproduzierbare imaginierte Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen abzurufen. Demzufolge können Übereinstimmungen aus der Arbeit von Vrana et al. (2015) abgeleitet werden, welche zeigten, dass CLBP Patienten im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden die Fähigkeit beibehalten, komplexe Bewegungsvorstellungen durchzuführen, dafür aber eine höhere kortikale Rekrutierung abrufen müssen (Vrana et al., 2015). Die Ergebnisse erlauben die ersten Rückschlüsse, dass sich ausgewählte imaginierte Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten als zuverlässige Untersuchungsmethode eignen.

Es sollte aufgrund der schlechteren Reliabilität (vgl. Kapitel 7) zwischen dem ersten und zweiten Tag eine Vorbereitungsphase für rüchenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten bei den imaginierten alltagsnahen Bewegungen berücksichtigt werden. Bezugnehmend auf die zweite Forschungsfrage (vgl. Kapitel 5.2) darf diese mit einer moderaten bis guten Reliabilität zwischen dem zweiten und dritten Tag bei zehn von elf imaginierten Durchführungszeiten bei rüchenschmerzfreien Probanden bejaht werden. Bei CLBP Patienten kann die Forschungsfrage im Sinne einer moderaten bis guten Reliabilität zwischen dem zweiten und dritten Tag (vgl. Kapitel 5.2) bei zehn von 12 imaginierten Durchführungszeiten ebenfalls bejaht werden. Inwieweit sie als klinischer Marker hilfreich sein könnten, wurde auf der Grundlage der Aussage, dass CLBP Patienten mehr Zeit für einfache geistige Aufgabe benötigen (Pijnenburg et al., 2015) anhand der MC alltagsnaher Bewegungen in der zweiten Studie untersucht.

8.2 Diskussion Studie 2

Im folgenden Kapitel wurden die Ergebnisse der zweiten Studie diskutiert. Diese beinhalteten den zeitlichen Abgleich der MC der imaginierten und aktiven Bewegungen sowie die Unterschiede der PPT bei Patienten mit CLBP und rüschenschmerzfreien Probanden.

8.2.1 Abgleich der mentalen Chronometrie

Die zweite Studie untersuchte erstmals den zeitlichen Abgleich imaginiertes und aktiver Durchführungszeiten neun alltagsnaher Bewegungen bei CLBP Patienten und rüschenschmerzfreien Patienten. Dieser erfolgte mittels MC bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten, wobei eine geringe Diskrepanz zwischen den Zeiten als physiologisch angenommen wird (Gulliot & Collet, 2005; Samptom et al., 2012; Williams et al., 2015). Rüschenschmerzfreie Probanden wiesen beim zeitlichen Abgleich der MC bei vier von neun Bewegungen eine größere zeitliche Diskrepanz der MC auf. Die Inklination im Stand ($p \leq .01$) und im Sitz sowie der Sockentest im Sitz und im Stand wiesen signifikante Unterschiede auf ($p \leq .05$). Bei dem zeitlichen Abgleich ließen sich längere imaginierte Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten feststellen.

Keine signifikante zeitliche Diskrepanz der MC zeigte sich bei der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand sowie dem Gehen von 10 Metern ($p \geq .05$). CLBP Patienten wiesen beim zeitlichen Abgleich bei acht von neun alltagsnahen Bewegungen eine zeitliche Diskrepanz der MC auf. Beim Gehen von 10 Metern im Stand zeigte sich kein signifikanter Unterschied der MC ($p \geq .05$). Die Inklination im Stand und im Sitz, die Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, der Sockentest im Sitz und im Stand und die Kniebeuge im Stand wiesen signifikante Unterschiede der MC auf ($p \leq .01$). In Untersuchungen zeigte sich, dass Sportler und gesunde Probanden bei imaginierten Bewegungen mit geringem Anforderungsprofil vergleichbare Zeiten zur aktiven Durchführung aufwiesen (Decety et al., 1991; Jeannerod & Frak, 1999). Darüber hinaus wirkte sich eine steigende Bewegungsexpertise bei Sportlern positiv auf die MC aus (Reed, 2002).

Weitere Untersuchungen ließen erkennen, dass imaginierte Durchführungszeiten im Vergleich zu aktiven Durchführungszeiten mit der Aufgabenkomplexität ansteigen (Loren et al., 2009; Saimpont et al., 2012).

Untersuchungen an neurologischen Patienten konnten eine zeitliche Diskrepanz zwischen imaginierten Bewegungen und aktiv durchgeführten Bewegungen nachweisen (Malouin et al. 2008, 2012; Wu et al., 2010). So zeigt sich am Beispiel von Schlaganfallpatienten, dass diese längere imaginierte Durchführungszeiten im Vergleich zu aktiven Bewegungen aufwiesen (Oostra et al., 2012). Rückschlüsse, inwieweit sich die MC bei CLBP Patienten und rüchenschmerzfreien Probanden unterscheiden, konnten abschließend aus den vorhandenen Untersuchungen an Gesunden, Sportlern und neurologischen Patienten nicht abgeleitet werden.

Die signifikanten zeitlichen Diskrepanzen der MC bei den CLBP Patienten können darauf zurückzuführen sein, dass anhaltender CLBP mit Reorganisationsprozessen in sensomotorischen Hirnarealen und einer reduzierten Aktivität in bewegungsvorstellungsassozierten Hirnregionen einhergehen (Vrana et al., 2015) und sich diese in den imaginierten und aktiven Durchführungszeiten widerspiegelt (Pijnenburg et al., 2015). Bekanntermaßen gehen anhaltende Schmerzprozesse mit der kortikalen Reorganisation bei CLBP Patienten einher, welche mit einer verminderten Vorstellungsfähigkeit in Verbindung stehen (Masse-Alarie & Schneider, 2016). Anhand der Ergebnisse scheint bei rüchenschmerzfreien Probanden im Gegensatz zu CLBP Patienten bei einem Großteil der alltagsnahen Bewegungen, die Fähigkeit bestehen zu bleiben, eine geringe zeitliche Diskrepanz der MC abzurufen.

Mögliche Erklärungsansätze für die größere zeitliche Diskrepanz bei der Inklination im Stand und im Sitz sowie dem Sockentest im Sitz und im Stand könnte mit der Bewegungskomplexität und Bewegungsvariationen einhergehen. Denn die Dauer einer imaginären Bewegung ist unter anderem von Faktoren wie dem Schwierigkeitsgrad, der Bewegungserfahrung, der Bewegungsvertrautheit und der Ausgangsstellung abhängig (Decety et al., 1991; Jeannerod & Frak, 1999; Saimpont et al., 2012). Die geringe Diskrepanz der MC der imaginierten Durchführungszeiten der CLBP Patienten kann durch Folgen anhaltender Schmerzprozesse und der damit einhergehenden kortikalen Reorganisation erklärt werden. Pijnenburg et al. (2015) beobachteten, dass CLBP Patienten eine Reorganisation sensomotorischer Areale aufweisen und demnach mehr Zeit benötigen, um kognitive Aufgaben zu erfüllen.

Die Reorganisation stimmt mit bekannten bewegungsvorstellungsassoziierten Hirnaktivitäten überein, die ein fronto-parietales Netzwerk und subkortikale Strukturen wie den Thalamus umfassen (Hetu et al., 2013; Lotze & Halsband, 2006). Gleichzeitig konnten bei CLBP Patienten der Imagination eine verminderte Aktivität des M1 und des SMA (Vrana et al., 2015) und bei schmerzassoziierten Bewegungen eine erhöhte Aktivität des S1 (Kong et al., 2013) nachgewiesen werden. Das SMA ist dabei ein integrierter Teil eines Netzwerkes, der an einer adäquaten Bewegungsplanung beteiligt ist (Hetu et al., 2013; Lorey et al., 2014; Lotze & Halsband, 2006). Darüber hinaus weisen CLBP Patienten ein gestörtes Körperschema und einen Verlust der mentalen Rotationsfähigkeit auf (Bray & Moseley, 2011; Moseley, 2008).

Die Summe der genannten neurophysiologischen Veränderungen bei CLBP Patienten lassen die Annahme zu, dass das Abrufen imaginiertes alltagsnaher Bewegungen nachhaltig beeinträchtigt wird. Die vorliegende Arbeit ist nach aktuellem Stand die erste, welche die MC alltagsnaher Bewegungen an rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersuchte. CLBP Patienten zeigen bei acht von neun alltagsnahen Bewegungen im Vergleich mit rüchenschmerzfreien Probanden (vier von neun alltagsnahen Bewegungen) eine zeitliche Diskrepanz der MC auf. Ausgehend von der H1 Hypothese, dass CLBP Patienten mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern im Stand signifikante Unterschiede der MC aufweisen, kann die H1 Hypothese angenommen werden. Bei rüchenschmerzfreien Probanden weisen vier von neun alltagsnahen Bewegungen signifikante Unterschiede der MC auf. Aufgrund der signifikanten Unterschiede der MC der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand sowie dem Gehen von 10 Metern kann die H1 Hypothese angenommen werden. Aufgrund der nicht signifikanten zeitlichen Diskrepanzen der MC der rüchenschmerzfreien Probanden bei der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand sowie dem Gehen von 10 Metern muss die H0 Hypothese beibehalten werden.

8.2.2 Abgleich der imaginierten Durchführungszeiten

Der zeitliche Abgleich imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten zeigte beim Gehen von 10 Metern im Stand keine signifikanten Unterschiede ($p \geq .05$). Bei den restlichen elf Alltagsbewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen und im Sitz, dem Sockentest im Stand und im Sitz, der Kniebeuge im Stand und im Sitz sowie dem Gehen von 10 Metern im Sitz konnten signifikante Unterschiede berechnet werden ($p \leq .01$). Insgesamt konnten beim zeitlichen Abgleich bei den rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten kürzere imaginierte Durchführungszeiten (Messbereich: 2,1 Sekunden - 3,5 Sekunden) beobachtet werden. Daraus lässt sich postulieren, dass CLBP Patienten mit einer Reorganisation des M1 sowie einer reduzierten Vorstellungsfähigkeit (Guillot et al., 2008; Lotze et al., 1999; Pijnenburg et al., 2015) dennoch die Fähigkeit beibehalten, imaginierte Bewegungen abzurufen. Hier lassen sich Parallelen zu der Arbeit von La Touche et al. (2019) erkennen. Sie untersuchten an rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten die Unterschiede imaginerter Durchführungszeiten visueller und kinästhetischer imaginerter Durchführungszeiten (La Touche et al., 2019). Die Ergebnisse des zeitlichen Abgleichs ergaben, dass CLBP Patienten längere Durchführungszeiten der kinästhetischen Bewegungsvorstellungen im Vergleich zum räumlich bildhaften Ansatz aufweisen. Zudem zeigten La Touche et al. (2019), dass CLBP Patienten mit einer Kinesiophobie kinästhetische und visuelle Bewegungen schlechter abrufen können. Aufgrund der geringen Werte im HADS-S der CLBP Patienten konnten in der vorliegenden Arbeit keine Parallelen zu den Ergebnissen von La Touche et al. (2019) gezogen werden. Darauf aufbauend konnte gezeigt werden, dass CLBP Patienten mit der geringen Fähigkeit, kinästhetische und visuelle Bewegungsvorstellungen abzurufen, niedrigere Kraft- und Selbstwirksamkeitsniveaus aufweisen (Grande-Alonso et al., 2020). Umgekehrt zeigen CLBP Patienten, welche keine verminderte kinästhetische und visuelle Bewegungsvorstellungen aufweisen, höhere Kraft- und Selbstwirksamkeitsniveaus auf (Grande-Alonso et al., 2020). Im Gegensatz zu den Untersuchungsergebnissen von Grande-Alonso et al. (2020) zeigten die CLBP Patienten in der vorliegenden Arbeit höhere Ausgangswerte der bildlichen und kinästhetischen Vorstellungsfähigkeit auf.

Dennoch zeigt die vorliegende Arbeit erstmalig die Unterschiede imaginierter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten. Abschließend lässt sich festhalten, dass mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern die H1 Hypothese im Sinne der signifikant längeren imaginierten Durchführungszeiten der verbleibenden elf alltagsnahen Bewegungen bei den CLBP Patienten angenommen werden darf.

8.2.3 Abgleich der aktiven Durchführungszeiten

Der Abgleich der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der CLBP Patienten und rüschenschmerzfreien Probanden zeigte mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern und dem Sockentest im Stand bei den verbleibenden sieben Alltagsbewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen, dem Sockentest im Sitz und der Kniebeuge im Stand signifikante Unterschiede auf ($p \leq .05$). Beim zeitlichen Abgleich aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zeigten sich durchgängig längere aktive Durchführungszeiten bei CLBP von 0,5 Sekunden bis 1,3 Sekunden. Diese können mit einer veränderter Bewegungs- (Radebold et al., 2000) und Wahrnehmungsfähigkeit (Bray et al., 2011; Moseley, 2008, 2010), einem motorischen Kontrolldefiziten (Tsao et al., 2008; Wand et al., 2011) und kortikalen Reorganisationsprozessen bei CLBP Patienten begründet werden (Masse-Alarie et al., 2016). Letzteres steht in Verbindung mit dem M1, der Bewegungsabläufe koordiniert, in Schmerzprozessen involviert ist und in letzter Konsequenz diverse motorische Kontrollabläufe beeinflusst (Masse-Alarie et al., 2016; Tsao et al., 2008).

CLBP Patienten zeigen bei der Planung einer Bewegung ebenso bei der Reaktion auf Haltungsveränderungen andere motorische Muster als schmerzfreie Personen (Strutton et al., 2005; Tsao et al., 2008) im Sinne einer veränderten Feedforward-Strategie (Luomajoki et al., 2008; Masse-Alarie, Beaulieu, Preuss & Schneider, 2016 b; Tsao et al., 2008). Auf Grundlage der Ergebnisse kann die H1 Hypothese angenommen werden. Es zeigten sich signifikante Unterschiede der Durchführungszeiten bei acht von neun aktiven alltagsnahen Bewegungen bei rüschschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP Patienten.

8.2.4 Diskussion Pressure Pain Threshold

Die PPT Ergebnisse zeigten insgesamt signifikant niedrige Werte bei den CLBP Patienten. Der niedrigste gemessene Druckwert bei den CLBP Patienten betrug $0,9 \pm 0,7 \text{ kg/cm}^2$ an dem MP 6 und MP 8 ($p \leq .01$). Der höchste $1,1 \pm 0,6 \text{ kg/cm}^2$ bei dem MP 1. Die rüschmerzfreen Probanden zeigten beim MP 5 und MP 6 Druckwerte von $2,3 \pm 1,1 \text{ kg/cm}^2$ (niedrigster Wert) im Vergleich zum MP 7 mit einem Druckwert von $2,7 \pm 1,7 \text{ kg/cm}^2$ (höchster Wert).

In der Arbeit von O'Neill, Kjaer, Graven-Nielsen, Manniche & Arendt-Nielsen (2011) ließen sich bei einer Langzeitstudie mit CLBP Patienten vergleichbare PPT Werte, welche in Höhe von L4 gemessen wurden (Messbereiche: 677- 755 kg/cm^2), beobachten. Widersprüchliche PPT Ergebnisse zeigten sich in der Untersuchung von Imamura et al. (2013), welche die PPT an rüschmerzfreen Probanden und CLBP Patienten untersuchten. Die Ergebnisse der PPT der rüschmerzfreen Probanden und CLBP Patienten wiesen insgesamt eine höhere PPT auf.

Die PPT wurde unter anderem im Bereich des Ligamentum supraspinale (Lig.) zwischen dem Lendenwirbel L1 bis L5 gemessen. Die rüschmerzfreen Probanden wiesen eine durchschnittlich höhere PPT (Lig. L1 - L2: $7,29 \pm 2,21 \text{ kg/cm}^2$, Lig. L2 - L3 : $7,49 \pm 2,01 \text{ kg/cm}^2$, Lig. L4 - L5: $7,46 \pm 2,57 \text{ kg/cm}^2$ im Vergleich zu CLBP Patienten Lig. L1 - L2: $4,48 \pm 2,23 \text{ kg/cm}^2$, Lig. L2 - L3: $4,48 \pm 2,2 \text{ kg/cm}^2$, Lig. L4 - L5: $4,65 \pm 1,74 \text{ kg/cm}^2$) auf. Insgesamt zeigt sich aber eine starke Abweichung zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, was an den bilateralen PPT Messungen des unteren Rückens und den daraus präsentierten Mittelwerten liegen könnte. In der vorliegenden Arbeit wurde die PPT ausschließlich auf der schmerzhaften Seite gemessen.

Ein weiterer Grund für die Abweichungen besteht in der kürzeren Rückenschmerzdauer ($48,6 \pm 37,04$ Monaten) in der Arbeit von O'Neill et al. (2011) im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung ($252,5 \pm 211,6$ Wochen) sowie in anderen Verarbeitungsprozessen und Schmerzmechanismen (Nijs et al., 2017).

Anhaltende Schmerzprozesse verändern sensorische Schmerzkomponenten und aktivieren somatosensorische Gehirnareale, welche der Schmerzlokalisierung, dem Druckempfinden sowie der Schmerzdauer dienen (Flor et al., 1997; Rainville, Duncan, Price, Carrier & Bushnell, 1997).

Eine verminderte PPT bei CLBP Patienten steht in Verbindung mit kortikalen Reorganisationsprozessen (Hotz-Boendermaker et al., 2016, Flor et al., 1997) sowie einer Funktionsminderung des PAG (Giesecke et al., 2006).

Dementsprechend konnte bei CLBP Patienten in der vorliegenden Untersuchung eine veränderte Toleranz gegenüber mechanischen Reizen sowie eine veränderte taktile Wahrnehmung nachgewiesen werden (Fall et al., 2014; Imamura et al., 2013; Luomajoki & Moseley, 2011; Meier, Iten, & Luomajoki, 2019 b; S`Oneill et al., 2011). Auf Grundlage vergangener und vorliegender Ergebnisse kann die H1 Hypothese angenommen werden. Rückenschmerzfreie Probanden wiesen im Vergleich mit CLBP Patienten eine signifikant höhere taktile Schmerzschwelle auf.

8.3 Diskussion Studie 3

Im letzten Studienabschnitt wurde die Veränderungen eines vierwöchigen mentalen Trainings (MT) bei rückenschmerzfremen Probanden und CLBP Patienten diskutiert. Hierbei lag die Diskussion darin, die Auswirkungen eines MTS auf die zeitliche Diskrepanz der MC sowie der imaginierten und aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zu betrachten. Darüber hinaus werden die Veränderungen des subjektiven und taktilen Schmerzempfindens bei CLBP Patienten nach einem vierwöchigen MT diskutiert. Darauf aufbauend werden die neuen Erkenntnisse für die Rehabilitation für von CLBP Patienten abgeleitet.

8.3.1 Schmerz- und psychologischen Parameter

Die Ergebnisse zeigten, dass sich ein vierwöchiges MT positiv auf die akute Schmerzintensität bei CLBP Patienten auswirkt. Das MT unterlag dem räumlich-bildhaften und dem kinästhetischen Ansatz. Die 19 CLBP Patienten wiesen nach zwei ($p \leq .01$) - und vierwöchigem MT ($p \leq .05$) eine signifikante Schmerzreduktion (VAS akut) auf (vgl. Abbildung 24).

Vergleichbare Ergebnisse konnten bereits in früheren Arbeiten an Patienten mit Arthrose und chronischen Schmerzen mittels stufenförmigen MT erzielt werden (Baird & Sand, 2006, Baird, Murawski, & Wu, 2010). Bei Baird & Sand (2006) zeigten zusätzlich Langzeiteffekte nach einer Interventionsphase von zwölf Wochen. Die Schmerzintensität der vergangenen 24 Stunden zeigte zu keinem Zeitpunkt der Intervention keine signifikanten Unterschiede.

Eine weitere Arbeit konnte eine signifikante Schmerzreduktion bereits nach drei Tagen durch Anwendung eines stufenförmigen MT bei chronischen Schmerzpatienten beobachten (Lewandowski, Good & Draucker, 2005). Fairweather & Sidaway (1993) zeigten ebenfalls positive Effekte des MT bei LBP Patienten.

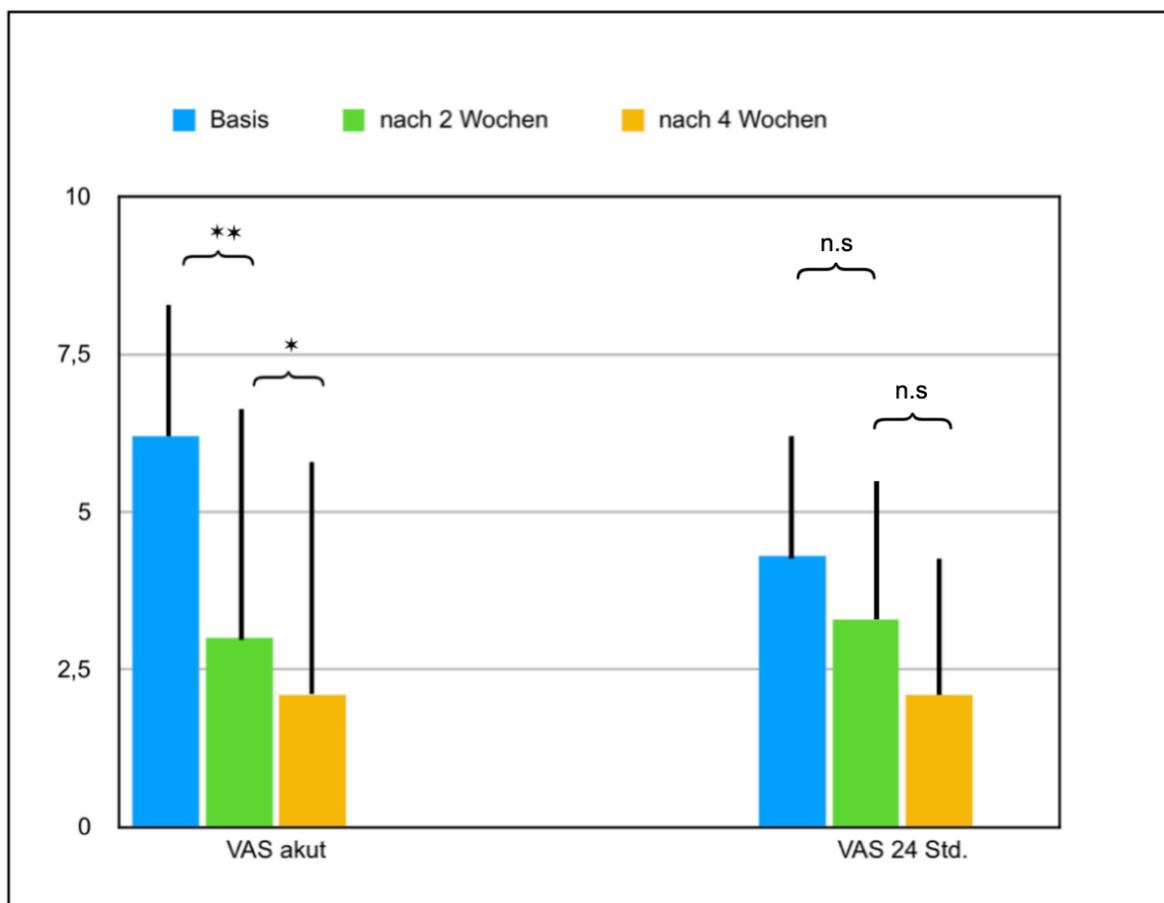


Abbildung 24: Ergebnisse der Veränderungen der subjektiven Schmerzintensität nach Anwendung des MT bei CLBP Patienten. Links der Vergleich der akuten Schmerzintensität (VAS akut /Basis, zweite und vierte Woche). Rechts die Veränderungen der Schmerzintensität der letzten 24 Stunden (VAS 24 Std.) ausgehend vom Basiswert. Quelle: eigene Darstellung, Abkürzungen: n.s = nicht signifikant, * = $p \leq .05$, ** $p \leq .01$.

Die Ergebnisse zeigten nach einer neunmaligen Intervention in einer dreiwöchigen Therapiephase bei LBP Patienten, die mental trainierten, im Vergleich zu rücken-schmerzfreien Probanden eine verbesserte Körperhaltung sowie eine Schmerzreduktion. Ein weiterer Grund für den Einsatz des MT könnte in einer Reduktion von Angstvermeidungsverhalten und Katastrophisierung begründet werden.

Das Angstvermeidungsverhalten stellt ein erhebliches Problem in der Kaskade bei CLBP Patienten dar (Flor, 2012; La Touche et al., 2019). Die vorliegende Arbeit konnte Veränderungen des Angstvermeidungsverhalten bei CLBP Patienten nach einem MT beobachten. Sowohl nach zwei als auch nach vier Wochen Intervention mittels MT ließ sich in den Subskalen „Arbeit“ und „Angst“ eine signifikante Abnahme der Angstvermeidungsfaktoren im Sinne eines niedrigeren Scores beobachten. Im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit weisen CLBP Patienten laut mehrerer Studien beides häufig im Alltag auf (Baliki, Mansour, Baria & Apkarian, 2014); La Touche et al., 2019). Ein weiterer positiver Effekt, der für die MT-Anwendung spricht, liegt darin, Bewegungsprogrammierung und Rezidive von LBP positiv zu begünstigen. Der Einsatz von einem MT im Rehabilitationsprozess bei Patienten mit einer Kreuzbandverletzungen zeigte ebenfalls erste Hinweise zur Wirksamkeit (Lebon et al., 2009). Die Arbeit von Frenkel (2010) stellt ebenfalls die Bedeutung des MT heraus. Sie untersuchte den Effekt bei Patienten nach dem Einsatz einer Knieendoprothese.

Die Ergebnisse wiesen eine signifikant verbesserte Kniegelenksbeweglichkeit und subjektive Einschätzung zur physischen Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. Wider erwarten zeigten sich in der vorliegenden Arbeit niedrige Werte im HADS-Fragebogen in den Subskalen „Angst“ ($5,89 \pm 3,5$) und „Depression“ ($4,37 \pm 3,5$) bei den CLBP Patienten. Werte von null bis sieben gelten als unauffällig (Hoyer & Markgraf, 2015). Keine Veränderungen ließen sich ebenfalls bei CLBP Patienten im RMDQ-D beobachten. Demnach können keine Rückschlüsse der Wirksamkeit des MT auf die Veränderungen der Alltagsaktivitäten bei CLBP Patienten gezogen werden. Arbeiten von Di Monaco et al. (2003) wiesen nach Radiusfrakturen und deren Immobilisationsfolgen durch Gipsruhigstellung die Wirksamkeit des mentalen Trainings nach (Di Monaco, Vallero, Di Monaco, Mautino & Cavanna, 2003). Nach einem MT zeigte sich, dass Bewegungseinschränkungen der Hand und Kraftverlust signifikant reduziert werden konnten (Newsom, Knight & Balnave, 2003).

Cupal et al. (2003) ermittelten bei Patienten nach einer Kreuzbandruptur mittels MT eine größere Kraftsteigerung bei der Flexion und Extension des Kniegelenks, die mittels Isokinetic Dynamometer gemessen wurde.

Außerdem ließ sich durch ein MT eine signifikante Verringerung der Angst vor Wiederverletzungen sowie eine Schmerzreduktion nachweisen (Cupal & Brewer 2001). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen die Annahme zu, dass die Anwendung eines vierwöchigen MT bei CLBP Patienten eine Alternative zur Schmerzlinderung zu den bestehenden Behandlungsmöglichkeiten darstellt.

Die H1 Hypothesen dürfen hinsichtlich einer Normalisierung der VAS (akut), des FABQ-D (Arbeit) angenommen werden. Die H0 Hypothese muss aufgrund der nicht signifikanten Unterschiede bei der VAS (24 Std.), den FABQ-D (Aktivität) und dem HADS-D beibehalten werden.

8.3.2 Mentales Training und mechanisches Schmerzempfinden

Die Veränderungen der PPT bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten erfolgte nach einem zwei- beziehungsweise vierwöchigen MT mit dem räumlich-bildhaften und dem kinästhetischen Ansatz. Rückenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten zeigten nach einem MT signifikante Unterschiede ($p \leq .05$) der PPT zu allen Messzeitpunkten (Basis vs. zweite Wochen, zweite vs. vierte Wochen). Rückenschmerzfreie Probanden wiesen insgesamt eine höhere Schmerzempfindung im Vergleich mit CLBP Patienten auf. Die durchschnittliche PPT der CLBP Patienten lag vor dem vierwöchigen MT in Bereichen von $0,9 \pm 0,7$ bis $1 \pm 0,8$ kg/cm² und bei rüchenschmerzfreien Probanden bei $2,3 \pm 1,1$ bis $2,7 \pm 1,7$ kg/cm². Nach vier Wochen zeigten rüchenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten eine Zunahme der PPT des unteren Rückens. Die niedrigen Ausgangswerte der PPT-Werte in der vorliegenden Arbeit der CLBP Patienten stimmten weitestgehend mit anderen Ergebnissen überein (Falla et al., 2014; O'Neill et al., 2011). Höhere Ausgangswerte der PPT bei CLBP Patienten konnten bei Imamura et al. (2013) beobachtet werden.

Eine gesteigerte PPT zeigte sich nach vierwöchigem MT in der vorliegenden Untersuchung bei den CLBP Patienten mit Werten von $1,2 \pm 0,8$ bis $1,5 \pm 1$ kg/cm² und bei den rüschenschmerzfreien Probanden von $2,5 \pm 1,5$ bis $3,1 \pm 2,2$ kg/cm². Vergleichbare Ergebnisse einer Veränderung der PPT durch die Anwendung eines MT zeigten sich in Arbeiten mit Nackenschmerzpatienten (Beinert et al., 2015; Suso-Martí et al., 2019). Allerdings zeigten sich bei Nackenschmerzpatienten höhere Ausgangswerte der PPT vor Behandlungsbeginn (Messbereiche: 4.2 ± 1.5 kg/cm² - 4.9 ± 1.5 kg/cm²) bei Beinert et al. (2015) im Vergleich zu Ausgangswerten von 1.75 ± 0.54 kg/cm²- 1.79 ± 0.77 1.85 ± 0.35 kg/cm² bei Suso-Martí et al. (2019).

Die Veränderungen in Form einer Zunahme der PPT von $0,3$ - $0,7$ kg/cm² bei Nackenschmerzpatienten mittels MT in Form des räumlich-bildhaften sowie des kinästhetischen Ansatzes zeigten eine vergleichbare Steigerung der PPT zu den vorliegenden Ergebnissen bei CLBP Patienten. Gegensätzliche Ergebnisse konnten Suso-Martí et al. (2019) mit einer Abnahme der PPT bei schmerzfreien Probanden nach einer MT Anwendung beobachten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen die Annahme zu, dass ein vierwöchiges MT in Form des räumlich-bildhaften und des kinästhetischen Ansatzes mit einer Zunahme der PPT bei CLBP Patienten einhergeht. Funktionelle MRT-Studien konnten nachweisen, dass chronische muskuloskeletale Schmerzen morphologische und funktionelle Aktivitätsveränderungen in den Hirnregionen induzieren, welche an der somatosensorischen, emotionalen und kognitiven Schmerzverarbeitungsprozessen beteiligt sind (Bushnell et al., 2013; Flor et al., 1995; Kong et al., 2013). Zur Schmerzverarbeitung gehören Hirnregionen wie der präfrontale Kortex (PFC), die Insula, der anteriorer cingulärer Kortex, der M1 und der somatosensorische Kortex (Coppieters et al., 2016; Meier, Vrana & Schweinhardt, 2019; Niddam et al., 2017).

Darüber hinaus führen chronische Schmerzen auch zu einer Veränderung der funktionellen Konnektivität zwischen diesen Hirnarealen und somit zu einer veränderten Schmerzverarbeitung (Coppieters et al., 2016; Niddam et al., 2017). Weiterhin ist bekannt, dass anhaltende Schmerzen eine Übererregbarkeit peripherer Nozizeptoren verursachen (Khalid & Tubus, 2017; Lotze, 2016).

Diese Übererregbarkeit führt letztendlich zu einer peripheren Sensibilisierung (Lim, Sterling, Stone & Vicenzino, 2011; Lotze, 2016), die zufolge hat, dass taktile Reizschwellen absinken und sich Rezeptorenfelder vergrößern (Lotze, 2016; Biurrun Manresa et al., 2012). Die Anpassungen des ZNS führen dazu, dass normalerweise nicht schmerzhaft, neutrale Reize zu schmerzauslösenden Reizen werden (Farmer et al., 2012; Lotze, 2016; Biurrun Manresa et al., 2012). Am Ende unterliegt der Prozess der sogenannten Allodynie und Hyperalgesie, die eine Überempfindlichkeit auf nozizeptive Reize beschreibt (Lotze, 2016). Der bekannte schmerzmodulierende Effekt des MT lässt auch hier die Annahme zu, dass die Zunahme der PPT sich auf Hirnregionen auswirkt, die an der Schmerzmodulation beteiligt sind (Fardo et al., 2015). Außerdem lässt sich durch mentale Prozesse wie das MT eine Veränderung des M1 nachweisen, welche die Schmerzempfindung beeinflusst (Volz et al., 2015). In weiteren Arbeiten wurde auf die veränderte Schmerzwahrnehmung durch die Anwendung von Bewegungsbeobachtung und imaginierten Bewegungen hingewiesen (Flor et al., 2003; Fregni et al., 2007; Volz et al., 2013, 2015). Catley, O'Connell, Berryman, Ayhan & Moseley (2014) konnten bei chronischen Schmerzpatienten, einschließlich CLBP Patienten, ein Defizit in der taktilen Wahrnehmung herausfinden. In einer Einzelfallstudie zeigte der Autor der vorliegenden Arbeit, das CLBP in Verbindung mit einer verminderten taktilen Wahrnehmung steht (Kaminski et al. 2013). In Relation zu anderen Beobachtungen, zeigte sich in der vorliegenden Arbeit bei der PPT der rüchenschmerzfreien Kontrollgruppe vier Wochen nach der Intervention ebenfalls eine Zunahme der PPT (Volz et al., 2015, 2015 b). Ein Erklärungsansatz könnte darin liegen, dass sich auch bei rüchenschmerzfreien Probanden eine gezielte Bewegungsbeobachtung und imaginierte Bewegungen auf die Erregbarkeit schmerzmodulierender Hirnregionen auswirken. Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die H1 Hypothese mit einer gesteigerten Schmerzempfindung im Sinne der PPT nach einem MT bei CLBP. Allerdings wiesen rüchenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten nach einem vierwöchigem MT im Gruppenvergleich eine signifikant höhere Schmerzwahrnehmung auf. Die Ergebnisse zeigen, dass ein gezieltes MT, bestehend aus Bewegungsbeobachtung und -vorstellung, eine Zunahme der PPT bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten begünstigt.

8.3.3 Veränderungen der mentalen Chronometrie

Der Abgleich der MC, welche eine geringe zeitliche Diskrepanz imaginierter und aktiver Bewegungen aufweist, ermöglicht Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen Bewegungsvorstellung, Bewegungsvorbereitung und Bewegungsprogrammierung (Guillot & Collet, 2005). In Untersuchungen zur MC an Sportlern und Gesunden wurde festgestellt, dass die imaginären Bewegungen im Vergleich zu den aktiv durchgeführten Bewegungen eng beieinander liegen (Guillot et al., 2015; Jeannerod & Frak, 1999; Saimptom et al., 2012).

Die Ergebnisse der MC der rüchenschmerzfreien Probanden in der vorliegenden Untersuchung zeigen hinsichtlich der geringen zeitlichen Diskrepanz der MC teilweise kontroverse Ergebnisse. Die MC der rüchenschmerzfreien Probanden zeigten zum Zeitpunkt der Basismessung bei der Inklination im Stand und im Sitz und dem Sockentest im Stand und im Sitz eine signifikante zeitliche Diskrepanz der MC in Form von längerer imaginierter Durchführungszeiten ($p \leq .05$).

Dies könnte mit einer steigenden Aufgabenschwierigkeit einhergehen, welche im Verhältnis zu einer Zunahme der imaginierten Durchführungszeiten steht (Pylyshyn, 1981; Richman, Mitchell & Reznick, 1979). Decety et al. (1989) und Decety & Jeannerod (1995) fanden in Übereinstimmung mit Fitts' Gesetz (1954) heraus, dass sich imaginierte Bewegungszeiten in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit linear erhöhen. Anhand des Sockentests im Stand und im Sitz ließen sich Parallelen herstellen. Versteht man die Bewegungen des Sockenanziehens als Zielbewegung würde es nach Fitts (1954) bedeuten, je kleiner eine Zieltrefffläche (Fuß) ist, desto komplexer gestaltet sich die Bewegungsaufgabe und desto langsamer fällt die Bewegungsausführung aus. Der Zeitfaktor, den eine Person braucht, - um eine solche Bewegungsaufgabe gedanklich zu vollziehen -, korrespondiert dabei mit der eigentlichen Ausführungszeit. Eine geringe zeitliche Diskrepanz der MC zeigte sich bei der Reklination (Stand und Sitz), aus der Rückenlage in den Langsitz, der Kniebeuge im Stand und beim Gehen von 10 Metern. Andere Untersuchungen weisen vergleichbare Ergebnisse auf (Conson et al., 2011; Lorey et al., 2009; Saimpont et al., 2012; Schott & Munzert, 2007) mit dem Unterschied, dass die vorliegende Arbeit erstmalig die MC alltagsnaher Bewegungen an rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersuchte.

Darauf aufbauend konnten durch die Anwendung des vierwöchigen MT bei rücken-schmerzfreien Probanden neue Erkenntnisse zu den Veränderungen der MC gewon-nen werden. Die MC der rücken-schmerzfreien Probanden zeigte nach einem zwei-wöchigen MT bei der Inklination im Stand, der Reklination im Sitz, dem Sockentest im Sitz und im Stand sowie der Kniebeuge im Stand eine signifikant zeitliche Diskre-panz auf ($p \leq .05$). Keine signifikante Diskrepanz beim zeitlichen Abgleich der MC ließ sich bei den rücken-schmerzfreien Probanden bei der Inklination im Sitz, der Re-klination im Stand, aus der Rückenlage in den Langsitz sowie beim Gehen von 10 Metern beobachten ($p \geq .05$). Nach einem vierwöchigen MT zeigten rücken-schmerz-freie Probanden eine signifikante zeitliche Diskrepanz der MC bei der Inklination im Stand, dem Sockentest im Sitz und im Stand und der Kniebeuge im Stand ($p \leq .05$). Keine signifikante zeitliche Diskrepanz der MC wiesen die Inklination im Sitz, die Re-klination im Stand und im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz und das Gehen von 10 Metern auf ($p \geq .05$).

Insgesamt zeigten rücken-schmerzfreie Probanden beim Abgleich der zeitlichen Dis-krepanzen der MC nach einem vierwöchigen MT im Vergleich zum Zeitpunkt vor dem MT insgesamt schnellere imaginierte sowie aktive Durchführungszeiten.

CLBP Patienten zeigten vor dem vierwöchigen MT mit Ausnahmen des Gehens von 10 Metern in allen alltagsnahen Testbewegungen signifikante zeitliche Unterschiede der MC auf ($p \leq .05$). Die Veränderungen der MC wiesen zum Zeitpunkt der Basis-messung, nach einem zwei- und einem vierwöchigen MT bei CLBP Patienten mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern bei den anderen acht alltagsnahen Bewegun-gen eine signifikante zeitliche Diskrepanz auf ($p \leq .05$), weshalb die H_0 Hypothese beibehalten werden muss. Im Abgleich zeigten CLBP Patienten durchgängig längere imaginäre Durchführungszeiten. Jedoch wurde eine zeitliche Annäherung nach ei-nem vierwöchigen MT der MC bei den CLBP Patienten beobachtet. Insgesamt zeig-ten CLBP Patienten beim Abgleich der zeitlichen Diskrepanzen der MC nach einem vierwöchigen MT im Vergleich zum Zeitpunkt vor dem MT insgesamt schnellere ima-ginierte und aktive Durchführungszeiten. Die Ergebnisse zeigen, dass CLBP Patien-ten bei vermeintlich alltagsnahen Bewegungen keine vergleichbare MC aufweisen, sich die MC aber nach einem vierwöchigen MT annähern. Physiologisch betrachtet sollte, die MC eine geringe zeitliche Diskrepanz aufweisen (Gulliot & Collet, 2005; Saimptom et al., 2012; Williams et al., 2015).

Am deutlichsten wurde dies beim Gehen von zehn Metern. In Untersuchungen aus der Vergangenheit konnte bei der imaginären und der realen Bewältigung verschiedener Gehstrecken (5, 10 und 15 Meter) eine zeitliche Übereinstimmung zwischen der Bewegungsvorstellung und der Bewegungsausführung ermittelt werden (Decety et al., 1989). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass rüschenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten zum Zeitpunkt der Basismessung keine einheitlich zeitlichen Übereinstimmungen der MC aufweisen, diese sich allerdings nach einem vierwöchigen MT annähern. Konsens ist, dass Bewegungsvorstellungen die mentale motorische Repräsentation im Arbeitsspeicher abrufen, ohne dass es zu einer tatsächlichen Bewegung kommt (Lebon et al., 2012). Um die Qualität und Differenzierung einer Vorstellung sicherzustellen, die maßgeblich zu einer Lern- oder Leistungssteigerung führt (Lebon et al., 2012; Stinear et al., 2006), ist ein systematisches Vorgehen zum Aufbau einer Bewegungsvorstellung Grundvoraussetzung. In der vorliegenden Arbeit wurde das vierwöchige MT mit dem räumlich-bildhaften und dem kinästhetischen Ansatz angewandt, welcher in enger Verbindung mit der Aktivierung sensomotorischer Areale einhergeht (Guillot & Collet, 2008; Hanakawa et al., 2008; Lotze et al., 1999; Vrana et al., 2015) und sich demnach positiv auf imaginierte und motorische Handlungen auswirkt (Jacobs et al., 2009; Mihara, Miyai, Hatakenaka, Kubota & Sakoda, 2008).

8.3.4 Veränderungen der imaginierten Durchführungszeiten

Die Veränderungen der elf analysierten imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden wiesen zu Beginn im Vergleich zur zweiten Woche des MT bei zehn von elf Bewegungen keine zeitlichen Unterschiede auf. Nach einem vierwöchigen MT ließen sich zeitliche Unterschiede ausschließlich bei der Inklination im Stand bei den rüschenschmerzfreien Probanden beobachten. Demnach kann die H0 Hypothese angenommen werden. Die H0 Hypothese des Sockentests im Stand sollte durch die eingeschränkte Reproduzierbarkeit berücksichtigt werden. Die CLBP Patienten zeigten zum Zeitpunkt der Basismessung im Vergleich zur zweiten Woche bei sechs von 12 analysierten Bewegungen, der Rückenlage in den Langsitz im Sitz, dem Sockentest im Stand und im Sitz sowie dem Gehen von 10 Metern im Stand und im Sitz keine Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten.

Im Vergleich zwischen der zweiten und vierten Woche (MT) zeigten sich mit Ausnahme der Rückenlage in den Langsitz im Sitz und dem Sockentest im Stand bei zehn von 12 imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen der CLBP keine zeitlichen Unterschiede.

Daraus lässt sich ableiten, dass mit Ausnahmen der Rückenlage in den Langsitz im Sitz und dem Sockentest im Stand die H1 Hypothese angenommen werden darf. Zudem sollte die eingeschränkte Reproduzierbarkeit der imaginierten Kniebeuge und der Inklination im Sitz bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden. Rückenschmerzfreie Probanden und CLBP Patienten zeigten im Gruppenvergleich zum Zeitpunkt der Basismessung mit Ausnahme des Gehens von 10 Metern im Sitz und im Stand bei zehn von 12 Bewegungen signifikante Unterschiede der Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen ($p \leq .05$). Nach einem zweiwöchigen MT wiesen elf von elf analysierten alltagsnahen Bewegungen und nach einem vierwöchigen MT neun von elf Bewegungen signifikante Unterschiede der imaginierten Durchführungszeiten im Gruppenvergleich auf ($p \leq .05$). CLBP Patienten weisen nach einem vierwöchigen MT insgesamt langsamere imaginäre Durchführungszeiten im Vergleich zu rückerkranksfreien Probanden auf. Insgesamt zeigen sich bei rückerkranksfreien Probanden und CLBP Patienten nach einem vierwöchigen MT schnellere imaginäre Durchführungszeiten. Ein verminderter Abruf von imaginierten und aktiven Bewegungen geht mit kortikalen Veränderungen einher, die CLBP Patienten zwangsläufig aufweisen (Hashmi et al., 2013; Pijnenburg et al., 2015).

Die an Vorstellungsprozessen beteiligten kortikalen Regionen sind unter anderem der präfrontale Kortex, das SMA, der M1, der S1, der PMC und die sensomotorischen Areale, welche an bei Bewegungsvorstellungen und aktive Bewegungsabläufe involviert sind (Heut et al., 2013; Jeannerod, 2001; Lotze et al., 1999; Meier et al., 2019; Munzert et al., 2009; Oldrati et al., 2021, Vrana et al., 2015).

Bei genauerer Betrachtung der Regionen, die an den Vorstellungsprozessen beteiligt sind, weisen diese bei CLBP Patienten kortikale Veränderungen auf (Apkarian et al., 2004; Flor et al., 1997; Meier et al., 2019; Schmidt-Wilcke et al., 2006). Weiterhin zeigen CLBP Patienten motorische Kontrolldefizite im Stehen und Sitzen (Della Volpe et al., 2006; Lafond et al., 2009), bei anspruchsvollen Aufgaben wie einbeinigem Stehen (Da Silva et al., 2018), beim Gehen sowie bei funktionellen Aufgaben (Christe, Kade, Jolles & Favre, 2017).

Gleichzeitig stehen plastische Veränderungen der Rumpfdarstellung im M1 mit dem Schweregrad der LBP in Zusammenhang (Schabrun et al., 2017; Tsao et al., 2010). Die Darstellung der kortikalen Reorganisation steht mit Defiziten der Rumpfmuskulatur während der posturalen Kontrolle in Verbindung (Tsao et al., 2008). Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass sich alltagsnahe Bewegungen durch mentale Prozesse wie dem MT begünstigen lassen. CLBP Patienten weisen bei alltagsbezogenen Bewegungsvorstellungen Übereinstimmungen der vorstellungsassoziierten Hirnaktivitäten auf (Heut et al., 2013; Lotze & Halsband, 2006; Meier et al., 2019; Vrana et al., 2015;) und verlieren nicht die Fähigkeit, mentale Bewegungen auszuführen (Vrana et al., 2015). Letztendlich müssen sie einen höheren Aufwand für die kortikale Rekrutierung für Bewegungsvorstellungen im Vergleich zu gesunden Probanden aufbringen (Vrana et al., 2015). Gleichzeitig ist bekannt, dass ein MT anhand des kinästhetischen Ansatzes, welcher Bestandteil der vorliegenden Arbeit war, eine höhere Aktivierung motorischer und sensorischer Hirnareale hervorruft als alleinige Bewegungsbeobachtungen (Lebon et al., 2009; Volz et al., 2015). In einer aktuellen Arbeit führte die Anwendung eines MT zu einer Zunahme der motorischen Kontrolle im Sinne der Rumpfkraft des unteren Rückens (Cuenca-Martinez et al., 2020).

Grande-Alonso et al. (2020) zeigten, dass ein Übungsprogramm in Kombination mit einem MT mit gesteigerten Durchführungszeiten visueller und kinästhetischer Bewegungsvorstellungen bei CLBP Patienten einhergehen (Grande-Alonso et al., 2020). Die vorliegenden Ergebnisse lassen die Annahme zu, dass ein vierwöchiges MT, bestehend aus Bewegungsbeobachtung und Bewegungsvorstellung, die zeitlichen Komponenten imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei rüchenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten begünstigen.

Um die Frage der physiologischen Annäherung imaginerter Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen bei CLBP genauer zu beantworten, sollten in Zukunft weitere Untersuchungen die Wirksamkeit aktiver Übungsprogramme durch ein zusätzliches MT ergänzt werden und bei CLBP Patienten auf die Veränderung imaginerter und aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen untersucht werden.

8.3.5 Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten

Die zeitlichen Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zeigten nach einem zweiwöchigen MT bei rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich zu CLBP Patienten zum Zeitpunkt der Basismessung bei fünf von neun Bewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz, Reklination im Stand, Rückenlage in den Langsitz signifikante Unterschiede im Sinne von längeren aktiven Durchführungszeiten bei den CLBP Patienten. Die Veränderungen der aktiven Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zeigten nach einem vierwöchigen MT bei rüschenschmerzfreien Probanden im Vergleich mit CLBP bei sieben von neun Bewegungen, der Inklination im Stand und im Sitz, der Reklination im Sitz, aus der Rückenlage in den Langsitz im Liegen, dem Sockentest im Stand, der Kniebeuge im Stand und beim Gehen von 10 Metern vergleichbare Durchführungszeiten. Somit kann die H1 Hypothese, im Sinne, dass sich eine signifikante Normalisierung aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen im Gruppenvergleich nach einem vierwöchigen MT zeigt, angenommen werden. Ein vierwöchiges MT unter Berücksichtigung des kinästhetischen und räumlich bildhaften Ansatzes wirkt sich demnach auf die aktiven Durchführungszeiten aus. Begründet wird dies damit, dass ein Bewegungsablauf gemeinsamen Inhalten von Bewegungsbeobachtung und Bewegungsvorstellung unterliegt (Decety & Grézes, 1999; Jeannerod et al., 2001). Es wird angenommen, dass bei imaginierten Handlungen dieselben Hirnregionen aktiviert werden wie bei einer aktiven Handlung. Eine gute Bewegungsvorstellung kann demnach die Qualität der aktiven Bewegung maßgeblich beeinflussen (Jeannerod et al., 2001). Die Ansätze aus der Ich-Perspektive, welche Bestandteil des vierwöchigen MT waren, beinhalten die kinästhetische Repräsentation, welche die motorische Simulation des eigenen Körpers hervorruft. Der kinästhetische Ansatz, welcher aus der Ich-Perspektive durchgeführt wurde, scheint eine höhere neuronale Aktivierung sensomotorischer Areale hervorzurufen als aus der Perspektive der dritten Person (Lebon et al., 2009; Lorey et al., 2009, 2010). Darauf aufbauend konnte in Untersuchungen zum MT eine positive Beeinflussung der motorischen Kontrolle ermittelt werden (Gatti et al., 2013; Méndez-Rebolledo et al., 2017; Volz et al., 2015). Frenkel (2010) stellte in Ihrer Untersuchung heraus, dass sich ein MT bei Patienten nach einer Knieendoprothese eignet.

Die Ergebnisse wiesen eine signifikant verbesserte Kniegelenksbeweglichkeit und subjektive Einschätzung zur physischen Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe auf (Frenkel, 2010). MT wird zudem als effektive Behandlung von Schmerzen bei unterschiedlichen Pathologien wie dem komplexen regionalen Schmerzsyndrom, neurologischen und rheumatischen Erkrankungen vorgeschlagen (Giacobbi et al., 2015; Johnson et al., 2012; Moseley, 2004). Zukünftige Untersuchungen sollten die Veränderungen aktiver Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen mittels MT mit einer größeren Stichprobe und einer Kontrollgruppe berücksichtigen.

8.4 Methodenkritik

Die Reliabilität imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen zu unterschiedlichen Messzeitpunkten zeigte bei rüschenschmerzfreien Probanden sowie bei den CLBP Patienten ICC Werte $\geq 0,8$. Allerdings konnten trotz messbaren ICC Werten von $\geq 0,8$ hohe Varianzen des 95%-KI beobachtet werden.

Ursachen für die hohe Varianzen des 95%-KI könnten mit der Anzahl der 12 imaginierten untersuchten alltagsnahen Bewegungen begründet werden, welche eine kontinuierliche Aufmerksamkeitspanne der Studienteilnehmer voraussetzt. Demnach sollten in zukünftigen Untersuchungen der Reliabilität imaginierter Durchführungszeiten die Anzahl der imaginierten Bewegungen reduziert werden um mögliche Schwankungen des 95%-KI entgegenzuwirken. Erstmalig wurden die Veränderungen eines vierwöchigen MT auf die imaginierten Durchführungszeiten und die der MC bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht. Aufgrund einer geringen Stichprobe von 14 rüschenschmerzfreien Probanden und 20 CLBP Patienten sowie der fehlenden Kontrollgruppe lassen die Ergebnisse einen nur eingeschränkten Übertrag in den klinischen Alltag zu. Der Anteil der weiblichen Studienteilnehmerinnen war höher als die der männlichen Studienteilnehmer, was einen Übertrag für den klinischen Alltag ebenfalls einschränkt. Zukünftige Untersuchungen sollten demnach eine höhere Stichprobe sowie eine gleichmäßige Verteilung von Männern und Frauen berücksichtigen.

In weiteren Arbeiten mit einer größeren Stichprobe sollten die Langzeiteffekte des MT und die klinische Relevanz der Zunahme der PPT bei CLBP untersucht werden. Durch die Tatsache, dass der Autor der vorliegenden Arbeit das vierwöchige MT bei den Studienteilnehmer durchführen ließ ist eine Beeinflussung der Objektivität nicht auszuschließen. In weiteren Arbeiten mit einer größeren Stichprobe sollten die Langzeiteffekte und die klinische Relevanz der Zunahme der PPT bei CLBP untersucht werden.

9 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse der ersten Studie zeigten eine moderate bis gute Reliabilität imaginerter Durchführungszeiten ausgewählter alltagsnaher Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten. Im Rahmen der zweiten Studie wurde mittels der MC von alltagsnahen Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden eine geringere zeitliche Diskrepanz im Vergleich mit CLBP Patienten ermittelt. Darauf aufbauend wurden in der dritten Studie anhand eines vierwöchigen MT die Veränderungen in Form der Annäherung der imaginierten Durchführungszeiten und die der MC alltagsnaher Bewegungen dargestellt. Neue Erkenntnisse liegen in der Reliabilität imaginerter Durchführungszeiten, welche eine gute bis moderate Reproduzierbarkeit bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten aufwiesen. Weitere neue Erkenntnisse konnten aus den Unterschieden der zeitlichen Unterschiede der MC und imaginerter Durchführungszeiten bei alltagsnahen Bewegungen bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten gewonnen werden. Inwieweit sich die MC und imaginierte Durchführungszeiten beeinflussen lassen, wurde durch ein vierwöchiges MT bei rüschenschmerzfreien Probanden und CLBP Patienten untersucht. Das vierwöchigen MT führte bei den CLBP Patienten zu einer zeitlichen Annäherung der MC, einer Annäherung der imaginierten Durchführungszeiten alltagsnaher Bewegungen, einer subjektiven Schmerzreduktion sowie einer gesteigerten PPT.

Die vorliegenden Ergebnisse ermöglichen einen Abgleich zu den bisherigen Ergebnissen von imaginierten Durchführungszeiten und der MC und konnten für CLBP Patienten interpretiert werden. Weiterhin ermöglichen die Ergebnisse erste Hinweise der Wirksamkeit eines vierwöchigen MT bei CLBP Patienten. Die Erfassung der MC bei CLBP Patienten könnte für Kliniker neben der herkömmlichen Untersuchung, bestehend subjektiven Parametern wie der Anamnese sowie aktiven und passiven Funktionsuntersuchungen, als Ergänzung zur objektiven Darstellung von Veränderungen bei CLBP dienen. Erste Hinweise für eine sinnvolle Ergänzung können daraus abgeleitet werden, dass ein vierwöchiges MT sich auf die zeitliche Diskrepanz der MC, auf die imaginierten Durchführungszeiten und auf die Schmerzempfindung auswirkt.

Aufgrund der geringen Stichprobe der nicht normativen Geschlechter -verteilung und fehlenden Kontrollgruppe ist die Verallgemeinerung der Wirksamkeit des MT für den klinischen Alltag eingeschränkt. Zukünftige Untersuchungen sollten daher unter Berücksichtigung einer größeren Stichprobe, einer Kontrollgruppe sowie einer normativen Geschlechterverteilung die Unterschiede der MC bei CLBP sowie die Kurz - und Langzeiteffekte des MT bei CLBP Patienten in randomisierten kontrollierten Studien untersuchen. Ein weiterer wichtiger Aspekt für zukünftige Arbeiten besteht im Zeitintervall der Anwendung des MT. Vrana et al. (2015) zeigten bereits, dass CLBP Patienten im Vergleich zu gesunden Probanden die Fähigkeit besitzen, komplexe Bewegungsvorstellungen durchzuführen, dafür aber eine höhere kortikale Aktivierung benötigen (Vrana et al., 2015). Mit dem Wissen, dass sie mehr Zeit für einfache geistige Aufgaben aufwenden müssen (Pijnenburg et al., 2015) und die maximale Aufmerksamkeit für neue Bewegungsvorstellungen bei circa zehn Minuten liegt, sollte das MT nicht mit zu vielen neuen Bewegungen überladen werden (Wriessnegger, Steyrl, Koschutnig & Müller-Putz, 2014).

Darüber hinaus wäre es sinnvoll, das MT durch aktive Bewegungselemente zu ergänzen, um mögliche Veränderungen bei CLBP Patienten zu ermitteln. Ein weiterer Behandlungsansatz bei CLBP Patienten könnte in der Kopplung von MT und aktiven Bewegungsausführungen liegen. In der vorliegenden Untersuchung führten die Studienteilnehmer ausschließlich ein alleiniges MT-Programm durch. Die Kopplung von MT und aktiven Bewegungsausführungen zeigte sich an gesunden Athleten und CLBP Patienten als wirkungsvolle Maßnahme für einen verbesserten sportartspezifischen Transfer (Grande-Alonso et al., 2020; Guillot et al., 2013; Wriessnegger et al., 2014). Weitere Forschungsfragen liegen darin, welche Veränderungen mittels MT bei CLBP Patienten und den bekannten kortikalen Reorganisationsprozessen generiert werden können. Ein weiterer Aspekt liegt in der Compliance der CLBP Patienten: inwieweit lässt sich eine Fortführung des MT außerhalb einer Behandlungssitzung darstellen?

Die aktuellen Ergebnisse zur Wirksamkeit und Prävention von Übungs- und Edukationsprogrammen bei CLBP weisen eine limitierte Evidenz auf (Ferreira et al., 2021). Zukünftigen Untersuchungen sollten der Frage nachgehen inwieweit sich die Integration von MT in die aktuellen Rehabilitationsstrategien und als Selbstmanagement bei CLBP eignet.

Frühere Ergebnisse bekräftigen diese Aussage dahingehend, dass sich neben passiven und aktiven Behandlungsstrategien ein MT mittels räumlich-bildhaften und kinästhetischen Ansatzes als wirkungsvolles und kostengünstiges Management zur Reduktion von Sensibilisierungsprozessen bei CLBP eignen kann (Flor & Turk, 2011; Meier et al., 2019; Volz et al., 2015).

Aufgrund der Plastizität des Gehirns und pathophysiologischen Anpassungen bei Rückenschmerzen bietet das MT die Möglichkeit der Schmerzmodulierung (Beinert et al., 2015; Suso-Martí et al., 2019; Volz et al., 2015), eine gesteigerte motorische Kontrolle (Beinert et al., 2015; Lebon et al., 2009; Taube et al., 2014), eine verminderte Erregbarkeit beitragender kortikaler Netzwerke (Meier et al., 2019; Stinear et al., 2006; Volz et al., 2015; Vrana et al., 2015) sowie eine zeitliche Organisierung der mentalen und realen Bewegungen (Guillot et al., 2015; Gonzalez-Rosa et al., 2015; Williams et al., 2012). Somit lässt sich festhalten, dass ein vierwöchiges MT mittels räumlich-bildhaften und kinästhetischen Ansatzes ein potenzieller Therapieansatz bei CLBP darstellt, um eine Schmerzreduktion und zeitliche Prozesse imaginierter und aktiver Durchführungszeiten zu begünstigen.

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Andrews, R. M., Browne, A. L., Wood, F., & Schug, S. A. (2012). Predictors of patient satisfaction with pain management and improvement 3 months after burn injury. *J Burn Care Res*, 33(3), 442-452. doi:10.1097/BCR.0b013e31823359ee
- Annett, J. (1995). Motor imagery: Perception or action? *Neuropsychologia*, 33(11), 1395-1417. doi:https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00072-B
- Apeldoorn, A. T., Ostelo, R. W., van Helvoirt, H., Fritz, J. M., de Vet, H. C., & van Tulder, M. W. (2010). The cost-effectiveness of a treatment-based classification system for low back pain: design of a randomised controlled trial and economic evaluation. *BMC Musculoskelet Disord*, 11, 58. doi:10.1186/1471-2474-11-58
- Apkarian, A. V. (2004). Cortical pathophysiology of chronic pain. *Novartis Found Symp*, 261, 239-245; discussion 245-261. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15469054>
- Apkarian, A. V., Baliki, M. N., & Geha, P. Y. (2009). Towards a theory of chronic pain. *Prog Neurobiol*, 87(2), 81-97. doi:10.1016/j.pneurobio.2008.09.018
- Apkarian, A. V., Bushnell, M. C., Treede, R. D., & Zubieta, J. K. (2005). Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. *Eur J Pain*, 9(4), 463-484. doi:10.1016/j.ejpain.2004.11.001
- Apkarian, A. V., Hashmi, J. A., & Baliki, M. N. (2011). Pain and the brain: specificity and plasticity of the brain in clinical chronic pain. *Pain*, 152(3 Suppl), S49-64. doi:10.1016/j.pain.2010.11.010
- Apkarian, A. V., Sosa, Y., Sonty, S., Levy, R. M., Harden, R. N., Parrish, T. B., & Gitelman, D. R. (2004). Chronic back pain is associated with decreased prefrontal and thalamic gray matter density. *J Neurosci*, 24(46), 10410-10415. doi:10.1523/JNEUROSCI.2541-04.2004
- Asendorpf, J. & Wallbott, H. G. (1979): Maße der Beobachterübereinstimmung: Ein systematischer Vergleich. In: *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 10, 243–252
- Baird, C. L., & Sands, L. P. (2006). Effect of guided imagery with relaxation on health-related quality of life in older women with osteoarthritis. *Research in nursing & health*, 29(5), 442–451. <https://doi.org/10.1002/nur.20159>
- Baird, C. L., Murawski, M. M., & Wu, J. (2010). Efficacy of guided imagery with relaxation for osteoarthritis symptoms and medication intake. *Pain management nursing : official journal of the American Society of Pain Management Nurses*, 11(1), 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2009.04.002>
- Bakker, F. C., Boschker, M. S. J., & Chung, T. (1996). Changes in muscular activity while imagining weight lifting using stimulus or response propositions. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 18, 313-324. <https://doi.org/10.1123/jsep.18.3.313>
- Balaguier, R., Madeleine, P., & Vuillerme, N. (2016). Intra-session absolute and relative reliability of pressure pain thresholds in the low back region of vine-workers: Effect of the number of trials. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17(1), 350. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1212-7>
- Balgo, R. (1998). *Bewegung und Wahrnehmung als System. Systemisch konstruktivistische Positionen in der Psychomotorik*. Schorndorf

- Baliki, M. N., Baria, A. T., & Apkarian, A. V. (2011). The cortical rhythms of chronic back pain. *J Neurosci*, 31(39), 13981-13990. doi:10.1523/JNEUROSCI.1984-11.2011
- Baliki, M. N., Chialvo, D. R., Geha, P. Y., Levy, R. M., Harden, R. N., Parrish, T. B., & Apkarian, A. V. (2006). Chronic pain and the emotional brain: specific brain activity associated with spontaneous fluctuations of intensity of chronic back pain. *J Neurosci*, 26(47), 12165-12173. doi:10.1523/JNEUROSCI.3576-06.2006
- Baliki, M. N., Geha, P. Y., & Apkarian, A. V. (2009). Parsing pain perception between nociceptive representation and magnitude estimation. *J Neurophysiol*, 101(2), 875-887. doi:10.1152/jn.91100.2008
- Baliki, M. N., Mansour, A. R., Baria, A. T., & Apkarian, A. V. (2014). Functional reorganization of the default mode network across chronic pain conditions. *PLoS one*, 9(9), e106133. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106133>
- Barr, K., & Hall, C. (1992). The use of imagery by rowers. *International Journal of Sport Psychology*, 23(3), 243-261
- Barker, L. A. (1985). Regional variation in the sensitivity of longitudinal smooth muscle to histamine at H1-receptors in guinea-pig ileum and colon. *Br J Pharmacol*, 85(2), 377-381. doi:10.1111/j.1476-5381.1985.tb08871.x
- Biurrun Manresa, José & Sörensen, J. & Sandell, A.-C & Andersen, O.K. & Arendt-Nielsen, L. & Gerdle, Björn. (2012). Pain sensitivity changes in chronic pain patients with and without spinal cord stimulation assessed by nociceptive withdrawal reflex thresholds and electrical pain thresholds. *Scandinavian Journal of Pain*. 3. 183. 10.1016/j.sjpain.2012.05.026.
- Beinert, K., Preiss, S., Huber, M., & Taube, W. (2015). Cervical joint position sense in neck pain. Immediate effects of muscle vibration versus mental training interventions: a RCT. *Eur J Phys Rehabil Med*, 51(6), 825-832. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25779914>
- Bethge, M. (2010). Patients with low back pain. Psychosocial work-related factors and return to work - a literature review]. *Orthopäde*, 39(9), 866-873. doi:10.1007/s00132-010-1631-3
- Bilevicius, E., Kolesar, T. A., & Kornelsen, J. (2016). Altered Neural Activity Associated with Mindfulness during Nociception: A Systematic Review of Functional MRI. *Brain Sci*, 6(2). doi:10.3390/brainsci6020014
- Bingel U., Wiech K. (2013) Funktionelle Bildgebung in der Schmerzforschung. In: Schneider F., Fink G.R. (eds) Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29800-4_32
- Birnbaumer, N., Schmidt, RF. (2010). *Biologische Psychologie*. 7 Auflage Springer Medizin Verlag Heidelberg
- Biurrun Manresa, J., Sörensen, J., Sandell, A. C., Andersen, O. K., Arendt-Nielsen, L., & Gerdle, B. (2012). Pain sensitivity changes in chronic pain patients with and without spinal cord stimulation assessed by nociceptive withdrawal reflex thresholds and electrical pain thresholds. *Scandinavian Journal of Pain*, 3, 183. doi:10.1016/j.sjpain.2012.05.026
- Borsook, D., Moulton, E. A., Schmidt, K. F., & Becerra, L. R. (2007). Neuroimaging revolutionizes therapeutic approaches to chronic pain. *Mol Pain*, 3, 25. doi:10.1186/1744-8069-3-25
- Bove, S. E., Flatters, S. J., Inglis, J. J., & Mantyh, P. W. (2009). New advances in musculoskeletal pain. *Brain Res Rev*, 60(1), 187-201. doi:10.1016/j.brainres-rev.2008.12.012

- Bowering, K. J., O'Connell, N. E., Tabor, A., Catley, M. J., Leake, H. B., Moseley, G. L., & Stanton, T. R. (2013). The effects of graded motor imagery and its components on chronic pain: a systematic review and meta-analysis. *J Pain*, 14(1), 3-13. doi:10.1016/j.jpain.2012.09.007
- Bray, H., & Moseley, G. L. (2011). Disrupted working body schema of the trunk in people with back pain. *Br J Sports Med*, 45(3), 168-173. doi:10.1136/bjism.2009.061978
- Brown, J. W., & Braver, T. S. (2005). Learned predictions of error likelihood in the anterior cingulate cortex. *Science (New York, N.Y.)*, 307(5712), 1118–1121. <https://doi.org/10.1126/science.1105783>
- Buchel, C., Bornhøvd, K., Quante, M., Glauche, V., Bromm, B., & Weiller, C. (2002). Dissociable neural responses related to pain intensity, stimulus intensity, and stimulus awareness within the anterior cingulate cortex: a parametric single-trial laser functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci*, 22(3), 970-976. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11826125>
- Bushnell, M. C., Ceko, M., & Low, L. A. (2013). Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain. *Nat Rev Neurosci*, 14(7), 502-511. doi:10.1038/nrn3516
- Calmels, C., & Fournier, J. F. (2001). Duration of Physical and Mental Execution of Gymnastic Routines. *The Sport Psychologist*, 15(2), 142-150. doi:10.1123/tsp.15.2.142
- Carlson, K. L., Broome, M., & Vessey, J. A. (2000). Using distraction to reduce reported pain, fear, and behavioral distress in children and adolescents: a multisite study. *J Soc Pediatr Nurs*, 5(2), 75-85. doi:10.1111/j.1744-6155.2000.tb00089.x
- Catley MJ, O'Connell NE, Berryman C, Ayhan FF, Moseley GL. Is tactile acuity altered in people with chronic pain? A systematic review and meta-analysis. *J Pain* 2014; 15:985-1000
- Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., & Currie, J. (2000). The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. *Behav Brain Res*, 108(1), 91-96. doi:10.1016/s0166-4328(99)00138-2
- Chan, A. W., Bilger, E., Griffin, S., Elkis, V., Weeks, S., Hussey-Anderson, L., . . . Baker, C. I. (2019). Visual responsiveness in sensorimotor cortex is increased following amputation and reduced after mirror therapy. *Neuroimage Clin*, 23, 101882. doi:10.1016/j.nicl.2019.101882
- Christe, G., Kade, F., Jolles, B. M., & Favre, J. (2017). Chronic low back pain patients walk with locally altered spinal kinematics. *Journal of biomechanics*, 60, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.06.042>
- Clauß & Ebner, 1985: Clauß, Ebner: „Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner“. 5. Auflage, Vlg. Harri Deutsch, Frankfurt/Main; 1985
- Clark, J., Nijs, J., Yeowell, G., & Goodwin, P. C. (2017). What Are the Predictors of Altered Central Pain Modulation in Chronic Musculoskeletal Pain Populations? A Systematic Review. *Pain Physician*, 20(6), 487-500. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28934779>
- Collet, C., Guillot, A., Lebon, F., MacIntyre, T., & Moran, A. (2011). Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exercise and sport sciences reviews*, 39(2), 85–92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31820ac5e0>

- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *NeuroImage*, 41(4), 1471–1483. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.042>
- Guillot, A., Di Rienzo, F., Macintyre, T., Moran, A., & Collet, C. (2012). Imagining is Not Doing but Involves Specific Motor Commands: A Review of Experimental Data Related to Motor Inhibition. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 247. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00247>
- Guillot, A., Di Rienzo, F., Pialoux, V., Simon, G., Skinner, S., & Rogowski, I. (2015). Implementation of Motor Imagery during Specific Aerobic Training Session in Young Tennis Players. *PloS one*, 10(11), e0143331. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143331>
- Conson, M., Mazzarella, E., & Trojano, L. (2011). Self-touch affects motor imagery: a study on posture interference effect. *Exp Brain Res*, 215(2), 115-122. doi:10.1007/s00221-011-2877-7
- Conway, R., Behennah, J., Fisher, J., Osborne, N., & Steele, J. (2016). Associations between Trunk Extension Endurance and Isolated Lumbar Extension Strength in Both Asymptomatic Participants and Those with Chronic Low Back Pain. *Healthcare (Basel)*, 4(3). doi:10.3390/healthcare4030070
- Coulter, I. D., Crawford, C., Hurwitz, E. L., Vernon, H., Khorsan, R., Suttorp Booth, M., & Herman, P. M. (2018). Manipulation and mobilization for treating chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 18(5), 866–879. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.01.013>
- Coppieters, I., Meeus, M., Kregel, J., Caeyenberghs, K., De Pauw, R., Goubert, D., & Cagnie, B. (2016). Relations Between Brain Alterations and Clinical Pain Measures in Chronic Musculoskeletal Pain: A Systematic Review. *The journal of pain*, 17(9), 949–962. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2016.04.005>
- Courtine, G., Papaxanthis, C., Gentili, R., & Pozzo, T. (2004). Gait-dependent motor memory facilitation in covert movement execution. *Brain research. Cognitive brain research*, 22(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.07.008>
- Crombez, G., Vervaeat, L., Lysens, R., Baeyens, F., & Eelen, P. (1998). Avoidance and confrontation of painful, back-straining movements in chronic back pain patients. *Behav Modif*, 22(1), 62-77. doi:10.1177/01454455980221004
- Cuenca-Martinez, F., La Touche, R., Leon-Hernandez, J. V., & Suso-Marti, L. (2019). Mental practice in isolation improves cervical joint position sense in patients with chronic neck pain: a randomized single-blind placebo trial. *PeerJ*, 7, e7681. doi:10.7717/peerj.7681
- Cuenca-Martinez, F., Suso-Marti, L., Sanchez-Martin, D., Soria-Soria, C., Serrano-Santos, J., Paris-Aleman, A., . . . Leon-Hernandez, J. V. (2020). Effects of Motor Imagery and Action Observation on Lumbo-pelvic Motor Control, Trunk Muscles Strength and Level of Perceived Fatigue: A Randomized Controlled Trial. *Res Q Exerc Sport*, 91(1), 34-46. doi:10.1080/02701367.2019.1645941
- Cupal, D.D. and Brewer, B.W. (2001) Effects of relaxation and guided imagery on knee strength, reinjury anxiety, and pain following anterior cruciate ligament reconstruction. *Rehabilitation Psychology* 46, 28-43.
- Da Silva, R. A., Vieira, E. R., Fernandes, K., Andraus, R. A., Oliveira, M. R., Sturion, L. A., & Calderon, M. G. (2018). People with chronic low back pain have poorer balance than controls in challenging tasks. *Disability and rehabilitation*, 40(11), 1294–1300. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1294627>

- Daffada, P. J., Walsh, N., McCabe, C. S., & Palmer, S. (2015). The impact of cortical remapping interventions on pain and disability in chronic low back pain: a systematic review. *Physiotherapy*, 101(1), 25-33. doi:10.1016/j.physio.2014.07.002
- Davis, K. G., & Kotowski, S. E. (2005). Preliminary evidence of the short-term effectiveness of alternative treatments for low back pain. *Technol Health Care*, 13(6), 453-462. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16340089>
- Decety, J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behav Brain Res*, 77(1-2), 45-52. doi:10.1016/0166-4328(95)00225-1
- Decety, J., & Boisson, D. (1990). Effect of brain and spinal cord injuries on motor imagery. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 240(1), 39-43. doi:10.1007/BF02190091
- Decety, J., & Grézes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci*, 3(5), 172-178. doi:10.1016/s1364-6613(99)01312-1
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behav Brain Res*, 72(1-2), 127-134. doi:10.1016/0166-4328(96)00141-6
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). [Imagery and its neurological substrate]. *Rev Neurol (Paris)*, 151(8-9), 474-479. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8578067>
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behav Brain Res*, 42(1), 1-5. doi:10.1016/s0166-4328(05)80033-6
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behav Brain Res*, 34(1-2), 35-42. doi:10.1016/s0166-4328(89)80088-9
- Decety, J., & Lindgren, M. (1991). Sensation of effort and duration of mentally executed actions. *Scand J Psychol*, 32(2), 97-104. doi:10.1111/j.1467-9450.1991.tb00860.x
- Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain Cogn*, 11(1), 87-97. doi:10.1016/0278-2626(89)90007-9
- Della Volpe, R., Popa, T., Ginanneschi, F., Spidalieri, R., Mazzocchio, R., & Rossi, A. (2006). Changes in coordination of postural control during dynamic stance in chronic low back pain patients. *Gait & posture*, 24(3), 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.10.009>
- Dettmers, C., Rijntjes, M., Weiler, C. (1999). *Funktionelle Bildgebung und Physiotherapie*. Hippocamus Verlag, ISBN 3-9806107-0-5
- Deyo, R. A. (1986). Comparative validity of the sickness impact profile and shorter scales for functional assessment in low-back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 11(9), 951-954. doi:10.1097/00007632-198611000-00017
- Di Monaco, M., Vallero, F., Di Monaco, R., Mautino, F., & Cavanna, A. (2003). Functional recovery after concomitant fractures of both hip and upper limb in elderly people. *Journal of rehabilitation medicine*, 35(4), 195-197. <https://doi.org/10.1080/16501970306128>
- Di Rienzo, F., Collet, C., Hoyek, N., & Guillot, A. (2012). Selective effect of physical fatigue on motor imagery accuracy. *PLoS One*, 7(10), e47207. doi:10.1371/journal.pone.0047207

- Dimova, V., & Birklein, F. (2019). [Complex regional pain syndrome (CRPS) : An update]. *Anaesthetist*, 68(2), 115-128. doi:10.1007/s00101-019-0539-5
- Duque, J., Labruna, L., Verset, S., Olivier, E., & Ivry, R. B. (2012). Dissociating the Role of Prefrontal and Premotor Cortices in Controlling Inhibitory Mechanisms during Motor Preparation. *The Journal of Neuroscience*, 32(3), 806-816. doi:10.1523/jneurosci.4299-12.2012
- Donders, F.C. (1868). Die Schnelligkeit psychischer Prozesse, *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, Leipzig: Veit 1868, S. 657–681
- Eberspächer, H. (2001). *Mentales Training. Das Handbuch für Trainer und Sportler.* München Copress
- Eberspächer, H. (2007). *Mentales Training (7., durchges. NA).* München: Copress Sportinform.
- Engert V, Kok BE, Papassotiriou I, Chrousos GP, Singer T. (2017). Specific reduction in cortisol stress reactivity after social but not attention-based mental training. *Sci Adv.* 2017 Oct 4;3(10):e1700495. doi: 10.1126/sciadv.1700495. PMID: 28983508; PMCID: PMC5627978.
- Ernst, E. (2005). The complexity of complementary medicine: chiropractic for back pain. *Clin Rheumatol*, 24(5), 445-446. doi:10.1007/s10067-004-1034-0
- Ertelt D., Binkofski F. (2011) Spiegelneurone. In: *Handfunktionsstörungen in der Neurologie.* Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17257-1_12
- Faiweather,MM., Sidaway, B. (1993): Iseokinetic imagery as a postural develment technique. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 1993;64: 385-392
- Falla, D., Gizzi, L., Tschapek, M., Erlenwein, J., & Petzke, F. (2014). Reduced task-induced variations in the distribution of activity across back muscle regions in individuals with low back pain. *Pain*, 155(5), 944-953. doi:10.1016/j.pain.2014.01.027
- Farmer, M. A., Baliki, M. N., & Apkarian, A. V. (2012). A dynamic network perspective of chronic pain. *Neurosci Lett*, 520(2), 197-203. doi:10.1016/j.neulet.2012.05.001
- Ferraz, M. B., Quresma, M. R., Aquino, L. R., Atra, E., Tugwell, P., & Goldsmith, C. H. (1990). Reliability of pain scales in the assessment of literate and illiterate patients with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*, 17(8), 1022-1024. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2213777>
- Ferreira, G. E., McLachlan, A. J., Lin, C. C., Zadro, J. R., Abdel-Shaheed, C., O'Keefe, M., & Maher, C. G. (2021). Efficacy and safety of antidepressants for the treatment of back pain and osteoarthritis: systematic review and meta-analysis. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, m4825. <https://doi.org/10.1136/bmj.m4825>
- Finestone, H. M., Alfeeli, A., & Fisher, W. A. (2008). Stress-induced physiologic changes as a basis for the biopsychosocial model of chronic musculoskeletal pain: a new theory? *Clin J Pain*, 24(9), 767-775. doi:10.1097/AJP.0b013e3181790342
- Fiorio, M., Tinazzi, M., Ionta, S., Fiaschi, A., Moretto, G., Edwards, M. J., . . . Aglioti, S. M. (2007). Mental rotation of body parts and non-corporeal objects in patients with idiopathic cervical dystonia. *Neuropsychologia*, 45(10), 2346-2354. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.005
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol*, 47(6), 381-391. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13174710>

- Fliessbach, K., Rohe, T., Linder, N. S., Trautner, P., Elger, C. E., & Weber, B. (2010). Retest reliability of reward-related BOLD signals. *Neuroimage*, 50(3), 1168-1176. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.01.036
- Fliesser, M., De Witt Huberts, J., & Wippert, P. M. (2018). Education, job position, income or multidimensional indices? Associations between different socioeconomic status indicators and chronic low back pain in a German sample: a longitudinal field study. *BMJ Open*, 8(4), e020207. doi:10.1136/bmjopen-2017-020207
- Flor, H. (2003). Cortical reorganisation and chronic pain: implications for rehabilitation. *J Rehabil Med*(41 Suppl), 66-72. doi:10.1080/16501960310010179
- Flor, H. (2004). [Visualisation of phantom- and backpain using imaging techniques. Implication for treatment]. *Orthopade*, 33(5), 553-557. doi:10.1007/s00132-003-0614-z
- Flor, H. (2012). New developments in the understanding and management of persistent pain. *Curr Opin Psychiatry*, 25(2), 109-113. doi:10.1097/YCO.0b013e3283503510
- Flor, H., Braun, C., Elbert, T., & Birbaumer, N. (1997). Extensive reorganization of primary somatosensory cortex in chronic back pain patients. *Neurosci Lett*, 224(1), 5-8. doi:10.1016/s0304-3940(97)13441-3
- Flor, H., Diers, M., & Andoh, J. (2013). The neural basis of phantom limb pain. *Trends Cogn Sci*, 17(7), 307-308. doi:10.1016/j.tics.2013.04.007
- Flor, H., Elbert, T., Knecht, S., Wienbruch, C., Pantev, C., Birbaumer, N., . . . Taub, E. (1995). Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature*, 375(6531), 482-484. doi:10.1038/375482a0
- Flor, H., & Turk, D. C. (2011). *Chronic Pain: An Integrated Biobehavioral Approach*. Seattle: IASP Press
- Fregni, F., Orsati, F., Pedrosa, W., Fecteau, S., Tome, F. A., Nitsche, M. A., Mecca, T., Macedo, E. C., Pascual-Leone, A., & Boggio, P. S. (2008). Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates the desire for specific foods. *Appetite*, 51(1), 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.09.016>
- Freiwald, J., & Baumgart, C. (2007). Einführung in die Elektromyographie. *Sport - Prävention - Rehabilitation*. In (pp. 42-47/160)
- Frenkel, M.O. (2010). Mentales Training in der orthopädischen Rehabilitation nach Knieendoprothetik. <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/10218>
- Fritz, H. C., McAuley, J. H., Wittfeld, K., Hegenscheid, K., Schmidt, C. O., Langner, S., & Lotze, M. (2016). Chronic Back Pain Is Associated With Decreased Prefrontal and Anterior Insular Gray Matter: Results From a Population-Based Cohort Study. *The journal of pain*, 17(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2015.10.003>
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: the case of mental rotation of hands. *Dev Sci*, 8(5), 402-408. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00428.x
- Funktionelle Magnet- Resonanz-Tomographie (fMRT) -Bild. https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionelle_Magnetresonanztomographie, Abruf am 02.06.2019, 12.45 Uhr
- Gatti, R., Tettamanti, A., Gough, P. M., Riboldi, E., Marinoni, L., & Buccino, G. (2013). Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: a short review of literature and a kinematics study. *Neurosci Lett*, 540, 37-42. doi:10.1016/j.neulet.2012.11.039
- GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators (2016). Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for

- 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* (London, England), 388(10053), 1459–1544. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31012-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31012-1)
- Giacobbi, P. R., Jr., Stabler, M. E., Stewart, J., Jaeschke, A. M., Siebert, J. L., & Kelley, G. A. (2015). Guided Imagery for Arthritis and Other Rheumatic Diseases: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Pain Manag Nurs*, 16(5), 792-803. doi:10.1016/j.pmn.2015.01.003
- Gehling M & Tryba, M. (2001) Unterschiede zwischen akutem und chronischem Schmerz. In: Zenz M, Jurna I (Hrsg.) Lehrbuch der Schmerztherapie. Grundlagen, Theorie und Praxis für Aus- und Weiterbildung. 2. Aufl. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 565–575
- Giesecke, T., Gracely, R. H., Clauw, D. J., Nachevson, A., Duck, M. H., Sabatowski, R., . . . Petzke, F. (2006). [Central pain processing in chronic low back pain. Evidence for reduced pain inhibition]. *Schmerz*, 20(5), 411-414, 416-417. doi:10.1007/s00482-006-0473-8
- Gieteling, E. W., van Rijn, M. A., de Jong, B. M., Hoogduin, J. M., Renken, R., van Hilten, J. J., & Leenders, K. L. (2008). Cerebral activation during motor imagery in complex regional pain syndrome type 1 with dystonia. *Pain*, 134(3), 302-309. doi:10.1016/j.pain.2007.04.029
- Gonzalez-Rosa, J. J., Natali, F., Tettamanti, A., Cursi, M., Velikova, S., Comi, G., . . . Leocani, L. (2015). Action observation and motor imagery in performance of complex movements: evidence from EEG and kinematics analysis. *Behav Brain Res*, 281, 290-300. doi:10.1016/j.bbr.2014.12.016
- Goossens, N., Janssens, L., & Brumagne, S. (2019). Changes in the Organization of the Secondary Somatosensory Cortex While Processing Lumbar Proprioception and the Relationship With Sensorimotor Control in Low Back Pain. *Clin J Pain*, 35(5), 394-406. doi:10.1097/AJP.0000000000000692
- Goossens, N., Janssens, L., Caeyenberghs, K., Albouy, G., & Brumagne, S. (2019). Differences in brain processing of proprioception related to postural control in patients with recurrent non-specific low back pain and healthy controls. *Neuroimage Clin*, 23, 101881. doi:10.1016/j.nicl.2019.101881
- Grangeon, M., Guillot, A., & Collet, C. (2011). Postural control during visual and kinesthetic motor imagery. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 36(1), 47-56. doi:10.1007/s10484-011-9145-2
- Gregg, M., Hall, C., & Butler, A. (2010). The MIQ-RS: A Suitable Option for Examining Movement Imagery Ability. *Evid Based Complement Alternat Med*, 7(2), 249-257. doi:10.1093/ecam/nem170
- Greguras, G. J., & Robie, C. (1998). A new look at within-source interrater reliability of 360-degree feedback ratings. *Journal of Applied Psychology*, 83(6), 960–968. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.83.6.960>
- Guillot, A., & Collet, C. (2005). Duration of mentally simulated movement: a review. *J Mot Behav*, 37(1), 10-20. doi:10.3200/JMBR.37.1.10-20
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *Neuroimage*, 41(4), 1471-1483. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.03.042
- Guillot, A., Haguenaer, M., Dittmar, A., & Collet, C. (2005). Effect of a fatiguing protocol on motor imagery accuracy. *Eur J Appl Physiol*, 95(2-3), 186-190. doi:10.1007/s00421-005-1400-x

- Haavik, H., & Murphy, B. (2012). The role of spinal manipulation in addressing disordered sensorimotor integration and altered motor control. *J Electromyogr Kinesiol*, 22(5), 768-776. doi:10.1016/j.jelekin.2012.02.012
- Hall, C.R. & Martin, K.A. (1997). Measuring movement imagery abilities: A revision of the Movement Imagery Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21, 143–154.
- Hanakawa, T., Dimyan, M. A., & Hallett, M. (2008). Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI. *Cereb Cortex*, 18(12), 2775-2788. doi:10.1093/cercor/bhn036
- Hanakawa, T., Immisch, I., Toma, K., Dimyan, M. A., Van Gelderen, P., & Hallett, M. (2003). Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *J Neurophysiol*, 89(2), 989-1002. doi:10.1152/jn.00132.2002
- Hartmann, B. (2010). Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen — eine Herausforderung für die Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaften. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 60(11), 366-373. doi:10.1007/BF03344315
- Hashmi, J. A., Baliki, M. N., Huang, L., Baria, A. T., Torbey, S., Hermann, K. M., . . . Apkarian, A. V. (2013). Shape shifting pain: chronification of back pain shifts brain representation from nociceptive to emotional circuits. *Brain*, 136(Pt 9), 2751-2768. doi:10.1093/brain/awt211
- Heerkens, R. J., Koke, A. J., Lotters, F. J., & Smeets, R. J. (2018). Motor imagery performance and tactile acuity in patients with complaints of arms, neck and shoulder. *Pain Manag*, 8(4), 277-286. doi:10.2217/pmt-2017-0070
- Heneweer, H., Picavet, H. S., Staes, F., Kiers, H., & Vanhees, L. (2012). Physical fitness, rather than self-reported physical activities, is more strongly associated with low back pain: evidence from a working population. *Eur Spine J*, 21(7), 1265-1272. doi:10.1007/s00586-011-2097-7
- Heneweer, H., Staes, F., Aufdemkampe, G., van Rijn, M., & Vanhees, L. (2011). Physical activity and low back pain: a systematic review of recent literature. *Eur Spine J*, 20(6), 826-845. doi:10.1007/s00586-010-1680-7
- Henry, S. M., Hitt, J. R., Jones, S. L., & Bunn, J. Y. (2006). Decreased limits of stability in response to postural perturbations in subjects with low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 21(9), 881-892. doi:10.1016/j.clinbiomech.2006.04.016
- Herrmann C, Buss U, Snaith, RP. (1995). Hospital Anxiety and Depression Scale – Deutsche Version (HADS-D). Manual. Bern, 1995: Verlag Hans Huber
- Hétu, S., Grégoire, M., Saimpont, A., Coll, M. P., Eugène, F., Michon, P. E., & Jackson, P. L. (2013). The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 37(5), 930–949. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.017>
- Hotz-Boendermaker, S., Marcar, V. L., Meier, M. L., Boendermaker, B., & Humphreys, B. K. (2016). Reorganization in Secondary Somatosensory Cortex in Chronic Low Back Pain Patients. *Spine (Phila Pa 1976)*, 41(11), E667-673. doi:10.1097/BRS.0000000000001348
- Hoy, D., Bain, C., Williams, G., March, L., Brooks, P., Blyth, F., . . . Buchbinder, R. (2012). A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis Rheum*, 64(6), 2028-2037. doi:10.1002/art.34347
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286(5449), 2526-2528. doi:10.1126/science.286.5449.2526

- Imamura, M., Chen, J., Matsubayashi, S. R., Targino, R. A., Alfieri, F. M., Bueno, D. K., & Hsing, W. T. (2013). Changes in pressure pain threshold in patients with chronic nonspecific low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 38(24), 2098-2107. doi:10.1097/01.brs.0000435027.50317.d7
- Iseki, K., Hanakawa, T., Shinozaki, J., Nankaku, M., & Fukuyama, H. (2008). Neural mechanisms involved in mental imagery and observation of gait. *Neuroimage*, 41(3), 1021-1031. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.03.010
- Itz, C. J., Geurts, J. W., van Kleef, M., & Nelemans, P. (2013). Clinical course of non-specific low back pain: a systematic review of prospective cohort studies set in primary care. *Eur J Pain*, 17(1), 5-15. doi:10.1002/j.1532-2149.2012.00170.x
- Jacobs, J. V., Henry, S. M., & Nagle, K. J. (2009). People with chronic low back pain exhibit decreased variability in the timing of their anticipatory postural adjustments. *Behav Neurosci*, 123(2), 455-458. doi:10.1037/a0014479
- Jacobs, J. V., Henry, S. M., & Nagle, K. J. (2009). People with chronic low back pain exhibit decreased variability in the timing of their anticipatory postural adjustments. *Behav Neurosci*, 123(2), 455-458. doi:10.1037/a0014479
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 187-245. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00034026>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S103-109. doi:10.1006/nimg.2001.0832
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Curr Opin Neurobiol*, 5(6), 727-732. doi:10.1016/0959-4388(95)80099-9
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Curr Opin Neurobiol*, 9(6), 735-739. doi:10.1016/s0959-4388(99)00038-0
- Jensen, M. P., Strom, S. E., Turner, J. A., & Romano, J. M. (1992). Validity of the Sickness Impact Profile Roland scale as a measure of dysfunction in chronic pain patients. *Pain*, 50(2), 157-162. doi:10.1016/0304-3959(92)90156-6
- Johnson, S., Hall, J., Barnett, S., Draper, M., Derbyshire, G., Haynes, L., . . . Goebel, A. (2012). Using graded motor imagery for complex regional pain syndrome in clinical practice: failure to improve pain. *Eur J Pain*, 16(4), 550-561. doi:10.1002/j.1532-2149.2011.00064.x
- Kaminski, C., Baumgart, C., & Freiwald, J. (2013). Die Anwendung des motorischen Vorstellungstrainings bei chronischem unspezifischem Rückenschmerz. *Deutscher Schmerzkongress 2013*, 23.-26.10., Hamburg
- Kaminski, C., Hoppe, M. W., & Freiwald, J. (2015). Mental chronometry in patients with chronic low back pain and a healthy control group. *World Confederation for Physical Therapy Congress (WCPT)*, 01.-04.05., Singapore
- Khalid, S., & Tubbs, R. S. (2017). Neuroanatomy and Neuropsychology of Pain. *Cureus*, 9(10), e1754. doi:10.7759/cureus.1754
- Kong, J., Spaeth, R. B., Wey, H. Y., Cheetham, A., Cook, A. H., Jensen, K., . . . Gollub, R. L. (2013). S1 is associated with chronic low back pain: a functional and structural MRI study. *Mol Pain*, 9, 43. doi:10.1186/1744-8069-9-43
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15(2), 155-163. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012
- Kristjansson, E., & Treleaven, J. (2009). Sensorimotor function and dizziness in neck pain: implications for assessment and management. *J Orthop Sports Phys Ther*, 39(5), 364-377. doi:10.2519/jospt.2009.2834

- Kroeger, J., Baumer, T., Jonas, M., Rothwell, J. C., Siebner, H. R., & Munchau, A. (2010). Charting the excitability of premotor to motor connections while withholding or initiating a selected movement. *Eur J Neurosci*, 32(10), 1771-1779. doi:10.1111/j.1460-9568.2010.07442.x
- La Touche, R., Grande-Alonso, M., Cuenca-Martínez, F., González-Ferrero, L., Suso-Martí, L., & Paris-Aleman, A. (2019). Diminished Kinesthetic and Visual Motor Imagery Ability in Adults With Chronic Low Back Pain. *PM&R*, 11(3), 227-235. doi:https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.05.025
- Lafond, D., Champagne, A., Descarreaux, M., Dubois, J. D., Prado, J. M., & Duarte, M. (2009). Postural control during prolonged standing in persons with chronic low back pain. *Gait & posture*, 29(3), 421-427. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.064
- Lebon, F., Byblow, W. D., Collet, C., Guillot, A., & Stinear, C. M. (2012 a). The modulation of motor cortex excitability during motor imagery depends on imagery quality. *Eur J Neurosci*, 35(2), 323-331. doi:10.1111/j.1460-9568.2011.07938.x
- Lebon, F., Guillot, A., & Collet, C. (2012 b). Increased muscle activation following motor imagery during the rehabilitation of the anterior cruciate ligament. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 37(1), 45-51. doi:10.1007/s10484-011-9175-9
- Lebon, F., Lotze, M., Stinear, C. M., & Byblow, W. D. (2012 c). Task-dependent interaction between parietal and contralateral primary motor cortex during explicit versus implicit motor imagery. *PLoS One*, 7(5), e37850. doi:10.1371/journal.pone.0037850
- Lebon, F., Rouffet, D., Collet, C., & Guillot, A. (2008). Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neurosci Lett*, 435(3), 181-185. doi:10.1016/j.neulet.2008.02.033
- Leslie, J.B. & Fleenor, J. (1998). *Feedback to managers: A review & comparison of multi-rater feedback instruments*. Greensboro, NC: Center for Creative Leadership.
- Lewandowski, W., Good, M., & Draucker, C. B. (2005). Changes in the meaning of pain with the use of guided imagery. *Pain management nursing : official journal of the American Society of Pain Management Nurses*, 6(2), 58-67. https://doi.org/10.1016/j.pmn.2005.01.002
- Li, F., Peng, W., Jiang, Y., Song, L., Liao, Y., Yi, C., . . . Xu, P. (2019). The Dynamic Brain Networks of Motor Imagery: Time-Varying Causality Analysis of Scalp EEG. *Int J Neural Syst*, 29(1), 1850016. doi:10.1142/S0129065718500168
- Liepert, J., Busching, I., Sehle, A., & Schoenfeld, M. A. (2016). Mental chronometry and mental rotation abilities in stroke patients with different degrees of sensory deficit. *Restor Neurol Neurosci*, 34(6), 907-914. doi:10.3233/RNN-160640
- Lim, E. C. W., Sterling, M., Stone, A., & Vicenzino, B. (2011). Central hyperexcitability as measured with nociceptive flexor reflex threshold in chronic musculoskeletal pain: a systematic review. *Pain*, 152(8), 1811-1820. doi:10.1016/j.pain.2011.03.033
- Lin, I., O'Sullivan, P., Coffin, J., Mak, D. B., Toussaint, S., & Straker, L. (2014). 'I can sit and talk to her': Aboriginal people, chronic low back pain and healthcare practitioner communication. *Aust Fam Physician*, 43(5), 320-324. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24791777
- Loison, B., Moussaddaq, A. S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A. L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire - Revised Second Version (MIQ-RS). *Ann Phys Rehabil Med*, 56(3), 157-173. doi:10.1016/j.rehab.2013.01.001

- Lorey, B., Bischoff, M., Pilgramm, S., Stark, R., Munzert, J., & Zentgraf, K. (2009). The embodied nature of motor imagery: the influence of posture and perspective. *Exp Brain Res*, 194(2), 233-243. doi:10.1007/s00221-008-1693-1
- Lorey, B., Naumann, T., Pilgramm, S., Petermann, C., Bischoff, M., Zentgraf, K., . . . Munzert, J. (2014). Neural simulation of actions: effector- versus action-specific motor maps within the human premotor and posterior parietal area? *Hum Brain Mapp*, 35(4), 1212-1225. doi:10.1002/hbm.22246
- Lorey, B., Pilgramm, S., Walter, B., Stark, R., Munzert, J., & Zentgraf, K. (2010). Your mind's hand: motor imagery of pointing movements with different accuracy. *Neuroimage*, 49(4), 3239-3247. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.11.038
- Lotze, M. (2016). [Maladaptive plasticity in chronic and neuropathic pain]. *Schmerz*, 30(2), 127-133. doi:10.1007/s00482-015-0080-7
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *J Physiol Paris*, 99(4-6), 386-395. doi:10.1016/j.jphysparis.2006.03.012
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hulsmann, E., Flor, H., Klose, U., . . . Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *J Cogn Neurosci*, 11(5), 491-501. doi:10.1162/089892999563553
- Luomajoki, H., Kool, J., de Bruin, E. D., & Airaksinen, O. (2007). Reliability of movement control tests in the lumbar spine. *BMC Musculoskelet Disord*, 8, 90. doi:10.1186/1471-2474-8-90
- Luomajoki, H., Kool, J., de Bruin, E. D., & Airaksinen, O. (2008). Movement control tests of the low back; evaluation of the difference between patients with low back pain and healthy controls. *BMC Musculoskelet Disord*, 9, 170. doi:10.1186/1471-2474-9-170
- Luomajoki, H., & Moseley, G. L. (2011). Tactile acuity and lumbopelvic motor control in patients with back pain and healthy controls. *Br J Sports Med*, 45(5), 437-440. doi:10.1136/bjism.2009.060731
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2012). Motor imagery and higher-level cognition: four hurdles before research can sprint forward. *Cogn Process*, 13(3), 211-229. doi:10.1007/s10339-012-0438-z
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., & Doyon, J. (2008). Clinical assessment of motor imagery after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*, 22(4), 330-340. doi:10.1177/1545968307313499
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., & Doyon, J. (2008 b). Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(2), 311-319. doi:10.1016/j.apmr.2007.11.006
- Marcuzzi, A., Dean, C. M., Wrigley, P. J., & Hush, J. M. (2015). Early changes in somatosensory function in spinal pain: a systematic review and meta-analysis. *Pain*, 156(2), 203-214. doi:10.1097/01.j.pain.0000460300.10583.f6
- Masse-Alarie, H., Beaulieu, L. D., Preuss, R., & Schneider, C. (2016). Corticomotor control of lumbar multifidus muscles is impaired in chronic low back pain: concurrent evidence from ultrasound imaging and double-pulse transcranial magnetic stimulation. *Exp Brain Res*, 234(4), 1033-1045. doi:10.1007/s00221-015-4528-x
- Masse-Alarie, H., Beaulieu, L. D., Preuss, R., & Schneider, C. (2016 b). Influence of chronic low back pain and fear of movement on the activation of the transversely oriented abdominal muscles during forward bending. *J Electromyogr Kinesiol*, 27, 87-94. doi:10.1016/j.jelekin.2016.02.004

- Masse-Alarie, H., & Schneider, C. (2016). Revisiting the Corticomotor Plasticity in Low Back Pain: Challenges and Perspectives. *Healthcare (Basel)*, 4(3). doi:10.3390/healthcare4030067
- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2008). Measuring motor imagery ability: A review. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 232-251. doi:10.1080/09541440701394624
- McGraw, K. O., & Wong, S. P. (1996). "Forming inferences about some intraclass correlations coefficients": Correction. *Psychological Methods*, 1(4), 390. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.1.4.390>
- MacIntyre, T. & Moran, A. (2007). A Qualitative Investigation of Imagery Use and Meta-Imagery Processes among Elite Canoe-Slalom Competitors. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 2(1). <https://doi.org/10.2202/1932-0191.1009>
- Mercado, A. C., Carroll, L. J., Cassidy, J. D., & Côté, P. (2005). Passive coping is a risk factor for disabling neck or low back pain. *Pain*, 117(1-2), 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2005.05.014>
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M., & Mazoyer, B. (1998). Cortical anatomy of mental imagery of concrete nouns based on their dictionary definition. *Neuroreport*, 9(5), 803-808. doi:10.1097/00001756-199803300-00007
- Melzack, R., & Casey, K. (2014). Melzack & Casey Determinants of Pain 1968 from original.
- Meier, M. L., Vrana, A., Humphreys, B. K., Seifritz, E., Stampfli, P., & Schweinhardt, P. (2018). Pain-Related Fear-Dissociable Neural Sources of Different Fear Constructs. *eNeuro*, 5(6). doi:10.1523/ENEURO.0107-18.2018
- Meier, M. L., Vrana, A., & Schweinhardt, P. (2019). Low Back Pain: The Potential Contribution of Supraspinal Motor Control and Proprioception. *Neuroscientist*, 25(6), 583-596. doi:10.1177/1073858418809074
- Meier, R., Iten, P., & Luomajoki, H. (2019 b). Clinical assessments can discriminate altered body perception in patients with unilateral chronic low back pain, but not differences between affected and unaffected side. *Musculoskelet Sci Pract*, 39, 136-143. doi:10.1016/j.msksp.2018.12.006
- Merskey, H. and Bogduk, N. (1994) Classification of Chronic Pain. 2nd Edition, IASP Task Force on Taxonomy. IASP Press, Seattle. <http://www.iasp-pain.org/Education/content.aspx?ItemNumber=1698>
- Mendez-Rebolledo, G., Gatica-Rojas, V., Torres-Cueco, R., Albornoz-Verdugo, M., & Guzman-Munoz, E. (2017). Update on the effects of graded motor imagery and mirror therapy on complex regional pain syndrome type 1: A systematic review. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 30(3), 441-449. doi:10.3233/BMR-150500
- Meyer J, Hermann DH. (2011). Mentales Training, Mentales Training. 2 Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Mihara, M., Miyai, I., Hatakenaka, M., Kubota, K., & Sakoda, S. (2008). Role of the prefrontal cortex in human balance control. *NeuroImage*, 43(2), 329-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.07.029>
- Mongi, M. (2005). Artikulation und „Mind“: Kognition, Motorik und mentale Repräsentation. Aachen: Shaker, ISBN 3832244387
- Moseley, G. L. (2003). A pain neuromatrix approach to patients with chronic pain. *Man Ther*, 8(3), 130-140. doi:10.1016/s1356-689x(03)00051-1
- Moseley, G. L. (2004). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain*, 108(1-2), 192-198. doi:10.1016/j.pain.2004.01.006

- Moseley, G. L. (2005). Distorted body image in complex regional pain syndrome. *Neurology*, 65(5), 773. doi:10.1212/01.wnl.0000174515.07205.11
- Moseley, G. L. (2008). Pain, brain imaging and physiotherapy--opportunity is knocking. *Man Ther*, 13(6), 475-477. doi:10.1016/j.math.2008.10.001
- Moseley, G. L., & Flor, H. (2012). Targeting cortical representations in the treatment of chronic pain: a review. *Neurorehabil Neural Repair*, 26(6), 646-652. doi:10.1177/1545968311433209
- Moseley, G. L., Zalucki, N. M., & Wiech, K. (2008). Tactile discrimination, but not tactile stimulation alone, reduces chronic limb pain. *Pain*, 137(3), 600-608. doi:10.1016/j.pain.2007.10.021
- Munzert, J. (2001). Bewegungsvorstellungen - Bewegungshandlungsvorstellungen. *Handlungspsychologische Forschung für die Theorie und Praxis der Sportpsychologie*, pp. S. 49-63
- Munzert, J. (2002). Temporal accuracy of mentally simulated transport movements. *Percept Mot Skills*, 94(1), 307-318. doi:10.2466/pms.2002.94.1.307
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Rev*, 60(2), 306-326. doi:10.1016/j.brainresrev.2008.12.024
- Munzert, J., Zentgraf, K., Stark, R., & Vaitl, D. (2008). Neural activation in cognitive motor processes: comparing motor imagery and observation of gymnastic movements. *Exp Brain Res*, 188(3), 437-444. doi:10.1007/s00221-008-1376-y
- Nationale VersorgungsLeitlinie (NVL). (2017). Nicht-spezifischer Kreuzschmerz Kurzfassung, 2. Auflage, Version 1 AWMF-Register-Nr.: nvl-007, <https://www.leitlinien.de/themen/kreuzschmerz/pdf/kreuzschmerz-2aufl-vers1-kurz.pdf>
- Newsom, J., Knight, P. and Balnave, R. (2003) Use of mental imagery to limit strength loss after immobilization. *Journal of Sport Rehabilitation* 12, 249-258.
- Niddam, D. M., Lai, K. L., Tsai, S. Y., Lin, Y. R., Chen, W. T., Fuh, J. L., & Wang, S. J. (2018). Neurochemical changes in the medial wall of the brain in chronic migraine. *Brain : a journal of neurology*, 141(2), 377-390. <https://doi.org/10.1093/brain/awx331>
- Nijs, J., Clark, J., Malfliet, A., Ickmans, K., Voogt, L., Don, S., . . . Dankaerts, W. (2017). In the spine or in the brain? Recent advances in pain neuroscience applied in the intervention for low back pain. *Clin Exp Rheumatol*, 35 Suppl 107(5), 108-115. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28967357>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Oldrati, V., Finisguerra, A., Avenanti, A., Aglioti, S. M., & Urgesi, C. (2021). Differential Influence of the Dorsal Premotor and Primary Somatosensory Cortex on Corticospinal Excitability during Kinesthetic and Visual Motor Imagery: A Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Brain sciences*, 11(9), 1196. <https://doi.org/10.3390/brainsci11091196>
- Ogawa, S. (2012). Finding the BOLD effect in brain images. *Neuroimage*, 62(2), 608-609. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.01.091
- Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 87(24), 9868-9872. doi:10.1073/pnas.87.24.9868
- Ogawa, S., Menon, R. S., Tank, D. W., Kim, S. G., Merkle, H., Ellermann, J. M., & Ugurbil, K. (1993). Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging. A comparison of signal charac-

- teristics with a biophysical model. *Biophys J*, 64(3), 803-812. doi:10.1016/S0006-3495(93)81441-3
- Oishi, K., Kasai, T., & Maeshima, T. (2000). Autonomic response specificity during motor imagery. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 19(6), 255-261. doi:10.2114/jpa.19.255
- O'Neill, S., Kjaer, P., Graven-Nielsen, T., Manniche, C., & Arendt-Nielsen, L. (2011). Low pressure pain thresholds are associated with, but does not predispose for, low back pain. *Eur Spine J*, 20(12), 2120-2125. doi:10.1007/s00586-011-1796-4
- O'Sullivan, P. (2005). Diagnosis and classification of chronic low back pain disorders: maladaptive movement and motor control impairments as underlying mechanism. *Man Ther*, 10(4), 242-255. doi:10.1016/j.math.2005.07.001
- O'Sullivan, P., Waller, R., Wright, A., Gardner, J., Johnston, R., Payne, C., . . . Smith, A. (2014). Sensory characteristics of chronic non-specific low back pain: a subgroup investigation. *Man Ther*, 19(4), 311-318. doi:10.1016/j.math.2014.03.006
- O'Sullivan, P. B., Mitchell, T., Bulich, P., Waller, R., & Holte, J. (2006). The relationship between posture and back muscle endurance in industrial workers with flexion-related low back pain. *Man Ther*, 11(4), 264-271. doi:10.1016/j.math.2005.04.004
- Park, C. H., Chang, W. H., Lee, M., Kwon, G. H., Kim, L., Kim, S. T., & Kim, Y. H. (2015). Which motor cortical region best predicts imagined movement?. *NeuroImage*, 113, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.03.033>
- Patrick, D. L., Deyo, R. A., Atlas, S. J., Singer, D. E., Chapin, A., & Keller, R. B. (1995). Assessing health-related quality of life in patients with sciatica. *Spine*, 20(17), 1899–1909. <https://doi.org/10.1097/00007632-199509000-00011>
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., & Schieppati, M. (2002). Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behav Brain Res*, 134(1-2), 209-215. doi:10.1016/s0166-4328(02)00030-x
- Papaxanthis, C., Schieppati, M., Gentili, R., & Pozzo, T. (2002). Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass. *Experimental Brain Research*, 143(4), 447-452. doi:10.1007/s00221-002-1012-1
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 20(4), 709-730. doi:10.1037//0096-1523.20.4.709
- Personnier, P., Kubicki, A., Laroche, D., & Papaxanthis, C. (2010). Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neurosci Lett*, 476(3), 146-149. doi:10.1016/j.neulet.2010.04.017
- Pfingsten M, Hildebrandt J (2017) Rückenschmerzen. In: Kröner-Herwig B, Frettlöh J, Klinger R, Nilges P, Hrsg. Schmerzpsychotherapie: Grundlagen, Diagnostik, Krankheitsbilder, Behandlung. 8. Auflage. Berlin: Springer, 531 – 553
- Pfingsten, M., Kroner-Herwig, B., Leibing, E., Kronshage, U., & Hildebrandt, J. (2000). Validation of the German version of the Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire (FABQ). *Eur J Pain*, 4(3), 259-266. doi:10.1053/eujp.2000.0178
- Pijnenburg, M., Brumagne, S., Caeyenberghs, K., Janssens, L., Goossens, N., Marinazzo, D., . . . Siugzdaite, R. (2015). Resting-State Functional Connectivity of the Sensorimotor Network in Individuals with Nonspecific Low Back Pain and

the Association with the Sit-to-Stand-to-Sit Task. *Brain Connect*, 5(5), 303-311. doi:10.1089/brain.2014.0309

- Pincus, T., Vlaeyen, J. W., Kendall, N. A., Von Korff, M. R., Kalauokalani, D. A., & Reis, S. (2002). Cognitive-behavioral therapy and psychosocial factors in low back pain: directions for the future. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27(5), E133-138. doi:10.1097/00007632-200203010-00020
- Poreisz, C., Csifcsak, G., Antal, A., Levold, M., Hillers, F., & Paulus, W. (2008). Theta burst stimulation of the motor cortex reduces laser-evoked pain perception. *Neuroreport*, 19(2), 193-196. doi:10.1097/WNR.0b013e3282f45498
- Posadzki, P., Ernst, E. (2011). Guided imagery for musculoskeletal pain: a systematic review. *Clin J Pain*. 2011 Sep;27(7):648-53
- Posner, M., Nissen, M., & Ogden, W. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. *Modes of Perceiving and Processing Information*, 137
- Pylyshyn, Z. W. (1981). Psychological explanations and knowledge-dependent processes. *Cognition*, 10(1-3), 267-274. doi:10.1016/0010-0277(81)90056-1
- Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M. M., & Patel, T. C. (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(8), 947-954. doi:10.1097/00007632-200004150-00009
- Raichle, M. E., Grubb, R. L., Jr., Gado, M. H., Eichling, J. O., & Ter-Pogossian, M. M. (1976). Correlation between regional cerebral blood flow and oxidative metabolism. In vivo studies in man. *Arch Neurol*, 33(8), 523-526. doi:10.1001/archneur.1976.00500080001001
- Rainville, P., Duncan, G. H., Price, D. D., Carrier, B., & Bushnell, M. C. (1997). Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex. *Science*, 277(5328), 968-971. doi:10.1126/science.277.5328.968
- Ramachandran, V. S., & Altschuler, E. L. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(Pt 7), 1693-1710. doi:10.1093/brain/awp135
- Rasmussen, C., Leboeuf-Yde, C., Hestbaek, L., & Manniche, C. (2009). [Poor prognosis in back pain among patients who have filed financial claims - secondary publication]. *Ugeskr Laeger*, 171(19), 1604-1607. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19425255>
- Raspe, H. (2012). Themenheft 53 "Rückenschmerzen". In (pp. 36): Robert Koch-Institut.
- Ravat, S., PT, MSc, Olivier, B., PT, PhD, Gillion, N., PT, MSc, & Lewis, F., PT, MSc (2020). Laterality judgment performance between people with chronic pain and pain-free individuals. A systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy theory and practice*, 36(12), 1279-1299. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1570575>
- Reed C. L. (2002). Chronometric comparisons of imagery to action: visualizing versus physically performing springboard dives. *Memory & cognition*, 30(8), 1169-1178. <https://doi.org/10.3758/bf03213400>
- Revel, M., Minguet, M., Gregoy, P., Vaillant, J., & Manuel, J. L. (1994). Changes in cervicocephalic kinesthesia after a proprioceptive rehabilitation program in patients with neck pain: a randomized controlled study. *Arch Phys Med Rehabil*, 75(8), 895-899. doi:10.1016/0003-9993(94)90115-5
- Richards, N., & McMahon, S. B. (2013). Targeting novel peripheral mediators for the treatment of chronic pain. *Br J Anaesth*, 111(1), 46-51. doi:10.1093/bja/aet216

- Richman, C. L., Mitchell, D. B., & Reznick, J. S. (1979). Mental travel: some reservations. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 5(1), 13-18. doi:10.1037//0096-1523.5.1.13
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*, 27, 169-192. doi:10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res*, 3(2), 131-141. doi:10.1016/0926-6410(95)00038-0
- A. C. Roberts, A.C., Robbins, T.W. & Weiskrantz, L. (1998) *The Prefrontal Cortex: Executive and Cognitive Functions* Oxford University Press UK
- Rodrigues, E. C., Lemos, T., Gouvea, B., Volchan, E., Imbiriba, L. A., & Vargas, C. D. (2010). Kinesthetic motor imagery modulates body sway. *Neuroscience*, 169(2), 743-750. doi:10.1016/j.neuroscience.2010.04.081
- Roland, M., & Morris, R. (1983). A study of the natural history of low-back pain. Part II: development of guidelines for trials of treatment in primary care. *Spine (Phila Pa 1976)*, 8(2), 145-150. doi:10.1097/00007632-198303000-00005
- Rossignol, M., Rozenberg, S., & Leclerc, A. (2009). Epidemiology of low back pain: what's new? *Joint Bone Spine*, 76(6), 608-613. doi:10.1016/j.jbspin.2009.07.003
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nat Neurosci*, 4(5), 546-550. doi:10.1038/87510
- Sackett, D. L., Rosenberg, W. M., Gray, J. A., Haynes, R. B., & Richardson, W. S. (1996). Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ*, 312(7023), 71-72. doi:10.1136/bmj.312.7023.71
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49-57. doi:10.1016/j.neuroscience.2012.06.066
- Schmidt & Kohlmann (2007): 3. Schmidt CO, Kohlmann T. Was wissen wir über das Symptom Rückenschmerz? *Epidemiologische Ergebnisse zu Prävalenz, Inzidenz, Verlauf, Risiko- faktoren. Z Orthop* 2005; 143: 292–298
- Schmidt, C. O., Raspe, H., Pfingsten, M., Hasenbring, M., Basler, H. D., Eich, W., & Kohlmann, T. (2007). Back pain in the German adult population: prevalence, severity, and sociodemographic correlates in a multiregional survey. *Spine (Phila Pa 1976)*, 32(18), 2005-2011. doi:10.1097/BRS.0b013e318133fad8
- Schmidt, I., Rechter, L., Hansen, V. K., Andreasen, J., & Overvad, K. (2008). Prognosis of subacute low back pain patients according to pain response. *Eur Spine J*, 17(1), 57-63. doi:10.1007/s00586-007-0436-5
- Schmidt-Wilcke, T., Leinisch, E., Ganssbauer, S., Draganski, B., Bogdahn, U., Altmepfen, J., & May, A. (2006). Affective components and intensity of pain correlate with structural differences in gray matter in chronic back pain patients. *Pain*, 125(1-2), 89-97. doi:10.1016/j.pain.2006.05.004
- Schnabel, G., Harre, D., & Krug, J. (2008). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung - Training - Wettkampf* (1. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer
- Schott, N., & Munzert, J. (2007). Temporal accuracy of motor imagery in older women. *International Journal of Sport Psychology*, 38, 304-320.
- Shrout, P. E. & Fleiss, J. L. (1979): Intraclass correlation: Uses in assessing rater reliability. In: *Psychological Bulletin*, 86, 420–428.
- Shenton, J. T., Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neurosci Lett*, 370(1), 19-24. doi:10.1016/j.neulet.2004.07.053

- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703. doi:10.1126/science.171.3972.701
- Sherrington, C. S. (1906). Observations on the scratch-reflex in the spinal dog. *J Physiol*, 34(1-2), 1-50. doi:10.1113/jphysiol.1906.sp001139
- Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*, 86(2), 420-428. doi:10.1037//0033-2909.86.2.420
- Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *J Cogn Neurosci*, 13(7), 910-919. doi:10.1162/089892901753165827
- Sirigu, A., Duhamel, J. R., Cohen, L., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1996). The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*, 273(5281), 1564-1568. doi:10.1126/science.273.5281.1564
- Skoura, X., Papaxanthis, C., Vinter, A., & Pozzo, T. (2005). Mentally represented motor actions in normal aging. I. Age effects on the temporal features of overt and covert execution of actions. *Behav Brain Res*, 165(2), 229-239. doi:10.1016/j.bbr.2005.07.023
- Small, D. M., & Apkarian, V. A. (2006). Increased taste intensity perception exhibited by patients with chronic back pain. *Pain*, 120(1-2), 124-130. doi:10.1016/j.pain.2005.10.021
- Smallwood, R. F., Laird, A. R., Ramage, A. E., Parkinson, A. L., Lewis, J., Clauw, D. J., . . . Robin, D. A. (2013). Structural brain anomalies and chronic pain: a quantitative meta-analysis of gray matter volume. *J Pain*, 14(7), 663-675. doi:10.1016/j.jpain.2013.03.001
- Smart, K. M., Blake, C., Staines, A., Thacker, M., & Doody, C. (2012 c). Mechanisms-based classifications of musculoskeletal pain: part 1 of 3: symptoms and signs of central sensitisation in patients with low back (+/- leg) pain. *Man Ther*, 17(4), 336-344. doi:10.1016/j.math.2012.03.013
- Smart, K. M., Blake, C., Staines, A., Thacker, M., & Doody, C. (2012 b). Mechanisms-based classifications of musculoskeletal pain: part 2 of 3: symptoms and signs of peripheral neuropathic pain in patients with low back (+/- leg) pain. *Man Ther*, 17(4), 345-351. doi:10.1016/j.math.2012.03.003
- Smart, K. M., Blake, C., Staines, A., Thacker, M., & Doody, C. (2012 a). Mechanisms-based classifications of musculoskeletal pain: part 3 of 3: symptoms and signs of nociceptive pain in patients with low back (+/- leg) pain. *Man Ther*, 17(4), 352-357. doi:10.1016/j.math.2012.03.002
- Spitzer, C. (1996). *Geist im Netz*. Heidelberg: Spektrum, 1996
- Statista-Umfrage Volksleiden & OTC. (2017). Quelle: <https://de.statista.com/infografik/8488/rueckenschmerzen-in-deutschland/>, Abruf am 27.06.2018, 12.45 Uhr
- Ste-Marie, D. M., Vertes, K. A., Law, B., & Rymal, A. M. (2012). Learner-Controlled Self-Observation is Advantageous for Motor Skill Acquisition. *Front Psychol*, 3, 556. doi:10.3389/fpsyg.2012.00556
- Stinear, C. M., Byblow, W. D., Steyvers, M., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2006). Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Exp Brain Res*, 168(1-2), 157-164. doi:10.1007/s00221-005-0078-y
- Strand, L. I., Moe-Nilssen, R., & Ljunggren, A. E. (2002). Back Performance Scale for the assessment of mobility-related activities in people with back pain. *Phys Ther*, 82(12), 1213-1223. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12444880>
- Stratford, P. W., & Binkley, J. M. (2000). A comparison study of the back pain functional scale and Roland Morris Questionnaire. *North American Orthopaedic Re-*

- habilitation Research Network. *J Rheumatol*, 27(8), 1928-1936. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10955335>
- Strutton, P. H., Theodorou, S., Catley, M., McGregor, A. H., & Davey, N. J. (2005). Corticospinal excitability in patients with chronic low back pain. *J Spinal Disord Tech*, 18(5), 420-424. doi:10.1097/01.bsd.0000169063.84628.fe
- Sun, Y., Wei, W., Luo, Z., Gan, H., & Hu, X. (2016). Improving motor imagery practice with synchronous action observation in stroke patients. *Top Stroke Rehabil*, 23(4), 245-253. doi:10.1080/10749357.2016.1141472
- Suso-Marti, L., Leon-Hernandez, J. V., La Touche, R., Paris-Alemany, A., & Cuenca-Martinez, F. (2019). Motor Imagery and Action Observation of Specific Neck Therapeutic Exercises Induced Hypoalgesia in Patients with Chronic Neck Pain: A Randomized Single-Blind Placebo Trial. *J Clin Med*, 8(7). doi:10.3390/jcm8071019
- Tagliazucchi, E., Balenzuela, P., Fraiman, D., & Chialvo, D. R. (2010). Brain resting state is disrupted in chronic back pain patients. *Neurosci Lett*, 485(1), 26-31. doi:10.1016/j.neulet.2010.08.053
- Taube, W., Mouthon M., Leukel, C., Hoogewoud, HM., Annoni, JM., Keller, M. (2015) Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study. *Cortex*. Mar;64:102-14. doi: 10.1016/j.cortex.2014.09.022. Epub 2014 Oct 27. PMID: 25461711.
- Traeger, A. C., Henschke, N., Hübscher, M., Williams, C. M., Kamper, S. J., Maher, C. G., Moseley, G. L., & McAuley, J. H. (2016). Estimating the Risk of Chronic Pain: Development and Validation of a Prognostic Model (PICKUP) for Patients with Acute Low Back Pain. *PLoS medicine*, 13(5), e1002019. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002019>
- Treede, R. D., Kenshalo, D. R., Gracely, R. H., & Jones, A. K. (1999). The cortical representation of pain. *Pain*, 79(2-3), 105-111. doi:10.1016/s0304-3959(98)00184-5
- Trojan, J. & Diers, M. (2013). Update: Physiologie und Psychologie des Schmerzes. *Manuelle Therapie*, 17(4), 153–161. doi:10.1055/s-0033-1356787
- Trompeter, K., Fett, D., & Platen, P. (2019). Back Pain in Rowers: A Cross-sectional Study on Prevalence, Pain Characteristics and Risk Factors. *Sportverletz Sportschaden*, 33(1), 51-59. doi:10.1055/a-0648-8387
- Tsao, H., Galea, M. P., & Hodges, P. W. (2008). Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain*, 131(Pt 8), 2161-2171. doi:10.1093/brain/awn154
- Tsao, H., Tucker, K. J., Coppiters, M. W., & Hodges, P. W. (2010). Experimentally induced low back pain from hypertonic saline injections into lumbar interspinous ligament and erector spinae muscle. *Pain*, 150(1), 167-172. doi:10.1016/j.pain.2010.04.023
- Tucker, K. J., & Hodges, P. W. (2010). Changes in motor unit recruitment strategy during pain alters force direction. *Eur J Pain*, 14(9), 932-938. doi:10.1016/j.ejpain.2010.03.006
- Underwood, M. R., Barnett, A. G., & Vickers, M. R. (1999). Evaluation of two time-specific back pain outcome measures. *Spine (Phila Pa 1976)*, 24(11), 1104-1112. doi:10.1097/00007632-199906010-00010
- van den Berg, F., (2008). *Angewandte Physiologie Band 4, Schmerzen verstehen und beeinflussen*. Stuttgart: Thieme
- Van Middelkoop, M., Rubinstein, S. M., Kuijpers, T., Verhagen, A. P., Ostelo, R., Koes, B. W., & van Tulder, M. W. (2011). A systematic review on the effec-

- tiveness of physical and rehabilitation interventions for chronic non-specific low back pain. *Eur Spine J*, 20(1), 19-39. doi:10.1007/s00586-010-1518-3
- Volz, M. S., Suarez-Contreras, V., Mendonca, M. E., Pinheiro, F. S., Merabet, L. B., & Fregni, F. (2013). Effects of sensory behavioral tasks on pain threshold and cortical excitability. *PLoS One*, 8(1), e52968. doi:10.1371/journal.pone.0052968
- Volz, M. S., Suarez-Contreras, V., Portilla, A. L. S., Illigens, B., Bempohl, F., & Fregni, F. (2015). Movement observation-induced modulation of pain perception and motor cortex excitability. *Clin Neurophysiol*, 126(6), 1204-1211. doi:10.1016/j.clinph.2014.09.022
- Volz, M. S., Suarez-Contreras, V., Portilla, A. L., & Fregni, F. (2015 b). Mental imagery-induced attention modulates pain perception and cortical excitability. *BMC Neurosci*, 16, 15. doi:10.1186/s12868-015-0146-6
- Vrana, A., Hotz-Boendermaker, S., Stampfli, P., Hanggi, J., Seifritz, E., Humphreys, B. K., & Meier, M. L. (2015). Differential Neural Processing during Motor Imagery of Daily Activities in Chronic Low Back Pain Patients. *PLoS One*, 10(11), e0142391. doi:10.1371/journal.pone.0142391
- Vuori, I. M. (2001). Dose-response of physical activity and low back pain, osteoarthritis, and osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6 Suppl), S551-586; discussion 609-510. doi:10.1097/00005768-200106001-00026
- Waddell, G., Newton, M., Henderson, I., Somerville, D., & Main, C. J. (1993). A Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire (FABQ) and the role of fear-avoidance beliefs in chronic low back pain and disability. *Pain*, 52(2), 157-168. doi:10.1016/0304-3959(93)90127-b
- Wand, B. M., Parkitny, L., O'Connell, N. E., Luomajoki, H., McAuley, J. H., Thacker, M., & Moseley, G. L. (2011). Cortical changes in chronic low back pain: current state of the art and implications for clinical practice. *Man Ther*, 16(1), 15-20. doi:10.1016/j.math.2010.06.008
- Watson, M.E., & Rubin, D.C. (1996). Spatial imagery preserves temporal order. *Memory*, 4 5, 515-34
- Wenig, C. M., Schmidt, C. O., Kohlmann, T., & Schweikert, B. (2009). Costs of back pain in Germany. *Eur J Pain*, 13(3), 280-286. doi:10.1016/j.ejpain.2008.04.005
- Wertli, M. M., Burgstaller, J. M., Weiser, S., Steurer, J., Kofmehl, R., & Held, U. (2014). Influence of catastrophizing on treatment outcome in patients with nonspecific low back pain: a systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*, 39(3), 263-273. doi:10.1097/BRS.0000000000000110
- Wertli, M. M., Eugster, R., Held, U., Steurer, J., Kofmehl, R., & Weiser, S. (2014 a). Catastrophizing-a prognostic factor for outcome in patients with low back pain: a systematic review. *Spine J*, 14(11), 2639-2657. doi:10.1016/j.spinee.2014.03.003
- Wertli, M. M., Rasmussen-Barr, E., Weiser, S., Bachmann, L. M., & Brunner, F. (2014 b). The role of fear avoidance beliefs as a prognostic factor for outcome in patients with nonspecific low back pain: a systematic review. *Spine J*, 14(5), 816-836 e814. doi:10.1016/j.spinee.2013.09.036
- Wiech, K., Seymour, B., Kalisch, R., Stephan, K. E., Koltzenburg, M., Driver, J., & Dolan, R. J. (2005). Modulation of pain processing in hyperalgesia by cognitive demand. *Neuroimage*, 27(1), 59-69. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.03.044
- Wiesinger, G. F., Nuhr, M., Quittan, M., Ebenbichler, G., Wolfl, G., & Fialka-Moser, V. (1999). Cross-cultural adaptation of the Roland-Morris questionnaire for Ger-

- man-speaking patients with low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 24(11), 1099-1103. doi:10.1097/00007632-199906010-00009
- Williams, J., Pearce, A. J., Loporto, M., Morris, T., & Holmes, P. S. (2012). The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behav Brain Res*, 226(2), 369-375. doi:10.1016/j.bbr.2011.09.014
- Williams, S. E., Guillot, A., Di Rienzo, F., & Cumming, J. (2015). Comparing self-report and mental chronometry measures of motor imagery ability. *Eur J Sport Sci*, 15(8), 703-711. doi:10.1080/17461391.2015.1051133
- Wright, D. J., McCormick, S. A., Williams, J., & Holmes, P. S. (2016). Viewing Instructions Accompanying Action Observation Modulate Corticospinal Excitability. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 17. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00017>
- Wirtz, M., & Caspar, F. (2002). Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen
- Wittkopf, P. G., & Johnson, M. I. (2017). Mirror therapy: A potential intervention for pain management. *Rev Assoc Med Bras (1992)*, 63(11), 1000-1005. doi:10.1590/1806-9282.63.11.1000
- Wittkopf, P. G., Lloyd, D. M., & Johnson, M. I. (2018). The effect of visual feedback of body parts on pain perception: A systematic review of clinical and experimental studies. *Eur J Pain*, 22(4), 647-662. doi:10.1002/ejp.1162
- Woolf, C. J. (2011). Central sensitization: implications for the diagnosis and treatment of pain. *Pain*, 152(3 Suppl), S2-S15. doi:10.1016/j.pain.2010.09.030
- Wriessnegger, S. C., Steyrl, D., Koschutnig, K., & Müller-Putz, G. R. (2014). Short time sports exercise boosts motor imagery patterns: implications of mental practice in rehabilitation programs. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 469. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00469>
- Wu, A. J., Hermann, V., Ying, J., & Page, S. J. (2010). Chronometry of mentally versus physically practiced tasks in people with stroke. *Am J Occup Ther*, 64(6), 929-934. doi:10.5014/ajot.2010.09005
- Zambreanu, L., Wise, R. G., Brooks, J., Iannetti, G. D., & Tracey, I. (2005). A role for the brainstem in central sensitisation in humans. Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Pain*, 114(3), 397-407. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2005.01.005>
- Zandbelt, B. B., Gladwin, T. E., Raemaekers, M., van Buuren, M., Negggers, S. F., Kahn, R. S., . . . Vink, M. (2008). Within-subject variation in BOLD-fMRI signal changes across repeated measurements: quantification and implications for sample size. *Neuroimage*, 42(1), 196-206. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.04.183
- Ziemainz, H., Stoll, O. & Küster, C. (2003). Evaluation psychologischen Trainings im triathlonspezifischen Disziplin- wechsel. Unveröffentlichter Forschungsbericht. Köln: BISP (Fördernummer: VF 0407/10/08/2001-2002)

11 Anhang

Anhang 1: Bewegungskontrolltest der Lendenwirbelsäule

<p>Test 1 "Walters bow" Flexion of the hips in upright standing without movement (flexion) of the low back</p>	<p>Korrekt (negativer Test) Forward bending of the hips without movement of the low back (50-70° Flexion hips). Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Nicht korrekt (positiver Test) Angle hip Flexion without low back movement less than 50° or Flexion occurring in the low back. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Bemerkung</p>
<p>Test 2 Pelvic Tilt Dorsal tilt of pelvis actively in upright standing.</p>	<p>Actively in upright standing; keeping thoracic spine in neutral, lumbar spine moves towards Flexion. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Pelvis does not tilt or low back moves towards Extension or compensatory Flexion in thoracic spine. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	
<p>Test 5 Quadruped position. Transfer of the pelvis backwards and forwards ("rocking") keeping low back in neutral.</p>	<p>120° of hip flexion without movement of the low back by transferring pelvis backwards. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Hip flexion causes flexion in the lumbar spine (typically the patient not aware of this). Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	
<p>Rocking forwards without movement of the low back Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 		<p>Hip flexion causes flexion in the lumbar spine (typically the patient not aware of this). Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	
<p>Test 3 Einbeinstand From normal standing to one leg stance: measurement of lateral movement of the belly button. (Position: feet one third of trochanter distance apart).</p>	<p>The distance of the transfer is symmetrical right and left. Not more than 2 cm difference between sides. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Lateral transfer of belly button more than 10cm. Difference between sides more than 2 cm. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	
<p>Test 4 Sitting knee extension. Upright sitting with corrected lumbar lordosis; extension of the knee without movement (flexion) of low back. 30-50 Extension of the Knee is normal Upright sitting with corrected lumbar lordosis; extension of the knee without movement (flexion) of low back</p>	<p>Sitting knee extension. Upright sitting with corrected lumbar lordosis; extension of the knee without movement (flexion) of low back. 30-50 Extension of the Knee is normal Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>Low back is moving in flexion. Patient is not aware of the movement of the back. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	
<p>Test 6 Prone lying active knee Flexion</p>	<p>Active knee flexion at least 90° without movement of the low back and pelvis. Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	<p>By the knee flexion low back does not stay neutral maintained but moves in extension or rotation Ankreuzen: <input type="checkbox"/></p> 	

Anhang 2: Roland-Morris Disability Questionnaire

Roland and Morris Disability Questionnaire – Deutsche Version (RDQ-D)

Quelle: Wiesinger GF, Nuhr M, Quittan M et al. Cross-cultural adaptation of the Roland-Morris questionnaire for German-speaking patients with low back pain. Spine 1999; 24 (11):1099-103.

Mit freundlicher Genehmigung von Lippincott Williams & Wilkins, 351 West Camden St, MD 21201 Baltimore, USA

Name: _____ Geburtsdatum: _____ Datum: _____

Sehr geehrte(r) Patient(in)!

Wenn Sie Rückenschmerzen haben, sind alltägliche Dinge oft schwer zu erledigen. Diese Liste enthält Sätze, die Leute verwendet haben, um ihre Rückenschmerzen zu beschreiben. Wenn Sie die Liste durchlesen, fällt Ihnen auf, dass der eine oder andere Satz Ihre Beschwerden von heute am besten beschreibt. Denken Sie bitte nur an die Beschwerden von heute. Trifft ein Satz für Ihre Beschwerden von heute zu, kreuzen Sie diesen Satz bitte an. Falls ein Satz Sie nicht beschreibt, kreuzen Sie diesen Satz nicht an und gehen zum nächsten.

Achtung: Kreuzen Sie nur diese Sätze an, die am besten Ihre Beschwerden von heute beschreiben.

1. Aufgrund meiner Rückenschmerzen verlasse ich das Haus/die Wohnung selten.
2. Ich wechsele häufig meine Körperhaltung, um meinen Rücken zu entlasten.
3. Ich gehe aufgrund meiner Rückenschmerzen langsamer als üblich.
4. Meine Rückenschmerzen hindern mich daran, ansonsten übliche Arbeiten im Haushalt zu verrichten.
5. Aufgrund meiner Rückenschmerzen halte ich mich beim Stiegensteigen stets am Geländer fest.
6. Aufgrund meiner Rückenschmerzen lege ich mich häufig zum Ausruhen hin.
7. Aufgrund meiner Rückenschmerzen muss ich mich an etwas festhalten, um aus einem Polstersessel hochzukommen.
8. Aufgrund meiner Rückenschmerzen bitte ich häufig andere Menschen, etwas für mich zu erledigen.
9. Aufgrund meiner Rückenschmerzen brauche ich zum Ankleiden länger als üblich.
10. Aufgrund meiner Rückenschmerzen achte ich darauf, nie allzu lange Zeit stehen zu müssen.
11. Aufgrund meiner Rückenschmerzen achte ich darauf, mich so wenig wie möglich zu bücken oder niederzuknien.
12. Ich komme aufgrund meiner Rückenschmerzen nur schwer aus einem Sessel hoch.
13. Ich leide beinahe ständig unter Rückenschmerzen.
14. Meine Rückenschmerzen erschweren mir das Umdrehen im Bett.
15. Meine Rückenschmerzen wirken sich negativ auf meinen Appetit aus.
16. Bedingt durch meine Rückenschmerzen, habe ich Probleme beim Anziehen von Socken (Kniestrümpfen).
17. Meine Rückenschmerzen erlauben es mir nicht, längere Strecken zu gehen.
18. Meine Rückenschmerzen beeinträchtigen meinen Schlaf.
19. Aufgrund meiner Rückenschmerzen brauche ich beim Ankleiden Hilfe.
20. Bedingt durch meine Rückenschmerzen verbringe ich die meiste Zeit sitzend.
21. Aufgrund meiner Rückenschmerzen versuche ich, schwere Arbeiten im Haushalt zu vermeiden.
22. Aufgrund meiner Rückenschmerzen bin ich wesentlich reizbarer und launischer als üblich.
23. Bedingt durch meine Rückenschmerzen kann ich Treppen nur sehr langsam hinaufgehen.
24. Aufgrund meiner Rückenschmerzen verbringe ich die meiste Zeit im Bett.

Aus: Oesch, Hilfiker, Keller, Kool, Tal-Akabi, Schädler, Verra, Widmer Leu
Assessments in der muskuloskeletalen Rehabilitation. © Verlag Hans Huber 2007. Alle Rechte vorbehalten.



Anhang 3: Fragebogen zur Erfassung der Vorstellungsfähigkeit (MIQ)

Anhang D Fragebogen zur Erfassung der Vorstellungsfähigkeit

Zur Erfassung der Vorstellungsfähigkeit hat sich im englischsprachigen Raum der MIQ nach Hall (Hall et al. 1985) durchgesetzt. Eine deutsche Version des MIQ wurde von Ziemainz et al. (2003) vorgestellt, die Übersetzung erfolgte 1995 von Hermann Müller.

MIQ (Deutsch)

Liebe Sportlerin, lieber Sportler,

für das Ausfüllen dieses Fragebogens benötigst Du etwa 15–20 Minuten. Wir bitten Dich, diesen Fragebogen zügig auszufüllen. Die Ergebnisse werden von uns anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Dieser Fragebogen befasst sich mit zwei Arten, Bewegungen mental auszuführen, von denen manche Leute mehr als andere Gebrauch machen und die auch in Abhängigkeit vom Bewegungstyp unterschiedlich gut anwendbar sind. Die erste Aufgabe betrifft die Bildung eines mentalen (visuellen) Eindrucks oder eines »Bildes« der Bewegung. Bei der zweiten Art ist man bestrebt, zu spüren, wie sich der Bewegungsvollzug anfühlt, ohne die Bewegung tatsächlich auszuführen. In diesem Fragebogen wird von Dir verlangt, diese beiden Vorstellungsaufgaben für eine Vielzahl von Bewegungen auszuführen und anschließend zu bewerten, wie schwer/leicht Dir diese Aufgabe gefallen ist. Deine Einschätzungen sollen **nicht** dazu verwendet werden, zu erfassen, wie gut oder wie schlecht Du diese mentalen Aufgaben ausgeführt hast. Vielmehr sollst Du Auskunft geben über das Vermögen von Individuen, diese Aufgaben bei verschiedenartigen Bewegungstypen auszuführen. Es gibt keine Antworten, die »richtig« oder »falsch« bzw. besser als andere sind.

Jeder der folgenden Abschnitte beschreibt eine spezifische Bewegung. Lies jede Beschreibung sorgfältig und führe anschließend die Bewegung wie beschrieben aus. Führe die Bewegung aber nur **ein einziges Mal** aus.

Zur Durchführung der mentalen Aufgabe nimm dann bitte wieder die Ausgangsposition ein,

so, als ob Du die Bewegung ein zweites Mal ausführen wolltest. Führe nun die dann geforderte mentale Aufgabe aus, d. h. entweder

- Du versuchst ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung zu erzeugen, die Du gerade ausgeführt hast, oder
- Du versuchst wirklich zu fühlen, wie du die Bewegung ausführst, ohne dies aber tatsächlich zu tun.

Nachdem Du diese mentale Aufgabe beendet hast, beurteile bitte die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du die Aufgabe durchführen konntest. Orientiere Dich in Deiner Bewertung an der nachstehenden Skala (bei jeder Aufgabe jeweils mit angeben). Sei dabei so genau wie möglich und nimm Dir jedes Mal so lange Zeit, wie Du es für nötig hältst, um zu einer angemessenen Einschätzung zu gelangen. Du kannst dabei jeden Wert für so viele mentale Aufgaben vergeben, wie Du willst. Es ist nicht erforderlich, dass Du die gesamte Länge der Beurteilungsskala ausnutzt.

1. Ausgangsposition:

Mach eine Faust mit Deiner dominanten Hand (die Hand, mit der Du schreibst) und bringe diese Hand zur gleichseitigen Schulter (z. B. rechte Hand zur rechten Schulter), sodass Dein Ellbogen direkt nach vorne zeigt.

Aktion: Strecke Deinen Arm im Ellbogengelenk, sodass Deine Hand die Schulter verlässt und sich nun waagrecht, vor Dir ausgestreckt, befindet. Deine Hand ist weiterhin zur Faust geballt. Führe diese Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Führe die Bewegung aber nicht mehr physisch aus! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

2. Ausgangsposition:

Steh aufrecht, geschlossene Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Hebe Dein rechtes Knie so hoch wie möglich, sodass Du nun auf dem linken Bein stehst, das rechte Bein im Kniegelenk gebeugt. Nun senke Dein rechtes Bein, sodass Du dann wieder auf beiden Füßen stehst. Führe diese Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche zu fühlen, wie Du die soeben vollzogene Bewegung ausführst (ohne dies jetzt tatsächlich zu tun)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

3. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, hüftbreite Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Gehe tief in die Hocke und springe dann so hoch wie möglich gerade nach oben, die Arme über den Kopf nach oben ausgestreckt. Lande in hüftbreiter Fußstellung und senke die Arme wieder an Deine Seiten.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

4. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, hüftbreite Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Springe hoch und drehe Dich in der Luft links herum, sodass Du wieder genau in der Ausgangsstellung landest, d.h. Du vollführst eine Linksdrehung um 360°.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

5. Ausgangsposition:

Strecke den Arm Deiner nicht-dominanten Hand waagrecht zur Seite aus, die Handfläche nach unten.

Aktion: Bewege den Arm vorwärts, bis er sich direkt vor Dir befindet (dabei immer noch waagrecht). Lass Deinen Arm während der gesamten Bewegung gestreckt und führe die Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

6. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, die Hände liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Hebe das gestreckte linke Bein so hoch wie möglich (Du darfst das linke Knie nicht beugen). Lass auch das Standbein (rechtes Bein) gestreckt. Senke nun das linke Bein, bis Du wieder auf beiden Beinen stehst. Führe diese Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

7. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, hüftbreite Fußstellung. Die Arme sind vollständig über dem Kopf ausgestreckt.

Aktion: Beuge Dich langsam im Hüftgelenk nach vorne ab und versuche, mit den Fingerspitzen Deine Zehen zu berühren (oder, falls möglich, den Boden). Kehre nun in die Ausgangsposition zurück, d. h. aufrechter Stand mit über dem Kopf emporgestreckten Armen.

Mentale Aufgabe: Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

8. Ausgangsposition:

Mach eine Faust mit Deiner nicht-dominanten Hand. Strecke Deinen Arm mit geballter Faust über dem Kopf. Lass den anderen Arm an Deiner Seite.

Aktion: Schwinge den emporgestreckten Arm so schnell wie möglich abwärts, sodass auch er seitlich am Körper anliegt. Lass während der Bewegung den Arm gestreckt und die Faust geballt.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

9. Ausgangsposition:

Stell Dich vor die Gymnastikmatte, geschlossene Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Führe eine Rolle vorwärts auf der Matte aus (Du darfst dabei die Hände benutzen) und beende die Bewegung dann wieder in einer stehenden Position.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

10. Ausgangsposition:

Mach eine Faust mit Deiner dominanten Hand (die Hand, mit der schreibst) und bringe diese Hand zur gleichseitigen Schulter (z. B. rechte Hand auf rechte Schulter), sodass Dein Ellbogen geradewegs von dir wegzeigt.

Aktion: Strecke Deinen Arm im Ellbogengelenk, sodass Deine Hand die Schulter verlässt und sich nun gerade, parallel zum Boden vor Dir ausge-

streckt befindet. Die Hand ist weiterhin zur Faust geballt. Führe die Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

11. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, geschlossene Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Hebe Dein rechtes Knie so hoch wie möglich, sodass Du nun auf dem linken Bein stehst, das rechte Bein im Kniegelenk gebeugt. Nun senke Dein rechtes Bein, sodass Du dann wieder auf beiden Füßen stehst. Führe diese Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe Dir in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

12. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, hüftbreite Fußstellung. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Gehe tief in die Hocke und springe dann so hoch wie möglich gerade nach oben, die Arme über den Kopf nach oben ausgestreckt. Lande mit hüftbreiter Fußstellung und senke die Arme wieder an Deine Seiten.

Mentale Aufgabe:

Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

13. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, die Füße sind leicht geöffnet. Die Arme liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Spring hoch und drehe Dich in der Luft links herum, sodass du wieder genau in der Ausgangsstellung landest, d. h. Du vollführst eine vollständige Linksdrehung um 360°.

Mentale Aufgabe:

Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

14. Ausgangsposition:

Strecke den Arm Deiner nicht-dominanten Hand waagrecht zur Seite aus, die Handfläche zeigt nach unten.

Aktion: Bewege den Arm vorwärts, bis er sich direkt vor Dir befindet (dabei immer noch waagrecht). Lass Deinen Arm während der gesamten Bewegung gestreckt und führe die Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe:

Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

15. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, die Hände liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Hebe das gestreckte linke Bein so hoch wie möglich (Du darfst das linke Knie nicht beugen). Lass auch das Standbein (rechtes Bein) gestreckt. Senke nun das linke Bein, bis Du wieder auf beiden Beinen stehst. Führe diese Bewegung langsam aus.

Mentale Aufgabe: Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

16. Ausgangsposition:

Stehe aufrecht, hüftbreite Fußstellung. Die Arme sind vollständig über dem Kopf ausgestreckt.

Aktion: Beuge Dich langsam im Hüftgelenk nach vorne ab und versuche, mit den Fingerspitzen deine Zehen zu berühren (oder, falls möglich, auch den Boden). Kehre nun in die Ausgangsposition zurück, d. h. aufrechter Stand mit über dem Kopf empor gestreckten Armen.

Mentale Aufgabe: Nimm die Ausgangsstellung ein. Versuche in Deiner Vorstellung zu fühlen, wie Du die Bewegung ausführst (ohne dass Du die Bewegung tatsächlich physisch ausführst)! Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht zu fühlen	leicht zu fühlen	eher leicht zu fühlen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig zu fühlen	schwierig zu fühlen	sehr schwierig zu fühlen

17. Ausgangsposition:

Mach eine Faust mit Deiner nicht-dominanten Hand. Strecke Deinen Arm mit geballter Faust über dem Kopf. Lass den anderen Arm an Deiner Seite.

Aktion: Schwinde den emporgereckten Arm so schnell wie möglich abwärts, sodass auch er seitlich am Körper anliegt. Lass während der Bewegung den Arm gestreckt und die Faust geballt.

Mentale Aufgabe: Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

18. Ausgangsposition:

Stelle Dich vor die Gymnastikmatte, geschlossene Fußstellung. Die Hände liegen seitlich am Körper an.

Aktion: Führe eine Rolle vorwärts auf der Matte aus (Du darfst dabei die Hände benutzen) und beende die Bewegung dann wieder in einer stehenden Position.

Mentale Aufgabe: Nimm wieder die Ausgangsstellung ein (genau wie oben beschrieben). Rufe in Deiner Vorstellung ein möglichst klares und lebhaftes Vorstellungsbild von der Bewegung hervor, die Du gerade ausgeführt hast. Bewerte nun die Leichtigkeit bzw. Schwierigkeit, mit der Du diese mentale Aufgabe ausführen konntest.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sehr leicht vorzustellen	leicht vorzustellen	eher leicht vorzustellen	weder leicht noch schwierig	eher schwierig vorzustellen	schwierig vorzustellen	sehr schwierig vorzustellen

Vielen Dank für Deine Mitarbeit!

Auswertung des Fragebogens

Den Antwortgaben werden folgende numerische Werte zugeordnet:

- sehr leicht vorzustellen – 7
- leicht vorzustellen – 6
- eher leicht vorzustellen – 5
- weder leicht noch schwierig – 4
- eher schwierig vorzustellen – 3
- schwierig vorzustellen – 2
- sehr schwierig vorzustellen – 1

Durch Aufaddieren der den Antwortvorgaben zugeordneten numerischen Werte entsteht ein Score für die beiden Skalen

- bildliche Vorstellung (Items 1, 3, 5, 7, 11, 13, 15, 17, 18) und
- kinästhetische Vorstellung (Items 2, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 16).

Dabei ergeben sich für die beiden Skalen Wertebereiche zwischen 63 (sehr gute bildliche bzw. kinästhetische Bewegungsvorstellungsfähigkeit) und 9 (sehr schlechte bildliche bzw. kinästhetische Bewegungsvorstellungsfähigkeit).

Nähere Angaben zu den Gütekriterien des MIQ finden sich bei Hall et al. (1985), Atienza et al. (1994) und Morris et al. (2005).

Anhang 4: Fear Avoidance Beliefs Questionnaire

Fragebogen für die Beurteilung zur Beurteilung der Angstbedingte Vermeidungshaltung (FABQ-D)

Fear Avoidance Beliefs Questionnaire – Deutsche Version (FABQ-D)

Quelle: Staerkle R, Mannion AF, Elfering A et al. Longitudinal validation of the fear-avoidance beliefs questionnaire (FABQ) in a Swiss-German sample of low back pain patients. *Eur Spine J* 2004; 13:332-40.

Name: _____ Geburtsdatum: _____

Datum: _____

Bitte kreisen Sie für jede Aussage jene Zahl zwischen 0 und 6 ein, die am besten ausdrückt, wie stark körperliche Aktivitäten oder Arbeit Ihre Rückenschmerzen beeinflussen oder beeinflussen würden. 0 bedeutet „vollständig nicht einverstanden“, 3 bedeutet „weiss nicht“, 6 bedeutet „vollständig einverstanden“.

	vollständig nicht einverstanden	weiss nicht	vollständig einverstanden
1. Meine Schmerzen wurden durch eine körperliche Arbeit verursacht.	0	1 2 3	4 5 6
2. Körperliche Aktivität verstärkt meine Schmerzen.	0	1 2 3	4 5 6
3. Körperliche Aktivität könnte meinem Rücken schaden.	0	1 2 3	4 5 6
4. Ich sollte körperliche Aktivitäten vermeiden, die (vielleicht) meine Schmerzen verstärken.	0	1 2 3	4 5 6
5. Ich kann körperliche Aktivitäten nicht ausführen, die (vielleicht) meine Schmerzen verstärken.	0	1 2 3	4 5 6
6. Meine Schmerzen wurden durch meine Arbeit oder einen Unfall bei meiner Arbeit ausgelöst.	0	1 2 3	4 5 6
7. Meine Arbeit verstärkt meine Schmerzen.	0	1 2 3	4 5 6
8. Ich habe wegen meinen Schmerzen einen Anspruch auf Rente.	0	1 2 3	4 5 6
9. Meine Arbeit ist zu anstrengend für mich.	0	1 2 3	4 5 6
10. Meine Arbeit verstärkt meine Schmerzen.	0	1 2 3	4 5 6
11. Meine Arbeit könnte meinem Rücken schaden.	0	1 2 3	4 5 6
12. Ich sollte meine tägliche Arbeit mit meinen jetzigen Schmerzen nicht ausführen.	0	1 2 3	4 5 6
13. Ich kann mit meinen jetzigen Schmerzen meine tägliche Arbeit nicht mehr ausführen.	0	1 2 3	4 5 6
14. Ich kann meine tägliche Arbeit nicht ausführen, bevor meine Schmerzen behandelt werden.	0	1 2 3	4 5 6
15. Ich glaube, dass ich in den nächsten 3 Monaten nicht normal arbeiten gehen kann.	0	1 2 3	4 5 6
16. Ich glaube, dass ich nie wieder normal arbeiten kann.	0	1 2 3	4 5 6

Arbeit; Items 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15 Physische Aktivität; Items 2, 3, 4, 5

Anhang 5: Hospital Anxiety and Depression Scale

Fragebogen für die Beurteilung zur Angst und Depression (HADS-D)

Dieser Fragebogen bezieht sich auf Ihr Befinden innerhalb der vergangenen Woche.

Suchen Sie bitte eine Aussage in der Gruppe heraus, die am besten beschreibt, wie Sie sich in dieser Woche einschließlich heute gefühlt haben! Kreuzen Sie den Kreis der von Ihnen gewählten Aussage an.

- | | | | |
|---|---|----|---|
| 1 | Ich fühle mich angespannt und überreizt | 8 | Ich fühle mich in meinen Aktivitäten gebremst |
| | <input type="radio"/> Meistens | | <input type="radio"/> fast immer |
| | <input type="radio"/> Oft | | <input type="radio"/> sehr oft |
| | <input type="radio"/> von Zeit zu Zeit / gelegentlich | | <input type="radio"/> Manchmal |
| | <input type="radio"/> überhaupt nicht | | <input type="radio"/> überhaupt nicht |
| | | | |
| 2 | Ich kann mich heute noch so freuen wie früher | 9 | Ich habe manchmal ein ängstliches Gefühl in der Magengegend |
| | <input type="radio"/> ganz genau so | | <input type="radio"/> überhaupt nicht |
| | <input type="radio"/> nicht ganz so sehr | | <input type="radio"/> Gelegentlich |
| | <input type="radio"/> nur noch ein wenig | | <input type="radio"/> ziemlich oft |
| | <input type="radio"/> kaum oder gar nicht | | <input type="radio"/> sehr oft |
| | | | |
| 3 | Mich überkommt eine ängstliche Vorahnung, daß etwas Schreckliches passieren könnte | 10 | Ich habe das Interesse an meiner äußeren Erscheinung verloren |
| | <input type="radio"/> ja, sehr stark | | <input type="radio"/> ja, das stimmt genau |
| | <input type="radio"/> ja, aber nicht allzu stark | | <input type="radio"/> ich kümmere mich nicht so darum, wie ich sollte |
| | <input type="radio"/> etwas, aber es macht mir keine Sorgen | | <input type="radio"/> evtl. kümmere ich mich zu wenig darum |
| | <input type="radio"/> überhaupt nicht | | <input type="radio"/> ich kümmere mich so viel darum wie |

5.093 Wörter  mer

4 **Ich kann lachen und die lustigen Dinge sehen** 11 **Ich fühle mich rastlos, muß immer in Bewegung sein**

- ja, so viel wie immer
 - nicht mehr ganz so viel
 - inzwischen viel weniger
 - überhaupt nicht
- ja, tatsächlich sehr
 - ziemlich
 - nicht sehr
 - überhaupt nicht

5 **Mir gehen beunruhigende Gedanken durch den Kopf** 12 **Ich blicke mit Freude in die Zukunft**

- einen Großteil der Zeit
 - verhältnismäßig oft
 - von Zeit zu Zeit, aber nicht allzu oft
 - nur gelegentlich / nie
- ja, sehr
 - eher weniger als früher
 - viel weniger als früher
 - kaum bis gar nicht

6 **Ich fühle mich glücklich** 13 **Mich überkommt plötzlich ein panikartiger Zustand**

- überhaupt nicht
 - Selten
 - Manchmal
 - Meistens
- ja, tatsächlich sehr oft
 - ziemlich oft
 - nicht sehr oft
 - überhaupt nicht

7 **Ich kann behaglich dasitzen und mich entspannen** 14 **Ich kann mich an einem guten Buch, einer Radio- oder Fernsehsendung freuen**

- ja, natürlich
 - gewöhnlich schon
 - nicht oft
 - überhaupt nicht
- Oft
 - Manchmal
 - eher selten
 - sehr selten

5.093 Wörter 

Anhang 6: Instruktionen

Erlernen des mentalen Trainings: Beschreibung und Fotos der Übungen

Ziel: Die Übungen Nummer 1-9 werden zunächst in Form des räumlich-bildhaften Ansatzes (Videoaufnahme) für den Aufbau von Bewegungsvorstellungen angewandt. Das folgende mentale Training kann bis zu achtmal durchlaufen werden.

Interventionshäufigkeit: 25-30 Minuten/ 3 mal pro Woche/

1. Basisbewegung: Flexion-Extension der Lendenwirbelsäule im Liegen

Körperposition:

Der Patient liegt in Rückenlage, die Knie sind mit einer Halbrohle unterlagert. Die untere Lendenwirbelsäule hat keinen maximalen Kontakt zur Unterlage. Spüren Sie an welchen Punkten ihre Wirbelsäule und Ihr restlicher Körper aufliegen.



Basisbewegung:

Kippen Sie zunächst ihr Becken nach vorne, so dass ein Hohlraum zwischen der Unterlage und Ihrem unteren Rücken entsteht. Leiten Sie dabei die Bewegung über das Becken ein, so dass sich am Ende der Bewegung der Hauptdruck am Kreuzbein und dem unteren Brustwirbelsäulenbereich befindet.

Das Spannungsgefühl befindet sich dominant am Ende der Bewegung vorwiegend in dem gebildeten Hohlraum zwischen Lendenwirbelsäule und Unterlage. Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in den Positionen die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie, wie diese danach wieder nachlässt. Führen Sie das Becken wieder in die Ausgangsposition, indem Sie Ihr Becken nach hinten kippen, so dass kein Hohlraum mehr zwischen Unterlage und Lendenwirbelsäule besteht. In der Endposition besteht kein maximaler Kontakt der Lendenwirbelsäule zur Unterlage. Die Hauptspannung befindet sich in der Endposition dominant im unteren Bauchbereich. Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten sie in den Positionen die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie, wie diese danach wieder nachlässt.



Ausführung der Übung:

1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten

2.) 10-mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“.

2. Basisbewegung: Flexion-Extension im Sitz

Körperposition: Im Sitz auf der Liege, Hüftwinkel ca. 90°, Füße haben Bodenkontakt



Basisbewegung:

Setzen Sie sich zunächst aufrecht hin, dass Sie beide Sitzbeinhöcker spüren. Achten Sie dabei darauf, dass sich der Druck unter den Sitzbeinhöckern mittig befindet. Kippen Sie dann ihr Becken nach vorne, dass sich der Druck auf die Sitzbeinhöcker ver-

ringert. Leiten Sie dabei die Bewegung über das Becken ein, so dass am Ende der Bewegung das Spannungsgefühl dominant in der unteren Lendenwirbelsäule zu spüren ist.

Fragen: Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in den Positionen die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie, wie diese danach wieder nachlässt.

Führen Sie das Becken wieder in die Ausgangsposition zurück, so dass sich der Hauptdruck auf den Sitzbeinhöcker befindet. Dazu kippen Sie ihr Becken nach hinten, so dass der Druck auf den Sitzbeinhöcker wieder zunimmt.

Die Hauptspannung befindet sich in der Endposition dominant im unteren Bauchbereich.

Fragen: Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in den Positionen die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie, wie diese danach wieder nachlässt



Ausführung der Übung:

1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten

2.) 10-mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt?

Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung? Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“.

3. Bewegung für die Flexionskontrolle:

Körperposition: Im Sitz auf der Liege, Kniekehlen schließen mit der Unterlage ab, kein Bodenkontakt



Basisbewegung:

Setzen sie sich zunächst aufrecht hin, so dass Sie beide Sitzbeinhöcker spüren. Achten Sie darauf, dass sich der Druck unter den Sitzbeinhöckern mittig befindet. Kippen Sie dann ihr Becken nach vorne, so dass sich der Druck auf die Sitzbeinhöcker verringert. Leiten Sie dabei die Bewegung über das Becken ein, so dass am Ende der Bewegung das Spannungsgefühl dominant in der unteren Lendenwirbelsäule zu spüren ist.

Führen Sie das Becken wieder leicht zurück, dass sich der Hauptdruck wieder zunehmend auf den Sitzbeinhöcker befindet. Allerdings nehmen Sie bitte nicht die Ausgangsposition ein. Kippen Sie ihr Becken nur so weit nach hinten, dass der Druck auf den Sitzbeinhöcker wieder zunimmt. Der Hauptdruck befindet sich dabei immer noch dominant im unteren Rückenbereich und nicht wie in der Ausgangsposition im unteren Bauchbereich. Nennen wir diese Position Mittelposition. Halten Sie nun die Mittelposition und strecken sie dabei Ihr rechtes oder linkes Bein, indem Sie die Fußspitze leicht nach oben ziehen und Ihren Unterschenkel Richtung Decke bewegen. Hierbei befindet sich der Hauptdruck am Schienbein und im Oberschenkel. Halten Sie während der gesamten Streckbewegung des Beins die Lendenwirbelsäule in Mittelposition. Am Ende der Streckbewegung des Beins befindet sich der Hauptdruck in der unteren Lendenwirbelsäule und der Oberschenkelhinterseite, vergleichbar mit einem Dehngefühl. Achten Sie darauf, dass die Oberschenkelhinterseite nicht die Auflagefläche verlässt.

Halten Sie die Mittelposition bei und führen Sie das Bein aus der Streckung zurück indem Sie die Spannung vom Oberschenkel auflösen und Ihren Unterschenkel Richtung Boden bewegen. Die Hauptspannung befindet sich am Ende der Bewegung im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule.



Ausführung der Übung:

1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten

2.) 10-mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass das Bein und der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt werden“.

4. Bewegung für die Flexionskontrolle der Lendenwirbelsäule während einer Kniebeuge

Körperposition: Stand, Fußposition schulterbreit. Der Körperschwerpunkt liegt dabei auf der ganzen Fußsohle. Die Fußspitzen zeigen in die gleiche Richtung wie die Knie und der Blick ist geradeaus gerichtet.



Basisbewegung: Leiten sie die Abwärtsbewegung bei der Kniebeuge mit dem Gesäß ein. Achten Sie bei der Abwärtsbewegung darauf, dass das Gesäß möglichst weit nach hinten geführt wird. Während der Abwärtsbewegung halten Sie bitte die Lendenwirbelsäule in Mittelposition. Achten Sie darauf, dass die Knie nicht über die Fußspitzen ragen.

Der Hauptdruck befindet sich am Ende der Bewegung im Bereich der Oberschenkel und dem Gesäß. Zudem ist ein Spannungs- und Streckgefühl in der unteren Lendenwirbelsäule zu spüren. Leiten Sie die Aufwärtsbewegung der Kniebeuge mit dem Kopf nach oben ein. Achten Sie während der gesamten Aufwärtsbewegung darauf, dass der untere Rücken in der Mittelposition gespannt bleibt. Am Ende der Aufwärtsbewegung nimmt die Spannung wieder ab.



Ausführung der Übung:

- 1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten
- 2.) 10-mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch:

Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass die Knie räumlich gebeugt sind sowie der Rücken räumlich in der Mittelposition gestreckt ist“.

5. Bewegung für die Flexionskontrolle im Vierfüßlerstand

Körperposition: Beide Handflächen, beide Knie und beide Fußrücken haben Kontakt zum Boden. Die Hände stehen unter den Schultergelenken. Die Finger liegen locker nach vorne gestreckt auf, die Ellenbogen sind so weit gebeugt, dass der Rumpf parallel zum Boden steht. Bei den Schultergelenken besteht zwischen den Armen und dem Rumpf ein rechter Winkel. Die Schulterblätter positionieren sich Richtung Wirbelsäule.

Die Fußrücken liegen auf dem Boden. Die Knie stehen unter den Hüftgelenken. Die Knie und Hüftgelenke sind 90° gebeugt. Die Lendenwirbelsäule befindet sich in der Mittelposition und der Kopf wird in Verlängerung der Wirbelsäule gehalten.



Basisbewegung:

Führen Sie das Becken im Vierfüßlerstand in die Mittelposition indem Sie das Becken nach hinten bzw. das Kreuzbein Richtung Decke führen. Halten Sie diese Position zunächst. Die Hauptspannung befindet sich im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule beidseits. Zudem führt die gedanklich eingenommene Position zu einer Spannung der unteren Bauchmuskeln. Leiten Sie nun die Abwärtsbewegung des Gesäßes ein, indem sie das Gesäß Richtung Fersen führen. Die Spannung äußert sich während der Abwärtsbewegung in Form eines Streckgefühls des unteren Rückens, einer zunehmenden Spannung der Oberschenkelmuskulatur sowie der Zunahme der Bauchmuskelspannung. Sie sollten während des gesamten Bewegungsablaufes die Kontrolle der unteren Lendenwirbelsäule in Form der Mittelposition beibehalten. Bleiben Sie für einige Sekunden in dieser Position und nehmen Sie die Spannung wahr.

Daraufhin erfolgt die Aufwärtsbewegung, in dem Sie den Abstand des Gesäßes von den Fersen vergrößern bis Sie den Vierfüßlerstand, welcher die Ausgangsposition darstellt, wieder eingenommen haben.

Bleiben Sie für einige Sekunden auch in dieser Position, nehmen Sie die Spannung wahr und korrigieren Sie die Mittelposition der unteren Lendenwirbelsäule.



6. Bewegung für die Extensionskontrolle der Lendenwirbelsäule

Körperposition: Stand, so dass der Rücken Kontakt zur Wand hat, Kopf hält Kontakt zur Wand, Fußposition schulterbreit und ca. 20-30cm von der Wand entfernt. Die Fußspitzen zeigen in die gleiche Richtung wie die Knie und der Blick ist geradeaus gerichtet.



Basisbewegung:

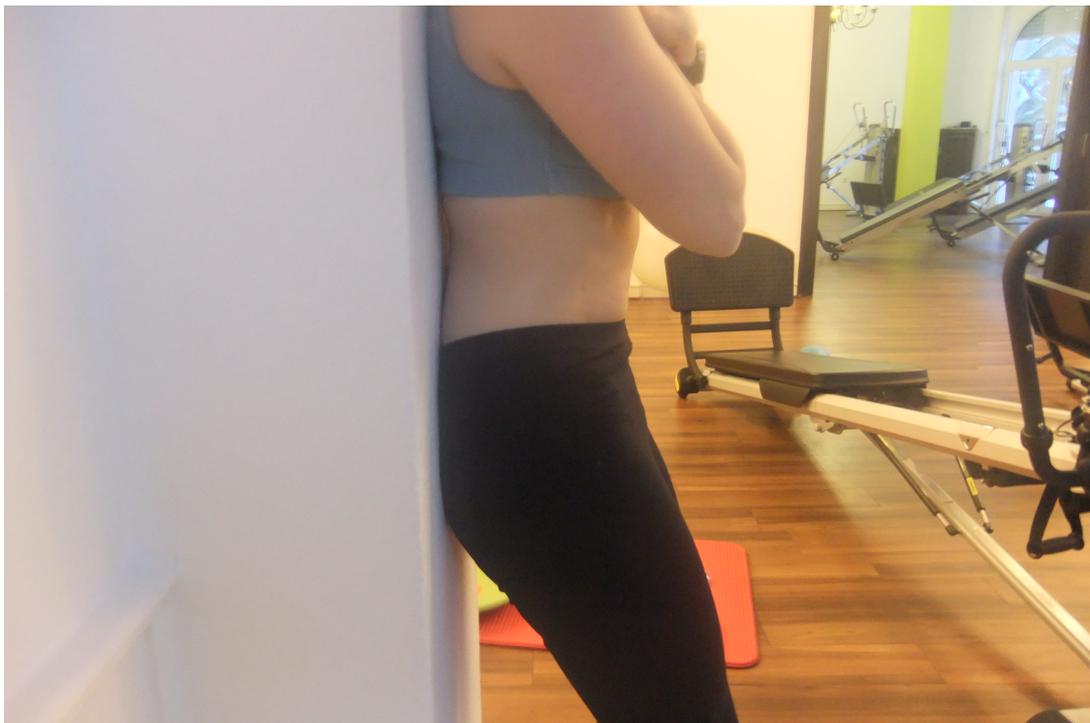
Führen Sie das Becken in Richtung Wand, indem Sie ihr Becken nach hinten kippen, so dass kein Hohlraum mehr zwischen Wand und Lendenwirbelsäule besteht. In der Endposition besteht kein maximaler Kontakt zwischen Lendenwirbelsäule und Wand. Halten Sie ihren Oberkörper in aufrechter Position. Die Hauptspannung befindet sich in der Endposition dominant im unteren Bauchbereich und in der Hüftbeuge. Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in der Position die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie, wie diese dann wieder nachlässt. Lösen Sie die Bewegung des Beckens wieder langsam auf, in dem Sie Ihr Becken nach vorne in die Ausgangsposition zurück kippen.

Ausführung der Übung:

1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten

2.) 10-mal Mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte denken Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“



Ausführung der Übung:

1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten

2.) 10 mal Mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch:

Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“

7. Bewegung für die Extensionskontrolle der Lendenwirbelsäule

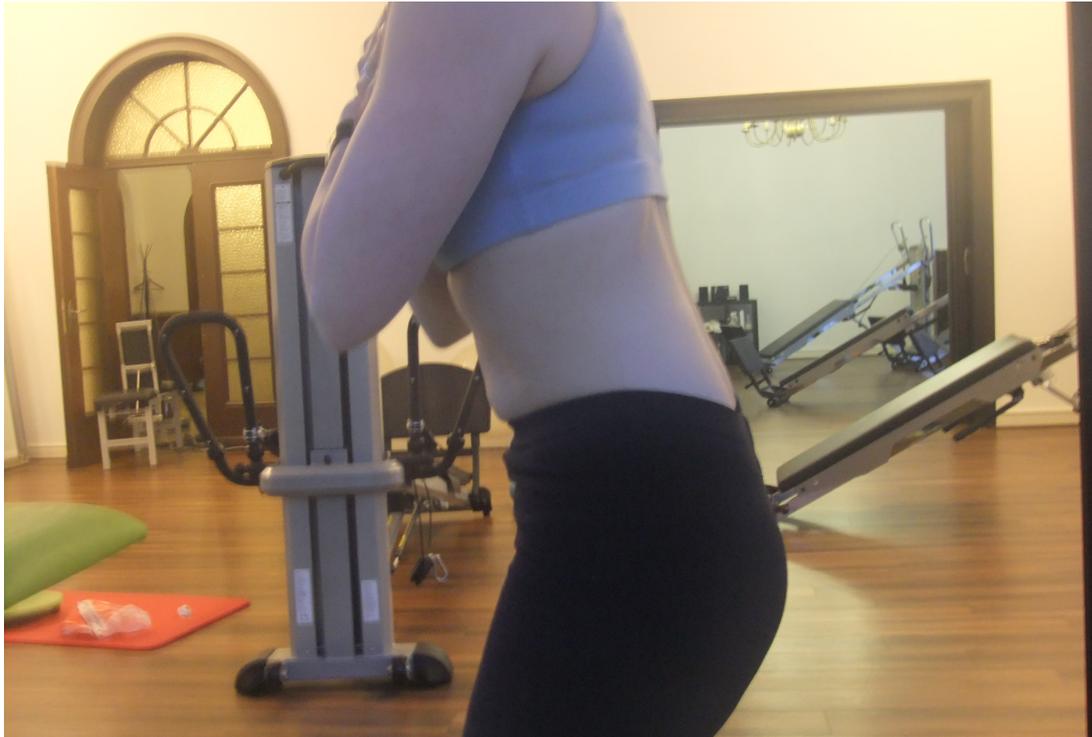
Körperposition: Stand, Fußposition schulterbreit, der Körperschwerpunkt liegt dabei auf der ganzen Fußsohle. Die Fußspitzen zeigen in die gleiche Richtung wie die Knie und der Blick ist geradeaus gerichtet.



Basisbewegung:

Kippen Sie das Becken nach hinten. Die Hüftbeuger sollten dabei nicht gebeugt werden. Halten Sie Ihren Oberkörper dabei in aufrechter Position, so dass die Blickrichtung geradeaus ist. Die Hauptspannung befindet sich in der Endposition dominant im unteren Bauchbereich und in der Hüftbeuge.

Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in der Position die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren Sie danach, wie diese wieder nachlässt. Lösen Sie die Bewegung des Beckens wieder langsam auf, indem Sie ihr Becken nach vorne in die Ausgangsposition zurück kippen.



Ausführung der Übung:

- 1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten
- 2.) 10-mal Mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung?

Bitte denken Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“

8. Bewegung für die Rotationskontrolle

Körperposition: Seitenlage, Kopf liegt in Verlängerung der Wirbelsäule in neutraler Position, Beckenkamm zeigt Richtung Decke, Hüfte ca. 45° gebeugt, Knie 90-95° gebeugt.

Basisbewegung: Stellen Sie ihre Lendenwirbelsäule in der Mittelposition ein, indem Sie ihr Becken leicht nach hinten bewegen. Die Hauptspannung befindet sich dabei im Bereich des unteren Rückens. Spreizen Sie nun das oben liegende Bein durch Verlassen des oben liegenden Knies in angewinkelter Position Richtung Decke ab. Dabei ist wichtig, dass der Fuß den Kontakt mit der Ferse beibehält. Halten Sie die Lendenwirbelsäule während des gesamten Bewegungsablaufs stabil, indem der Beckenkamm in einer gedachten vertikalen Richtung zur Decke positioniert wird. Die Hauptspannung befindet sich beim Bewegungsablauf im seitlichen Gesäßbereich, in der unteren Lendenwirbelsäule und der Steißbeingegend. Am Ende der Bewegung halten Sie die Endposition für 2-3 Sekunden und gehen anschließend wieder in die Ausgangsposition zurück. Dabei führen Sie das abgespreizte Bein wieder langsam Richtung unten liegendem Bein. Am Ende der Bewegung haben beide Knieinnenseiten wieder Kontakt.

Wie fühlt sich die Lendenwirbelsäule an? Wie fühlen sich die anderen Körperteile an? Wie fühlt sich das Bewegungsende an? Beobachten Sie in der Position die Spannung in der unteren Lendenwirbelsäule und spüren sie danach, wie diese wieder nachlässt. Lösen Sie die Bewegung des Beckens wieder langsam auf, indem Sie Ihr Becken nach vorne in die Ausgangsposition zurück kippen.



Ausführung der Übung:

- 1.) Aufbau von Bewegungsvorstellung anhand einer Videoaufnahme 2 Minuten
- 2.) 10-mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen. Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung? Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“

9. Alltagsbewegung

Entscheiden Sie sich für eine Bewegung aus Ihrem Alltag, die sie häufig ausführen. Diese könnte z.B. das Bücken, vom Stuhl Aufstehen, Bügeln, sportliche Betätigungen etc. sein. Nehmen Sie wie in den vorherigen Basisübungen auch während der mentalen Bewegungsvorstellung die neutrale Position der Lendenwirbelsäule ein.

Ausführung der Übung:

- 1.) 8 mal mental → Schließen Sie bitte dabei die Augen. Sprechen Sie Ihre individuelle Bewegungsanweisung mit. Versuchen Sie die Innenperspektive einzunehmen.

Gehen Sie dabei in Gedanken folgende Fragen durch: Haben Sie sich von außen gesehen oder haben Sie die Bewegung ihres Körpers gespürt? Hatten Sie eine klare und lebendige Vorstellung? Bitte beachten Sie, dass bei der Bewegungsvorstellung das Gefühl des Bewegungsendes, also die Spannung wichtig ist und nicht die Vorstellung, dass der Rücken räumlich gestreckt und gebeugt wird“

Anhang 7: Einverständniserklärung

Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich mich einverstanden vom Forschungszentrum für Bewegungswissenschaft an der Bergischen Universität Wuppertal in Form der mentalen Chronometrie untersucht zu werden.

Mit der Speicherung der erhobenen Daten und der anschließenden anonymen, wissenschaftlichen Auswertung bin ich einverstanden.

Die Teilnahme am Test erfolgt auf eigenes Risiko.

Mit dem Ablauf der Untersuchung bin ich einverstanden.

(Ort, Datum)

(Unterschrift Patient/-in, Proband-/in)

(Ort, Datum)

(Unterschrift des/r Untersucher/in)