

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Aus dem Institut für Sport- und Bewegungsmedizin
des Zentrums für Bewegungswissenschaften
der Universität Hamburg

Direktor: Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann

AUSWIRKUNG EINER 4-WÖCHIGEN MANUALTHERAPEUTISCHEN BEHANDLUNG DER BRUSTWIRBELSÄULE AUF RELEVANTE HALTUNGSPARAMETER BEI KLINISCH UNAUFFÄLLIGEN PROBANDEN

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft der Universität
Hamburg

vorgelegt von
Sebastian Burger
aus Hamburg

Düsseldorf 2015

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 23.03.2016**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. med. K.-M. Braumann

Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter: Prof. Dr. med. R. Stücker

Inhaltsverzeichnis

1.	ARBEITSHYPOTHESE UND FRAGESTELLUNG.....	6
1.1.	Arbeitshypothese	6
1.2.	Fragestellung.....	6
2.	Einleitung.....	7
2.1.	Körperhaltung.....	7
2.1.1.	Einführung in die Thematik.....	7
2.1.2.	Definition der Körperhaltung.....	7
2.1.3.	Objektivierung von Körperhaltung	9
2.1.4.	Auswirkung von pathologischer Körperhaltung.....	11
2.1.5.	Effizienz von konservativen Therapien zur Beeinflussung der Körperhaltung.....	12
2.2.	Optische Messverfahren.....	14
2.2.1.	Einführung in die Thematik.....	14
2.2.2.	Entwicklung nicht invasiver Messverfahren	15
2.2.3.	Videorasterstereographie (VRS).....	16
2.3.	Manuelle Medizin	19
2.3.1.	Einführung in die Thematik.....	19
2.3.2.	Definition der segmentalen Dysfunktion	20
2.3.3.	Pathomechanismus der segmentalen Dysfunktion.....	21
2.3.4.	Wirkungsweise der manuellen Medizin	22
2.3.5.	Wirksamkeit der manuellen Medizin	25
2.4.	Ziel der Studie	27
3.	MATERIAL UND METHODEN.....	27
3.1.	Studiendesign.....	27
3.1.1.	Probanden.....	27
3.1.2.	Einschlusskriterien.....	28
3.1.3.	Ausschlusskriterien.....	28
3.1.4.	Gruppeneinteilung	28

3.1.5.	Ablauf der Studie	29
3.2.	Zeitliche Planung	30
3.2.1.	Erster Termin (Voruntersuchung).....	30
3.2.2.	Behandlungs- und Untersuchungstermine	30
3.2.3.	Letzter Termin (Abschlussuntersuchung)	31
3.2.4.	Einbestellung der Probanden	31
3.3.	Vor- und Abschlussuntersuchung	31
3.3.1.	Anamnese	31
3.4.	Behandlung	32
3.4.1.	Identifikation und Dokumentation der Befunde.....	32
3.4.2.	Aufbau der manualtherapeutischen Behandlung.....	32
3.5.	Messung.....	36
3.5.1.	Videorasterstereographie (Formetric-System).....	36
3.5.1.1.	Einführung.....	36
3.5.1.2.	Funktionselemente	36
3.5.1.3.	Messprinzip	37
3.5.1.4.	Messmethodik	38
3.5.2.	Messbedingungen	38
3.5.3.	Patientenpositionierung	39
3.5.4.	Körperhaltung.....	40
3.5.5.	Messebenen.....	41
3.5.6.	Messparameter	41
3.6.	Statistische Auswertung	43
4.	ERGEBNISSE	43
4.1.	Stichprobengröße	43
4.2.	Stichprobencharakteristika	44
4.3.	Forschungsfragen	45
4.3.1.	Forschungsfrage 1	46
4.3.2.	Forschungsfrage 2	49
4.3.3.	Forschungsfrage 3	52
4.3.4.	Forschungsfrage 4	54

4.3.5.	Forschungsfrage 5	56
4.3.6.	Forschungsfrage 6	58
4.3.7.	Forschungsfrage 7	59
4.3.8.	Forschungsfrage 8	61
4.3.9.	Forschungsfrage 9	64
4.3.10.	Forschungsfrage 10.....	65
4.3.11.	Forschungsfrage 11	66
4.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	69
5.	DISKUSSION	71
5.1.	Diskussion der Methodik	71
5.1.1.	Manualtherapeutische Behandlung	71
5.1.2.	Probandenkollektiv	72
5.1.3.	Zusammenstellung der Probandengruppen	72
5.1.4.	Festlegung des Untersuchungszeitraums	73
5.1.5.	Wahl des Messverfahrens und Einfluss der Körperhaltung	73
5.2.	Diskussion der Ergebnisse	74
6.	ZUSAMMENFASSUNG	85
7.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	86
8.	LITERATURVERZEICHNIS	87
9.	ANHANG	101
9.1.	Danksagung	101
9.2.	Lebenslauf.....	101
9.3.	Publikationen.....	102
10.	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	102

1. Arbeitshypothese und Fragestellung

1.1. Arbeitshypothese

Im Rahmen dieser klinischen Studie sollte gezeigt werden, dass sich durch eine vierwöchige manualtherapeutische Behandlung der Brustwirbelsäule messbare Veränderungen ausgewählter Wirbelsäulenparameter im Sinne einer veränderten Mobilität und Aufrichtung der Wirbelsäule bei klinisch asymptomatischen Probanden aufzeigen lassen.

1.2. Fragestellung

Zur Klärung des in der Arbeitshypothese postulierten Effektes einer manualtherapeutischen Behandlung sollte im Speziellen auf folgende Fragestellungen eingegangen werden:

- Kann eine messbare Veränderung ausgewählter Wirbelsäulenparameter nach einer manualtherapeutischen Behandlung detektiert werden?
- Können Veränderungen im Vergleich der Haltungsvarianten „habituell“ und „korrigiert“ gemessen werden?
- Besteht eine Korrelation zwischen Frequenz (Häufigkeit) der Behandlung und Ausmaß des Effektes?
- Wie nachhaltig sind eingetretene Effekte?
- Ist ein Effekt auch in der Nachbeobachtungsphase zu erkennen?
- Zeigen sich Effekte in Wirbelsäulenabschnitten außerhalb des Behandlungsareals?

2. Einleitung

2.1. Körperhaltung

2.1.1. Einführung in die Thematik

„Es gibt keinen Normwert in der Beschreibung des Bewegungsapparates der so stark diskutiert wird wie die Haltung“ (Wydra, 2004).

Zwangsläufig ergibt sich dabei die Frage nach einer allgemeingültigen Definition für eine „normale“ Körperhaltung.

Das Interesse der Medizin in dieser Frage besteht darin, die Körperhaltung in Bezug auf die Entwicklung von pathologischen Veränderungen und Zuständen wie insbesondere dem großen Formenkreis der Rückenschmerzen kategorisieren und einteilen zu können.

Im Hinblick darauf muss einerseits geklärt werden, welche Optionen bestehen, mittels standardisierter Messverfahren die Körperhaltung zu objektivieren und andererseits welche Therapiemöglichkeiten existieren, um Pathologien effektiv vorzubeugen, beziehungsweise diese zu therapieren.

2.1.2. Definition von Körperhaltung

Bei einer chronologischen Suche nach einer Kategorisierung der Körperhaltung trifft man unvermeidlich auf die Einteilung nach Staffel. Es ist die älteste, auch heute noch in Lehrbüchern anzutreffende, Einteilung der Rückenformen. Staffel klassifizierte fünf verschiedene Haltungstypen (Staffel, 1889).

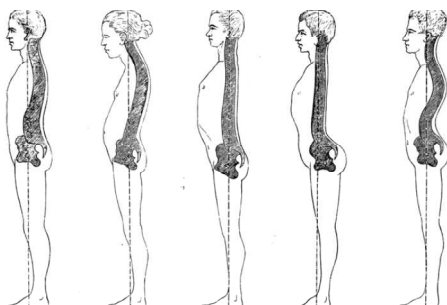


Abb. 1: Die Haltungstypen nach Staffel. Von links: Normaltypus, runder Rücken, flacher und flachhohler Rücken, hohler Rücken und hohlrunder Rücken (Staffel, 1889)

Er nahm dabei in erster Linie eine Einteilung nach ästhetischen und nicht pathophysiologischen Kriterien vor (Staffel, 1889). Dieses Modell wird in der Orthopädie zur Beurteilung der Körperhaltung auch heute noch eingesetzt und basiert auf der subjektiven Begutachtung der Wirbelsäule in der Sagittalebene. Sie liefert jedoch nur Informationen im Sinne einer mechanisch-statischen Momentaufnahme ohne Berücksichtigung der interindividuellen Varianz (Schmidt, 1999; Ludwig und Schmitt, 2006).

Angesichts dieser Problematik wird deutlich, dass es bei der Beschreibung des Wirbelsäulenprofils adäquat erscheint, zwischen „*Form der Wirbelsäule*“ und „*Körperhaltung*“ zu differenzieren (Weber und Salman, 2007). Der grundlegende Unterschied besteht dabei in der Erfassung der dynamischen Dimension durch den Begriff Körperhaltung, die eine Momentaufnahme aus vielen Bewegungsabläufen ist (König, 1999, Ludwig und Schmitt, 2003). Rosemeyer unterscheidet, mittels des Status der Muskelaktivität, zusätzlich zwischen Ruhehaltung, habitueller Körperhaltung und aufgerichteter Körperhaltung (Rosemeyer, 1974).

Im Hinblick auf eine allgemeingültige Definition des Begriffes der „normalen“ Körperhaltung scheint es deshalb sinnvoll, Norm- und Grenzwerten festzulegen, die eine Prognose bezüglich der Entwicklung von Pathologien aufzeigen können (Wydra, 2004).

Es ist jedoch zu bedenken, dass Grenzwerte per se keinesfalls Pathologien darstellen, sondern lediglich eine Abweichung von der Norm sind (Ludwig et al., 2003; Lederman, 2010).

Weber vertritt die Ansicht, dass sowohl eine Definition der Normalform als auch der Normalhaltung aufgrund der erheblichen interindividuelle Unterschieden nicht vorgenommen werden kann (Weber und Salman, 2007).

Die Gründe dafür sind mannigfaltig und beruhen auf der Wechselwirkung einer Vielzahl von statischen und dynamischen Einflussfaktoren, die sich zu einem persönlichen Haltungsmuster zusammenfassen lassen (Wagenhäuser, 1973).

Hierzu zählen genetische-dispositionelle Faktoren, erworbene Faktoren, Funktionszustand des Bewegungsapparates sowie die biopsychosoziale Verfassung des Individuums (Wagenhäuser, 1973; Edmondston und Singer,

1997; König, 1999; Ludwig et al., 2003; Wydra, 2004; Hepp und Debrunner, 2004; Pfingsten, 2005; Weber und Salman, 2007; Briggs et al., 2009, Hoy et al., 2010 und 2011; Seah et al., 2011).

Zusammenfassend lässt sich also resümieren, dass die Körperhaltung große individuelle Unterschiede aufweist, einer großen Anzahl subjektiver Einflüsse unterliegt und sich aufgrund ihrer Dynamik schwer definieren lässt.

(Wagenhäuser, 1973; Edmondston und Singer, 1997; Schmidt, 1999; König, 1999; Ludwig et al., 2003; Wydra 2004; Hepp und Debrunner, 2004; Ludwig und Schmitt, 2006; Weber und Salman, 2007; Briggs et al., 2009; Hoy et al., 2010 und 2011; Seah et al., 2011).

2.1.3. Objektivierung der Körperhaltung

Erwiesenermaßen treten in der Medizin bei unterschiedlichen Erkrankungen messbare strukturelle Schäden an verschiedenen Strukturen auf, noch bevor der Patient über Beschwerden klagt.

Daher haben auch im Bereich der Orthopädie immer wieder Autoren versucht, mittels verschiedener Verfahren die Körperhaltung zu objektivieren und so eine prognostische Beurteilung im Hinblick auf die Prävention von Wirbelsäulenerkrankungen zu ermöglichen (Fröhner, 1997 und 1998; Mahlkecht, 2002; Ludwig et al., 2003).

Dabei orientieren sich die meisten dieser rein qualitativen Verfahren lediglich an der staffelschen Einteilung der Rückenformen (Mahlkecht, 2002).

In einer Arbeit zur Objektivierung der Haltung und Beweglichkeit des Rumpfes bei Kindern- und Jugendlichen versuchte Fröhner erstmals anhand eines Haltungsindex (HI) die Körperhaltung mittels quantitativer Merkmale zu erfassen. Über ein videographisches Verfahren wird die Position von vier Körpersegmenten (Sternum, Stelle stärkster Brustkyphose und Lendenlordose und die prominente Bauchposition) aufgenommen und die gemessenen Werte in Relation zur Knöchellotlinie beurteilt.

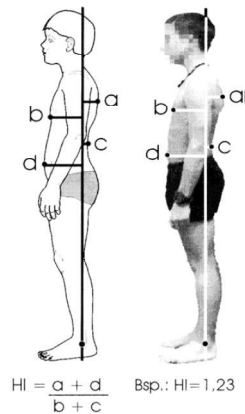


Abb. 2: Berechnung des Haltungsindex nach Fröhner (Ludwig, 2003)

Je nach Haltungsindex wird zwischen einer harmonischen, schwachen und schlechten Haltung unterschieden (Fröhner, 1998).

Unter Berücksichtigung dieser Haltungsindizes zeigten Ludwig, Mazet und Schmitt, dass durch dieses Modell zwar das Problem der objektiven Beschreibung der Körperhaltung wesentlich besser gelöst wird, jedoch übten sie Kritik an der Normierung nach Fröhner und wiesen auf das weiter ungelöste Problem der optimalen Körperhaltung hin (Ludwig, 2003).

Ein weiteres 2002 von Mahlknecht vorgestelltes Verfahren zur quantitativen Beurteilung der Körperhaltung ist das sogenannte Kyphose- Inklinations- Lordose-Schema (KIL- Schema). Wie das Verfahren von Fröhner beruht auch dieses auf der Positionsanalyse einzelner Körpersegmente mittels videographischer Bilddokumentation im Sagittalprofil. Zur Haltungsbeurteilung werden drei Parameter herangezogen: Der Kyphose-Index, die Inklination und die Lordose.

Sie erlauben in Kombination die Beschreibung der verschiedenen Wirbelsäulen beziehungsweise Rückenformen. Die Beurteilung erfolgt dabei in fünf Stufen von I = optimal bis V = auffällig.

Doch auch hier zeigt sich am Beispiel der Beurteilung der Kyphose, dass aufgrund von unterschiedlichen Bezugspunkten und veränderter Haltungspositionen der Probanden ein Vergleich mit anderen Untersuchungsmethoden nur indirekt möglich ist (Hierholzer, 1993; Weiss et al., 1998; Mahlknecht, 2002; Drerup et al., 2001; Schröder und Braumann, 2006).

Darüber hinaus zeigen die vorgestellten Messverfahren Schwächen technischer Art (Mahlknecht, 2002; Ludwig et al., 2003), was sich im Falle des KIL-Schemas bei unterschiedlichen Prüfmethoden in einer geringeren Präzision beim Vermessen der Lordose gegenüber der Kyphose (Willner und Johnson, 1983; Nissinen, 1995; Leroux et al., 2000) äußert, und haben ein eingeschränktes Untersuchungsspektrum beziehungsweise Patientenkollektiv (Mahlknecht, 2002).

Neuere technische Verfahren zur Beurteilung der Wirbelsäulenform und der Körperhaltung basieren auf dem Prinzip der Oberflächenvermessung (Asamoah et al., 2000). Sie sind in der Lage, ein Wirbelsäulenmodell aus den gewonnenen Oberflächendaten dreidimensional zu rekonstruieren (Diers, 2006). Die von Drerup und Hierholzer entwickelte Videorasterstereographie (VRS) ist zurzeit der „Goldstandard“ der nicht invasiven Wirbelsäulenvermessung (Thorwesten et al., 2007). Im Unterpunkt 2.2 der Einleitung wird ausführlich zu dieser Messtechnik Stellung bezogen. Abschließend kann man sagen, dass die Messung der Körperhaltung aufgrund ihrer Dynamik schwer zu realisieren ist. Drerup schlägt aufgrund dieser Dynamik vor, die Veränderung der Körperhaltung, das heißt den Wechsel der verschiedenen Haltungsformen (Rosemeyer, 1974), und nicht die Normhaltung an sich zu messen und daraus Rückschlüsse zu ziehen (Drerup et al., 2001).

2.1.4. Auswirkungen von pathologischer Körperhaltung

Die Theorie, dass die Form der Wirbelsäule und die Körperhaltung bei der Ausbildung von Pathologien eine Rolle spielen, wird regelhaft in der Literatur beschrieben (Bakker et al., 2007; Briggs et al., 2009, Cheung et al., 2010; Roussouly und Nnadi, 2010; Hoy et al., 2010 und 2011).

In der klinischen Praxis sind die häufigsten Fälle von Fehllhaltung auf kyphotische Deformitäten zurückzuführen, gefolgt von entzündlichen, degenerativen und posttraumatischen Störungen (Roussouly und Nnadi, 2010). Diese kyphotischen Deformierungen haben über lange Sicht biomechanische Konsequenzen, da es durch Verlagerung des Körperschwerpunktes zu einer Vergrößerung des Hebelarms kommt (Rohlmann et al., 2001). Die dauerhafte

mechanische Belastung kann über asymmetrische Abnutzung der Bandscheiben (Videman et al., 1990; Adams et al., 2000) und der Facettengelenke (Kirkaldy-Willis et al., 1978; Kirkaldy-Willis und Farfan, 1982; Haig, 2002) sowie der Degeneration der paraspinalen Muskulatur (Haig, 2002) zur Entwicklung von akuten (Bakker et al., 2007) und chronischen Rückenschmerzen führen (Weber und Salman, 2007; Cheung et al., 2010).

Problematischer gestaltet sich der nachweisliche Zusammenhang einer Fehlhaltung mit den auftretenden Wirbelsäulenbeschwerden von Patienten. Dies untermauert eine Studie von Schröder (Schröder et al., 2010). Es konnten zwar signifikante Unterschiede der Wirbelsäulenform bei Patienten mit Rückenbeschwerden und beschwerdefreien Personen detektiert werden, jedoch zeigten sich nur vereinzelt Hinweise auf eine Korrelation der Fehlhaltungen mit diesen Beschwerden (Schröder et al., 2010). Dies lässt sich auch gut mit den Beobachtungen von White und Gordon in Einklang bringen, die bereits 1982 in einer Studie festgestellt hatten, dass etwa 80 % der Rückenbeschwerden als unspezifisch einzustufen sind (White und Gordon, 1982).

Dieser gesamten Diskussion widerspricht Lederman, der keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Abweichungen von der biomechanisch optimalen Körperhaltung und dem Auftreten von Rückenschmerzen sieht.

Seiner Meinung nach bestehen einerseits enorme Kapazitäten des Körpers, solche Abweichungen von der Norm zu kompensieren, andererseits können auch nachgewiesene Pathologien ohne Einbußen der Funktion oder Ausbildung von Symptomen einhergehen (Lederman, 2010).

2.1.5. Effizienz von konservativen Therapien zur Beeinflussung der Körperhaltung

In der aktuellen Literatur werden diverse komplementäre und alternative Therapiekonzepte (CAM) beschrieben und deren Wirksamkeit kontrovers diskutiert (Cherkin et al., 2003; Rainville et al., 2009; Furlan et al., 2012). Hierzu zählen in erster Linie Akupunktur, Manipulation, Mobilisation, physikalische Therapie inklusive Massage sowie die medizinische Trainingstherapie.

Bei der Frage nach der Praktikabilität konservativer Therapieformen muss in diesem Kontext auf die, schon besprochene Unterscheidung zwischen „*Fehlform*“ und „*Fehlhaltung*“ eingegangen werden. Während die individuelle, genetische Wirbelsäulen-Form genauso wie strukturelle Fehlformen mehr oder weniger irreversibel sind und einem fixierten Endzustand entsprechen (Weber und Salman, 2007), kann die Fehlhaltung aktiv und passiv korrigiert werden (Hepp und Debrunner, 2004). Die Konsequenz ist, dass sich erst genannte Ausprägungen nicht dauerhaft verändern lassen und deshalb den konservativen Therapiemaßnahmen nur sehr geringfügige Erfolgsaussichten zugesprochen werden (Weber und Salman, 2007).

Vergleichende Studien zur Frage der Evidenz und Effektivität der oben genannten konservativen Therapieregime bei Patienten mit akutem und chronischem Rückenschmerz lieferten hingegen inhomogene Resultate.

Die neueste zu diesem Thema veröffentlichte Studie von Furlan et. al. 2012 hatte zum Ziel, die gängigsten konservativen Therapiemaßnahmen (Akupunktur, Manipulation, Mobilisation und Massage) bei Patienten (18 Jahre und älter) mit Halswirbel- oder Lendenwirbelsäulenschmerzen im Hinblick auf ihre Effektivität zu überprüfen. Die dabei eingeschlossenen Studien wurden aus großen elektronischen Datenbanken extrahiert und zwischen 1978 und 2009 publiziert. Der Focus dieses Berichts liegt, wie in den zuvor präsentierten Studien, auf Veränderungen des Schmerzniveaus und der körperlichen Aktivität. Zu diesem Zweck erfolgte ein Vergleich der oben genannten Maßnahmen mit anderen Therapieformen (Placebo, Schmerzmittel, physikalische Therapie inklusive Trainingstherapie und Elektrotherapie).

Die Autoren fassen zusammen, dass die Effizienz der untersuchten konservativen Therapien im Vergleich zu keiner Therapie oder Placebo größer ist, gleichwohl nur eine sofortige oder kurzzeitige (< 3 Monate) Wirkung eintritt. Die dabei erzielten Effekte sind allerdings auf die Verminderung der Schmerzen limitiert. In Bezug auf die Aktivitätseinschränkung lässt sich keine Verbesserung nachweisen.

Die Vergleiche mit aktiven Behandlungen (physikalischer Therapie, körperliche Schonung, rückenstabilisierende Übungen, Schmerzmedikamente) lieferten

hingegen uneinheitliche Ergebnisse und zeigen keinen eindeutigen Vorteil zu Gunsten einer Therapieform (Furlan et al., 2012).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die in der Literatur zu findenden Aussagen bezüglich der Wirksamkeit der zahlreichen konservativen Therapien widersprüchlich darstellen und ihre exakte Wirkungsweise damit weiterhin unklar bleibt (Cherkin et al., 2003; Rainville et al., 2009; Furlan et al., 2012).

In diesem Kontext verweisen die Autoren insbesondere auf die Diskrepanzen im Studiendesign (Ein- und Ausschlusskriterien der Patienten; klinische Untersuchungsverfahren, Erfahrung des Therapeuten; Technik, Intensität und Frequenz der Behandlung; sowie Vergleichsstandards) und fordern deshalb weitere Studien zur Überprüfung der Evidenz (Cherkin et al., 2003; Furlan et al., 2012).

2.2. Optische Messverfahren

2.2.1. Einführung in die Thematik

Der Früherkennung von potentiellen Pathologien der Wirbelsäule kommt in der modernen Orthopädie eine immer zentralere Bedeutung zu. Im Vordergrund steht dabei die Diagnostik von funktionellen Fehlhaltungen und strukturellen Fehlformen (Harzmann, 2001; Weiss und Elobeidi, 2008).

Die Einschätzung und Verlaufsbeurteilung von Skoliosen und anderen Deformitäten der Wirbelsäule erfolgt traditionell neben der körperlichen Untersuchung durch Röntgenaufnahmen (Nachemson et al., 1982; Denton et al., 1992; Hierholzer 1993). Die nativradiologische Darstellung der Wirbelsäule in Form von Wirbelsäulenganzaufnahmen in zwei Ebenen im Stehen stellt dabei weiterhin ein unverzichtbares Instrument dar (Lilijenqvist et al., 1998). Großer Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch die Strahlenbelastung, welche bei Patientengruppen mit Wirbelsäulendeformitäten relativ hoch ist. Verschiedene Autoren zeigten, dass dieses Patientenkollektiv einem deutlich erhöhten karzinogenem Risiko gegenüber der normalen Bevölkerung ausgesetzt ist (Nash et al., 1979; Rao und Gregg, 1984; Hoffmann et al., 1989). Hiervon waren in der Vergangenheit, insbesondere im Rahmen der Skoliosediagnostik,

jugendliche Patienten betroffen. In Folge der Ausnahmestellung der Röntgendiagnostik und fehlender Alternativen zur optischen Darstellung der Wirbelsäule kam es bei diesen Patienten zu mehrjährigen im drei bis sechs Monatsrhythmus durchgeführten radiologischen Kontrolluntersuchungen (Rao und Gregg, 1984; Giehl und Bernau, 1994).

Ein weiterer Kritikpunkt ergab sich aus dem radiologischen Untersuchungsgang der Wirbelsäule. Die Vermessung von nur zwei Ebenen führe dabei zu einer nicht exakten Darstellung und würde dem dreidimensionalen Charakter der Rückenform nicht gerecht (Weiss et al., 1998; Asamoah et al., 2000).

Dies hat zur Folge, dass die Wirbelsäule nicht in der gesamten Ausprägung ihrer Krümmungsmerkmale zur Darstellung gebracht wird, was wiederum potenziell zu Fehlern und irreführenden Ergebnissen führen kann (Olin et al., 1976; Harrison et al., 1996). Einige Parameter sind deshalb nur sehr eingeschränkt beurteilbar (Drerup et al., 1983).

2.2.2. Entwicklung nicht invasiver Messverfahren

Zur exakten Visualisierung des dreidimensionalen Charakters der Wirbelsäule, sowie zur Reduktion der Strahlenbelastung wurden eine Reihe von Oberflächenmessverfahren entwickelt (Liljenqvist et al., 1998; Weiss et al., 1998; Asamoah et al., 2000).

Allen Verfahren gemeinsam ist, dass sie auf nicht invasive Art eine Oberflächenanalyse des Rückenprofils vornehmen und daraus die Verkrümmung und Torsion der Wirbelsäule berechnen (Asamoah et al., 2000).

Zur Evaluation haltungsrelevanter Parameter gibt es seitdem zahlreiche Messverfahren auf der Basis unterschiedlichster Technologien.

Im Vergleich verschiedener optischer und ultraschallgestützter Verfahren hat sich dabei die Überlegenheit der Videorasterstereographie (Formetric-System) hinsichtlich des Einsatzes zum Screening, wie auch bei der Beurteilung von Verläufen gezeigt (Asamoah et al., 2000). Diese zeigte sich in der deutlich kürzeren Untersuchungszeit, dem größeren Repertoire an möglichen Messparametern, der Zuverlässigkeit der Einzelmessungen sowie der genaueren Reproduktion der ermittelten Winkel mit den Cobb-Werten.

Aus diesem Grund sehen einige Autoren das VRS-System als „Goldstandard“ in der Haltungs- beziehungsweise Rückenformanalyse an (Thorwesten et al., 2007).

2.2.3. Videorasterstereographie (VRS)

Dieses auf dem Prototyp von Hierholzer basierende Verfahren beruht auf den methodischen Grundlagen der Rasterstereographie (Asamoah et al., 2000). Es wurde für die biomechanische Untersuchung der Wirbelsäule entwickelt und liefert als Resultat einer Einzelmessung die 3- dimensionale Rekonstruktion der Rückenoberfläche, ein Modell der Wirbelsäulenkurve und Informationen über die Stellung des Beckens (Drerup et al., 2001). Mittels mathematischer Berechnungen können anschließend die charakteristischen Krümmungseigenschaften der vermessenen Oberfläche analysiert werden (Harzmann, 2001). Allen rasterstereographischen Verfahren gemein ist, dass sie keine dynamischen Untersuchungen der Wirbelsäule unterstützen (Asamoah et al., 2000).

Die Videorasterstereographie (VRS) gehört zur Gruppe der optischen Verfahren und ermöglicht es, Körperoberflächen berührungs- und strahlenfrei zu erfassen und zu vermessen (Drerup und Hierholzer, 1994; Harzmann, 2001).

Gegenüber den anderen Oberflächenanalysesystemen zeichnet sich die Videorasterstereographie, wie oben schon erwähnt, insbesondere durch eine hohe Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit, sowie geringeren Untersuchungszeiten aus. Das Verfahren misst mit einer Auflösung von 0,5 mm (Drerup, 1982) bei einer Messzeit von 40 ms (Drerup und Hierholzer, 1994; Weiss et al., 1998), was eine apparative Fehlermöglichkeit von etwa 0,15 mm (Frobin und Hierholzer, 1985; Hierholzer, 1993) bedingt. Weitere Vorteile zeigten sich in einer deutlich höheren Korrelation mit den ermittelten Cobb-Winkeln im Rahmen des Skoliose- Screenings (Asamoah et al., 2000).

Die über die Messtechnik ermittelten anatomischen Fixpunkte erlauben bereits während der Vermessung eine vergleichbare Beurteilung anhand der klinisch und radiologisch erhobenen Bezugspunkte (Dornfortsatzsymmetrielinie, Spitze

des Vertebra prominens, Spinae iliacea posteriores superiores und der Oberrand des Hiatus sacralis) (Harzmann, 2001). Drerup und Hierholzer konnten experimentell nachweisen, dass diese Fixpunkte mit einer Genauigkeit von 1 mm zugeordnet werden können (Drerup und Hierholzer, 1985; Drerup und Hierholzer, 1987). In diesem Zusammenhang zeigte Drerup bereits 1982 in einer Studie zur Bestimmung des Kyphosewinkels, dass die mittels optischer Methoden erzielten Ergebnisse eine hohe Korrelation mit den radiologisch gewonnenen Daten aufweisen (Drerup, 1982). Diese Korrelationen konnten in später durchgeführten Studien weiter untermauert werden (Drerup und Hierholzer, 1994; Liljenqvist et al., 1998; Drerup et al., 2001; Weiss und Elobeidi, 2008).

Damit ist die Methode sowohl über manuelle und als auch röntgenologische Untersuchungstechniken validiert (Asamoah et al., 2000; Schröder und Braumann, 2006) und kann als diagnostischer Mittelweg zwischen klinischer Untersuchung und konventioneller Diagnostik eingesetzt werden (Harzmann, 2001).

Die Interpretierbarkeit der Messbefunde hängt dabei, neben den apparativen und methodischen Messfehlern, in hohem Maße von der habituellen Haltung des Patienten ab (Hierholzer, 1993). In Studien zeigte sich, dass Haltung Unterschiede der Patienten auch das Messergebnis der Oberflächenmessung fehlerhaft beeinflusst (Weiss et al., 1998; Schröder und Braumann, 2006).

Des Weiteren zeigte sich eine geminderte Korrelation zwischen röntgenologisch und rasterstereographisch ermittelten Daten bei deutlichem Übergewicht von mehr als 20% (nach Broca), bei operierten Skoliosen, bei Vorliegen von ossären Deformitäten, sowie ausgeprägtem asymmetrischen Muskelrelief (Asamoah et al., 2000).

Als statische, nicht invasive Methode zur Bestimmung von Form und Beweglichkeit der Wirbelsäule wird die Videorasterstereographie mittlerweile routinemäßig zur Verlaufsbeobachtung von Skoliosepatienten, der Diagnostik von Haltungsauffälligkeiten, als Screening-Untersuchung von Wirbelsäulendeformitäten und zur Verlaufskontrolle von Therapien, wie zum

Beispiel Einlagenversorgung bei Beinlängendifferenzen eingesetzt. Sie hat sich damit zu einem in der orthopädischen Diagnostik anerkannten und etablierten Verfahren entwickelt (Drerup und Hierholzer, 1987; Weiss et al., 1998; Asamoah et al., 2000; Harzmann, 2001; Arndt et al., 2002; Thorwesten et al., 2007).

Die Autoren sind sich einig, dass die Bedeutung der Oberflächenvermessung im Bereich der Wirbelsäulendiagnostik im klinischen Alltag und in der Praxis weiter zunehmen wird (Asamoah et al., 2000; Arndt et al., 2002).

Die Vor- und Nachteile der Videorasterstereographie gegenüber der klassischen Röntgendiagnostik wurden bereits eingangs diskutiert. Im klinischen Alltag haben sich jedoch neben der klassischen Röntgenuntersuchung weitere Verfahren wie die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) zur Beurteilung von Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates etabliert. Hierholzer betont, dass die VRS nur indirekte Informationen über die dreidimensionale Form der Wirbelsäule ermöglicht. In einer 2002 veröffentlichten Studie an Skoliosepatienten zeigte er, dass die VRS im Vergleich zur Computertomographie die Wirbelsäulenmittellinie sehr gut darstellt, jedoch im Bereich der Seitabweichung und Abweichung bei größer werdendem Cobb-Winkel noch leichte Schwächen aufweist (Hierholzer und Hackenberg, 2002).

Zum jetzigen Zeitpunkt ist eine wirklichkeitsgetreue Darstellung der Wirbelsäule nur mittels der oben genannten Verfahren möglich. Deshalb sollte im Hinblick auf die stetig steigende Zahl von Menschen mit Wirbelsäulenbeschwerden das Verfahren der VRS weiter verfeinert, modifiziert und vorangetrieben werden (Briggs et al., 2009; Hoy et al., 2010 und 2011).

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass sich die Videorasterstereographie zur Dokumentation, in der Verlaufsbeurteilung sowie in eingeschränkter Form zur prognostischen Einschätzung als nützliche Ergänzung der bisherigen Methoden bewährt hat (Weiss und Elobeidi, 2008). Sie ersetzt jedoch nicht die zur Erstbeurteilung von Skoliosen und anderen Wirbelsäulendeformitäten durchgeführte Röntgendiagnostik, führt aber durch Etablierung als Screening- und Verlaufsuntersuchung zu einer deutlichen

Reduktion der Strahlenbelastung dieses Patientenkollektives (Rohlmann und Siraky, 1985; Weiss et al., 1998; Asamoah et al., 2000; Harzmann, 2001; Drerup et al., 2001; Arndt et al., 2002; Thorwesten et al., 2007; Weiß und Elobeidi, 2008).

2.3. Manuelle Medizin

2.3.1. Einführung in die Thematik

„Die Manuelle Medizin befasst sich mit der Physiologie, Pathophysiologie und Prävention von (reversiblen) Funktionsstörungen am Haltungs- und Bewegungsapparat“ (Dvorak und Baumgartner, 1997; Neumann et al., 2003). Meist handelt es sich dabei um Bewegungseinschränkungen der Extremitätengelenke, sogenannte Blockierungen oder segmentale und peripher-artikuläre Dysfunktion (Dvorak und Baumgartner, 1997; Neumann et al., 2003).

Die Ursachen hierfür werden kontrovers diskutiert und bereiten immer wieder diagnostische und therapeutische Probleme.

Die zentralen Ziele der manuellen Medizin bestehen in der Linderung von Schmerzen und der Funktionsverbesserung sowohl von Wirbelsäule als auch Extremitätengelenken (Di Fabio, 1992; Blomberg et al., 1994).

Lange Zeit wurden in der Literatur die zugrunde liegenden Störungen morphologisch in einen mechanischen und einen nervös-reflektorischen Funktionskreis unterteilt, unter der Annahme, es handele sich um ein rein segmentales Geschehen (Dvorak und Baumgartner, 1997; v. Heymann et al., 2005 ; Böhni, 2006; Schmid et al., 2008; Fisher et al., 2009; v. Heymann, 2011). Neue Studien zeigen jedoch Hinweise, dass es sich um ein weitaus komplexeres Geschehen mit Aktivierung von verschiedenen neuronalen Bahnen auf supraspinaler Ebene handelt (v. Heymann et al., 2005 Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008 und 2009; Beyer, 2009, Fisher et al., 2009; v. Heymann, 2011).

2.3.2. Definition der segmentalen Dysfunktion

Der Pathomechanismus der sogenannten Blockierung oder segmentalen Dysfunktion wird, wie oben schon beschrieben, kontrovers diskutiert und ist weiter nicht vollständig geklärt. Die seit Jahrzehnten propagierte Meinung, bei einer Blockierung handele es sich ausschließlich um ein rein artikuläres Problem, konnte bereits früh widerlegt werden (Mennell, 1960).

Trotzdem blieb die zentrale Frage nach dem morphologischen Korrelat weiter unbeantwortet.

Im Rahmen einer Konferenz deutschsprachiger Manualmediziner im Jahre 2005, darunter auch Anatomen, Patho- und Neurophysiologen sowie Pharmakologen, wurde versucht diese Frage zu klären.

Als Ergebnis einer Konsensdiskussion wurde der Begriff der segmentalen Dysfunktion, wie folgt, neu definiert:

„Die Blockierung ist eine komplexe, reversible segmentale Funktionsminderung durch reflektorische Verspannung der autochthonen monosegmentalen Muskulatur vermittelt durch Efferenzen aus Axonkollateralen der multirezeptiven Hinterhornneuronen - „Wide dynamic range“- (WDR-) Neurone -, die über die Alpha- und Gamma-Motoneurone die Muskelverspannung herbei führen. Die Speisung dieser Efferenzen erfolgt durch Noziaffärenzen aus dem Segment auf das korrespondierende multirezeptive Hinterhornneuron. Noziaffärenz speist Blockierungsaffärenz“ (v. Heymann et al., 2005; v. Heymann, 2011).

Folglich handelt es sich bei der segmentalen Dysfunktion um eine durch Schmerz oder andere Faktoren hervorgerufene und neuronal vermittelte reflektorische Verspannung der tiefen Rückenmuskeln, welche zu einer Funktionsminderung des entsprechenden Wirbelsäulensegments führt. In Abbildung 3 werden diese Mechanismen noch einmal graphisch dargestellt.

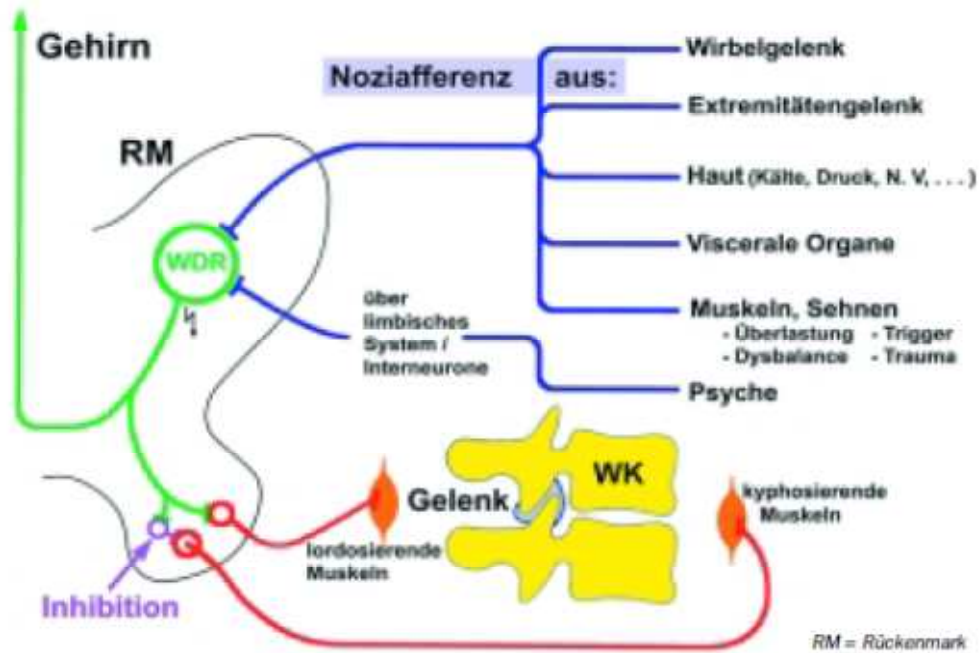


Abb. 3: Entstehung der segmentalen Dysfunktion (Böhni, 2006)

2.3.3. Pathomechanismus der segmentalen Dysfunktion

Die zentrale Rolle in der Entstehung einer Blockierung nimmt eine Struktur namens WDR-Neuron („wide dynamic range neuron“) ein. Es handelt sich dabei um multirezeptive Hinterhornneurone. Sie sind die neuronale Schaltstelle für konvergierende Afferenzen einschließlich Noziafferenzen aus einem oder benachbarten Segment und verantwortlich für die motorische und sympathische Systemaktivierung (Sato und Schmidt, 1973; Jänig et al., 1996; Michaelis und Jänig, 1998; Ammenwerth et al., 1999; Baron, 2000).

Zieglgänsberger berichtet im Rahmen der oben genannten Konferenz, dass, sobald die Summe dieser Afferenzen einen bestimmten Schwellenwert übersteigt, es zu einer Art Summationseffekt mit nachfolgender Aktivierung des WDR- Neurons kommt (v. Heymann et al., 2005). Efferent führe dies über Axonkollateralen zu einem reaktiven Hypertonus der tiefen autochthonen Rückenmuskulatur (Luo et al., 2002). Dieser lässt sich als sogenannter segmentaler Irritationspunkt in der tiefen paravertebralen Schicht des M. erector spinae palpieren und gilt als geeignetes Diagnostikum der Blockierung (Sell, 1979).

Morphologisches Korrelat der Blockierung ist folglich der muskuläre Hypertonus auf segmentaler Ebene. In letzter Konsequenz führt dieser wiederum dazu, dass das Wirbelgelenk in einer physiologisch möglichen Position gehalten wird und nicht in seine anatomische Mittellage zurückfindet (Sell, 1979).

Die Schmerzfortleitung des WDR- Neurons ist jedoch nicht nur auf die segmentale Ebene begrenzt, sondern scheint auch über spinothalamische Bahnen zentrale Effekte zu haben. Die zentrale Schmerzwahrnehmung funktioniert dabei nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“ und ist abhängig von der überschwelligem Reizung des WDR-Neurons. Die Informationen werden durch die Konvergenzfunktion des WDR-Neurons nicht eindeutig zentral zugeordnet. Dies liefert im Rahmen einer Blockierung auch eine Erklärung dafür, warum der empfundene Schmerz schlecht begrenzt auf ein Segment lokalisierbar ist (v. Heymann et al., 2005).

Bei geringen Störungen können auch sogenannte „stumme Blockierung“ entstehen.

Dies liegt an der Tatsache, dass auch nicht nozizeptive Afferenzen einen Summationseffekt des WDR-Neurons hervorrufen können (Ikeda et al., 2003).

Sie führen nur dann nicht zu schmerzhaften Empfindungen, wenn keine zusätzliche Faktoren (Reize) wirksam werden (Dvorak und Baumgartner, 1997; Neumann et al., 2003).

2.3.4. Wirkungsweise der manuellen Medizin

In den letzten Jahren hat sich die Manuelle Medizin in der Therapie und Behandlung von Patienten mit verschiedenen Erkrankungen des muskeloskelettalen Systems etabliert (Rozmaryn et al., 1998; Deyle et al., 2000; Akalin et al., 2002; Licciardone et al., 2003; Childs et al., 2004; Mac Donald et al., 2006; Schmid et al., 2008).

Die Manuelle Medizin umfasst, wie bereits schon thematisiert, verschiedene Behandlungstechniken mit dem Ziel, Schmerzen und Funktionsstörungen an Wirbelsäule und Extremitäten zu beheben (Di Fabio, 1992; Blomberg et al., 1994). Unterschieden werden die passive oder aktive Mobilisation ohne Impuls (MOI), die Mobilisation mit Impuls (MMI = Manipulation) und Weichteiltechniken.

Sowohl der Mobilisation als auch der Manipulation ist es gleich, dass passive Bewegungen zur Verbesserung der funktionellen Gelenkbeweglichkeit, ausgeführt werden (Maitland et al., 1986; Greenman, 2003).

Die zentrale Frage bleibt die der Wirkungsweise und Effekte, sowie die daraus abgeleiteten morphologischen Korrelate der manualtherapeutischen Intervention.

Einleitend soll erwähnt werden, dass die Mechanismen, durch die die manuelle Therapie ihre Wirkungen entfaltet, wissenschaftlich nicht abschließend erforscht sind (Bialosky et al., 2008; Bialosky et al., 2009).

Wie eingangs schon erwähnt, konnten einige Autoren zeigen, dass die Wirkung von manueller Therapie nicht auf segmentale Effekte beschränkt ist.

Verschiedene Studien offenbaren, dass manuelle Therapie sowohl biomechanische (Gal et al, 1997; Coppieters und Butler, 2008, Bialosky et al., 2009) und als auch neurophysiologische (Suter et al., 1999; Vicenzino et al., 1999; Dishman and Bulbulian, 2000; de Vocht et al., 2005; Bialosky et al., 2009; Beyer, 2009) Effekte hervorruft. In einem systematischen Review über die Evidenz einer zentralnervösen Komponente als Antwort auf eine passive Gelenkmobilisation der HWS berichten Schmid et al., dass es in den eingeschlossenen Studien Evidenz dafür gibt, dass es durch manuelle Therapie zu einer Schmerzlinderung, einer Aktivierung des sympathischen Nervensystem und einer Veränderung der motorischen Funktion kommt (Schmid et al., 2008).

Bialosky et al. bemerken dazu, dass diese Effekte jedoch immer nur individuell und nicht auf ihre potentiellen Interaktionen hin untersucht werden. Dies wäre jedoch sehr wichtig, um zu eruieren, ob eine manuelle Therapie einzeln oder dosisabhängig neurophysiologische Antworten erzeugt (Bialosky et al., 2009).

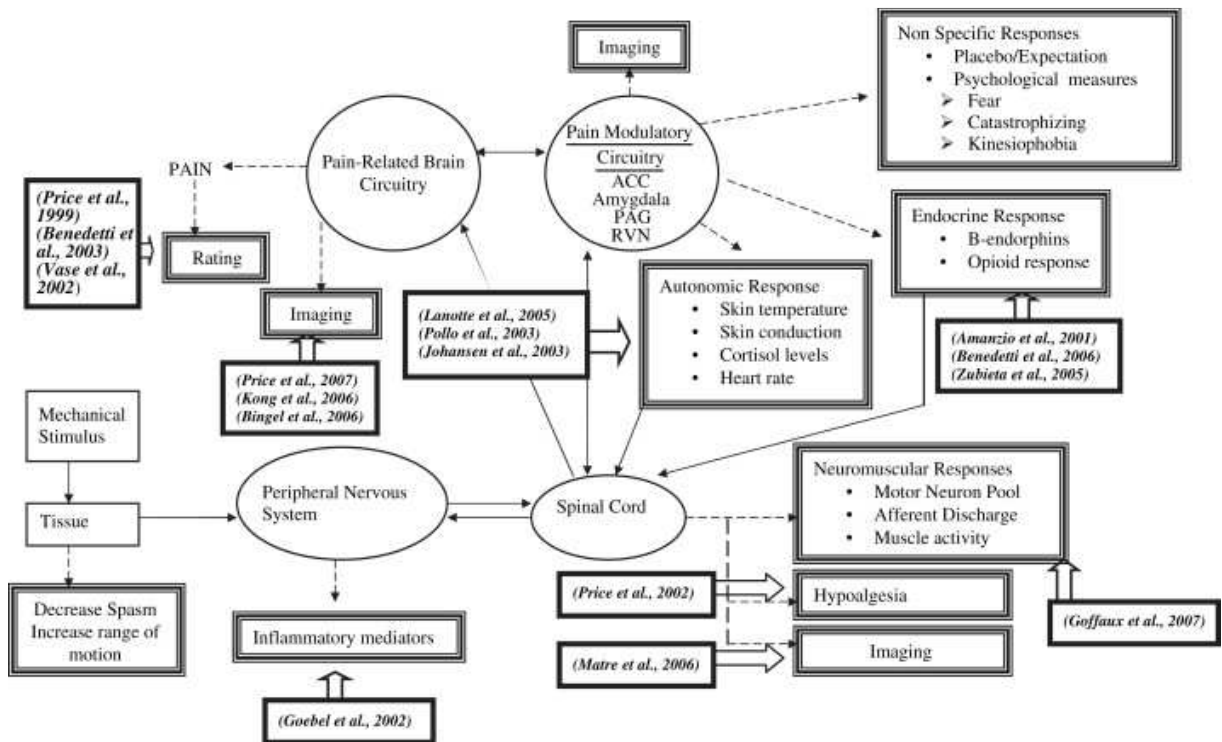


Abb. 4: The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: A comprehensive model (Bialosky et al., 2009)

Die Grafik fasst die evidenzbasierten Effekte der manuellen Therapie in der Behandlung von Schmerzen des Bewegungsapparates zusammen. Ausgelöst durch einen mechanischen Stimulus werden verschiedene gewebeständige und neurophysiologische Antworten hervorgerufen. Des Weiteren veranschaulicht sie einerseits die potentiellen Interaktionen zwischen den involvierten Organen per se und andererseits die durch Behandlungseffekte hervorgerufenen Wechselwirkungen.

Im Mittelpunkt der manuellen Therapie steht die Muskulatur (v. Heymann et al., 2005). Alle Weichteiltechniken haben neben der lokalen, relaxierenden und damit schmerzlindernden Wirkung eine Verstärkung der inhibitorisch propriozeptiven Afferenzen auf das Gehirn zur Folge (v. Heymann et al., 2005; Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008; Bialosky et al., 2009). Das Ergebnis ist, dass eine neuroplastische Chronifizierung von Schmerz verhindert wird (Azad und Zieglgänsberger, 2003; Azad et al., 2004).

Die Wirkung der Manipulation wird damit erklärt, dass der schnelle Impuls bei der Manipulation spezielle Afferenzen, insbesondere Aktionspotentialfrequenzen, erzeugen kann (Grice; 1974; Brennan et al., 1992). Die dadurch erzeugte Reizüberflutung müsse laut Sandkühler und Zieglgänsberger theoretisch zum Zusammenbruch der Spannung des WDR-Neurons mit konsekutiver Reduktion der motorischen Systemaktivierung führen (v. Heymann et al., 2005).

Erwiesen ist, dass es durch eine Aktivierung Gaba-erger Interneurone zu einer reduzierten Aktivität des WDR- Neurons kommt (Zieglgänsberger et al., 2005). Die Konsequenz wiederum sei eine verminderte sympathische und motorische Systemaktivierung mit Aufhebung des segmentalen Hypertonus der tiefen autochthonen Muskulatur (v. Heymann et al., 2005; Böhni, 2006).

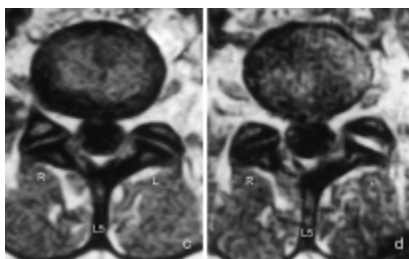


Abb. 5: Magnetresonanztomogram des Wirbelkörpers L5 vor (links) und nach (rechts) Manipulation (Böhni, 2006)

Die Abbildung verdeutlicht die oben genannte Theorie. Durch eine reflektorische Inhibition der kurzen Musculi rotatores, als Reaktion auf die Manipulation, kommt es zum sichtbaren Aufklappen des Facettengelenks (Cramer et al., 2002).

2.3.5. Wirksamkeit der manuellen Medizin

In zahlreichen Studien konnte die Effektivität und der positive Nutzen einer manuelltherapeutischen Behandlung in Hinblick auf verschiedene orthopädische, neurologische und internistische Krankheitsbilder nachgewiesen werden (Astin und Ernst, 2002; Hülse und Hölzl, 2004; Bronfort et al., 2001 und 2004; Proctor et al., 2004; Hondras et al., 2005; Hawk et al., 2007; Assendelft et al., 2008; Evans, 2010).

Bei der Behandlung von Wirbelsäulenerkrankungen zeigten verschiedene Autoren die Gleichwertigkeit beziehungsweise Überlegenheit der manualtherapeutischen Verfahren im Vergleich zu einer Placebobehandlung sowie analgetischer-, physiotherapeutischer- und ärztlicher Therapie (Koes et al., 1992; Bronfort, 1999; Hoving et al., 2002; Bronfort et al., 2004; Assendelft et al., 2008). Unterstützt werden diese Aussagen durch Studien, die einen besseren Effekt von Manipulationstherapie gegenüber mobilisierenden Techniken und Osteopathie ohne HVLA (high velocity, low amplitude) belegen (Vernon et al., 1986; Koes et al., 1991; Dishman und Bulbulian, 2000; Bronfort et al., 2004). In einer 2002 veröffentlichten Studie konnte auch bei Kindern gezeigt werden, dass bereits eine einmalige gezielte Atlasimpulstherapie (Arlen-Technik) zu einer Verbesserung der posturalen Haltung führt (Arndt et al., 2002).

Ein Cochrane Review von Gross et al. aus dem Jahre 2010 beschäftigte sich mit der Frage der Wirksamkeit von Manipulation gegenüber Mobilisation bei HWS-Beschwerden. Beide Techniken wurden bezüglich Schmerz, Aktivitätseinschränkung, Lebensqualität und subjektiv wahrgenommener Wirkung untersucht. Bei der Behandlung der HWS mit beiden Techniken zeigte sich kein Vorteil zu Gunsten einer Technik. Es konnten jedoch größere Kurzeiteffekte der Manipulation gegenüber der Kontrollgruppe aufgezeigt werden. Eine Behandlung der BWS mittels Manipulation ließ insbesondere eine Linderung der Schmerzen und Verbesserung der Beweglichkeit bei Patienten mit chronischen HWS-Beschwerden erkennen.

Es wird in diesem Zusammenhang auf weitere Studien verwiesen, in denen insbesondere die optimale Technik und Dosierung ermittelt werden muss (Gross et al., 2010).

In zwei 2001 und 2006 veröffentlichten systematischen Reviews über die Evidenz von Manipulationsbehandlungen kommt Ernst jedoch zu dem Ergebnis, dass eine manualtherapeutische Behandlung nicht unter jeder Bedingung eine effektive Behandlung darstellt und daher nicht als Behandlungsoption für jedes Krankheitsbild heranzuziehen sei. Er begründet dies durch die uneinheitlichen Ergebnisse der untersuchten Studien. Hauptkritikpunkte, die einen validen

Vergleich erschweren, seien die unterschiedlichen Krankheitsbilder einschließlich deren Ausprägung, die Qualifikation der Autoren und die methodische Qualität der Studien (Ernst und Harkness, 2001; Ernst und Canter, 2006).

Es ist daher erforderlich, dass in weiteren Studien mit entsprechendem Design die Effektivität und Evidenz der manuellen Medizin weiter überprüft und wissenschaftlich belegt wird (Edmondston und Singer, 1997; Trocsanyi et al., 1998; Eingorn und Muhs, 1999; Arndt et al., 2002; Cherkin et al., 2003; Kessler et al., 2005; Ernst und Canter, 2006; Sizer et al., 2007; Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008 und 2009; Gross et al., 2010, Furlan et al., 2012).

2.4. Ziel der Studie

Auf Grund der geschilderten Datenlage entschlossen wir uns eine klinische Studie zu konzipieren. Ziel ist es, den Effekt einer manualtherapeutischen Behandlung der Brustwirbelsäule in HVLA-Technik („high velocity, low amplitude“) in Bezug auf Häufigkeit und Nachhaltigkeit relevanter Haltungparameter bei klinisch unauffälligen Probanden zu untersuchen. Dabei handelt es sich um eine osteopathische Technik: *„...welche eine schnelle, therapeutische Kraft von kurzer Dauer und kleinem Bewegungsausmaß innerhalb der anatomischen Bewegungsmöglichkeit eines Gelenks appliziert, um Restriktionen in einer oder mehreren Bewegungsebenen anzugreifen mit dem Ziel, diese zu beheben und so die physiologische Funktion des Körpers zu optimieren...“* (Mason, 2009)

3. Material und Methoden

3.1. Studiendesign

3.1.1. Probanden

Die Probanden wurden durch einen Aufruf der Mitwirkenden der Studie durch mündliche Information und Aushängen in der Universität Hamburg akquiriert.

Die Untersuchungen fanden in den Räumen der Abteilung für Sport- und Bewegungsmedizin der Universität Hamburg statt.

Im Rahmen der Voruntersuchungen fand mittels im Vorfeld festgelegter Ein- und Ausschlusskriterien eine Selektion des Probandenkollektivs statt.

3.1.2. Einschlusskriterien

Zur Teilnahme an der Studie wurden asymptotische Probanden im Alter zwischen 20 und 45 Jahren herangezogen.

Wichtigstes Kriterium dabei war das Vorhandensein von mindestens einer segmentalen Dysfunktion (Blockierung) der Brustwirbelsäule ohne Schmerzsymptomatik (vgl. Kap. 3.4.1)

3.1.3. Ausschlusskriterien

Von der Studie ausgeschlossen wurden jene Probanden, die allgemeine Kontraindikationen für manualtherapeutische Interventionen besaßen (Grieve und Newman, 1988), unter akuten oder in den letzten 6 Monaten aufgetretenen Rückenschmerzen litten, beziehungsweise radiologisch dokumentierte Bandscheibenvorfälle oder Voroperationen an der Wirbelsäule aufwiesen. Weitere Ausschlusskriterien waren eine bekannte Osteoporose, diagnostizierte Fehlformen der Wirbelsäule (insbesondere Skoliosen), floride oder degenerative Arthrosen, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, sportlichen Aktivitäten, die mehr als zwei Mal wöchentlich ausgeführt werden, und fehlende Compliance.

3.1.4. Gruppeneinteilung

Nach mündlicher und schriftlicher Einverständniserklärung erfolgte die Untersuchung der Probanden mit manualtherapeutischer Befunderhebung. Die Probanden, die die Einschlusskriterien erfüllten, wurden mittels Losverfahren randomisiert in eine *Kontrollgruppe* (Gruppe 0) und *zwei Behandlungsgruppen* (Gruppe 1 und 3) eingeteilt. Des Weiteren erfolgte ein Matching im Hinblick auf das Alter und das Geschlecht der Patienten.

3.1.5. Ablauf der Studie

Der *Studienzeitraum* (t0 bis t7) gliederte sich in den *Vorbehandlungszeitraum* (t0 und t1), den *Behandlungszeitraum* (t2 bis t5) und den *Nachbeobachtungszeitraum* (t6 und t7).

Die Probanden wurden wie in Kap. 3.2 dargestellt einbestellt und behandelt. Im Rahmen des ersten und des letzten Termins haben zusätzliche Untersuchungen stattgefunden (vgl. Kap. 3.2.1 und 3.2.3).

Innerhalb des *Vorbehandlungszeitraums* (t0 und t1) waren für alle Gruppen zwei Untersuchungstermine (Wirbelsäulenvermessung) festgelegt. Zur Untersuchung eines „Einmaleffektes“ wurden die Behandlungsgruppen zusätzlich zwischen den zwei Untersuchungsterminen einem Behandlungstermin unterzogen.

Im Verlauf des *Behandlungszeitraumes* (t2 bis t5) erhielten die Probanden der Gruppe 1 einmal wöchentlich und die Probanden der Gruppe 3 dreimal wöchentlich eine Behandlung. Dabei ist in festgelegter Reihenfolge unter standardisierten Bedingungen von einem in manueller bzw. chiropraktischer Therapie erfahrenen Therapeuten eine manualtherapeutische Behandlung der Brustwirbelsäule durchgeführt worden. Zwei Tage nach jeder manualtherapeutischen Intervention erfolgte für die obengenannten Behandlungsgruppen innerhalb der vier Behandlungswochen ein gesonderter Untersuchungstermin (vgl. Kap. 3.2.4). Die Gruppe 0 war die Kontrollgruppe. Sie erhielt keine Behandlung und wurde einmal wöchentlich einer Untersuchung unterzogen.

Ziel des Untersuchungstermins war es, ausgesuchte Wirbelsäulenparameter zu ermitteln und darüber den Erfolg des manualtherapeutischen Eingriffs zu dokumentieren. Es fanden jeweils zwei Messreihen pro Messtermin statt (vgl. Kap. 3.5.4).

Während der *Nachbeobachtungsphase* (t6 und t7) erfolgte über zwei weitere Wochen nach Beendigung des Behandlungsintervalls jeweils ein weiterer Untersuchungstermin. Dieser diente der Nachhaltigkeitskontrolle und sollte klären, ob innerhalb des Behandlungsintervalls aufgetretene Effekte auch nach Beendigung der therapeutischen Intervention anhalten. Die Studie wurde nach

den Richtlinien der Deklarationen von Helsinki und der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg durchgeführt.

3.2. Zeitliche Planung

3.2.1. Erster Termin (Voruntersuchung)

1.) Aufklärung mit mündlicher und schriftlicher Einverständniserklärung: ~ 15 min.

2.) Anamnese/ Anamnesebogen: ~ 10 min

3.) Voruntersuchung: ~ 25 min

- Erfassung von Gewicht, Körpergröße, Körperfettanteil
- Wirbelsäulenvermessung (Videorasterstereographie)

4.) Manualtherapeutische Behandlung der Brustwirbelsäule: ~ 20 min

- Myofasziale Querdehnung in Bauchlage (5 min)
- Segmentale Wirbelmobilisation im Sitzen (5 min)
- Manipulationsbehandlung in Rückenlage (2 min)
- MET nach Mitchell / Postisometrische Relaxation im Sitzen (5 min)
- Dokumentation der Befunde (2 min)

5.) Nachuntersuchung: ~ 15 min

- Wirbelsäulenvermessung (Videorasterstereographie)

3.2.2. Behandlungs- und Untersuchungstermine

1.) Manualtherapeutischer Behandlungstermin: ~ 20min

- Myofasziale Querdehnung in Bauchlage (5 min)
- Segmentale Wirbelmobilisation im Sitzen (5 min)
- Manipulationsbehandlung in Rückenlage (2 min)
- MET nach Mitchell / Postisometrische Relaxation im Sitzen (5 min)
- Dokumentation der Befunde (2 min)

2.) Untersuchungstermin: ~ 15 min

- Wirbelsäulenvermessung (Videorasterstereographie)

3.2.3. Letzter Termin (Abschlussuntersuchung)

1.) Abschlussgespräch: ~ 10min

2.) Abschlussuntersuchung: ~ 15 min

- Wirbelsäulenvermessung (Videorasterstereographie)

3.2.4. Einbestellung der Probanden

Gruppe 0 (Kontrollgruppe):

- ⇒ 6 Wochen mit je 1 Untersuchungstermin in einem Zeitabstand von jeweils 6-7 Tagen; nicht regelhaft > 8 Tage

Gruppe 1:

- ⇒ 4 Wochen mit je 1 Behandlungstermin und 1 Untersuchungstermin; 2 weitere Wochen jeweils 1 Untersuchungstermin mit 6 Tagen Zeitabstand; nicht regelhaft > 8 Tage
- ⇒ Behandlungsabstände von jeweils 6-7 Tagen; nicht regelhaft > 8 Tage
- ⇒ Untersuchungstermin fällt mit dem 1. Behandlungstermin der Folgewoche zusammen

Gruppe 3:

- ⇒ 4 Wochen mit je 3 Behandlungsterminen und 1 Untersuchungstermin; 2 weitere Wochen jeweils 1 Untersuchungstermin mit 6 Tagen Zeitabstand; nicht regelhaft > 8 Tage
- ⇒ Behandlungsabstände von jeweils 1-2 Tagen; nicht regelhaft > 3 Tage
- ⇒ Untersuchungstermin fällt mit dem 1. Behandlungstermin der Folgewoche zusammen

3.3. Vor- und Abschlussuntersuchung

3.3.1. Anamnese

Da es sich um eine Studie mit asymptomatischen Probanden handelte, müssen solche mit orthopädische und internistischen Vorerkrankungen, die insbesondere Einfluss auf die Wirbelsäule haben, im Vorhinein erkannt und

ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Voruntersuchung werden deshalb anhand eines kurzen Anamnesebogens oben genannte Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien erfasst.

3.4. Behandlung

3.4.1. Identifikation und Dokumentation der Befunde

Die Identifizierung der segmentalen Dysfunktionen der Brustwirbelsäule erfolgt gemäß der Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Manuelle Medizin (DGMSM-Ärztseminar Boppard). Hierzu werden einerseits die globale wie auch segmentale Beweglichkeit („Joint play“) beurteilt, andererseits die Lokalisierung von regionalen Irritationspunkten vorgenommen (Moll et al., 2010).

Dokumentiert werden die Anzahl der relevanten blockierten Wirbelsegmente und deren Lokalisation im Bereich der Brustwirbelsäule. Die Untersuchung und Behandlung erfolgt durch einen in manueller Medizin ausgebildeten Arzt (DGMM- DGMSM-Ärztseminar Boppard) mit mehrjähriger Berufserfahrung.

3.4.2. Aufbau der manualtherapeutische Behandlung

1.) Myofasziale Querdehnung

Lagerung / Ausgangsstellung

Der Patient liegt auf dem Bauch. Der Therapeut steht seitlich neben der Behandlungsbank.

Durchführung

Der Therapeut dehnt beziehungsweise lockert mit seinen Daumen oder Handballen die paravertebrale Muskulatur der gegenüberliegenden Seite von innen nach außen.

2.) Segmentale Wirbelmobilisation

Lagerung / Ausgangsstellung

Der Patient sitzt an der Bankkante und verschränkt beide Arme vor der Brust. Der Therapeut steht seitlich neben der Behandlungsbank.

Durchführung

Der Therapeut umgreift mit der einen Hand den Rumpf des Patienten. Die andere Hand legt er mit dem Daumen auf den betroffenen / zu mobilisierenden Wirbel. Nun führt er eine dreidimensionale Bewegung in die eingeschränkte Richtung mit dem Oberkörper des Patienten aus. Die andere Hand palpiert das Bewegungsende am betroffenen Wirbel. Der Therapeut verstärkt nun diese Bewegung, während er einen Druck mit Daumen am Querfortsatz des Wirbels ausübt (siehe Abb. 6).



Abb. 6: Ausgangsstellung zur segmentalen Wirbelmobilisation/ MET

3.) Posteriore-anteriore Manipulation (Dog-Technik)

Lagerung / Ausgangsstellung

Der Patient liegt auf dem Rücken, ggf. sind die Beine angestellt. Der Therapeut steht seitlich der Behandlungsbank in Schulterhöhe.

Durchführung

Der Patient hat die Hände im Nacken/ vor der Brust gefaltet. Der Therapeut umgreift die Ellenbogen und Schulter des Patienten. Er dreht den Oberkörper des Patienten zu sich und platziert die andere Hand auf den Querfortsätzen des Wirbels unterhalb des zu manipulierenden Wirbelgelenks. Entweder im „Pistolengriff“ oder mit Thenar und der II. Phalanx des II. Fingers (siehe Abb. 7).



Abb. 7: Vorbereitung zur posterioren-anterioren Manipulation (Handposition)

Nun rollt er den Patienten zurück auf seine Hand in Rückenlage. Über die Ellenbogen wird eine Rumpfflexion bis zum betroffenen Wirbelgelenk eingestellt. Der Patient wird aufgefordert, tief einzuatmen. Zunächst verstärkt der Therapeut die Vorspannung auf das zu manipulierende Segment. Am Ende der Expiration des Patienten wird schließlich ein axialer Schub auf das Wirbelgelenk durch einen kurzen, schnellen Impuls auf den Oberkörper über die Ellenbogen ausgeübt (Neumann et al., 2003) (siehe Abb. 8).



Abb. 8: Ausgangsstellung bei posteriorer-anteriorer Manipulation

4.) Muscle energy technique nach Mitchell (MET)

Lagerung / Ausgangsstellung

Der Patient sitzt an der Bankkante und verschränkt beide Arme vor der Brust. Der Therapeut steht seitlich neben der Behandlungsbank.

Durchführung

Der Therapeut umgreift mit der einen Hand den Rumpf des Patienten. Die andere Hand legt er mit dem Daumen auf den betroffenen / zu mobilisierenden Wirbel. Nun führt er eine dreidimensionale Bewegung in die eingeschränkte Richtung mit dem Oberkörper des Patienten aus. Die andere Hand palpiert dabei das Bewegungsende am betroffenen Wirbel. Der Patient spannt nach der Einstellung dreidimensional isometrisch in die entgegengesetzte Richtung. Der Therapeut gibt dabei Widerstand am Dornfortsatz des betroffenen Wirbels. Nach 8 Sekunden entspannt sich der Patient wieder und der Therapeut führt ihn weiter in die eingeschränkte Bewegungsrichtung. Dies wird wiederholt, bis das normale Bewegungsausmaß wieder erreicht wird (Mitchell, 2004) (siehe Abb. 6).

3.5. Messung

3.5.1. Videorasterstereographie (Formetric-System)



Abb. 9: Analysesystem DIERS formetric 3D (Quelle: Diers Bodyline Broschüre)

3.5.1.1. Einführung

Die Videorasterstereographie (VRS) ist eine berührungslose, strahlenfreie Methode zur Beurteilung der Oberflächenform des Rückens (Drerup und Hierholzer, 1994; Harzmann, 2001). Das Verfahren wurde am Institut für Experimentelle Biomechanik der Universität Münster von Hierholzer und Drerup entwickelt und wird seit einigen Jahren mit dem Formetric-System (Firma Diers international) eingesetzt.

3.5.1.2. Funktionselemente

Die Studie wurde mit der Geräte Serie formetric III, 3D und der korrespondierenden Software Dicam I (Firma Diers) realisiert.

Analysebasis des Formetric-Systems ist ein sogenannter Stereo Imager (optische Einheit). Dieser beinhaltet einen Streifenprojektor und ein fest dazu

justiertes Videobildaufnahmesystem (Triangulation). Weiter gehören dazu eine regulierbare Balancewaage (3D - Simulationsplattform) und ein PC-Arbeitsplatz. Mittels der Simulationsplattform ist es möglich, eine standardisierte Positionierung des Patienten vorzunehmen und Korrekturen möglicher Bein-, Becken- oder Wirbelsäulasymmetrien auszugleichen oder zu korrigieren.

3.5.1.3. Messprinzip

Dieses optische Verfahren beruht auf dem Prinzip der Triangulation (Harzmann, 2001). Triangulation bezeichnet in der optischen Messtechnik eine Methode zur Entfernungsmessung mit Licht.

Von zwei verschiedenen Stationen an den Positionen \vec{s}_1 und \vec{s}_2 wird der zu bestimmende Zielpunkt P angepeilt. Als Ergebnis erhält man die beiden Winkel α und β mit der Genauigkeit $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$. Die Kenntnis der Basislänge b ermöglicht nun, dass man dann die Koordinaten von P relativ zum Koordinatenursprung bestimmen kann. Das Messvolumen des Gesamtsystems ist das Schnittvolumen der Messvolumina der Einzel-Messsysteme (Wiora, 2001).

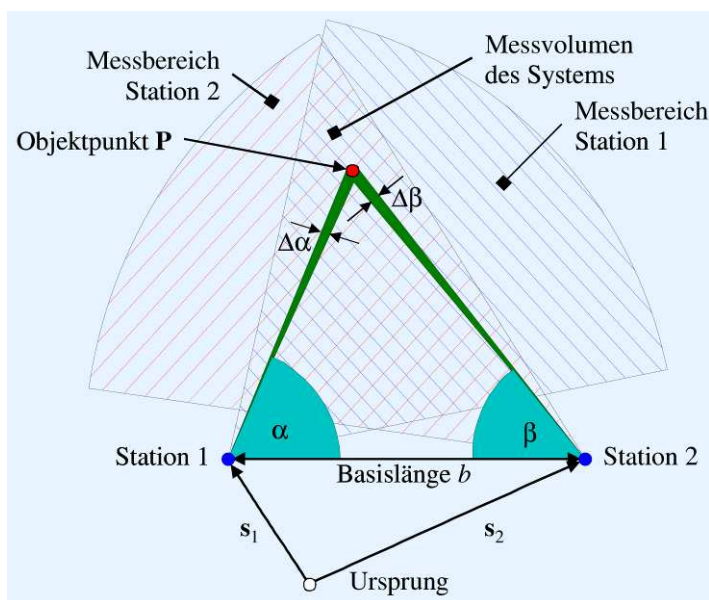


Abb. 10: Mathematisches Prinzip der Triangulation

Dies bedeutet, dass durch die Bestimmung sowohl der Horizontal- als auch der Höhenwinkel möglich ist, 3D-Rekonstruktionen der Objektpunkte berechnen zu können (Asamoah et al., 2000).

Mit Hilfe von Triangulation werden automatisierte Parameter für die Frontal- und Sagittalebene und für die Oberflächenrotation errechnet. Gefiltert liegt die Auflösung bei 8000 Punkten pro cm². Die Genauigkeit der rekonstruierten Oberflächenpunkte liegt nach Interpolation bei 0,2 mm (Drerup und Hierholzer, 1994)

3.5.1.4. Messmethodik

Mittels des Streifenprojektors wird ein Raster parallel verlaufender Linien auf den Rücken projiziert und durch die Oberflächenform deformiert. Diese Deformierung wird von der Videokamera synchron aufgenommen und das daraus resultierende Videobild analysiert. Auf Basis der sogenannten Gauß-Krümmungsanalyse lassen sich im nächsten Schritt unterschiedliche Krümmungsareale (konkav = rot, konvex = blau und sattelförmig = grün) darstellen. Über diese Krümmungsareale ist es möglich, körpereigene Fixpunkte zu detektieren (Dornfortsatzsymmetrielinie, Vertebra prominens, Grübchen links und rechts [Dimple], Sacrumpunkt). Resultat ist ein körpereigenes Bezugssystem, über welches sich die Wirbelsäule in ihrer Dreidimensionalität mathematisch rekonstruieren und visuell darstellen lässt. Die Raumkoordinaten können dabei, unabhängig von der Stellung der Person, analysiert und berechnet werden (Drerup und Hierholzer, 1987).

3.5.2. Messbedingungen

Die Videorasterstereographische Untersuchung fand in einem abdunkelbaren Raum bei normalem Raumklima statt.

Für den Messvorgang musste der Proband bis auf die Unterhose entkleidet sein und während der eigentlichen Messung das gesamte Gesäß frei gemacht werden.

Es wurde darauf geachtet, dass der Proband keinen Schmuck (Uhren, Ohringe, Ringe, Ketten) trägt, da dieser durch Reflexion zu Irritationen des

Meßsystems führen kann. Brillen durften hingegen wegen durch Schwankungen bedingten Stabilitätsverlustes bzw. Verlustes der Orientierung nie abgelegt werden.

Im Nacken befindliche Haare sollten mit geeigneten Hilfsmitteln entfernt werden, so dass der Hals bis zum Haaransatz einsehbar war.

3.5.3. Patientenpositionierung

Der Proband wurde in einer Entfernung von ca. zwei Metern vor der höhenverstellbaren Aufnahmeeinrichtung auf der Simulationsplattform positioniert, um zu gewährleisten, dass das optische Lot mittig auf die Wirbelsäule projiziert wird.

Es sollte Fersenkontakt zum Hinterrand der Simulationsplattform bestehen.

Nach der Positionierung des Patienten erfolgte vom Untersucher eine kurzes akustisches Zeichen, welches den Start der Messung markierte.

Im Anschluss an jede Messung wurde der Proband aufgefordert, kurz von der Simulationsplattform zu treten, ein paar Schritte auf der Stelle zu gehen und sich dann erneut zu positionieren.



Abb. 11: Setting während einer Messung (Quelle: Diers Bodyline Broschüre)

3.5.4. Körperhaltung

Es wurden pro Messzeitpunkt zwei Messreihen getätigt d.h. der Proband wurde zwei Mal in den definierten Ausgangsstellungen vermessen.

Die Vermessung des Probanden wurde auf einer Simulationsplattform in:

1. habitueller
2. aufgerichteter / korrigierter

Körperhaltung durchgeführt.

Die Haltungsvarianten wurden in Anlehnung an die Definition von Hepp und Debrunner angeleitet.

Die **habituelle Körperhaltung** zeichnet sich durch einen geringen Muskeltonus der Rumpfmuskulatur, sowie einer mittleren Brustkyphose und Lendenlordose aus. Das Lot vom Scheitel der Brustwirbelsäule soll dabei das Kreuzbein berühren (Hepp und Debrunner, 2004).

Bei Einnahme der **korrigierten Körperhaltung** wurde der Proband zusätzlich aufgefordert, sein Brustbein nach vorne oben anzuheben und die Schulterblätter anzunähern. Durch Anspannung der Rumpfmuskulatur und geringer Beckenkipfung nach vorne fällt das Lot vom Scheitel der Brustwirbelsäule auf oder vor das Kreuzbein (Hepp und Debrunner, 2004).

Es wurde darauf geachtet, dass es dabei zu keiner Ausweichbewegung im Sinne einer Hyperlordosierung der Lendenwirbelsäule kommt.

Vor der Messung wurden diese gewünschten Bewegungsabfolgen dem Probanden vom Untersucher vorgeführt und ein bis zwei Mal eingeübt.

Generell galt jedoch, insbesondere für die Vermessung in habitueller Grundhaltung, dass der Patient so wenig wie möglich in „seiner“ Haltung manipuliert wird.

Grund für die Auswahl dieser Haltungsvarianten war eine durch die Manipulationsbehandlung prognostizierte verbesserte Aufrichtung, welche im Vergleich detektiert werden sollte.

3.5.5. Messebenen

Zur Analyse der Wirbelsäulenbeweglichkeit wurden bei der Messung mit dem Formetric-System Daten aus zwei verschiedenen Messebenen ermittelt:

1. Sagittalebene

Alle *vertikalen Ebenen*, die parallel zur Sutura sagittalis (Pfeilnaht) des Schädels ausgerichtet sind und im Stand von ventral nach dorsal verlaufen.

2. Frontalebene (= koronare Ebene)

Alle *parallel* zur Stirn (Frons) bzw. zur Sutura coronalis (Kranznaht) des Schädels ausgerichteten Ebenen, die im Stand vertikal von einer zur anderen Körperseite verlaufen.

3.5.6. Messparameter

Folgende relevante Wirbelsäulenparameter zur Klärung der Arbeitshypothese wurden erhoben:

1.) 3D- Konstruktion der Wirbelsäulen-Mittellinie (Frontalebene)

1. Lotabweichung VP-DM [mm]

Lateralabweichung des Vertebra prominens (VP) von der Mitte zwischen den Lumbalgrübchen (Dimpelmitte = DM). Ein positiver Wert bedeutet eine Verschiebung von VP nach rechts, ein negativer nach links.

2. Oberflächenrotation (rms) [°]

Mittlerer quadratischer Wert (rms) der Oberflächenrotation auf der Symmetrielinie. Bei gesunden Personen sollte der Wert 0 sein (zuzüglich eines Messfehlers in der Größenordnung von 3°)

3. Oberflächenrotation (max) [°]

Maximale Oberflächenrotation auf der Symmetrielinie. Bei positivem Vorzeichen handelt es sich um eine Drehung im, bei negativen gegen den Uhrzeigersinn (von oben gesehen). Die Oberflächenrotation gibt mit guter Genauigkeit die Wirbelkörperrotation wieder.

2.) Formanalyse des Sagittalprofils (Sagittalebene)

1. Rumpfneigung VP-DM [mm]

Winkel zwischen der Schwerelinie und der Verbindungslinie VP bis DM. Er ist positiv, wenn VP anterior zu DM liegt (Vorneigung) und negativ bei VP posterior zu DM (Rückneigung).

2. Kyphosewinkel ICT-ITL (max) [°]

Maximaler Kyphosewinkel, gemessen zwischen dem cervico-thorakalen (ICT) und thorako-lumbalen Wendepunkt (ITL).

3. Kyphosewinkel VP-T12 [°]

Kyphosewinkel, gemessen zwischen VP und der geschätzten Lage von T12

4. Lordosewinkel ITL-ILS (max) [°]

Maximaler Lordosewinkel, gemessen zwischen dem thorako-lumbalen Wendepunkt (ITL) und lumbosacralen Wendepunkt (ILS).

5. Lordosewinkel T12-DM [°]

Lordosewinkel, gemessen zwischen DM und der geschätzten Lage von T12

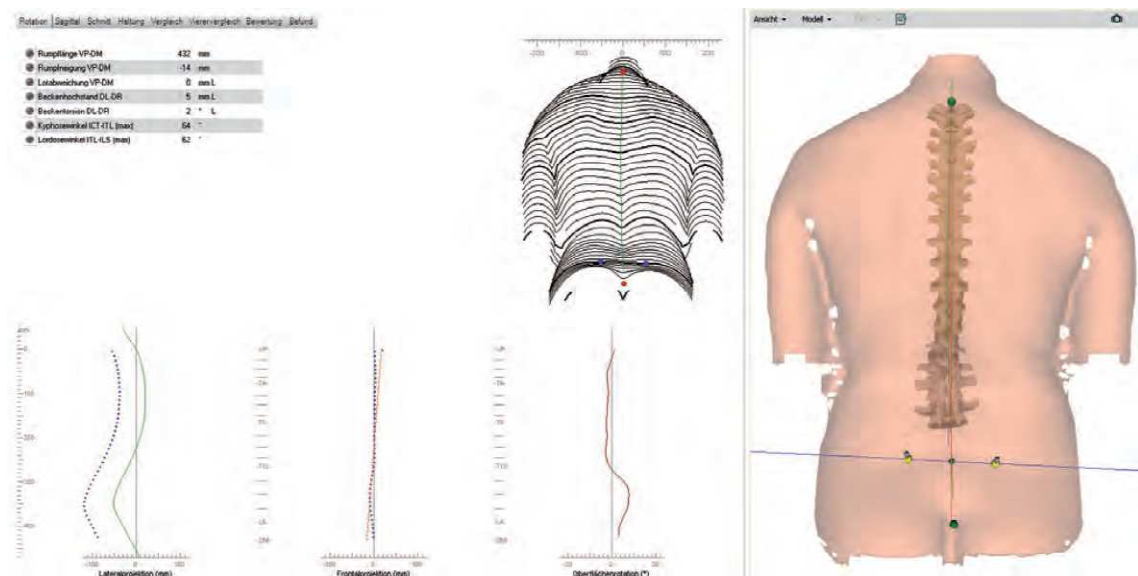


Abb. 12: Bildschirmdarstellung im Sagittalprofil (Quelle: Diers Gesamtbroschüre)

3.6. Statistische Auswertung

Die statistischen Analysen wurden syntaxbasiert mit der Statistiksoftware SPSS® (Release 15.0.1) durchgeführt. Dank für die methodische Beratung und Prüfung der statistischen Auswertungen geht diesbezüglich an Herrn Daniel Wirszing (wirszing@gmx.de; Universität Hamburg, Fachbereich Erziehungswissenschaft). Für die Bearbeitung der in Kapitel 4 aufgeführten Forschungsfragen kamen eine Reihe unterschiedlicher Analysetypen zum Einsatz, die der univariaten Statistik (z.B. Häufigkeitstabellen, einfache Diagramme, Kolmogorov-Smirnov-Test), der bivariaten Statistik (vor allem Korrelationsanalysen r , und ρ) sowie der der multivariaten Statistik (Varianzanalysen mit Messwiederholung) zuzurechnen sind. In mehreren Einzelanalysen wurden Subgruppenanalysen und -vergleiche durchgeführt sowie die Einflusseffekte von Störvariablen (Kovariaten) auspartialisiert. In den nachfolgenden Kapiteln wird jeweils auf die verwendete Analyse verwiesen. Die Durchführung der Rechnungen erfolgte gemäß der Empfehlungen von Bortz (2005) sowie Backhaus et al. (2000). Als „signifikant“ für diese Arbeit, mit Bezug auf Bortz et al. (2008, S. 31), wird ein Signifikanzniveau von kleiner oder gleich 5% ($\alpha = 0,05$), als „sehr signifikant“ ein Signifikanzniveau von 1% ($\alpha = 0,01$) und als „hochsignifikant“ von 0,1% ($\alpha = 0,001$) definiert. Die Diagramme und Auswertungen wurden mit den Programmen SPSS® 15.0.1 und Excel® 2007 erzeugt.

4. Ergebnisse

4.1. Stichprobengröße

An der Studie nahmen 64 Probanden teil. Eingangs wurden vier Probanden von der Studie ausgeschlossen, da sie die Ausschlusskriterien erfüllten (vgl. Kap. 3.1.2). Der Ausschluss erfolgte bei je zwei Probanden wegen akuter Rückenbeschwerden und bei zwei weiteren aufgrund einer orthopädisch diagnostizierten Skoliose. Die übrigen 60 Probanden, welche die

Einschlusskriterien (vgl. Kap. 3.1.2) erfüllten, wurden mittels Losverfahren randomisiert in eine Kontrollgruppe und zwei Behandlungsgruppen eingeteilt. Die Kontrollgruppe (Gruppe 0) umfasste 24 Probanden, die Behandlungsgruppen hatten eine Stärke von 18 (Gruppe 1) und 19 Probanden (Gruppe 3).

Von diesen Teilnehmern brachen 15 Probanden die Studie während der experimentellen Phase ab. Zwei Probanden reagierten auf die manualtherapeutische Behandlung mit Rücken- bzw. Kopfschmerzen. Die restlichen dreizehn Probanden wurden wegen unregelmäßiger Behandlungs-/Messabstände bzw. einer ungenügenden Anzahl von Behandlungen im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt. Dies hatte zur Folge, dass am Ende 45 Probanden zur Auswertung kamen. Diese verteilten sich zu je 15 Personen auf die Kontroll- und die beiden Behandlungsgruppen.

4.2. Stichprobencharakteristika

Von den 45 in die Studie eingeschlossenen Probanden waren 18 weiblich ($30,0 \pm 5,9$ Jahre) und 27 männlich ($30,3 \pm 5,8$ Jahre). Die Gruppen gliederten sich wie folgt: In der Kontrollgruppe (Gruppe 0) befanden sich zehn männliche und fünf weibliche Probanden. Das mittlere Alter betrug 29,9 Jahre mit einer Standardabweichung von 6,4 Jahren. In der Behandlungsgruppe 1 (Gruppe 1), welche einmal pro Woche einer manualtherapeutischen Intervention unterzogen wurde, waren acht männlich und sieben weiblich. Das mittlere Alter betrug 31,1 Jahre mit einer Standardabweichung von 5,2 Jahren.

Die zweite Behandlungsgruppe (Gruppe 3), die dreimal pro Woche manualtherapeutisch behandelt wurde, zählte neun männliche und sechs weibliche Probanden. Der Altersmedian betrug 29,9 Jahre mit einer Standardabweichung von 5,9 Jahren (vgl. Tab. 1./2.).

	Gesamt	Gruppe 0	Gruppe 1	Gruppe 3
Probandenanzahl (weiblich/männlich)	18/27	5/10	7/8	6/9
Alter in Jahren (Mittelwert)	30,31	29,93	31,13	29,87
Alter in Jahren (Standardabweichung)	5,82	6,38	5,17	5,93
Alter in Jahren (Range)	21-41	21-41	24-40	21-38

Tab. 1: Alters- und Geschlechtsstruktur der Gesamt- und Einzelgruppen (ohne Aufteilung nach Geschlecht)

	Gesamt		Gruppe 0		Gruppe 1		Gruppe 3	
Geschlecht	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Alter in Jahren (Mittelwert)	29,98	30,71	31,20	29,30	29,57	32,50	29,17	30,33
Alter in Jahren (Standardabweichung)	5,91	5,84	6,46	6,58	5,86	4,41	5,42	6,52
Alter in Jahren (Range)	23-40	21-41	24-38	21-41	24-40	28-40	23-38	21-37

Tab. 2: Alters- und Geschlechtsstruktur der Gesamt- und Einzelgruppen (mit Aufteilung nach Geschlecht)

Wie die Tabellen 1 und 2 zeigen, sind die Geschlechter in den unterschiedlichen Gruppen etwa gleichmäßig verteilt, sodass mit selektionsbedingten Stichprobeneffekten nicht zu rechnen ist.

4.3. Forschungsfragen

Die Evaluation der Effekte einer manualtherapeutischen Behandlung wird anhand mehrerer Fragestellungen vorgenommen (vgl. Kap. 1.2). Zentrales Ziel ist es, mit Hilfe dieser Fragen einen detaillierten Wirksamkeitsnachweis zu erbringen und zu prüfen, ob die postulierte Arbeitshypothese (vgl. Kap. 1.1) gestützt werden kann.

In mehreren Einzelanalysen werden zunächst die unterschiedlichen Behandlungs- und Untersuchungszeiträume untersucht sowie Subgruppenanalysen und -vergleiche unter Berücksichtigung von vordefinierten Haltungsvarianten durchgeführt. Ergänzend zur Signifikanzprüfung werden Effektstärken berechnet. Zum Ausschluss von Mediationseffekten erfolgt eine Auspartialisierung von Störvariablen (Kovariaten). Um postulierte „Einmaleffekte“ nachzuweisen, findet final eine spezielle Analyse des Vorbehandlungsintervalls statt (vgl. Kap. 3.1.5).

4.3.1. FORSCHUNGSFRAGE 1: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen zwischen den Haltungsvarianten *habituell* und *korrigiert* über unterschiedliche Untersuchungszeiträume nachweisen?

Die erste Forschungsfrage stellt das zentrale Interesse der vorliegenden Arbeit dar. Im Nachfolgenden wird untersucht, ob die manualtherapeutische Behandlung zu einer nachhaltigen Veränderung der Körperhaltung - im Sinne eines *Outcome*-Effekts - führt. Der statistische Focus liegt in diesem Zusammenhang, auf dem Ende des Behandlungsintervalls (t5) sowie des Nachbeobachtungsintervalls (t6/t7). Die durchgeführten Analysen berücksichtigen die Haltungsvarianten *habituell* und *korrigiert* (vgl. Kap. 3.5.4). Es werden die intraindividuellen Veränderungen in den ausgewählten Wirbelsäulenparametern (vgl. Kap 3.5.6) zwischen den Messzeitpunkten 0 bzw. 1 und 5, 6 bzw. 7 untersucht. Dabei werden acht Wirbelsäulenmerkmale jeweils für die zwei Haltungsvarianten (*habituell* und *korrigiert*) in den sechs definierten Zeiträumen (t0-t5; t1-t5; t0-t6; t1-t6; t0-t7; t1-t7) einbezogen, sodass sich durch Multiplikation (8 x 2 x 6) insgesamt 96 Analysen ergeben. Für die Bearbeitung der Forschungsfrage werden Varianzanalysen mit Messwiederholung verwendet.

Es zeigen sich in 13 der 96 Analysen statistisch abgesicherte Veränderungen, darunter sind fünf auf dem 1%-Niveau ($p < .010$) und vier weitere auf dem 0,1%-Niveau ($p < .001$) signifikant. Zusätzlich sind sieben Effekte marginal signifikant

mit $p < .100$. Die augenscheinlichsten Effekte betreffen allesamt die Messungen der zwei *Kyphosewinkel* bei korrigierter Messung zwischen t_0 und t_7 (kwk: $F_{1/35} = 35.586$; $p = .000$; kw_mk: $F_{1/35} = 46.886$; $p = .000$) bzw. t_1 und t_7 (kwk: $F_{1/29} = 42.640$; $p = .000$; kw_mk: $F_{1/29} = 53.068$; $p = .000$). Dabei ist festzustellen, dass es im Verlauf des Untersuchungsintervalls über alle Gruppen sowohl zu einer Abnahme des *Kyphosewinkels* und des *Kyphosewinkels maximum* (s. Abb. 13) kommt.

Die Abbildung 13 präsentiert in Boxplot-Darstellung den Verlauf des Parameters *Kyphosewinkel maximum* bei korrigierter Haltung innerhalb des gesamten Studienzeitraums. Hierbei fällt auf, dass zwar tendenziell eine Abnahme des Parameters zu verzeichnen ist, aber bei zusätzlicher Betrachtung der Mittelwerte keine einheitlichen Treatmenteffekte zu erkennen sind. Auffallend ist zudem, dass die größten Effekte im Sinne einer Abnahme im Parameter, vor und nach und nicht, wie postuliert, während des eigentlichen Behandlungsintervalls (t_2 - t_5) auftreten.

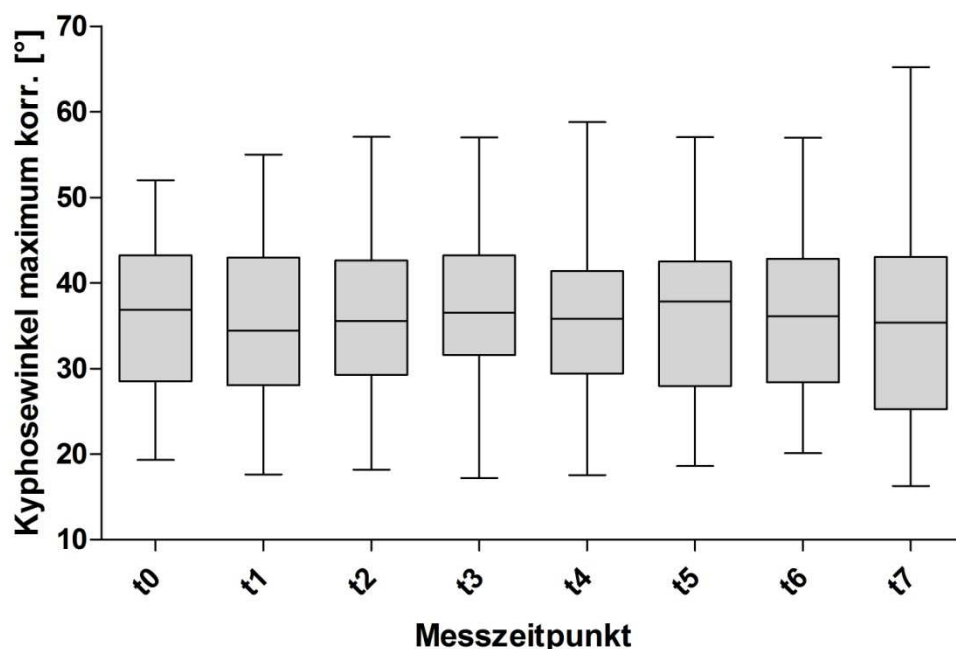


Abb. 13: Boxplot-Darstellung des Parameters *Kyphosewinkel maximum* im gesamten Probandenkollektiv bei korrigierter Messung innerhalb Studienintervalls (t_0 - t_7)

Auffällig ist zudem das Merkmal *Rumpfneigung* bei korrigierter Messung. Hier treten signifikante Effekte zwischen t0 und t6 ($F_{1/40} = 6.375$; $p = .016$), t0 und t7 ($F_{1/35} = 5.400$; $p = .026$) sowie t1 und t7 ($F_{1/29} = 6.606$; $p = .016$) auf. Erneut zeigt sich über den Untersuchungszeitraum eine Verringerung des Parameters. Weitere signifikante Effekte betreffen die Oberflächenrotation und den Lordosewinkel. Resümierend ist festzustellen, dass sich in den dargestellten Analysen kein eindeutiger und theoriekonformer Behandlungseffekt zeigt.

Als bedeutungsvoll sind jedoch die Auswirkungen auf die beiden Kyphosewinkel zwischen t0 und t7 sowie t1 und t7 einzuordnen, da sie systematisch auftreten und auf dem höchsten statistischen Niveau (0,1%-Niveau) signifikant sind. Beispielhaft für diese Entwicklung soll die deskriptive Statistik des Parameters Kyphosewinkels bei habitueller und korrigierter Messung dargestellt werden (s. Tab. 3). Die Veränderungen in den untersuchten Parametern von t0 und t1 zu den Messzeitpunkten t5 und t6 sind laut der statistischen Analysen als zufällig einzustufen, erst zu t7 fallen die bereits thematisierten Effekte signifikant aus.

Kyphosewinkel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Habituell 0. MZP	26,83	56,40	42,28	8,29
Habituell 7. MZP	22,87	56,50	42,10	8,77
Korrigiert 0. MZP	15,54	51,30	34,00	9,43
Korrigiert 7. MZP	12,58	54,27	32,85	10,76

Tab. 3: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel* bei habitueller und korrigierter Messung innerhalb des innerhalb Studienintervalls (t0 und t7).

4.3.2. FORSCHUNGSFRAGE 2: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen zwischen den Haltungsvarianten habituell und korrigiert innerhalb des Behandlungsintervalls nachweisen?

Unter der Annahme, dass die größte Wirkung der Behandlung innerhalb des vierwöchigen Behandlungsintervalls auftritt, wird in den folgenden Analysen lediglich das Treatmentintervall untersucht. Für die nachfolgenden Analysen sind differenzierte Variablen für den 2. und den 5. Messzeitpunkt (MZP) für alle abhängigen Variablen (AV) erzeugt worden. Dabei handelt es sich um die Mittelwerte aus den jeweils assoziierten habituellen und korrigierten Messungen. Hinzu kommen die Differenzwertvariablen, die die Abweichung zwischen habitueller und korrigierter Messung für jeden MZP anzeigen. Zur Prüfung der Forschungsfrage werden deskriptive Statistiken erstellt und Varianzanalysen mit Messwiederholung gerechnet.

Die Analyseergebnisse belegen, dass sich unabhängig vom gemessenen Parameter keine der Arbeitshypothesen aus Kap. 1.1 bestätigen lässt. Wie in den Abbildungen 14 und 15 anhand des Parameters *Lordosewinkel maximum* bei habitueller Messung exemplarisch dargestellt ist, weichen die zum Zeitpunkt t2 und t5 erhobenen Winkelparameter nicht signifikant voneinander ab. Auch die korrespondierenden Winkelparameter des Merkmals *Lordosewinkel maximum* bei korrigierter Messung zu den oben genannten Zeitpunkten zeigen keine signifikanten Unterschiede (vgl. Kap. 7.2.3). Dieser graphische Trend wird sowohl durch multivariate Tests (lwd2 zu lwd5: $F_{1/37} = 1.441$; $p = .238$) als auch die entsprechende deskriptive Statistik bestätigt (s. Tab. 4).

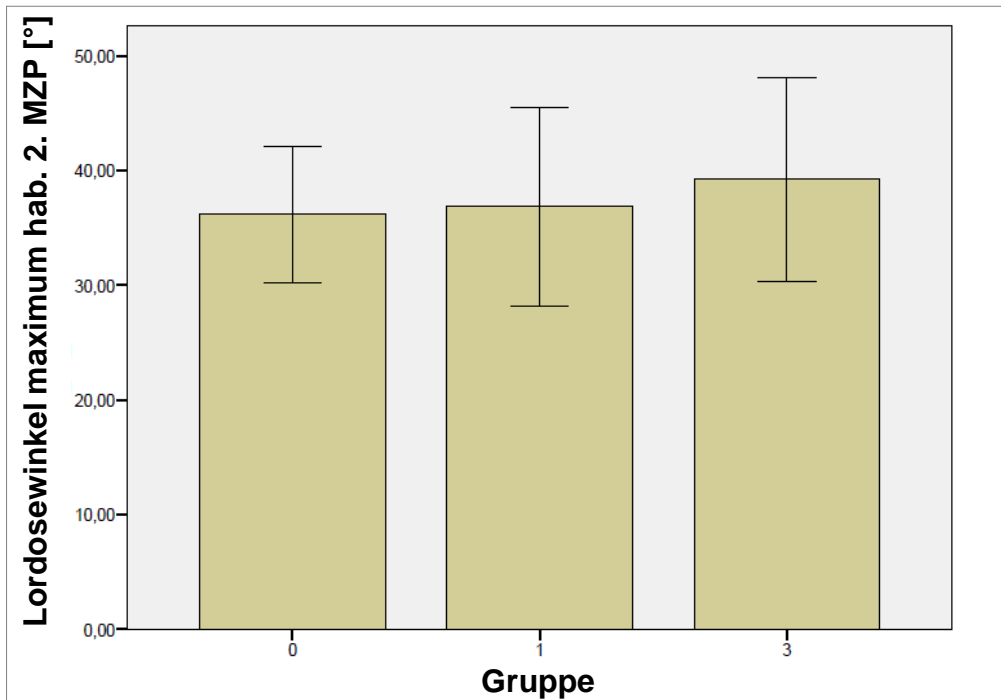


Abb. 14: Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Lordosewinkel maximum* der Gruppen 0,1 und 3 bei habitueller Messung zum Zeitpunkt t2

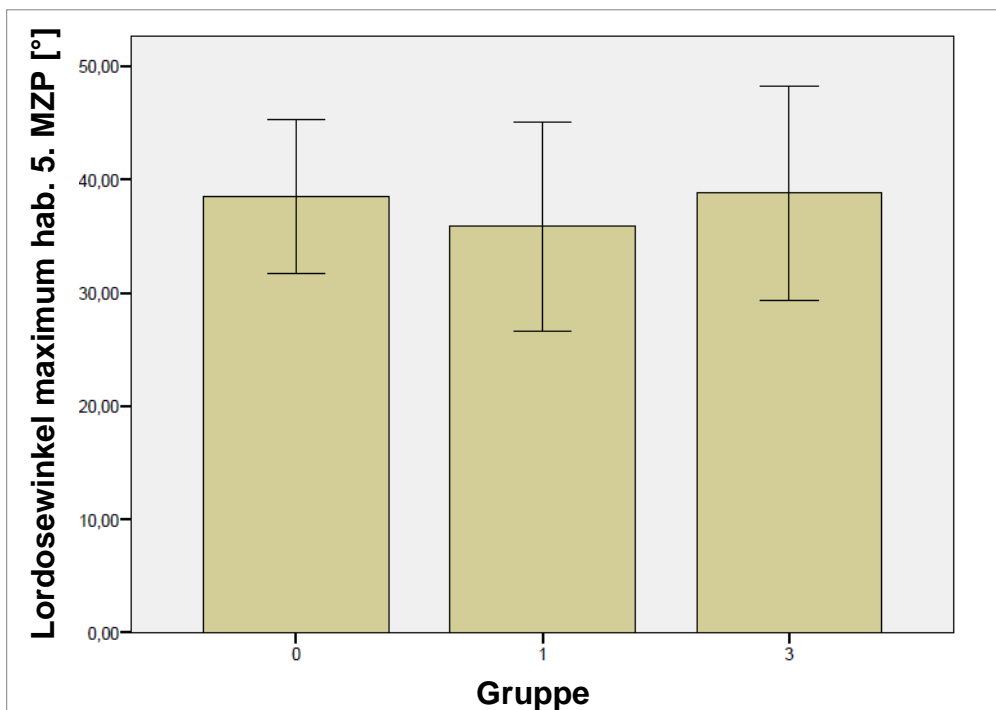


Abb. 15: Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Lordosewinkels maximum* der Gruppen 0,1 und 3 bei habitueller Messung zum Zeitpunkt t5

Lordosewinkel	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Habituell 2. MZP	21,61	48,29	34,06	7,03
Habituell 5. MZP	4,21	48,52	33,70	8,56
Korrigiert 2. MZP	21,86	49,42	35,97	7,41
Korrigiert 5. MZP	14,84	52,89	36,55	8,29

Tab. 4: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Lordosewinkel* bei habitueller und korrigierter Messung innerhalb des Behandlungsintervalls (t2 und t5)

Auch die in Forschungsfrage 1 aufgezeigten und statistisch abgesicherten Veränderungen der zwei *Kyphosewinkel* ($F_{1/37} = .187$; $p = .668$; $F_{1/37} = .237$; $p = .629$) und der *Rumpfneigung* ($F_{1/37} = .029$; $p = .866$) ließen sich hier nicht reproduzieren. Um auszuschließen, dass die ermittelten Befunde auf einzelne Probanden mit extremen Werten (Outlier) zurückgehen, werden zusätzlich Einzelfallanalysen zur Entwicklung der Mittelwerte im Behandlungsintervall durchgeführt. Bis auf wenige abweichende Einzelentwicklungen, welche jedoch statistisch zu vernachlässigen sind, zeigen die Daten insgesamt eine homogene, nicht signifikante Entwicklung. Die Abbildung 16 versucht diese Beobachtungen graphisch zu veranschaulichen.

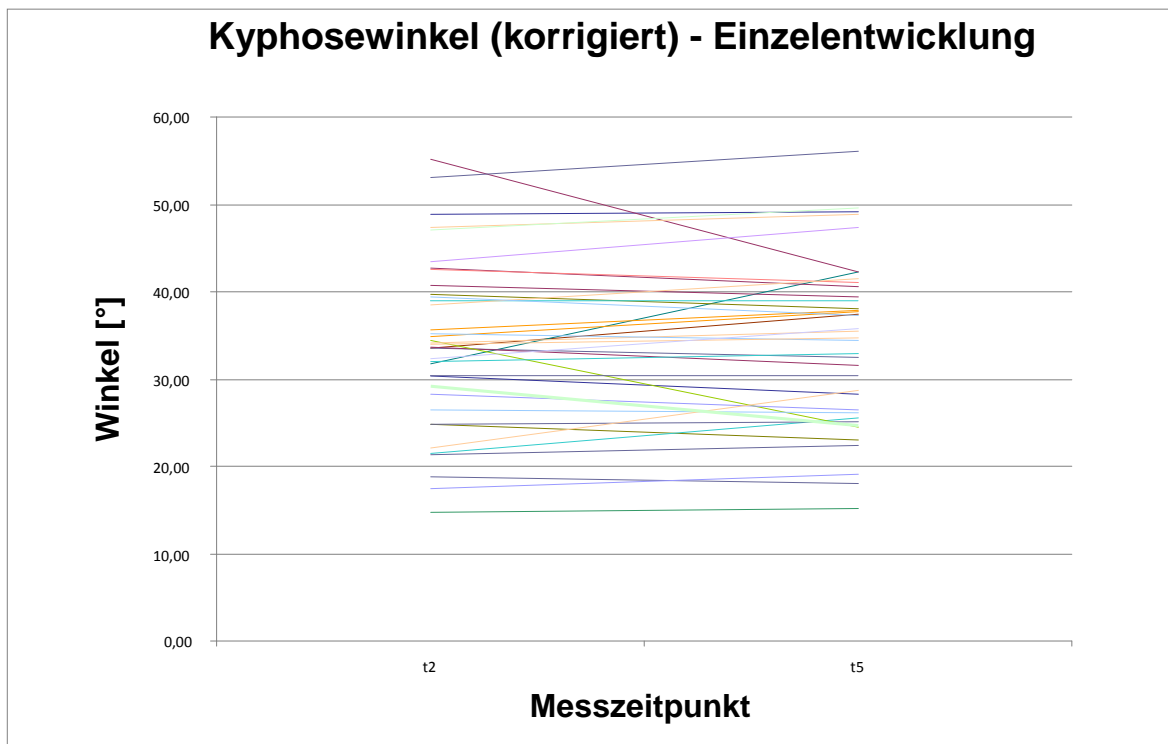


Abb. 16: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel* aller Probanden bei korrigierter Messung innerhalb des Behandlungsintervalls - die unterschiedlichen Linien illustrieren den graphischen Verlauf der Einzelmessung jedes Probanden im Zeitraum t2 bis t5.

Zusammenfassend lassen sich in den 32 Analysen keine statistisch abgesicherten Veränderungen im Sinne eines Treatmenteffektes aufzeigen.

4.3.3. FORSCHUNGSFRAGE 3: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den unterschiedlichen Wirbelsäulenparametern innerhalb des Behandlungsintervalls nachweisen?

Nach dem zunächst selektiv unterschiedliche Behandlungs- und Untersuchungszeiträume betrachtet wurden, soll im nächsten Schritt eruiert werden, ob sich signifikante Treatmenteffekt bei Betrachtung der einzelnen Wirbelsäulenparameter nachweisen lassen. Besonders im Fokus liegen dabei die sagittalen Parameter (Kyphose- und Lordosewinkel), welche postuliert durch eine spinale Manipulation am stärksten beeinflusst werden. Wie einleitend in

Forschungsfrage 2 schon erläutert, wird das Behandlungsintervall untersucht. Erneut findet die Analyse anhand von einfaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung statt. Im Rahmen dieser Analyse zeigt sich nur ein signifikanter Befund. Der Parameter *Oberflächenrotation mittlerer quadratischer Wert bei habitueller Messung* ($F_{1/35} = 4.067$; $p = .051$) ist signifikant auf dem 5%-Niveau. Wie die folgende Abbildung 17 erkennen lässt, kommt es über den Untersuchungszeitraum (t2-t5) zu einer Abnahme im Parameter.

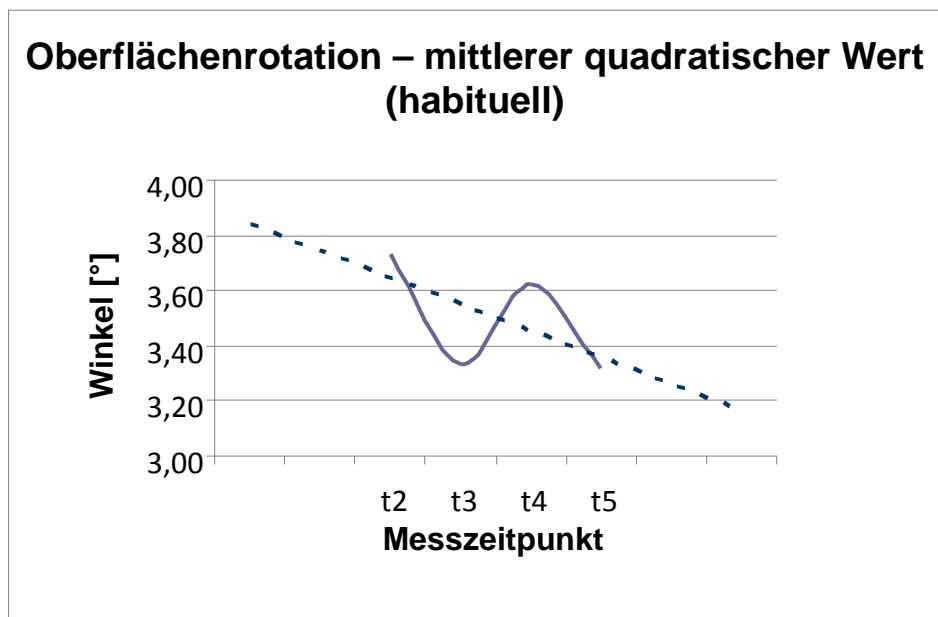


Abb. 17: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Oberflächenrotation - mittlerer quadratischer Wert* - des gesamten Probandenkollektivs bei habitueller Messung innerhalb des Untersuchungsintervalls; Trendlinie gestrichelt.

Bei korrigierter Messung lässt sich dieses Ergebnis nicht reproduzieren ($F_{1/35} = .321$; $p = .575$). Des Weiteren zeigt kein untersuchter Wirbelsäulenparameter signifikante Veränderungen. Dies illustrieren auch die Ergebnisse der multivariaten Tests der Parameter *Rumpfeigung* bei habitueller Messung ($F_{1/35} = 1.632$; $p = .210$) und *Lotabweichung* bei korrigierter Messung ($F_{1/35} = .068$; $p = .796$). Unter Berücksichtigung des Signifikanzkonzepts der inferentiellen Statistik ist jedoch ein einzelner Effekt angesichts der hohen Anzahl von

Analysen zu vernachlässigen, da die Gefahr, dass ein so genannter *Fehler erster Art* vorliegt, hoch ist.

4.3.4. FORSCHUNGSFRAGE 4: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den acht Wirbelsäulenparametern innerhalb des Behandlungsintervalls bei den drei Untersuchungsgruppen nachweisen?

In der Literatur finden sich nur wenige Studien, welche die Effekte von spinalen Manipulationen durch Einteilung des Patientenkollektivs in Interventions- und Kontrollgruppe vornehmen (Kessler et al., 2005).

Ziel dieser Forschungsfrage ist es deshalb zu eruieren, ob die Häufigkeit einer manualtherapeutischen Behandlung, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, eine Einflussgröße darstellt.

Es werden die identischen Analysen wie in Forschungsfrage 3 durchgeführt, jedoch erweitert um den Faktor „Gruppenzugehörigkeit“ [0= Kontrollgruppe, 1= Vergleichsgruppe 1 (1 Behandlung / Woche), 3= Vergleichsgruppe 2 (3 Behandlungen / Woche)] einbezogen, der zur Gruppierung diene.

Die genaue Betrachtung der Entwicklung der einzelnen Gruppen innerhalb des Behandlungsintervalls (t2-t5) lässt eine deutliche Heterogenität bezüglich des postulierten Treatmenteffektes erkennen. Beispielhaft soll dies am Parameter *Kyphosewinkel maximum* bei korrigierter Messung aufgezeigt werden. Während sich die in Forschungsfrage 1 statistisch abgesicherten Effekte (vgl. Kap. 4.3.1) innerhalb des Treatmentintervalls am deutlichsten in der Gruppe 0 abbilden lassen (-0,75°), ergibt die deskriptive Statistik (s. Tab. 5) nur eine marginale Veränderung des Parameters in der Gruppen 1 (-0,04°). In der Gruppe 3 kommt es zu einem, im Vergleich zu den anderen Gruppen, deutlich entgegen gerichteten Effekt (+0,90°) (s. Abb.18).

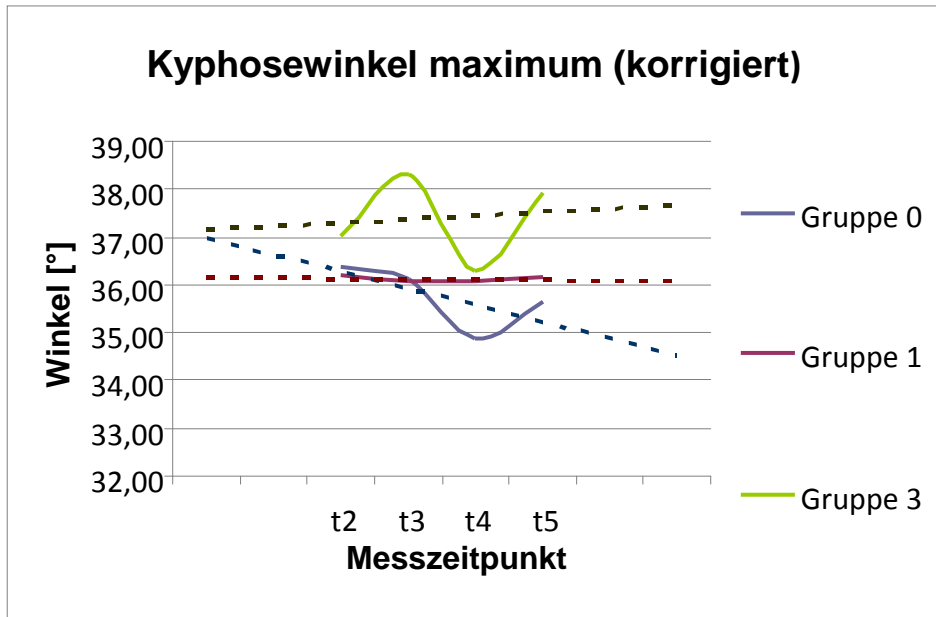


Abb. 18: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel maximum* der Gruppen 0, 1 und 3 bei korrigierter Messung innerhalb des Untersuchungsintervalls.

Kyphosewinkel maximum korrigiert (°)			
Zeitpunkt	Gruppe 0	Gruppe 1	Gruppe 3
t2	36,39	36,20	37,04
t5	35,64	36,16	37,94
	-0,75	-0,04	+ 0,90

Tab. 5: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel maximum* der einzelnen Gruppen 0, 1 und 3 bei korrigierter Messung innerhalb des Behandlungsintervalls (t2 bis t5). Die unterste Spalte illustriert die Differenz der Winkelwerte zwischen t2 und t5 in den jeweiligen Gruppen.

Die bereits beschriebene Tendenz, dass sich die Gruppe 3 zum Teil sehr deutlich von Gruppe 0 (Kontrollgruppe) und 1 absetzt, lässt sich auch bei weiteren Parametern graphisch erkennen. Im Gegensatz zu den Kyphoseparametern konnte beim Merkmal *Rumpfeigung* bei korrigierter Messung der in Forschungsfrage 1 beobachtete, abnehmende Trend auch bei Betrachtung der Einzelgruppen nachgewiesen werden (vgl. Kap. 7.2.1; 7.3.1).

Insgesamt erbringt die Aufgliederung in die drei Behandlungsgruppen jedoch keine signifikanten Befunde. Dies zeigt sich insbesondere bei der Betrachtung des untersuchten Parameters *Kyphosewinkel maximum* bei korrigierter Messung. Die ermittelten Ergebnisse der gerechneten Analysen folgen nicht den in der allgemeinen Arbeitshypothese (vgl. Kap.1.2) erwarteten Auswirkungen. Dies wird deutlich mit Blick auf die Gruppen 1 und 3. In Bezug auf die postulierten Effekte verhalten sich diese deutlich antizyklisch (vgl. Tab. 5). Wie in der zuvor bearbeiteten Forschungsfragen sind die p-Werte insgesamt niedrig.

4.3.5. FORSCHUNGSFRAGE 5: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den acht Wirbelsäulenparametern in zwei Gruppen (0&1 vs. 3) nachweisen?

Aufgrund der Beobachtung im Rahmen von Forschungsfrage 4 mit der Tendenz, dass sich die Gruppe 3 deutlich von Gruppe 0 und 1 absetzt, werden weitere Analysen vorgenommen, bei denen die Gruppe 0 und 1 zusammengefügt wurden. Diese kumulierte Gruppe wird in der Folge gegen Gruppe 3 getestet. Es soll damit untersucht werden, ob die Beobachtungen in Kap. 4.3.4 als systematisch anzusehen sind.

Das Vorgehen folgte – abgesehen von der Gruppenanzahl – dem in Forschungsfrage 4. Erneut werden Varianzanalysen mit Messwiederholung gerechnet.

Infolge der Dichotomisierung der Gruppen ergeben die Analysen mehrere signifikante Effekte. Der Parameter *Oberflächenrotation* bei habitueller Messung ist erneut signifikant, in diesem Fall auf dem 1%-Niveau ($F_{1/35} = 7.202$; $p = .011$). Kontrastiert durch die Dichotomisierung dokumentiert die folgende Abbildung 19 die bereits in Forschungsfrage 4 beobachtete Entwicklung.

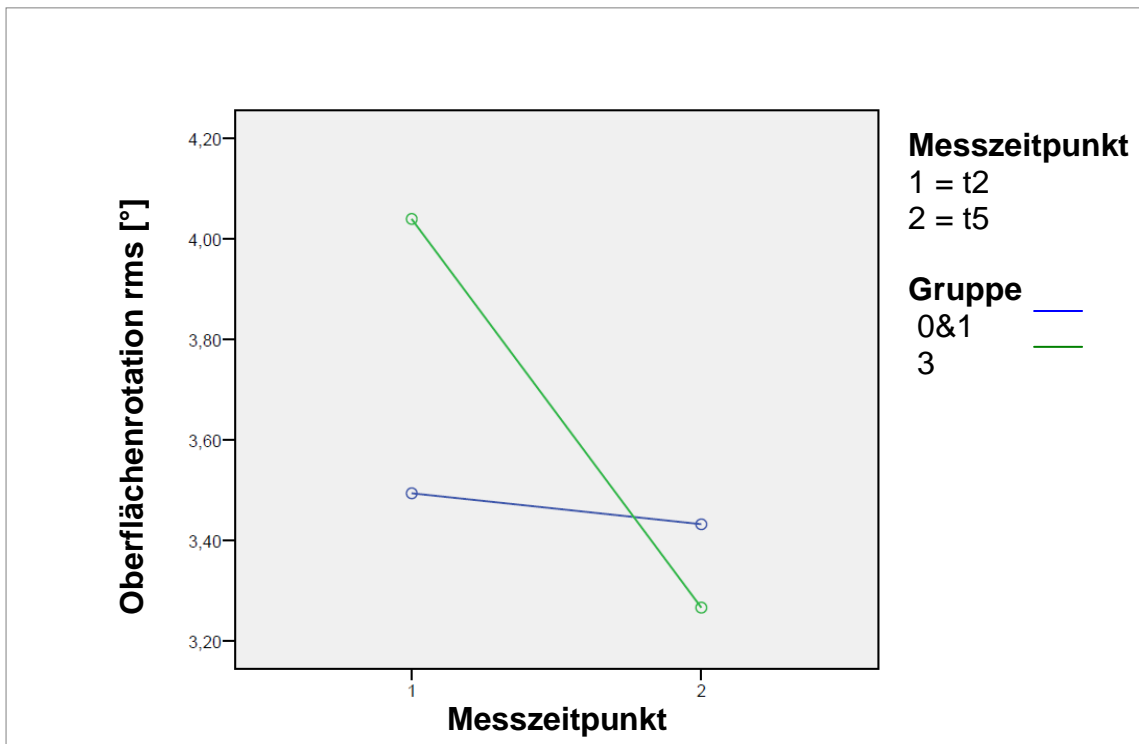


Abb. 19: Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Oberflächenrotation* - *mittlerer quadratischer Wert* - der Gruppen 0&1 vs. 3 bei habitueller Messung innerhalb des Behandlungsintervalls (t2-t5)

Während sich die Gruppe 0&1 nur marginal im Sinne einer Abnahme des Parameters verändert, erkennt man in der Gegenüberstellung dazu die deutlichen Veränderungen der Gruppe 3.

Auch der Parameter *Rumpfeigung* bei habitueller Messung zeigt über die Zeit signifikante Veränderungen auf dem 5%-Niveau ($F_{1/36} = 4.153$; $p = .049$). Für die anderen Variablen sind hingegen nach der statistischen Analyse keine Anhaltspunkte für eine bedeutsame Veränderung nachzuweisen.

4.3.6. FORSCHUNGSFRAGE 6: Lassen sich durch die Analyse der Effektstärken (*r*- und *rho*-Korrelationsmaße) für die korrelierenden Variablen signifikante Effekte nachweisen?

Da sich in der vorangegangenen Analyse zwar vereinzelt signifikante Veränderungen zeigen, diese jedoch nicht systematisch und im Sinne des postulierten Treatmenteffektes auftreten, werden im Rahmen dieser Analyse die Effektstärken berechnet. Die in diesem Kontext beobachteten niedrigen *p*-Werte können auch auf den Stichprobenumfang zurückzuführen sein. Aus diesem Grund soll mittels der folgenden Analyse untersucht werden, wie stark der erzielte Effekt unabhängig von der Stichprobengröße ist. Berücksichtigt werden die Korrelationen zwischen der rekodierten Gruppenvariable (0&1 vs. 3) und den gemittelten abhängigen Variablen (AV) sowie den Differenzwerten zwischen *t*₂ und *t*₅.

Zunächst wird der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient (Pearson *r*) berechnet. Liegt kein linearer Zusammenhang zwischen den untersuchten Variablen vor, kommt im nachfolgenden Schritt noch ein weiteres Korrelationsmaß, der *rho*-Koeffizient nach Spearman, zur Anwendung. Im Gegensatz zum Pearson ist dieser bei nicht normalverteilten Daten genauer, weil er eine Rangfolge der Messwerte, unabhängig von den Abständen zwischen den Werten, bildet.

Insgesamt gibt es im Rahmen der Korrelationsbestimmung nach Pearson nur in drei von 54 Analysen statistisch abgesicherte Veränderungen. Sie betreffen zum einen den Mittelwert der *Oberflächenrotation maximum* bei habitueller Messung zum Messzeitpunkt *t*₅ (OFR_m hab. 5. MZP mean: $r = .413$; $p = .007$). Des Weiteren betroffen ist der Mittelwert der *Rumpfneigung* bei korrigierter Messung zum Messzeitpunkt *t*₂ (rn korr. 2. MZP mean: $r = .306$; $p = .049$).

Als Letztes zu erwähnen ist die Differenz zwischen habitueller und korrigierter Messung der *Oberflächenrotation maximum* zum Messzeitpunkt *t*₅ (OFR_m 5. MZP Diff. hab. und korr.; $r = .338$; $p = .030$)

Die Effekte bei den Rangkorrelationsanalysen (Spearman-*rho*) liegen geringfügig höher als die der Produkt-Moment-Korrelationsanalysen (Pearson-

r). Betroffen sind wieder die bereits beschriebenen Parameter. Bei der Betrachtung der Korrelationsanalysen nach Pearson fällt auf, dass die Korrelationen häufig ähnliche Parameter untereinander betreffen. Beispielfhaft sind hier zu erwähnen der Vergleich des *Kyphosewinkel maximum* mit dem *Kyphosewinkel* (KW_m9 zu KW_9: $r = .866$; $p = .000$) und der *Lordosewinkel* mit dem *Lordosewinkel maximum* (LW21 zu LW_m21: $r = .871$; $p = .000$). Die Ergebnisse zeigen auch, dass offensichtlich eine Wechselbeziehung zwischen den sagittalen Parametern (Kyphose- und Lordose-Winkeln) vorhanden ist (LW4 zu KW4: $r = .429$; $p = .004$). Darüber hinaus lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Parameter Rumpfneigung und den Lordose- (RN31 zu LW_m31: $r = .425$; $p = .010$) beziehungsweise Kyphosewinkel-Variablen nachweisen (RN23 zu KW23: $r = .328$; $p = .036$). Die Korrelation zwischen den sagittalen Parametern lässt die Vermutung zu, dass eine manualtherapeutische Intervention im Bereich der Brustwirbelsäule Auswirkungen auf die sagittale Ausrichtung der Lendenwirbelsäule hat. Diese Interdependenzen werden in der aktuellen Literatur immer wieder postuliert, jedoch nur durch wenige Studien effektiv belegt (vgl. Fernandez-de-las-Penas et al., 2007). Damit hätten die beobachteten Effekte klinische und praktische Relevanz.

4.3.7. FORSCHUNGSFRAGE 7: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den relevanten Wirbelsäulenparametern im Behandlungszeitraum nach Bereinigung vom Parameter Rumpfneigung nachweisen?

Aufgrund einer von Drerup et al. festgestellten negativen Korrelation zwischen der Variable Rumpfneigung mit dem Lordose- und Kyphosewinkel wurden die Wirbelsäulenparameter Kyphose- und Lordosewinkel unter Auspartialisierung der Variablen Rumpfneigung erneut analysiert (vgl. Drerup et al., 2001). Zweck dieser Analysen ist es, einen möglichen Mediationseffekt auszuschließen.

Die vorangegangenen Ergebnisse bestätigten, dass signifikante Interkorrelationen bestehen (vgl. Kap. 4.6). Dabei zeigen sich sowohl

Korrelationen zwischen den beiden Lordosewinkel-Variablen und den beiden Kyphosewinkel-Variablen als auch zwischen Lordose- und Kyphosewinkel-Variablen sowie zwischen Rumpfneigung und den Lordose- bzw. Kyphosewinkel-Variablen.

Aus diesem Grund wird die Variable Rumpfneigung (RN) beziehungsweise ihr Einfluss auf die Winkelvariablen auspartialisiert. Dies erfolgt in einem ersten Schritt über Kovarianzanalysen. Dieses Verfahren ist unbefriedigend, wie die Qualitätskontrolle mittels Interkorrelationen zeigt. In einem zweiten Schritt wird die Partialkorrelation als Residualwertvariable über ein regressionsanalytisches Verfahren erzeugt. Anschließend erfolgt erneut die Analyse der intraindividuellen Veränderung zwischen t2 und t5 in einer abhängigen Variablen“ (z.B. kw_mh2 zu kw_mh5 usw.) für die jeweils beiden Lordose- und Kyphose- Winkelvariablen bei habitueller und korrigierter Messung (vgl. Kap. 4.3.2 und 4.3.3).

In den Analysen mit den korrigierten Variablen zeigen sich insgesamt keine relevanten Effekte. Die prognostizierte Zunahme der Signifikanz der Lordose- und Kyphose-Winkelvariablen blieb auch nach Auspartialisierung der Variablen Rumpfneigung aus. Im Rahmen der Korrelationsprüfung nach Pearson korrelieren die korrigierten Variablen über das Behandlungsintervall (t2-t5) zwar etwas schwächer als die unkorrigierten Variablen, jedoch wichen die Werte der korrigierten Variablen im Mittel nicht wesentlich vom Wert 1 ab. Bei einem Wert von +1 (beziehungsweise -1) besteht ein vollständig positiver (beziehungsweise negativer) linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Somit muss auf Grundlage der Daten von einem Mediationseffekt der Variable Rumpfneigung auf die sagittalen Wirbelsäulenparameter Abstand genommen werden. Beispielhaft wird dies anhand des Parameters *Kyphosewinkel* durch die Tabelle 6 veranschaulicht.

Parameter	Korrelation nach Pearson
Kyphosewinkel (unkorrigiert)	1
Kyphosewinkel (korrigiert)	.959
Lordosewinkel (unkorrigiert)	1
Lordosewinkel (korrigiert)	.993

Tab. 6: Darstellung der Interkorrelation der korrigierten und unkorrigierten Variablen des Parameters *Kyphose- und Lordosewinkel* über den Behandlungszeitraum (t2-t5).

Auch in den deskriptiven Analysen zeigen sich sowohl bei den bereinigten Kyphose- als auch bei den Lordose-Winkelvariablen in beiden Haltungsverarianten keine hypothesenstützenden Werte. Beispielhaft zu erwähnen sind hier die Parameter *Kyphosewinkel maximum* bei habitueller Messung (kw_mh2 zu kw_mh5: $F_{1/37} = .041$; $p = .840$) und der Lordosewinkel bei korrigierter Messung (lwk2 zu lwk5: $F_{1/37} = .058$; $p = .811$).

4.3.8. FORSCHUNGSFRAGE 8: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den vier korrigierten Wirbelsäulenparametern innerhalb des Behandlungszeitraums in den drei Gruppen nachweisen?

Die im Kontext von Forschungsfrage 7 neu generierten und von der Variable Rumpfneigung bereinigten Wirbelsäulenvariablen werden nun zusätzlich unter Verwendung des Faktors „Gruppenzugehörigkeit“ untersucht. Ein Vergleich der einzelnen Behandlungsgruppen mit der Kontrollgruppe soll klären, ob sich die prognostizierten Effekte durch diese Aufteilung kontrastieren lassen.

Erneut zeigen sich keine signifikanten Befunde. Die Ursache liegt darin, dass die Veränderungen von t2 zu t5 zu gering sind. Partiiell zeigte sich zwar ein Verhältnis, welches der Hypothese (Gruppe 3 bessert sich stark, Gruppe 1 leicht, Gruppe 0 nicht) folgt (s. Abb. 20). Bezogen auf die restlichen untersuchten Parameter lässt sich der oben genannte Trend jedoch nicht reproduzieren.

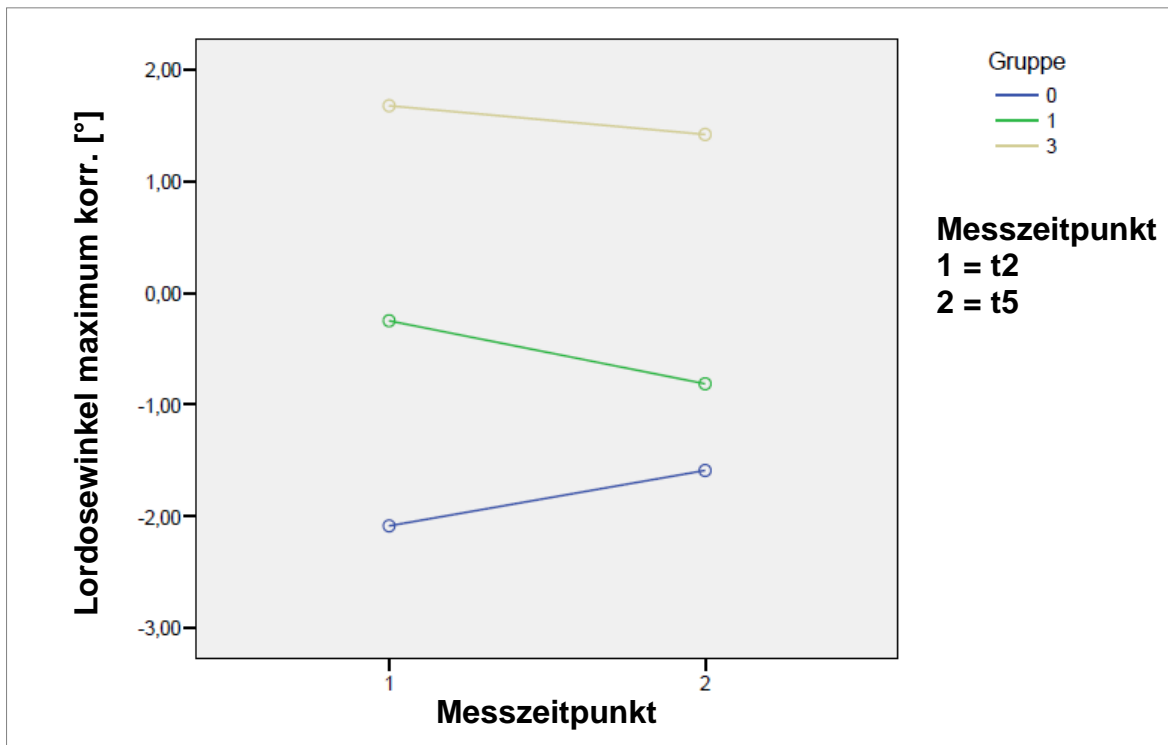


Abb. 20: Entwicklung der Mittelwerte der Abweichung des bereinigten Parameters *Lordosewinkel maximum* der Gruppen 0,1 und 3 bei korrigierter Messung innerhalb des Behandlungsintervalls (t2-t5).

Zudem muss die Veränderungen in Bezug zur Standardabweichung interpretiert werden. Als Richtwert sollten die Zuwächse zwischen t2 und t5 (Differenz in den einzelnen Gruppen) dabei größer sein als die oben genannte Standardabweichung. Dies ist jedoch ebenfalls bei weitem nicht gegeben. Hier exemplarisch dargestellt am Parameter *Kyphosewinkel korrigiert* (s. Abb. 21. und 22).

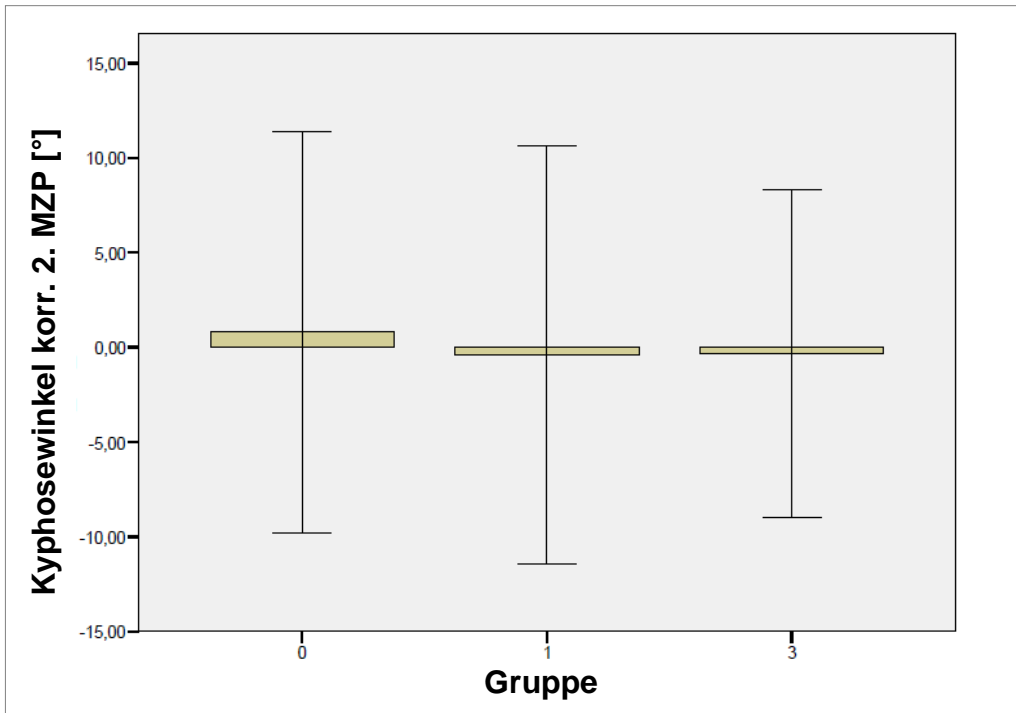


Abb. 21: Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel* der Gruppen 0,1 und 3 bei korrigierter Messung zum Zeitpunkt t2

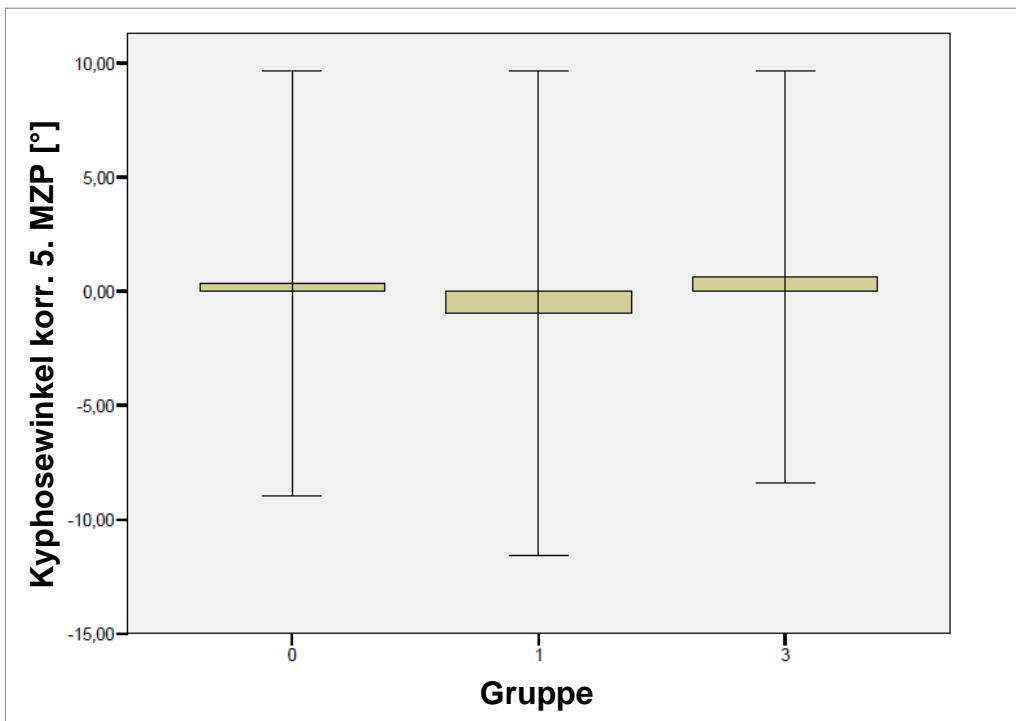


Abb. 22: Darstellung der Entwicklung der Mittelwerte des Parameters *Kyphosewinkel* der Gruppen 0,1 und 3 bei korrigierter Messung zum Zeitpunkt t5

4.3.9. FORSCHUNGSFRAGE 9: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen in den vier korrigierten Wirbelsäulenparametern innerhalb des Behandlungsintervalls in zwei Gruppen (0&1 vs. 3) und (0 vs. 1&3) nachweisen?

Erneut werden die korrigierten Wirbelsäulenparameter untersucht. Aufgrund der in Forschungsfrage 8 angedeuteten Tendenzen bezüglich der prognostizierten Effekte in den Einzelgruppen (Gruppe 3 bessert sich stark, Gruppe 1 leicht, Gruppe 0 nicht) werden neue Gruppen-Variablen aus den einzelnen Gruppenzugehörigkeitsvariablen (0, 1 und 3) rekodiert. Diese kumulierten Gruppen 0&1 vs. 3 und 0 vs. 1&3 sind dann in einem weiteren Schritt gegeneinander getestet worden, um die erwarteten Effekte deutlicher aufzuzeigen.

Die Analysen folgen dem in den vorherigen Forschungsfragen beobachteten Trend. Auch der Versuch der Kontrastierung von Effekten durch Bildung von neuen Gruppen-Variablen zeigt keine messbaren Auswirkungen. Wie schon in Kap. 4.8 lassen sich auch im Rahmen dieser Analysen nur in Ansätzen hypothesenkonforme Verläufe erkennen (vgl. Kap. 1.1 und 1.2). Diese Tendenzen werden ebenfalls durch die deskriptive Statistik gestützt. Exemplarisch für die Gruppen-Variable (0&1 vs. 3) wird der *Kyphosewinkel maximum* bei habitueller Messung genannt ($F_{1/36} = .132$; $p = .718$). Für die Gruppen-Variable (0 vs. 1&3) soll hier der *Lordosewinkel* bei habitueller Messung aufgeführt werden ($F_{1/36} = .005$; $p = .941$). Insgesamt muss das Signifikanzniveau der gerechneten Analysen als sehr niedrig bezeichnet werden.

4.3.10. FORSCHUNGSFRAGE 10: Lassen sich durch die Analyse der Effektstärken (*r*-Korrelationsmaße) für die korrigierten Variablen signifikante Effekte nachweisen?

Berücksichtigt werden die Zusammenhänge zwischen den neuen korrigierten Variablen innerhalb des Behandlungsintervalls (t2-t5) in den drei Gruppen (0,1 und 3). Zur Bestimmung der Effektstärken der von dem Parameter Rumpfneigung bereinigten sagittalen Variablen wird der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient (Pearson-r) berechnet. Verglichen werden die Unterschiede in den korrigierten Variablen zum Messzeitpunkt t2 und t5 unter Berücksichtigung der Gruppenzugehörigkeitsvariablen (0, 1 und 3).

Ziel dieser Forschungsfrage ist es, durch Berechnung der Korrelationsmaße, einen Wirksamkeitsnachweis der manualtherapeutischen Intervention im Treatment-Intervall im Vergleich der Behandlungsgruppen nachzuweisen.

Insgesamt sind im Rahmen der Korrelationsbestimmung nach Pearson keine signifikanten Effekte zu erkennen. Die Korrelationswerte sind zwar durchweg hoch, meist im Bereich von .85 bis .95. Sie liegen jedoch so eng aneinander, dass von einem Treatment-Effekt auf dieser Datengrundlage abgesehen werden muss (s. Tab. 7)

Gruppe	Parameter	Messzeitpunkt	Korrelation nach Pearson
0	Lordosewinkel korrigiert	t2 und t5	.817
1	Lordosewinkel korrigiert	t2 und t5	.974
3	Lordosewinkel korrigiert	t2 und t5	.944

Tab. 7: Darstellung der Korrelation (nach Pearson) des Parameters *Lordosewinkel* bei korrigierter Messung zum Messzeitpunkt t2 und t5 in den einzelnen Gruppen (0,1 und 3).

4.3.11. FORSCHUNGSFRAGE 11: Lassen sich intraindividuelle Veränderungen zwischen den Haltungsvarianten habituell und korrigiert innerhalb des Vorbehandlungsintervalls (t_0 - t_1) sowie t_0 - t_2 nachweisen?

Die vorangehenden Forschungsfragen offenbaren, dass sich innerhalb des Behandlungsintervalls keine hypothesenkonformen Effekte aufzeigen lassen. Aufgrund der Ergebnisse in Forschungsfrage 1 und der in verschiedenen Publikationen (vgl. Arndt et al., 2002; Bronfort et al., 2004; Gross et al., 2010; Furlan et al., 2012) teilweise beschriebenen kurzzeitigen Effekte manualtherapeutischer Behandlungen soll gesondert das Vorbehandlungsintervall (vgl. Kap. 3.1.5) untersucht werden.

Es werden die intraindividuellen Veränderungen in den abhängigen Variablen (AV) zwischen 0. und 1. MZP sowie zwischen 0. und 2. MZP auf statistische Signifikanz untersucht. Dabei werden 8 Merkmale jeweils für habituelle und korrigierte Haltung im Zeitraum (t_0 - t_1 ; t_0 - t_2) einbezogen, so dass sich insgesamt 32 Analysen ergeben.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt in sechs der 32 Analysen statistisch abgesicherte Effekte, davon zweimal auf dem 5%-Niveau ($p < .050$) und vier auf dem 1%-Niveau ($p < .010$). Zusätzlich sind in drei Analysen *marginale* Effekte auf dem 10%-Niveau ($p < .100$) zu verzeichnen.

Die ausgeprägtesten Effekte zeigen die beiden Lordosewinkel-Variablen (normal und maximal) im Zeitraum von t_0 zu t_1 . Die signifikanten Veränderungen betreffen dabei sowohl die habituelle Messung (lw_mh : $F_{1/36} = 13.086$; $p = .001$; lwh : $F_{1/36} = 10.209$; $p = .003$) als auch die korrigierte Messung (lw_mk : $F_{1/36} = 9.488$; $p = .004$; lwk : $F_{1/36} = 12.633$; $p = .001$). Dabei ist festzustellen, dass es im Verlauf des Untersuchungsintervalls über alle Gruppen sowohl zu einer Zunahme des *Lordosewinkels* als auch des *Lordosewinkels maximum* kommt. Der *Lordosewinkel* vergrößert sich in der habituellen Messung um $1,18^\circ$ (+/- SD) und in der korrigierten Messung um $2,09^\circ$ (+/- SD). Der *Lordosewinkel maximum* vergrößert sich in der habituellen

Messung um 1,27° und in der korrigierten Messung um 1,97° (+/- SD) (s. Abb. 23 und Tab. 8).

Parameter	Zeitpunkt	Minimum	Maximum	MW	SD	p-Wert
Lordosewinkel max. habituell (°)	t0	12,00	58,38	36,92	9,11	.001
	t1	20,64	58,50	38,19	8,89	
Lordosewinkel habituell (°)	t0	3,81	51,60	33,06	9,08	.003
	t1	12,56	49,54	34,24	8,86	
Lordosewinkel max. korrigiert (°)	t0	19,35	57,34	37,45	8,82	.004
	t1	17,91	58,40	39,42	9,45	
Lordosewinkel korrigiert (°)	t0	10,62	53,40	35,00	8,90	.001
	t1	14,27	55,27	37,09	9,45	

Tab. 8: Darstellung der Mittelwerte (MW), ± Standardabweichung (SD) und der Grenzbereiche der Parameter *Lordosewinkel* und *Lordosewinkel maximum* in habitueller und korrigierter Messung innerhalb des Vorbehandlungsintervalls (t0-t1)

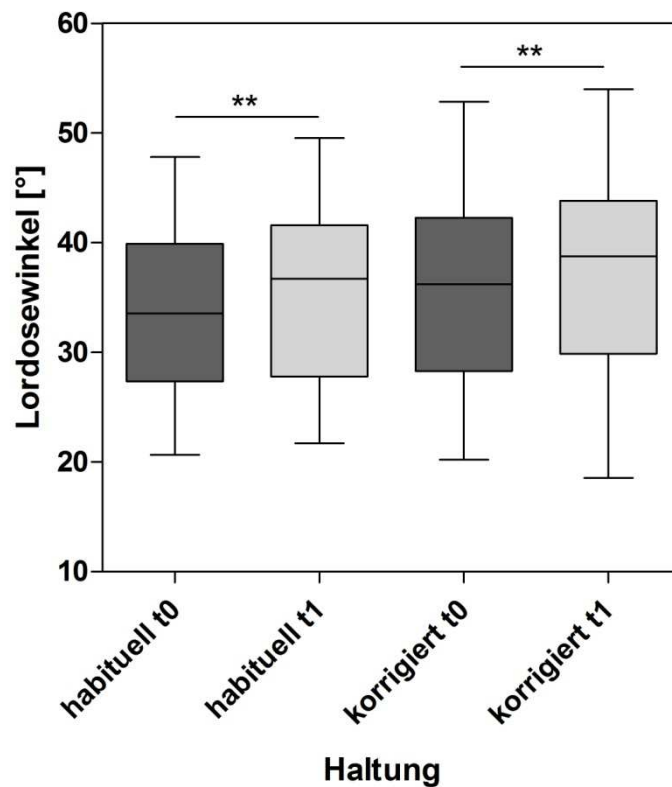


Abb. 23: Boxplot-Darstellung des Parameters *Lordosewinkel* bei habitueller und korrigierter Messung innerhalb des Vorbehandlungsintervalls (t0-t1) inklusive Standardabweichung

Als auffällig zu werten ist der Verlauf des Parameters *Rumpfneigung*. Sowohl bei habitueller ($F_{1/36} = 4.499$; $p = .041$) und als auch bei korrigierter Messung ($F_{1/36} = 4.975$; $p = .032$) zeigen sich signifikante Effekte auf dem 5%-Niveau.

Eingeschränkt signifikante Effekte betreffen den *Kyphosewinkel* bei habitueller Messung zwischen t0 und t1 und den *Lordosewinkel maximum* bei korrigierter Messung zwischen t0 und t2 (10%-Niveau).

Die Auswertung der Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass eine manuelletherapeutische Behandlung im Bereich der Brustwirbelsäule zu einer signifikanten Veränderung der sagittalen Ausrichtung der Lendenwirbelsäule führt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Beobachtung, dass die korrigierten Lordoseparameter deutlicher zunehmen als die habituellen.

Die Kyphosewinkel und Oberflächenrotation scheinen nicht beeinflussbar durch die Behandlung. Des Weiteren fällt auf, dass die Veränderungen, bis auf eine Ausnahme, nur von t0 zu t1, nicht aber von t0 zu t2 signifikant ausfallen.

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach Bearbeitung der zentralen Forschungsfragen lässt sich resümieren, dass der postulierte gruppenbezogene Treatmenteffekt sich im gesamten Behandlungszeitraum sowohl unter Berücksichtigung verschieden gewählter Start- (t0 und t1) als auch Endpunkte (t5, t6 und t7) nicht verifizieren lässt (vgl. Kap. 4.3.1).

Es ist dabei festzuhalten, dass sich in den dargestellten Analysen keine eindeutigen, theoriekonformen Treatmenteffekte zeigen. Als bedeutungsvoll sind jedoch die vier bereits oben thematisierten Effekte auf die Kyphosewinkel zwischen t0/t7 und t1/t7 einzuordnen, da sie systematisch auftreten und auf dem höchsten statistischen Niveau signifikant sind. Die Veränderungen in den untersuchten Parametern von t0/t1 zu den MZP 2, 3, 4, 5, 6 sind laut der statistischen Analysen als zufällig einzustufen, erst zu t7 fallen die oben beschriebenen Effekte signifikant aus. Unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstandes ist dieser Befund nicht aufzuklären.

Des Weiteren ist dieser auch, im gesondert betrachteten vierwöchigen Behandlungsintervall (t2 -t5), statistisch nicht nachweisbar (vgl. Kap. 4.3.2). Die Hypothese, dass über die Untersuchungszeit (t2-t5) eine Veränderung der Differenzen zwischen habitueller und korrigierter Messung intraindividuell auftritt, muss aufgrund der hier analysierten Daten verworfen werden. Ein direkter Treatmenteffekt bestätigt sich nicht im statistischen Test.

Bei der Suche nach möglichen Ursachen für das Ausbleiben der erwarteten Wirkung der manualtherapeutischen Intervention werden verschiedene Datentransformationen vorgenommen.

Hierbei ergab sich folgendes Gesamtbild:

Bei der Evaluation der intraindividuellen Veränderung der einzelnen Wirbelsäulenparameter lässt sich sowohl unter Vernachlässigung (Vgl. Kap. 4.3.3) als auch unter Berücksichtigung der Gruppendifferenzierung kein statischer Effekt nachweisen (vgl. Kap. 4.3.4). Zur Kontrastierung möglicher Effekte innerhalb der beiden Behandlungsgruppen wurde eine Gruppendichotomisierung vorgenommen (Gruppe 0&1 vs. 3). Hier kam es zu vereinzelt Effekten, die sich jedoch nicht wegweisend für die Beantwortung der zentralen Forschungsfragen eignen (vgl. Kap. 4.3.5).

Ergänzend zur Signifikanzprüfung wurden korrelative Effektstärken berechnet (r und ρ). Zwar zeigten sich auch hier leichte Korrelationen. Diese erbrachten insgesamt keine neuen Erkenntnisse in Bezug zu den vorherigen Untersuchungen. Die Ausnahme bildeten die Interkorrelationen der sagittalen Wirbelsäulenparameter. Es zeigen sich statistisch abgesicherte Korrelationen zwischen den Brust- und Lendenwirbelsäulenparametern auf dem 1%-Niveau ($p < .010$).

Dies würde für eine in der Literatur oft diskutierte Interdependenz verschiedener Wirbelsäulenabschnitte sprechen und könnte damit klinische Relevanz in Bezug auf den Einsatz manualtherapeutischer Techniken haben. (vgl. Kap.4.3.6). Um die Hinweise auf eine Mediation durch die Variable Rumpfnäigung von Drerup (2001) zu berücksichtigen, wurden Partialkorrelationsanalysen in Bezug auf die Variablen Kyphose- und Lordosewinkel angestellt. Hierbei wurden die Analysen aus den Forschungsfragen 3 bis 6 unter Auspartialisierung der Rumpfnäigung erneut durchgeführt. Es zeigten sich im Gesamtbild ebenfalls keine relevanten Effekte (vgl. Kap. 4.3.8 bis 4.3.10).

Abschließend lässt sich nach der statistischen Untersuchung der Forschungsfragen 1 bis 10 feststellen, dass sich innerhalb des Treatmentintervalls keine statistisch nachweisbaren Therapieeffekte auf die untersuchten Haltungparameter aufzeigen lassen.

Zum Abschluss der Auswertungen wird zur Verifizierung eines „Einmaleffektes“ separat das Voruntersuchungsintervall (t_0-t_1) betrachtet. In diesem Kontext

können statistisch abgesicherte intraindividuelle Veränderungen der Lordoseparameter in beiden Haltungsvarianten auf dem 1%-Niveau ($p < .010$) nachgewiesen werden. Dabei fällt auf, dass im Vergleich der beiden Haltungsvarianten die Winkelwerte in der korrigierten Haltung stärker zunehmen. Diese Ergebnisse deuten an, dass eine manualtherapeutische Behandlung im Bereich der Brustwirbelsäule, zumindest kurzfristig, zu einer signifikanten Veränderung der sagittalen Ausrichtung der Lendenwirbelsäule führt.

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Methodik

5.1.1. Manualtherapeutische Behandlung

In der Vergangenheit wurden die Folgen von manueller Therapie im Bereich der Wirbelsäule zwar untersucht, jedoch meist nur in Bezug auf einzelne Wirbelsäulenabschnitte. Im Vordergrund standen dabei Untersuchungen von HWS- oder LWS -Beschwerden. Diese erbrachten jedoch bei unterschiedlicher Fragestellung und Studiendesign uneinheitliche Ergebnisse (Schiller, 2001; Kessler et al., 2005; Cleland et al., 2007; Fernandez-de-las-Penas et al., 2007; Campbell und Snodgrass, 2010; Gross et al., 2010; Lau et al., 2010).

Die Effekte auf die Brustwirbelsäule selbst wurden bisher in nur wenigen Studien untersucht (Schiller, 2001; Cleland et al., 2004; Kessler et al., 2005; Campbell und Snodgrass, 2010).

In der gesichteten Literatur finden sich immer wieder Ansätze der überregionalen Beeinflussung der Wirbelsäulenausrichtung durch manuelle Therapie. Die im Rahmen dieser Studien beobachteten Phänomene basieren oftmals auf theoretischen Modellen und müssen weiter durch klinische Studien belegt werden (Ammenwerth et al., 1999, Arndt, 2002; v. Heymann et al. 2005; Bialosky et al., 2008; Schmid et al., 2008; Beyer, 2009; Sacher et al., 2011).

Der Schwerpunkt dieser Arbeit sollte deshalb die Auswirkung einer manualtherapeutischen Behandlung der Brustwirbelsäule (HVLA-Technik) auf die globale Ausrichtung der Wirbelsäule bilden. Ein besonderer Fokus in diesem Zusammenhang war die Beurteilung der sagittalen Parameter (BWS-Kyphose und LWS-Lordose).

5.1.2. Probandenkollektiv

In der uns zugänglichen Literatur finden sich viele Arbeiten zur Wirksamkeit von Manipulationsbehandlungen bei klinisch „symptomatischen“ Patienten im Bereich aller Wirbelsäulenabschnitte (Koes et al, 1991; Bloomberg et al., 1994; Licciardone et al., 1998; Astin et al, 2002; Bronfort et al; 2004; Childs et al, 2004; Fernandez-de-las-Penas et al., 2007; Assendelft et al., 2008; Gross et al., 2010).

Es konnten jedoch nur vereinzelt Fälle gefunden werden, in der manualtherapeutische Interventionen bei klinisch asymptomatischen Probanden im Bereich der Brustwirbelsäule durchgeführt wurden (Allison et al., 2001; Schiller, 2001; Kessler et al., 2005; Campbell und Snodgrass, 2010).

Durch die Auswahl asymptomatischer Probanden sollte durch den klinischen Ausschluss von Schmerzen geprüft werden, welchen Stellenwert sogenannte „stumme Blockierungen“ im Rahmen von segmentalen Dysfunktionen darstellen und die Mobilität postinterventionell beeinflussen.

5.1.3. Zusammenstellung der Probandengruppen

Bei der Zusammenstellung der Probandengruppen erfolgte die randomisierte Aufteilung in zwei Behandlungsgruppen mit unterschiedlicher Anzahl an Interventionen pro Woche sowie einer Kontrollgruppe (vgl. Kap. 3.1.4 und 3.1.5). In der aktuellen Literatur finden sich kaum Untersuchungen, die eine derartige Aufteilung der Probanden in Interventions- beziehungsweise Kontrollgruppe vornahmen. Im Rahmen einer der wenigen den Autoren bekannten Studien zeigte Kessler, dass eine manualtherapeutische Behandlung der Brustwirbelsäule (Mobilisation ohne Impuls) bei klinisch

asymptomatischen Probanden im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zu keiner signifikanten Änderung der BWS-Beweglichkeit führt (Kessler et al., 2005).

Ziel war es, im Vergleich zur Kontrollgruppe zu untersuchen, ob die Häufigkeit der Manipulationen eine Einflussgröße darstellt.

5.1.4. Festlegung des Untersuchungszeitraums

In vorangegangenen Studien konnten immer wieder statistisch signifikante Veränderungen nach manualtherapeutischen Interventionen nachgewiesen werden (Astin und Ernst, 2002; Hülse und Hölzl, 2004; Bronfort et al., 2001 und 2004; Proctor et al., 2004; Hondras et al., 2005; Hawk et al., 2007; Assendelft et al., 2008; Evans, 2010). Kritisiert werden jedoch häufig Unterschiede im Studiendesign, welche eine Vergleichbarkeit erschwert. Häufige genannte Kritikpunkte sind in diesem Zusammenhang neben den Ein- und Ausschlußkriterien, klinischen Untersuchungsverfahren, der Erfahrung des Therapeuten, der Technik, Intensität und Frequenz der Behandlung und herangezogenen Vergleichsstandards, die zeitliche Festlegung des Untersuchungsintervalls (Cherkin et al., 2003; Furlan et al., 2012).

Um diesen Kritikpunkten zu begegnen und prognostizierte Effekte exakt erfassen zu können, wurden im Rahmen unserer Studie die Probanden insgesamt siebenmal zur Vermessung einbestellt und wie oben schon beschrieben, je nach Gruppenzugehörigkeit wöchentlich über einen Zeitraum von vier Wochen behandelt. Der erste Termin diente zur Überprüfung eines „Einmaleffektes“. Die Messzeitpunkte t2 bis t5 sollten den eigentlichen Studienzeitraum dokumentieren. Der Messzeitpunkt t6 und t7 waren angedacht, um nach Ende der Studie aufgetretene Effekte zu detektieren (vgl. Kap. 3.1.5).

5.1.5. Wahl des Messverfahrens und Einfluss der Körperhaltung

In den aktuellen Studien zum Wirkungsnachweis von manueller Therapie werden häufig Vergleiche von konservativen Therapieformen (unter anderem Analgetika, physikalische Therapie, Trainingstherapie, Elektrotherapie und Placebo) mit HVLA-Techniken vorgenommen (Cherkin et al., 2003; Rainville et al., 2009; Furlan et al., 2012).

Nur wenige Arbeiten nehmen eine Untersuchung der Evidenz anhand von messbaren Wirbelsäulenparametern zur Objektivierung der Körperhaltung vor (Trócsányi et al., 1998; Arndt et al., 2002; Kessler et al., 2005).

Um eine möglichst genaue Messung haltungsrelevanter Parameter zu gewährleisten, wurde zur Vermessung der Probanden das 3D-Vermessungsgerät formetric 3D® (Diers international GmbH, Schlangenbad, Germany) genutzt. Das Gerät ist über klinisch, manuelle und röntgenologische Untersuchungstechniken validiert (Asmoah et al., 2000; Schröder und Braumann, 2006) und hat sich im Vergleich verschiedener optischer und ultraschallgestützter Verfahren als überlegene Technik präsentiert (Asmoah et al., 2000, Thorwesten et al., 2007).

Des Weiteren, und so in keiner den Autoren bekannten Studie untersucht, wurde eine Unterscheidung zwischen normaler (habituellem) und aufgerichteter Körperhaltung im Rahmen der Messungen vorgenommen (vgl. Kap. 3.5.4). Hierbei sollte eruiert werden, ob sich eine Mobilitätsverbesserung durch die unterschiedlichen Haltungsvarianten aufzeigen lässt.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

Die von uns im Rahmen dieser Pilotstudie vorgelegten Ergebnisse zeigen, dass es durch eine manualtherapeutische Behandlung der Brustwirbelsäule (HVLA-Technik) zu einer signifikanten Veränderung im Bereich der Lendenwirbelsäule, im Sinne einer Vergrößerung der Lordose sowohl bei habitueller als auch aufgerichteter Haltung kommt (vgl. Kap. 4.3.10). Weiter konnten eindeutige Interkorrelationen zwischen sagittalen Wirbelsäulenparametern (BWS-Kyphose und LWS-Lordose) nachgewiesen werden (vgl. Kap. 4.3.6)

Die erwarteten Effekte im Bereich der Brustwirbelsäule blieben aus. Es konnten statistisch keine signifikanten, nachvollziehbaren Veränderungen in den Brustwirbelsäulenparametern nachgewiesen werden. Unterschiede im Vergleich von habitueller und korrigierter Körperhaltung ließen sich in diesem Kontext ebenfalls nicht aufzeigen (vgl. Kap. 4).

Zur Wirkungsweise und Effizienz von manueller Therapie gibt es in der Fachwelt bekanntermaßen sehr unterschiedliche und konträre Meinungen (Koes et al., 1992; Trócsányi et al., 1998; Bronfort, 1999; Ernst und Harkness, 2001; Arndt et al., 2002; Hoving et al., 2002; Cherkin et al., 2003; Bronfort et al., 2004; Kessler et al., 2005, Ernst und Canter, 2006; Assendelft et al., 2008).

Eine Vielzahl von Autoren bestätigen jedoch, dass spinale Manipulationen eine lokal, relaxierende Wirkung haben und zu einer verbesserten segmentalen Mobilität führen (v. Heymann et al., 2005; Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008 und 2009; Campbell und Snodgrass, 2010).

Unter der Vorstellung, dass die Effekte spinaler Manipulationen primär im behandelten Areal auftreten, wären thorakale Mobilitätsänderungen im Sinne einer Verminderung des Kyphosewinkels zu erwarten gewesen.

Seit einigen Jahren ist jedoch im Bereich der manuellen Medizin ein Paradigmenwechsel zu beobachten. Rein biomechanische Erklärungsmodelle auf lokaler Ebene werden zunehmend angezweifelt und neurophysiologische Mechanismen in den Vordergrund gestellt. Im Focus stehen dabei zwei zentrale Aspekte. Erstens die zentrale Beeinflussung der Schmerzwahrnehmung und Schmerzverarbeitung und zweitens segmentale motorische Reflexe der Muskelrelaxation (v. Heymann et al., 2005; Zieglgänsberger et al., 2005; Böhni, 2006; Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008 und 2009; Beyer, 2009).

Die jahrzehntelange Vorstellung bei einer spinalen Blockierung handle es sich ausschließlich um ein rein artikuläres Bewegungsproblem wurden zwar früh verworfen (Mennell, 1960), jedoch blieb die Frage nach dem morphologischen Korrelat lange unbeantwortet.

1979 konnte Sell einen segmentalen muskulären Hypertonus als Ursache für eine spinale Blockierung identifizieren. Doch die damit verbundenen Pathomechanismen konnten nicht vollständig geklärt werden (Sell, 1979).

Im Rahmen einer Konsensuskonferenz deutschsprachiger Manualmediziner, Anatomen, Patho- und Neurophysiologen sowie Pharmakologen 2005 wurde aufgrund dieser Erkenntnisse der Begriff der Blockierung oder segmentalen Dysfunktion neu definiert. Dabei revidierten sie die jahrzehntelange Vorstellung, dass bei einer Blockierung eine rein biomechanische Problematik im

Vordergrund steht. Das Ergebnis war eine Definition, die besagt, dass es sich um ein „*komplexes nozireaktives pathologisches Reflexgeschehen unter Beteiligung eines oder mehrerer Segmente mit allen daran beteiligten Strukturen, vorwiegend der Muskulatur*“ handelt (v. Heymann et al., 2005).

Die heutigen Erklärungsmodelle zur Wirkung von spinalen Manipulationen basieren auf einer verminderten sympathischen und motorischen Systemaktivierung mit Aufhebung des segmentalen Hypertonus der tiefen autochthonen Muskulatur (Cramer et al., 2002; v. Heymann et al., 2005; Böhni, 2006; Schmid et al., 2008; Bialosky et al., 2008 und 2009; Beyer, 2009). Bereits 2002 konnten Cramer et al. mittels Magnetresonanztomographie nachweisen, dass es durch eine reflektorische Inhibition der kurzen Musculi rotatores, als Reaktion auf die Manipulation, zum sichtbaren Aufklappen des Facettengelenks kommt (Cramer et al., 2002).

Zentrale Stellung nimmt dabei das sogenannte WDR-Neuron („wide dynamic range neuron“) ein. In ihm sammeln sich alle Affärenzen, insbesondere Noziaffärenzen, aus benachbarten Segmenten und führen beim überschreiten einer Schwelle zur motorischen und sympathischen Systemaktivierung (Sato und Schmidt, 1973; Jänig et al., 1996; Michaelis und Jänig, 1998; Ammenwerth et al., 1999; Baron, 2000). Dies ziehe konsekutiv einen reaktiven Hypertonus der tiefen autochthonen Rückenmuskulatur nach sich (Luo et al., 2002).

Der durch eine spinale Manipulation induzierte Zusammenbruch der Aktivität des WDR-Neurons führe zu einer verminderten sympathischen und motorischen Systemaktivierung mit Aufhebung des segmentalen Hypertonus der tiefen autochthonen Muskulatur (v. Heymann et al., 2005; Böhni, 2006).

Die Folge wäre eine Inhibition der Alpha- und Gamma-Motoneuron-Aktivität der spinalen Muskulatur (v. Heymann et al., 2005; Bialosky et al., 2009, Beyer, 2009). Klinisch wäre durch die dadurch resultierende Muskelrelaxation eine Verminderung des Kyphosewinkels mit nachfolgend verbesserter Aufrichtung zu erwarten gewesen (Schünke et al., 2005; Klein und Sommerfeld, 2007; Kapandji, 2009).

In einer der wenigen bekannten Studien untersuchten Cleland et al. den Effekt einer thorakalen Manipulation auf den Tonus der Rumpfmuskulatur (Cleland et al., 2004).

Sie konnten feststellen, dass sich durch spinale Manipulation im Bereich der Brustwirbelsäule eine Muskelkraftsteigerung in der Pars descendens des Musculus trapezius bewirken lässt. Die Hauptwirkung dieses Muskels ist vorwiegend auf die Schulterblatt- und Nackenregion beschränkt (Schünke et al., 2005). Von diesen anatomischen Gegebenheiten ausgehend, wäre trotz einer Kraftsteigerung ein Einfluss auf die thorakale Kyphose schwer zu erklären gewesen.

Unter Berücksichtigung der bisherigen Fakten wäre jedoch insgesamt von einer Einflussnahme durch spinale Manipulation auf die sagittale Ausrichtung der Brustwirbelsäule auszugehen gewesen.

Im Grundsatz folgen diese Beobachtungen auch den Ergebnissen unserer Studie. Nach Auswertung aller relevanten Forschungsfragen, und unter Berücksichtigung verschiedener Start- und Endpunkte, konnte sich kein signifikanter Behandlungseffekt, im Sinne einer Mobilitätsverbesserung, im Bereich der Brustwirbelsäule verifizieren lassen (vgl. Kap. 4.3.1 und 4.3.2). Im Blick auf die unterschiedlichen Behandlungsgruppen, mit der Frage des Einflusses der Behandlungsfrequenz, ließ sich ebenso kein direkter Behandlungseffekt im statistischen Test nachweisen (vgl. Kap. 4.3.3), wie im Vergleich der beiden Haltungsvarianten habituell und korrigiert.

Die Ursache könnte in der Anatomie und Morphologie der Brustwirbelsäule begründet sein. Die Mobilität der Brustwirbelsäule wird ossär durch den Brustkorb mit den Rippen, der Stellung der Zygapophysialgelenke und der dachziegelartigen Anordnung der Procc. spinosi, sowie ligamentären Strukturen stark begrenzt (Edmonston et al., 1997).

Weiter lässt sich festhalten, dass im Vergleich zur Lendenwirbelsäule ein weniger Vorhandensein von aktiver Muskulatur hinzukommt (Schünke et al., 2005; Klein und Sommerfeld, 2007; Kapandji, 2009). Dieser Umstand könnte mit einer verminderten Propriozeption einhergehen. Die Konsequenz wäre eine mangelnde Reflexantwort auf biomechanisch oder neurophysiologisch

induzierte Reize im Behandlungsareal. Im Umkehrschluss könnte diese Theorie die posturalen Veränderungen in den lumbalen Abschnitten erklären und für eine segmentübergreifende Beeinflussung sprechen.

Dass biomechanische Verbindungen zwischen den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten bestehen, ist hinlänglich bekannt und durch anatomische Standardwerke dokumentiert (Hepp und Debrunner, 2004; Schünke et al., 2005; Klein und Sommerfeld, 2007; Kapandji, 2009).

Verschiedene klinische Studien konnten diesen Zusammenhang nachweisen. Im Rahmen einer Untersuchung zur Reliabilität der VRS-Messtechnik (vgl. Kap. 2.2.3) zeigten Drerup und Hierholzer, dass ein positiver Zusammenhang zwischen thorakaler Kyphose und lumbaler Lordose besteht (Hierholzer, 1999; Drerup, 2001; Roussouly, 2010).

Milgrom identifizierte in einer prospektiven Studie von Soldaten eine verstärkte lumbale Lordose als einen unmittelbaren Riskofaktor für die Ausbildung von thorakalen Schmerzen (Milgrom, 1993). Somit sind die von uns gemessenen, signifikanten Veränderungen im Bereich der Lendenwirbelsäule, welche auf den ersten Blick überraschend sein mögen, theoretisch zu erklären. Im praktischen Versuch gibt es jedoch in der aktuellen Literatur sehr divergente Meinungen.

Campbell und Snodgrass zeigten, dass sich nach einer spinalen Manipulation nur in den behandelten Segmenten eine veränderte Festigkeit nachweisen lässt (Campbell und Snodgrass, 2010). Andere Autoren beschreiben durch Manipulation ausgelöste Effekte auch auf angrenzende Segmente des behandelten Areals (Herzog et al., 2001, Ross et al., 2004). Der Ort des Auftretens der Symptome muss dabei nicht identisch mit dem Ursprungsort der auslösenden Reize sein (Beyer, 2009).

Studien, die Effekte von spinalen Manipulationen auf angrenzende Wirbelsäulenabschnitte beziehungsweise weiter entfernten Arealen beschreiben, finden sich kaum in der aktuellen Literatur.

In einer der wenigen Untersuchungen stellten Fernandez-de-la-Penas et al. fest, dass thorakale Manipulationen eine signifikante Verbesserung der

Halswirbelsäulenbeweglichkeit zur Folge haben (Fernandez-de-las-Penas et al., 2007).

Diese Interdependenzen zwischen einzelnen Wirbelsäulenabschnitten spiegeln sich auch in unseren Ergebnissen wieder. Zum einen zeigten sich statistisch abgesicherte Korrelationen zwischen den sagittalen Brust- und Lendenwirbelsäulenparametern auf dem 1%-Niveau ($p < .010$). Diese belegen ein eindeutiges dynamisches Zusammenspiel beziehungsweise eine Abhängigkeit zwischen den untersuchten Wirbelsäulenabschnitten. Zum anderen konnten wir aufzeigen, dass eine manualtherapeutische Intervention im Bereich der Brustwirbelsäule, zumindest kurzfristig, statistisch abgesicherte intraindividuelle Veränderungen der Lordoseparameter in beiden Handlungsvarianten auf dem 1%-Niveau ($p < .010$) zur Folge hat. Konkret vergrößerte sich der Lordosewinkel in der habituellen Messung um $1,18^\circ$ (+/- SD) und in der korrigierten Messung um $2,09^\circ$ (+/- SD). Der *Lordosewinkel maximum* vergrößert sich in der habituellen Messung um $1,27^\circ$ und in der korrigierten Messung um $1,97^\circ$ (+/- SD) (vgl. Kap. 4.3.11 Abb. 23 und Tab. 8).

Gestützt werden diese Beobachtungen durch Neuhuber. Dieser formulierte in diesem Kontext die Theorie, dass der *M. longissimus* als Informationsträger zwischen Okziput und Becken fungiert (Neuhuber, 2005).

Die Beobachtungen der segmentübergreifenden Beeinflussungen durch spinale Manipulationen decken sich auch mit den theoretischen Aussagen von Heymann et al., die insbesondere die Muskulatur als zentrale Struktur im Rahmen der segmentalen Dysfunktion hervorheben (v. Heymann et al., 2005 und 2011).

Dieses Zusammenspiel könnte ein Erklärungsmodell für die von uns im Rahmen dieser Studie ausgelösten Veränderungen der sagittalen Ausrichtung der Lendenwirbelsäule durch thorakale Manipulationen sein (vgl. Kap. 4.3.10) und untermauert die oben erwähnten statistisch nachgewiesenen Korrelationen zwischen den sagittalen Wirbelsäulenparametern (vgl. Kap. 4.3.6). Bemerkenswert ist ebenfalls, dass im Vergleich der beiden Handlungsvarianten die korrigierten Parameter stärker zunehmen als die habituellen. Dies ist ein weiteres starkes Indiz für die Theorie, dass spinale Manipulationen im Bereich

der BWS zu einer reaktiven Tonussteigerung im Bereich der lumbalen Anteile des Erector spinae mit konsekutiv verbesserter aktiver Aufrichtung führen.

Neben den segmentalen beziehungsweise lokalen Wirkungsweisen wird in der Literatur zunehmend auf zentrale Effekte hingewiesen.

Die dadurch spinale Interventionen ausgelösten Effekte beruhen auf der Beeinflussung von afferenzabhängigen regionalen und zentralen neuronalen Netzwerken (Sacher et al., 2011).

Damit hat jede Form der manuellen Therapie neben den lokalen beziehungsweise segmentalen Wirkungen auch eine ganz erhebliche zentralnervöse Auswirkung auf das Gehirn (v. Heymann et al., 2005).

Die in Kap. 2.3.4 dargestellte Grafik von Bialosky et al. versucht das komplexe Wirkspektrum in seinen verschiedenen Facetten zu objektivieren und fasst die segmentalen und zentralen Angriffspunkte der manuellen Therapie zusammen. Eine zentrale Rolle spielt hierbei die Verbindung zwischen spinalen Manipulationen und posturalen sowie tonusregulierenden Regelkreisen (Bialosky et al., 2009).

Schmid et al. konnten in einem systematischen Review mit der Frage nach einer zentralnervösen Komponente als Antwort auf eine passive Gelenkmobilisation der HWS berichten, dass es unter anderem zu Veränderungen von motorischen Funktionen kommt (Schmid et al., 2008).

Unterstützt wird diese Theorie auch durch Arndt et al., der in einer 2002 veröffentlichten Studie auch bei Kindern zeigen konnte, dass bereits eine einmalige gezielte Atlasimpulstherapie (Arlen-Technik) zu einer Verbesserung der posturalen Haltung führt (Arndt et al., 2002).

Dies könnte einen weiteren Beleg für die von uns detektierten segmentübergreifenden Änderungen in den lumbalen Wirbelsäulenparametern liefern.

Der in diesem klinischen Untersuchungsaufbau erbrachte Wirksamkeitsnachweis von spinalen Manipulationen bei klinisch unauffälligen Probanden könnte eine klinische Relevanz haben. Bei sogenannten „stummen

Blockierungen“ handelt es sich um nicht schmerzhaft wahrgenommene segmentale Dysfunktionen.

Pathophysiologisch wird dies dadurch erklärt, dass auch nicht nozizeptive Afferenzen einen Summationseffekt des WDR-Neurons hervorrufen und damit eine segmentale Dysfunktion manifest machen können (Ikeda et al., 2003).

In diesem Kontext formulierten Sacher et al. die Hypothese, dass die durch manuelle Interventionen ausgelösten Wirkmechanismen unabhängig von einer nozizeptiven Störung in der Behandlungsregion sind (Sacher et al., 2011).

Dies könnte, bei Nachweis weiterer Evidenz, in der Zukunft neben neuen Indikationsgebieten eine Erweiterung des therapeutischen Spektrums auch auf funktionell ungestörte Regionen bedeuten.

Zusammenfassend legen die Ergebnisse nahe, dass sich durch manuelle Techniken gezielt auf regionale und zentrale neuronale Regelkreise Einfluss nehmen lässt.

Dabei können bereits kurz wirksame Reize über die Neuroplastizität anhaltende Veränderungen in motorischen Grundfunktionen bewirken (Beyer, 2009; Beyer, 2011).

Das Resultat ist unter anderem die im Rahmen dieser Studie beobachtete Modifikation von posturalen und tonusregulierenden Funktionen.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die im Rahmen dieser Studie detektierte Vergrößerung der lumbalen Lordose durch eine spinale Manipulation im Bereich der thorakalen Wirbelsäule klinische Relevanz hat. Eine Veränderung der sagittalen Ausrichtung der Wirbelsäule wird als Prädiktor für die Entwicklung von verschiedenen Pathologie im Bereich der Wirbelsäule angesehen (Bakker et al., 2007; Briggs et al., 2009, Cheung et al., 2010; Roussouly und Nnadi, 2010; Hoy et al., 2010 und 2011).

In der klinischen Praxis werden in dieser Verbindung die kyphotischen Deformitäten besonders hervorgehoben (Roussouly und Nnadi, 2010).

Sie können über die Veränderung der Biomechanik und damit der Gesamtstatik der Wirbelsäule (Rohmann et al., 2001) zu einer dauerhaften mechanischen Belastung mit dem Risiko akuter (Bakker et al., 2007) und chronischer

Rückenschmerzen führen (Weber und Salman, 2007, Cheung et al., 2010) führen (vgl. Kap. 2.1.4).

Eine Verbesserung der Lendenlordose durch thorakale Manipulationen könnte somit einen positiven Nutzen für Patienten mit lumbalen Beschwerden haben.

Bei der kritischen Auseinandersetzung mit den Ergebnissen unserer Studie, insbesondere den Abweichungen unserer Messergebnisse und damit verbundenen Interpretationsspielräume, kann in vielen Bereichen diskutiert werden.

Beginnen kann man bereits mit dem in der Einleitung thematisierten Problemen bei einer einheitlichen Definition von "Körperhaltung" (Wagenhäuser, 1973; Edmondston und Singer, 1997; Schmidt, 1999; König, 1999; Ludwig et al., 2003; Wydra 2004; Hepp und Debrunner, 2004; Ludwig und Schmitt, 2006; Weber und Salman, 2007; Briggs et al., 2009; Hoy et al., 2010 und 2011; Seah et al., 2011).

Wie komplex die menschliche Körperhaltung ist und durch wie viele Faktoren sie beeinflusst werden kann, wurde bereits in Kap. 2.1 ausführlich beschrieben. Dies spiegeln auch unsere Ergebnisse wieder. Die Reliabilitäts- und Validitätsanalysen der von uns genutzten VRS-Technik zeigen, dass die Messmethode zuverlässig ist (Asamoah et al., 2000). Jedoch zeigen sich teils erhebliche Unterschiede in den einzelnen Messparametern der unterschiedlichen Probanden (vgl. Kap. 4.3.6). Die Ursache für diese Abweichungen scheinen damit in erster Linie bei den Probanden oder dem Untersucher zu liegen und können nicht auf das Messsystem zurückgeführt werden.

Bezogen auf die konkrete Vermessungssituation lassen sich unterschiedliche Compliance, Übermüdungs- und Lerneffekte sowie die psychische Verfassung der Probanden vermuten (Harzmann, 2001).

Um die Bedeutung bestimmter Einflussfaktoren auf die Körperhaltung zu untersuchen und Grenzwerte zu definieren, scheint es daher notwendig, eine hinreichend große Gruppe über einen längeren Zeitraum beobachten (Wydra, 2004).

Der im Rahmen unserer Studie beobachtete signifikante Effekt einer spinalen Manipulationsbehandlung auf die sagittale Ausrichtung der Lendenwirbelsäule war auf den Zeitraum t0/t1 begrenzt (vgl. Kap. 4.3.11). Dies kann theoretisch auf eine zu kleine Stichprobe beziehungsweise, trotz präziser Planung und Ausführung, auf Messfehler oder Fehler bei der Behandlung zurückzuführen sein.

Auch in den aktuellen Studien wird immer wieder auf Diskrepanzen im Studiendesign hingewiesen (Cherkin et al., 2003; Rainville et al., 2009; Furlan et al., 2012). Insbesondere die unterschiedlichen Techniken im Bereich der manuellen Therapie machen einen Vergleich oft schwierig (Edmonston, 1997; Sizer, 2007).

Ein groß angelegtes Review von Furlan et al. zur Effektivität von konservativen Therapien offenbarte, dass monokausale Ansätze zur Behandlung von spinalen Blockierung in Langzeituntersuchungen wenig Effekt zeigen, jedoch bei Kombination verschiedener konservativer Therapieregime deren Effizienz steigt (Furlan et al. 2012) (vgl. Kap. 2.1.5).

Unter Berücksichtigung dieser Informationen muss man zu dem Schluss kommen, dass eine nachhaltige Therapie der segmentalen Dysfunktion alleine durch spinale Manipulation nicht erreicht werden kann.

Auf pathophysiologischer Ebene könnte die Hypothese sein, dass es durch spinale Manipulation nur zu einer kurzzeitigen Relaxation ohne dauerhafte Auflösung des segmentalen muskulären Hypertonus kommt.

Die Folge wäre, dass das Wirbelgelenk nicht in seine anatomische Mittellage zurückfinden kann und weiter in blockierter Stellung verbleibt (Sell, 1979).

Bezogen auf die Ergebnisse unsere Studie könnte dies ein Erklärungsmodell für die nicht vorhandenen Langzeiteffekte der angewandten Techniken liefern (vgl. Kap. 3.4.2).

Korrelationen mit unseren Ergebnissen konnte Bronfort liefern, der ebenfalls zeigte, dass es zu kurzzeitigen Funktionsverbesserungen infolge von Manipulationsbehandlungen kommt, wenn sie mit Mobilisationsbehandlungen kombiniert werden (Bronfort, 1999).

Zusammenfassend mag ein Ansatz für nachfolgende Studien eine Kombination mit „direkten“ Muskeltechniken, wie zum Beispiel Triggerpunkt-Therapie, sein, die unter Umständen zu einer effektiveren Auflösung des segmentalen muskulären Hypertonus führen könnten.

Abschließend kann man sagen, dass sowohl unsere Ergebnisse als auch die aktuelle Literatur dokumentieren, dass klassische Betrachtungsweisen, die eine Verbesserung durch monokausale Ansätze postulieren, kritisch überdacht werden sollten.

Insbesondere die Diskrepanzen im Studiendesign, die unterschiedlichen Messverfahren und die Frage nach einer einheitlichen Definition des Begriffs „Körperhaltung“ bieten viele Ansätze für neue Studien.

Weiter offen bleibt auch die Frage der klinischen und pathophysiologischen Interdependenz zwischen der Körperhaltung und der Ausbildung von spinalen Blockierungen. Die beschriebenen Theorien zu den Wirkmechanismen bei der Entstehung von segmentalen Dysfunktionen mögen plausibel klingen, es bedarf jedoch weiterer Studien, die diese Zusammenhänge klinisch untersuchen und belegen.

Viele Autoren sehen daher die Notwendigkeit weiterer Studien und ein standardisiertes Behandlungskonzept über eine gewisse Mindestdauer, um die Wirkungsweise der manuellen Therapie evidenzbasiert zu untermauern (Trócsányi et al., 1998; Eingorn und Muhs, 1999; Arndt et al., 2002; Kessler et al., 2005; Ernst und Canter, 2006; Schmid et al., 2007; Bialosky et al., 2008; Furlan et al., 2012).

Vorrangiges Ziel folgender Studien muss dabei sein, den Einsatz dieser Techniken zu rechtfertigen sowie die Indikationen und das therapeutische Spektrum auszuweiten.

6. Zusammenfassung

Die Stellung der Wirbelsäule steht in Korrelation mit zahlreichen morphologischen, funktionellen und psychischen Einflussfaktoren. Die Auswirkungen von spinalen Manipulationen („high velocity, low amplitude“) auf die sagittale Ausrichtung der Wirbelsäule sind bisher nicht bekannt.

Im Rahmen dieser Studie wurde videorasterstereographisch bei 45 asymptomatischen Probanden der serielle Effekt thorakaler Manipulationen auf den Kyphosewinkel der Brustwirbelsäule und Lordosewinkel der Lendenwirbelsäule in habitueller und aufgerichteter/ korrigierter Haltung über einen definierten Studienzeitraum (vgl. Kap. 3.1.5) hinweg untersucht.

Im Bereich der Brustwirbelsäule konnte in beiden Handlungsvarianten keine Veränderung des Kyphosewinkels detektiert werden. Der Lordosewinkel der Lendenwirbelsäule zeigte im Vorbehandlungszeitraum (t0 und t1) sowohl in habitueller Haltung ($p = .001$) als auch in aufgerichteter Haltung ($p = .004$) eine signifikante Vergrößerung.

Die Ergebnisse legen nahe, dass eine Manipulation der Brustwirbelsäule („high velocity, low amplitude“) Einfluss auf die Stellung der Lendenwirbelsäule hat und zur einer signifikanten Vergrößerung der Lendenlordose führt.

Die Effekte waren jedoch auf den Vorbehandlungszeitraum (t0 und t1) begrenzt. Eine Reproduktion über den gesamten Studienzeitraum (t0 bis t7) konnte nicht nachgewiesen werden.

Sie untermauern ungeachtet dessen die in vielen manualtherapeutischen Studien postulierte Interdependenz unterschiedlicher Wirbelsäulenabschnitte.

Die Frage, ob diese durch segmentale und/ oder zentrale Beeinflussung hervorgerufen wurde, konnte im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden.

Der Fakt, dass diese Resultate bei asymptomatischen Probanden generiert wurden, könnte jedoch ein Hinweis dafür sein, dass die durch spinale Manipulationen ausgelösten Wirkmechanismen unabhängig von einer nozizeptiven Störung in der Behandlungsregion sind.

Nachfolgende Studien müssen weiter die Evidenz von manueller Therapie untermauern, um ihren Einsatz zu rechtfertigen und das therapeutische Spektrum zu erweitern.

7. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	=	Abbildung
AV	=	Abhängige Variable
BWS	=	Brustwirbelsäule
CAM	=	Komplementär- und Alternativmedizin
CT	=	Computertomographie
DL	=	Linkes Lumbalgrübchen
DM	=	Mitte zwischen den Lumbalgrübchen
DR	=	Rechtes Lumbalgrübchen
F	=	Hypothesentest
HI	=	Haltungsindex
HVLA	=	High velocity, low amplitude
HWS	=	Halswirbelsäule
ICT	=	Cervico- thorakaler Wendepunkt
ILS	=	Lumbo- sakraler Wendepunkt
ITL	=	Thorako- lumbaler Wendepunkt
KA	=	Kyphoseapex
Kap.	=	Kapitel
KIL	=	Kyphose-Inklinations-Lordose (-Schema)
LA	=	Lordoseapex
LWS	=	Lendenwirbelsäule
Max.	=	Maximum
MET	=	Muskelentspannungstechnik nach Mitchell
MIO	=	Manipulation ohne Impuls
mm	=	Millimeter
MMI	=	Manipulation mit Impuls
MRT	=	Magnetresonanz

MW	=	Mittelwert
MZP	=	Messzeitpunkt
p	=	Signifikanzwert
PIR	=	Postisometrische Relaxation
r	=	Korrelationskoeffizient
rms	=	Oberflächenrotation
s.	=	Siehe
SD	=	Standardabweichung
SP	=	Sacrum- Punkt (Beginn der Rima ani)
SP ²	=	Scheitelpunkt
t	=	Zeitpunkt
T12	=	Brustwirbelkörper XII
Tab.	=	Tabelle
UP	=	Umschlagpunkt
vgl.	=	Vergleiche
VP	=	Vertebra prominens
VRS	=	Videorasterstereographie
vs.	=	Versus
WDR	=	Wide dynamic range (-Neuron)

8. Literaturverzeichnis

- [1] **Adams, M. A.**, Freeman, B. J., Morrison, H. P., Nelson, I. W., & Dolan, P. (2000). Mechanical initiation of intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(13), 1625-1636.
- [2] **Akalin, E.**, El, O., Peker, O., Senocak, O., Tamci, S., Gulbahar, S., et al. (2002). Treatment of carpal tunnel syndrome with nerve and tendon gliding exercises. *Am J Phys Med Rehabil*, 81(2), 108-113.
- [3] **Ammenwerth, R.**, Götte, A., & Janitzki, A. (1999). Wirkungen manueller Therapien auf das sympathische Nervensystem - Analyse elektrosympathikographischer Messungen während manualtherapeutischer Behandlungen. *Manuelle Medizin*, 37(4), 171-185.

- [4] **Arndt, C. F.**, Berkhoff, G., & Schröder, C. (2002). Videorasterstereographische Untersuchungen vor und nach Atlasimpulstherapie (Arlen-Technik). *Manuelle Medizin*, 40(4), 220-223.
- [5] **Asamoah, V.**, Mellerowicz, H., Venus, J., & Klöckner, C. (2000). Oberflächenvermessung des Rückens. *Der Orthopäde*, 29(6), 480-489.
- [6] **Assendelft, W. J.**, Morton, S. C., Yu, E. I., Suttorp, M. J., & Shekelle, P. G. (2008). Spinal manipulative therapy for low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*(1), CD000447.
- [7] **Astin, J. A.**, & Ernst, E. (2002). The effectiveness of spinal manipulation for the treatment of headache disorders: a systematic review of randomized clinical trials. *Cephalalgia*, 22(8), 617-623.
- [8] **Azad, S. C.**, Monory, K., Marsicano, G., Cravatt, B. F., Lutz, B., Zieglgänsberger, W., et al. (2004). Circuitry for associative plasticity in the amygdala involves endocannabinoid signaling. *The Journal of neuroscience*, 24(44), 9953.
- [9] **Azad, S. C.**, & Zieglgänsberger, W. (2003). Was wissen wir über die Chronifizierung von Schmerz? *Der Schmerz*, 17(6), 441-444.
- [10] **Backhaus, K.**, Erichson, B., Plinke, W., & Weiber, R. (2000). *Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung*: Springer.
- [11] **Bakker, E. W.**, Verhagen, A. P., Lucas, C., Koning, H. J., de Haan, R. J., & Koes, B. W. (2007). Daily spinal mechanical loading as a risk factor for acute non-specific low back pain: a case-control study using the 24-Hour Schedule. *Eur Spine J*, 16(1), 107-113.
- [12] **Bakker, E. W.**, Verhagen, A. P., Lucas, C., Koning, H. J., & Koes, B. W. (2007). Spinal mechanical load: a predictor of persistent low back pain? A prospective cohort study. *Eur Spine J*, 16(7), 933-941.
- [13] **Baron, R.** (2000). Peripheral neuropathic pain: from mechanisms to symptoms. *Clin J Pain*, 16(2 Suppl), S12-20.
- [14] **Bernard, M.** (2001). Einfluss des muskulären Zustands und körperlichen Trainings auf die Haltung von Erwachsenen - Metaanalyse der vorliegenden Literatur. *Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 54, 1070-1087.
- [15] **Beyer, L.** (2009). Das tonische motorische System als Zielorgan manueller Behandlungstechniken. *Manuelle Medizin*, 47(2), 99-106.
- [16] **Beyer, L.** (2011). Stabilität und Instabilität der Wirbelsäule im Alter. *Manuelle Medizin*, 49(6), 418-420.

- [17] **Bialosky, J. E.**, Bishop, M. D., Price, D. D., Robinson, M. E., & George, S. Z. (2009). The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: a comprehensive model. *Man Ther*, *14*(5), 531-538.
- [18] **Bialosky, J. E.**, Bishop, M. D., Robinson, M. E., Barabas, J. A., & George, S. Z. (2008). The influence of expectation on spinal manipulation induced hypoalgesia: an experimental study in normal subjects. *BMC Musculoskelet Disord*, *9*, 19.
- [19] **Blomberg, S.**, Hallin, G., Grann, K., Berg, E., & Sennerby, U. (1994). Manual therapy with steroid injections--a new approach to treatment of low back pain. A controlled multicenter trial with an evaluation by orthopedic surgeons. *Spine (Phila Pa 1976)*, *19*(5), 569-577.
- [20] **Böhni, U.** (2006). Manuelle Medizin und Schmerz. *TMJ*, *6*, 1-4.
- [21] **Bortz, J.** (2005). *Statistik für Human-und Sozialwissenschaftler*, 6. Auflage: Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- [22] **Bortz, J.**, Lienert, G. A., & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, 3. korrigierte Auflage*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- [23] **Brennan, P. C.**, Triano, J. J., McGregor, M., Kokjohn, K., Hondras, M. A., & Brennan, D. C. (1992). Enhanced neutrophil respiratory burst as a biological marker for manipulation forces: duration of the effect and association with substance P and tumor necrosis factor. *J Manipulative Physiol Ther*, *15*(2), 83-89.
- [24] **Briggs, A. M.**, Bragge, P., Smith, A. J., Govil, D., & Straker, L. M. (2009). Prevalence and associated factors for thoracic spine pain in the adult working population: a literature review. *J Occup Health*, *51*(3), 177-192.
- [25] **Briggs, A. M.**, Smith, A. J., Straker, L. M., & Bragge, P. (2009). Thoracic spine pain in the general population: prevalence, incidence and associated factors in children, adolescents and adults. A systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*, *10*, 77.
- [26] **Bronfort, G.** (1999). Spinal manipulation: current state of research and its indications. *Neurol Clin*, *17*(1), 91-111.
- [27] **Bronfort, G.**, Assendelft, W. J., Evans, R., Haas, M., & Bouter, L. (2001). Efficacy of spinal manipulation for chronic headache: a systematic review. *J Manipulative Physiol Ther*, *24*(7), 457-466.
- [28] **Bronfort, G.**, Evans, R. L., Maiers, M., & Anderson, A. V. (2004). Spinal manipulation, epidural injections, and self-care for sciatica: a pilot study

- for a randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther*, 27(8), 503-508.
- [29] **Bronfort, G.**, Haas, M., Evans, R. L., & Bouter, L. M. (2004). Efficacy of spinal manipulation and mobilization for low back pain and neck pain: a systematic review and best evidence synthesis. *Spine J*, 4(3), 335-356.
- [30] **Campbell, B. D.**, & Snodgrass, S. J. (2010). The effects of thoracic manipulation on posteroanterior spinal stiffness. *J Orthop Sports Phys Ther*, 40(11), 685-693.
- [31] **Cherkin, D. C.**, Sherman, K. J., Deyo, R. A., & Shekelle, P. G. (2003). A review of the evidence for the effectiveness, safety, and cost of acupuncture, massage therapy, and spinal manipulation for back pain. *Ann Intern Med*, 138(11), 898-906.
- [32] **Cheung, K. M.**, Samartzis, D., Karppinen, J., Mok, F. P., Ho, D. W., Fong, D. Y., et al. (2010). Intervertebral disc degeneration: new insights based on "skipped" level disc pathology. *Arthritis Rheum*, 62(8), 2392-2400.
- [33] **Childs, J. D.**, Fritz, J. M., Flynn, T. W., Irrgang, J. J., Johnson, K. K., Majkowski, G. R., et al. (2004). A clinical prediction rule to identify patients with low back pain most likely to benefit from spinal manipulation: a validation study. *Ann Intern Med*, 141(12), 920-928.
- [34] **Cleland, J. A.**, Glynn, P., Whitman, J. M., Eberhart, S. L., MacDonald, C., & Childs, J. D. (2007). Short-term effects of thrust versus nonthrust mobilization/manipulation directed at the thoracic spine in patients with neck pain: a randomized clinical trial. *Physical Therapy*, 87(4), 431-440.
- [35] **Coppieters, M. W.**, & Butler, D. S. (2008). Do 'sliders' slide and 'tensioners' tension? An analysis of neurodynamic techniques and considerations regarding their application. *Man Ther*, 13(3), 213-221.
- [36] **Cramer, G. D.**, Gregerson, D. M., Knudsen, J. T., Hubbard, B. B., Ustas, L. M., & Cantu, J. A. (2002). The effects of side-posture positioning and spinal adjusting on the lumbar Z joints: a randomized controlled trial with sixty-four subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27(22), 2459-2466.
- [37] **Denton, T. E.**, Randall, F. M., & Deinlein, D. A. (1992). The use of instant moire photographs to reduce exposure from scoliosis radiographs. *Spine (Phila Pa 1976)*, 17(5), 509-512.
- [38] **DeVocht, J. W.**, Pickar, J. G., & Wilder, D. G. (2005). Spinal manipulation alters electromyographic activity of paraspinal muscles: a descriptive study. *J Manipulative Physiol Ther*, 28(7), 465-471.

- [39] **Deyle, G. D.**, Henderson, N. E., Matekel, R. L., Ryder, M. G., Garber, M. B., & Allison, S. C. (2000). Effectiveness of manual physical therapy and exercise in osteoarthritis of the knee. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med*, 132(3), 173-181.
- [40] **Di Fabio, R. P.** (1992). Efficacy of manual therapy. *Phys Ther*, 72(12), 853-864.
- [41] **Diers, I. G.** (2006). *Formetric Handbuch (1. Auflage)*.
- [42] **Dishman, J. D.**, & Bulbulian, R. (2000). Spinal reflex attenuation associated with spinal manipulation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(19), 2519-2524;discussion 2525.
- [43] **Drerup, B.** (1982). The measurement of the kyphotic angle by contact free registration of back-shape. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 120(1), 64-70.
- [44] **Drerup, B.**, Ellger, B., Meyer zu Bentrup, F. M., & Hierholzer, E. (2001). Functional rasterstereographic images. A new method for biomechanical analysis of skeletal geometry. *Orthopade*, 30(4), 242-250.
- [45] **Drerup, B.**, Frobin, W., & Hierholzer, W. E. (1983). Computerized evaluation of surface measurements of kyphosis and scoliosis. *Moiré Fringe Topography. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. New York*, 155-162.
- [46] **Drerup, B.**, & Hierholzer, E. (1985). Objective determination of anatomical landmarks on the body surface: measurement of the vertebra prominens from surface curvature. *J Biomech*, 18(6), 467-474.
- [47] **Drerup, B.**, & Hierholzer, E. (1987). Automatic localization of anatomical landmarks on the back surface and construction of a body-fixed coordinate system. *J Biomech*, 20(10), 961-970.
- [48] **Drerup, B.**, & Hierholzer, E. (1987). Movement of the human pelvis and displacement of related anatomical landmarks on the body surface. *J Biomech*, 20(10), 971-977.
- [49] **Drerup, B.**, & Hierholzer, E. (1994). Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. *Clinical Biomechanics*, 9(1), 28-36.
- [50] **Dvorak, J.**, & Baumgartner, H. (1997). *Manuelle Medizin: Diagnostik*. Thieme.
- [51] **Edmondston, S. J.**, & Singer, K. P. (1997). Thoracic spine: anatomical and biomechanical considerations for manual therapy. *Man Ther*, 2(3), 132-143.

- [52] **Eingorn, A. M., & Muhs, G. J.** (1999). Rationale for assessing the effects of manipulative therapy on autonomic tone by analysis of heart rate variability. *J Manipulative Physiol Ther*, 22(3), 161-165.
- [53] **Ernst, E., & Canter, P. H.** (2006). A systematic review of systematic reviews of spinal manipulation. *J R Soc Med*, 99(4), 192-196.
- [54] **Ernst, E., & Harkness, E.** (2001). Spinal manipulation: a systematic review of sham-controlled, double-blind, randomized clinical trials. *J Pain Symptom Manage*, 22(4), 879-889.
- [55] **Evans, D. W.** (2010). Why do spinal manipulation techniques take the form they do? Towards a general model of spinal manipulation. *Man Ther*, 15(3), 212-219.
- [56] **Fernandez-de-las-Penas, C.,** Palomeque-del-Cerro, L., Rodriguez-Blanco, C., Gomez-Conesa, A., & Miangolarra-Page, J. C. (2007). Changes in neck pain and active range of motion after a single thoracic spine manipulation in subjects presenting with mechanical neck pain: a case series. *JMPT-Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 30(4), 312-320.
- [57] **Fisher, B. E.,** Davenport, T. E., Kulig, K., & Wu, A. D. (2009). Identification of potential neuromotor mechanisms of manual therapy in patients with musculoskeletal disablement: rationale and description of a clinical trial. *BMC Neurol*, 9, 20.
- [58] **Frobin, W., & Hierholzer, E.** (1985). *Transformation of irregularly sampled surface data points into a regular grid and aspects of surface interpolation, smoothing and accuracy*. Orthopäd. Univ.-Klinik.
- [59] **Fröhner, G.** (1997). Rumpfstatus im Kindesund Jugendalter und Merkmale der Entwicklungsstörungen. *Physikalische Therapie in Theorie und Praxis*, 4, 210-217.
- [60] **Fröhner, G.** (1998). Objektivierung der Haltung und Beweglichkeit des Rumpfes bei Kindern und Jugendlichen. *Haltung und Bewegung*, 2, 5-13.
- [61] **Furlan, A. D.,** Yazdi, F., Tsertsvadze, A., Gross, A., Van Tulder, M., Santaguida, L., et al. (2012). A systematic review and meta-analysis of efficacy, cost-effectiveness, and safety of selected complementary and alternative medicine for neck and low-back pain. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2012, 953139.
- [62] **Gal, J.,** Herzog, W., Kawchuk, G., Conway, P. J., & Zhang, Y. T. (1997). Movements of vertebrae during manipulative thrusts to unembalmed human cadavers. *J Manipulative Physiol Ther*, 20(1), 30-40.

- [63] **Giehl, J. P.**, & Bernau, A. (1994). Radiologische Diagnostik bei Skoliosen - Indikation und Befundinterpretation. *Orthop Praxis*, 5, 267-278.
- [64] **Greenman, P. E.** (2005). *Lehrbuch der osteopathischen Medizin*: Georg Thieme Verlag.
- [65] **Grice, A. S.** (1974). Muscle tonus change following manipulation. *Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 12, 29-31.
- [66] **Grieve, G. P.**, & Newman, P. H. (1988). *Common vertebral joint problems*: Churchill Livingstone.
- [67] **Gross, A.**, Miller, J., D'Sylva, J., Burnie, S. J., Goldsmith, C. H., Graham, N., et al. (2010). Manipulation or mobilisation for neck pain: a Cochrane Review. *Man Ther*, 15(4), 315-333.
- [68] **Hackenberg, L.**, Hierholzer, E., Bullmann, V., Liljenqvist, U., & Gotze, C. (2006). Rasterstereographic analysis of axial back surface rotation in standing versus forward bending posture in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*, 15(7), 1144-1149.
- [69] **Haig, A. J.** (2002). Paraspinal denervation and the spinal degenerative cascade. *Spine J*, 2(5), 372-380.
- [70] **Harrison, D. D.**, Harrison, D. E., Troyanovich, S. J., & Hansen, D. J. (1996). The anterior-posterior full-spine view: the worst radiographic view for determination of mechanics of the spine. *Chiropractic Technique*, 8, 163-170.
- [71] **Harzmann, H. C.** (2001). Methode und Klinische Einsatzmöglichkeiten der dreidimensionalen Rückenoberflächenvermessung mit der Videorasterstereographie (VRS). In *Leithoff, P., Sadler, B. (Hrsg.), Individuelle Gesundheitsleistungen (IGEL) in der Orthopädie (81-104)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- [72] **Hawk, C.**, Khorsan, R., Lisi, A. J., Ferrance, R. J., & Evans, M. W. (2007). Chiropractic care for nonmusculoskeletal conditions: a systematic review with implications for whole systems research. *J Altern Complement Med*, 13(5), 491-512.
- [73] **Hepp, W. R.**, & Debrunner, H. U. (2004). *Orthopädisches Diagnostikum*: Thieme.
- [74] **Herzog, W.**, Kats, M., & Symons, B. (2001). The effective forces transmitted by high-speed, low-amplitude thoracic manipulation. *Spine*, 26(19), 2105-2110.

- [75] **Hierholzer, E.** (1993). Objektive Analyse der Rückenform von Skoliosepatienten (pp. 72-78): Gustav Fischer Verlag.
- [76] **Hierholzer, E., & Drerup, B.** (1999). *Rasterstereografic functional examinations: precision measurment of kyphosis and lordosis* (Vol. 2): IOS Press, Amsterdam.
- [77] **Hierholzer, E., & Hackenberg, L.** (2002). Three-dimensional shape analysis of the scoliotic spine using MR tomography and rasterstereography. *Stud Health Technol Inform*, 91, 184-189.
- [78] **Hoffman, D. A.,** Lonstein, J. E., Morin, M. M., Visscher, W., Harris lii, B. S. H., & Boice Jr, J. D. (1989). Breast cancer in women with scoliosis exposed to multiple diagnostic x rays. *Journal of the National Cancer Institute*, 81(17), 1307-1312.
- [79] **Hondras, M. A.,** Linde, K., & Jones, A. P. (2005). Manual therapy for asthma. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD001002.
- [80] **Hoving, J. L.,** Koes, B. W., de Vet, H. C., van der Windt, D. A., Assendelft, W. J., van Mameren, H., et al. (2002). Manual therapy, physical therapy, or continued care by a general practitioner for patients with neck pain. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med*, 136(10), 713-722.
- [81] **Hoy, D.,** Brooks, P., Blyth, F., & Buchbinder, R. (2010). The epidemiology of low back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 24(6), 769-781.
- [82] **Hoy, D. G.,** Protani, M., De, R., & Buchbinder, R. (2011). The epidemiology of neck pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 24(6), 783-792.
- [83] **Hülse, M., & Hölzl, M.** (2004). Effektivität der manuellen Medizin in der HNO. *HNO*, 52(3), 227-234.
- [84] **Ikeda, H.,** Heinke, B., Ruscheweyh, R., & Sandkühler, J. (2003). Synaptic plasticity in spinal lamina I projection neurons that mediate hyperalgesia. *Science*, 299(5610), 1237-1240.
- [85] **Jänig, W.,** Levine, J. D., & Michaelis, M. (1996). Interactions of sympathetic and primary afferent neurons following nerve injury and tissue trauma. *Progress in brain research*, 113, 161-184.
- [86] **Kapandji, I. A.** (2009). *Funktionelle Anatomie der Gelenke: Obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule*: Georg Thieme Verlag.

- [87] **Kessler, T. J.**, Brunner, F., Künzer, S., Crippa, M., & Kissling, R. (2005). Auswirkungen einer manuellen Mobilisation nach Maitland auf die Brustwirbelsäule Effects of Maitland's Manual Mobilization on the Thoracic Spine. *Rehabilitation*, 44(6), 361-366.
- [88] **Kirkaldy-Willis, W. H.**, & Farfan, H. F. (1982). Instability of the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res*(165), 110-123.
- [89] **Kirkaldy-Willis, W. H.**, Wedge, J. H., Yong-Hing, K., & Reilly, J. (1978). Pathology and pathogenesis of lumbar spondylosis and stenosis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 3(4), 319-328.
- [90] **Klein, P.**, & Sommerfeld, P. (2007). *Biomechanik der Wirbelsäule: Grundlagen, Erkenntnisse und Fragestellungen*: Urban & Fischer.
- [91] **Koes, B. W.**, Assendelft, W. J., van der Heijden, G. J., Bouter, L. M., & Knipschild, P. G. (1991). Spinal manipulation and mobilisation for back and neck pain: a blinded review. *Bmj*, 303(6813), 1298-1303.
- [92] **Koes, B. W.**, Bouter, L. M., van Mameren, H., Essers, A. H., Verstegen, G. M., Hofhuizen, D. M., et al. (1992). Randomised clinical trial of manipulative therapy and physiotherapy for persistent back and neck complaints: results of one year follow up. *Bmj*, 304(6827), 601-605.
- [93] **König, E.** (1999). Was halten Sie von der "Haltung"? *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 147(4), 369-372.
- [94] **Lau, H. M. C.**, Wing Chiu, T. T., & Lam, T. H. (2010). The effectiveness of thoracic manipulation on patients with chronic mechanical neck pain - A randomized controlled trial. *Manual therapy*, 16(2), 141-147.
- [95] **Lederman, E.** (2010). The fall of the postural-structural-biomechanical model in manual and physical therapies: exemplified by lower back pain. *J Bodyw Mov Ther*, 15(2), 131-138.
- [96] **Leroux, M. A.**, Zabjek, K., Simard, G., Badeaux, J., Coillard, C., & Rivard, C. H. (2000). A noninvasive anthropometric technique for measuring kyphosis and lordosis: an application for idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(13), 1689-1694.
- [97] **Licciardone, J. C.**, Stoll, S. T., Fulda, K. G., Russo, D. P., Siu, J., Winn, W., et al. (2003). Osteopathic manipulative treatment for chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Spine (Phila Pa 1976)*, 28(13), 1355-1362.

- [98] **Liljenqvist, U.**, Halm, H., Hierholzer, E., Drerup, B., & Weiland, M. (1998). 3-dimensional surface measurement of spinal deformities with video rasterstereography. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 136(1), 57-64.
- [99] **Ludwig, O.**, & Mazet, D. (2003). „Kid-Check“ – eine interdisziplinäre Studie untersucht Körperhaltung und Sport. *dvs-Informationen*, 18(3), 30-31.
- [100] **Ludwig, O.**, Mazet, D., & Schmitt, E. (2003). Haltungsschwächen bei Kindern und Jugendlichen - eine interdisziplinäre Betrachtung. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 19(5), 165-171.
- [101] **Ludwig, O.**, & Schmitt, E. (2006). Neurokybernetik der Körperhaltung. *Haltung und Bewegung*, 26(1), 5-14.
- [102] **Luo, Z. D.**, Calcutt, N. A., Higuera, E. S., Valder, C. R., Song, Y. H., Svensson, C. I., et al. (2002). Injury type-specific calcium channel alpha 2 delta-1 subunit up-regulation in rat neuropathic pain models correlates with antiallodynic effects of gabapentin. *J Pharmacol Exp Ther*, 303(3), 1199-1205.
- [103] **MacDonald, C. W.**, Whitman, J. M., Cleland, J. A., Smith, M., & Hoeksma, H. L. (2006). Clinical outcomes following manual physical therapy and exercise for hip osteoarthritis: A case series. *J Orthop Sports Phys Ther*, 36(8), 588-599.
- [104] **Mahlknecht, J.** (2002). The KIL-system for qualitative and quantitative evaluation of posture in lateral view. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 140(6), 615-620.
- [105] **Maitland, G. D.**, Brewerton, D. A., Graham, J., & Edwards, B. C. (1986). *Vertebral manipulation*: Butterworths London.
- [106] **Mason, D.** (2009) Glossary of osteopathic terminology. The Educational Council on Osteopathic Principles (ECOP) of the American Association of Colleges of Osteopathic Medicine (AACOM)
- [107] **Mennell, J. M. M.** (1960). *Back pain: diagnosis and treatment using manipulative techniques*: Little, Brown.
- [108] **Michaelis, M.**, & Jänig, W. (1998). Sympathetic nervous system and pain: pathophysiological mechanisms. *Schmerz*, 12(4), 261-271.
- [109] **Milgrom, C.**, Finestone, A., Lev, B., Wiener, M., & Floman, Y. (1993). Overexertional lumbar and thoracic back pain among recruits: a prospective study of risk factors and treatment regimens. *J Spinal Disord*, 6(3), 187-193.

- [110] **Mitchell, F. L.** (2004). *Handbuch der MuskelEnergieTechniken: Diagnostik und Therapie: Brustkorb, Brust-und Lendenwirbelsäule* (Vol. 2): Hippokrates-Verlag
- [111] **Moll, H.**, Bischoff, P., Graf, M., Beyer, W. F., Harke, G., & Beyer, L. (2010). Die reversible hypomobile artikuläre Dysfunktion - die Blockierung. *Manuelle Medizin*, 48(6), 426-434.
- [112] **Nachemson, A.**, Lonstein, J. E., & Weinstein, S. L. (1982). Report of the prevalence and natural history committee. *Park Ridge, III: Natural Committee od Scoliosis Research Society*.
- [113] **Nash, C. L., Jr.**, Gregg, E. C., Brown, R. H., & Pillai, K. (1979). Risks of exposure to X-rays in patients undergoing long-term treatment for scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*, 61(3), 371-374.
- [114] **Neuhuber, W.** (2005). M. longissimus als Vermittler zwischen kraniozervikalem Übergang und Becken. *Manuelle Medizin*, 43(6), 395-399.
- [115] **Neumann, H. D.**, Beck, M., & Beyer, L. (2003). *Manuelle Medizin: Eine Einführung in Theorie, Diagnostik und Therapie für Ärzte und Physiotherapeuten*: Springer.
- [116] **Nissinen, M.** (1995). Spinal posture during pubertal growth. *Acta Paediatr*, 84(3), 308-312.
- [117] **Olin, T.**, Olsson, T. H., Selvik, G., & Willner, S. (1976). Kinematic analysis of experimentally provoked scoliosis in pigs with Roentgen stereophotogrammetry. *Acta Radiol Diagn (Stockh)*, 17(1), 107-127.
- [118] **Pfingsten, M.** (2005). Bio-psycho-soziale Einflussfaktoren bei Rückenschmerz und Konsequenzen für die Bewegungstherapie. *B & G*, 21(4), 152-158.
- [119] **Proctor, M. L.**, Hing, W., Johnson, T. C., & Murphy, P. A. (2004). Spinal manipulation for primary and secondary dysmenorrhoea. *Cochrane Database Syst Rev*(3), CD002119.
- [120] **Rainville, J.**, Nguyen, R., & Suri, P. (2009). Effective Conservative Treatment for Chronic Low Back Pain. *Semin Spine Surg*, 21(4), 257-263.
- [121] **Rao, P. S.**, & Gregg, E. C. (1984). A revised estimate of the risk of carcinogenesis from x-rays to scoliosis patients. *Investigative radiology*, 19(1), 58.

- [122] **Rohlmann, A.**, Klockner, C., & Bergmann, G. (2001). The biomechanics of kyphosis. *Orthopäde*, 30(12), 915-918.
- [123] **Rohlmann, A.**, & Siraky, J. (1985). Reproducibility of surface measurements of the back using the optRImetric method. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 123(2), 205-212.
- [124] **Rosemeyer, B.** (1974). Standing and sitting posture *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 112(1), 151-159.
- [125] **Ross, J. K.**, Bereznick, D. E., & McGill, S. M. (2004). Determining cavitation location during lumbar and thoracic spinal manipulation: is spinal manipulation accurate and specific? *Spine*, 29(13), 1452-1457.
- [126] **Roussouly, P.**, & Nnadi, C. (2010). Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management. *Eur Spine J*, 19(11), 1824-1836.
- [127] **Rozmaryn, L. M.**, Dovel, S., Rothman, E. R., Gorman, K., Olvey, K. M., & Bartko, J. J. (1998). Nerve and tendon gliding exercises and the conservative management of carpal tunnel syndrome. *J Hand Ther*, 11(3), 171-179.
- [128] **Sacher, R.**, Alt, B., Koch, L. E., Wuttke, M., Göhmann, U., Krockner, B., et al. (2011). Die Manipulation in funktionell ungestörten Regionen des Bewegungssystems. *Manuelle Medizin*, 49(1), 6-10.
- [129] **Sato, A.**, & Schmidt, R. F. (1973). Somatosympathetic reflexes: afferent fibers, central pathways, discharge characteristics. *Physiol Rev*, 53(4), 916-947.
- [130] **Schiller, L.** (2001). Effectiveness of spinal manipulative therapy in the treatment of mechanical thoracic spine pain: a pilot randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther*, 24(6), 394-401.
- [131] **Schmid, A.**, Brunner, F., Wright, A., & Bachmann, L. M. (2008). Paradigm shift in manual therapy? Evidence for a central nervous system component in the response to passive cervical joint mobilisation. *Man Ther*, 13(5), 387-396.
- [132] **Schmidt, M.** (1999). *Objektive Bestimmung der äußeren Wirbelsäulenkontur in der Sagittalebene: Funktionelle Interaktionen geometrischer und statischer Merkmale von Wirbelsäulenkonturen*. Universität Potsdam.
- [133] **Schröder, J.**, & Braumann, K. M. (2006). Die Videorasterstereographie: Beurteilung der Reliabilität unter Berücksichtigung der habituellen Haltung. *E-Journal Bewegung und Training. Supplement (germ.)*.

- [134] **Schröder, J.**, Reer, R., & Mattes, K. (2009). Biomechanische Diagnostik in der orthopädischen Praxis: Zur Zuverlässigkeit der Messung von Rumpfkraft und Haltung in der Behandlung von Rückenschmerzen. *Orthop Praxis*, 45, 288-294.
- [135] **Schröder, J.**, Stiller, T., & Mattes, K. (2010). Wirbelsäulenformkennziffern als Indikatoren für Beschwerden des unteren Rückens. *Dtsch Z Sportmed*, 61, 91-96.
- [136] **Schröder, J.**, Strübing, K., & Mattes, K. (2010). Rückenbeschwerden und Wirbelsäulenform. *Manuelle Medizin*, 49(3), 454-459.
- [137] **Schünke, M.**, Schulte, E., & Schumacher, U. (2005). *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*: Thieme.
- [138] **Seah, S. H.**, Briggs, A. M., O'Sullivan, P. B., Smith, A. J., Burnett, A. F., & Straker, L. M. (2011). An exploration of familial associations in spinal posture defined using a clinical grouping method. *Man Ther*, 16(5), 501-509.
- [139] **Sell, K.** (1979). Zur Technik der manuellen Wirbelsäulen-Therapie. *Z Allgemeinmed*, 46, 1146-1153.
- [140] **Sizer, P. S.**, Jr., Brismee, J. M., & Cook, C. (2007). Coupling behavior of the thoracic spine: a systematic review of the literature. *J Manipulative Physiol Ther*, 30(5), 390-399.
- [141] **Staffel, F.** (1889). *Die menschlichen Haltungstypen und ihre Beziehungen zu den Rückgratverkrümmungen*: Verlag Bergmann, Wiesbaden.
- [142] **Suter, E.**, McMorland, G., Herzog, W., & Bray, R. (1999). Decrease in quadriceps inhibition after sacroiliac joint manipulation in patients with anterior knee pain. *J Manipulative Physiol Ther*, 22(3), 149-153.
- [143] **Thorwesten, L.**, Schnieders, D., Schilgen, M., & Völker, K. (2007). Rückenformanalyse / Haltungsanalyse - Vergleich eines ultraschallgestützten Systems mit rasterstereographischen Vermessungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 58 (7/8), 255.
- [144] **Trócsányi, M.**, Lorenzen, W., & Müller, W. (1998). The effect of manual therapy in acute low back pain (LBP). *Manuelle Medizin*, 36(5), 233-240.
- [145] **v. Heymann, W.** (2011). Zur Diagnostik segmentaler Funktionsstörungen an der Wirbelsäule. *Manuelle Medizin*, 49(1), 25-39.
- [146] **v. Heymann, W.**, Böhni, U., & Locher, H. (2005). Grundlagenforschung trifft Manualmedizin. *Manuelle Medizin*, 43(6), 385-394.

- [147] **Vernon, H.**, Steiman, I., Crnec, M., Thiel, H., & Kitchen, R. (1986). Efficacy of spinal manipulation/mobilization: a meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 11(9), 973-974.
- [148] **Vicenzino, B.**, Cartwright, T., Collins, D., & Wright, A. (1999). An investigation of stress and pain perception during manual therapy in asymptomatic subjects. *Eur J Pain*, 3(1), 13-18.
- [149] **Videman, T.**, Nurminen, M., & Troup, J. D. (1990). 1990 Volvo Award in clinical sciences. Lumbar spinal pathology in cadaveric material in relation to history of back pain, occupation, and physical loading. *Spine (Phila Pa 1976)*, 15(8), 728-740.
- [150] **Wagenhäuser, F. J.** (1973). Das Problem der Haltung. *Orthopäde*, 2, 128-139.
- [151] **Weber, U.**, & Salman, E. (2007). BWS-Deformitäten im Kindesalter. *Manuelle Medizin*, 45(1), 6-16.
- [152] **Weiss, H. R.**, El Obeidi, N., Lohschmidt, K., & Verres, C. (1998). Die automatische Oberflächenvermessung des Rumpfes-Technischer Fehler - The automated surface measurement of the trunk-technical error. *Phys Rehab Kur Med*, 8(4), 118-122.
- [153] **Weiss, H. R.**, & Elobeidi, N. (2008). Comparison of the kyphosis angle evaluated by video rasterstereography (VRS) with x-ray measurements. *Stud Health Technol Inform*, 140, 137-139.
- [154] **White, A. A.**, 3rd, & Gordon, S. L. (1982). Synopsis: workshop on idiopathic low-back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 7(2), 141-149.
- [155] **Willner, S.**, & Johnson, B. (1983). Thoracic kyphosis and lumbar lordosis during the growth period in children. *Acta Paediatr Scand*, 72(6), 873-878.
- [156] **Wiora, G.** (2001). *Optische 3D-Messtechnik: Präzise Gestaltvermessung mit einem erweiterten Streifenprojektionsverfahren*. Universitätsbibliothek.
- [157] **Wright, A.** (1995). Hypoalgesia post-manipulative therapy: a review of a potential neurophysiological mechanism. *Man Ther*, 1(1), 11-16.
- [158] **Wydra, G.** (2004). Zur Problematik von Normen in der Bewegungstherapie. *Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 12, 2280-2289.
- [159] **Zieglgansberger, W.**, Berthele, A., & Tolle, T. R. (2005). Understanding neuropathic pain. *CNS Spectr*, 10(4), 298-308.

9. Anhang

9.1. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Menschen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein erster Dank gilt meinem Betreuer Tobias Schmidt für seine Geduld, die uneingeschränkte Unterstützung und fachlichen Rat bei der Bearbeitung dieses Themas.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinem Doktorvater Klaus-Michael Braumann bedanken, durch den diese Dissertation erst ermöglicht wurde.

Dank sage ich natürlich den vielen Kollegen des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin für die kollegiale Zusammenarbeit und das hervorragende Arbeitsklima. Ein besonderer Dank gilt auch den vielen freiwilligen Probanden, ohne deren Daten die Arbeit nicht hätte realisiert werden können.

Mein besonderer Dank gilt auch Daniel Wirsching für die Unterstützung bei der Bearbeitung der statistischen Auswertung sowie die in diesem Zusammenhang entstandenen und sehr hilfreichen fachlichen Diskussionen.

Last but not least möchte ich selbstverständlich meiner Familie für ihre bedingungslose Liebe, Anleitung zu freiem Denken und grammatischen Feinschliff sowie meinen Freunden für den moralischen Rückhalt und die kritischen Fachdiskussionen danken.

9.2. Lebenslauf

Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen.

9.3. Publikationen

Schmidt T, Burger S, Fetzer J, Reer R, Braumann KM (2012)

Auswirkung von thorakalen Manipulationen auf die sagittale Ausrichtung der Wirbelsäule. Pilotstudie. Manuelle Medizin 50:197-203

10. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Burger'. The signature is written in a cursive style with a long, sweeping horizontal stroke at the end.