

Aus der orthopädischen Universitätsklinik
mit Poliklinik Tübingen

**Messverfahren zur Erfassung des Therapieerfolges bei
wirbelsäulennaher Infiltrationstherapie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Winnewisser, Julia Patricia**

2017

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1.Berichterstatter: Professor Dr. N. Wülker

2.Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Badke

Tag der Disputation: 24.04.2017

Für meine geliebte Mutter und Großmutter

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung	13
1.1 Anatomie	14
1.1.1 Die Wirbelsäule	14
1.1.2 Wirbelkörper und Bandscheiben	17
1.1.3 Rückenmark.....	20
1.2 Funktion	20
1.3 Pathologie der Wirbelsäule	21
1.3.1 Lumbales Schmerzsyndrom	23
1.3.2 Lumbaler Bandscheibenvorfall	24
1.3.3 Degenerative Spinalkanalstenose	25
1.4 Therapiemöglichkeiten.....	25
1.4.1 Konservative Maßnahmen	26
1.4.2 Operative Therapie	26
1.5 Stufendiagnostik	27
1.5.1 Das Konzept der Stufendiagnostik	27
1.5.2 Historie.....	28
1.5.3 Infiltrationstechniken	29
1.5.4 Messbarkeit des Infiltrationserfolges	30
1.6 Fragestellung	31
2 Material und Methoden.....	32

2.1	Studiendesign	32
2.2	Patientengruppe und Untersuchungsablauf.....	33
2.3	Kontrollgruppe und Versuchsablauf.....	35
2.4	Rasterstereographie.....	35
2.4.1	Grundlagen und Methodik	35
2.4.2	Versuchsaufbau und -ablauf.....	37
2.5	Laufbandanalyse.....	40
2.5.1	Grundlagen und Methodik	40
2.5.2	Versuchsaufbau und -ablauf.....	42
2.6	Fragebögen	44
2.6.1	Allgemeines.....	44
2.6.2	Roland Morris Score (RMS)	44
2.6.3	Oswestry Disability Index (ODI)	45
2.6.4	Numerische Rating Skala (NRS).....	45
2.7	Infiltrationstechniken	47
2.8	Statistische Auswertung.....	49
3	Ergebnisse	50
3.1	Patienten.....	50
3.2	Ansprache auf die Infiltrationen.....	53
3.3	Ergebnisse der Rasterstereographie	55
3.3.1	Rumpflänge VP-DM (mm)	58
3.3.2	Rumpfneigung (°).....	59
3.3.3	Lotabweichung VP-DM (°).....	60
3.3.4	Seitabweichung VP-DM +max (mm).....	61
3.3.5	Seitabweichung VP-DM -max (mm).....	62

3.3.6	Kyphosewinkel VP-T12 (°).....	63
3.3.7	Lordosewinkel T12-DM (°)	64
3.4	Ergebnisse der Ganganalyse.....	65
3.4.1	Fußrotation (°)	69
3.4.2	Schrittlänge (cm)	70
3.4.3	Standphase (%).....	71
3.4.4	Schwungphase (%)	72
3.4.5	Schrittweite (cm)	73
3.4.6	Kadenz (Schritte/min).....	73
3.5	Ergebnisse der Fragebögen	74
3.5.1	Oswestry Disability Index.....	74
3.5.2	Roland-Morris-Score	75
3.6	Ergebnisse der Numerischen Rating Skala	76
3.7	Therapieanhalten.....	77
4	Diskussion	78
4.1	Rasterstereographie – Studienergebnisse im Vergleich mit der vorhandenen Literatur und mögliche Fehlerquellen	79
4.2	Ganganalyse – wie entscheidend ist der Gewöhnungseffekt?.....	83
4.3	Zeitlich begrenzte Dauer des diagnostischen Infiltrationseffektes	88
4.4	Geschlechterspezifische Ansprache auf die Infiltrationen	89
4.5	Studienlimitation.....	91
5	Zusammenfassung	92
6	Literaturverzeichnis	94
7	Erklärung zum Eigenanteil.....	100
8	Veröffentlichungen	101

Anhang	102
Danksagung	113
Lebenslauf	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Wirbelsäule	16
Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Bewegungssegments	19
Abbildung 3: Degenerative Veränderungen des Bewegungssegments	23
Abbildung 4: Schematische Darstellung Rasterstereographie	37
Abbildung 5: Versuchsaufbau und -ablauf der rasterstereographischen Untersuchung .	39
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Gangzyklus.....	41
Abbildung 7: Versuchsaufbau und Report der Ganganalyse	43
Abbildung 8: Darstellung der Numerischen Rating Skala (NRS).....	46
Abbildung 9: Deskriptive Statistik Patientenkollektiv	51
Abbildung 10: Deskriptive Statistik Referenzkollektiv	52
Abbildung 11: Infiltrationsansprache Patientenkollektiv.....	54
Abbildung 12: Rumpflänge VPDM (mm) Patientenkollektiv	58
Abbildung 13: Rumpfneigung VPDM (°) Patientenkollektiv	59
Abbildung 14: Lotabweichung VPDM (°) Patientenkollektiv	60
Abbildung 15: Seitabweichung +max VPDM (mm) Patientenkollektiv	61
Abbildung 16: Seitabweichung –max VPDM (mm) Patientenkollektiv	62
Abbildung 17: Kyphosewinkel VP-T12 (°) Patientenkollektiv.....	63
Abbildung 18: Lordosewinkel T12-DM (°)Patientenkollektiv	64
Abbildung 19: Fußrotation (°) Patientenkollektiv	69
Abbildung 20: Schrittlänge (cm) Patientenkollektiv	70
Abbildung 21: Standphase (%) Patientenkollektiv	71
Abbildung 22: Schwungphase (%) Patientenkollektiv	72
Abbildung 23: Schrittweite (cm) Patientenkollektiv	73
Abbildung 24: Kadenz (Schritte/min) Patientenkollektiv	73

Abbildung 25: Anhalten des Infiltrationseffektes anhand des ODI.....	74
Abbildung 26: Interpretation der Infiltrationsansprache mit Hilfe des RMS.....	75
Abbildung 27: Korrelation von NRS und ODI in Bezug auf den Infiltrationseffekt	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendetenGeräte	33
Tabelle 2: Studiendesign	34
Tabelle 3: Parameter Rasterstereographie	39
Tabelle 4: Normwerte der Zeit/Distanzparameter für die Ganganalyse	41
Tabelle 5: Verwendete Parameter der Ganganalyse	43
Tabelle 6: Infiltrationstechniken an der Wirbelsäule und verwendete Medikamente	48
Tabelle 7: Deskriptive Statistik Patienten- und Normkollektiv im Vergleich	53
Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeit der Infiltrationsansprache des Patientenkollektivs	54
Tabelle 9: Test auf signifikante Unterschiede der Rasterstereographiewerte von Patienten- und Normkollektiv	56
Tabelle 10: Intrapopulärer Vergleich Patientenkollektiv zu verschiedenen Messzeitpunkten	57
Tabelle 11: Allgemeine Gangparameter Ganganalyse	66
Tabelle 12: Spezielle Parameter Ganganalyse von Patienten- und Normkollektiv im Vergleich	66
Tabelle 13: Intrapopulärer Vergleich der Ganganalyseparameter des Patientenkollektivs zu verschiedenen Messzeitpunkten.....	68
Tabelle 14: Korrelation NRS und ODI	77
Tabelle 15: Signifikanztest subjektive Parameter.....	77
Tabelle 16: Rasterstereographieparameter Normkollektive im Vergleich.....	81

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
COP	Center of Pressure (Druckzentrum)
CT	Computertomografie
DL	Dimple left (linkes Lumbalgrübchen)
DR	Dimple right (rechtes Lumbalgrübchen)
et al.	lateinische Abkürzung für et alii (Mas- kulinum) oder et aliae (Femininum), be- deutet übersetzt „und andere“
gr.	griechisch
HWZ	Halbwertszeit
kg	Kilogramm
KM	Kontrastmittel
km/h	Kilometer pro Stunde
LA	Lokalanästhetikum
lat.	lateinisch
Lig.	Ligamentum
m	Meter
min	Minute
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomografie
ms	Millisekunde
N.	Nervus (lat. Nerv)
NRS	Numerische Ratingskala

n.s.	nicht signifikant
ODI	Oswestry Disability Index
o.g.	oben genannt
p	Signifikanzniveau
RMS	Roland Morris Score
s	Sekunde
SP	Sakrumpunkt
Tab.	Tabelle
VP	Vertebra prominens
4D	Vierdimensional
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Der menschliche Rücken erstreckt sich anatomisch gesehen vom Hinterkopf bis zur Gesäßfalte. Umgangssprachlich unterscheidet man den Nacken vom eigentlichen Rücken und damit die Nackenschmerzen von den Kreuzschmerzen (unterer Teil des Rückens). Medizinisch werden die eigentlichen Rückenschmerzen – Dorsalgien (lat. dorsum = Rücken, gr. algos = Schmerz) – von den Lumbalgien (lat. lumbus = Lende, gr. algos = Schmerz), wenn die Lenden- oder Kreuzbeinregion betroffen ist, getrennt bezeichnet. 74-85% der Bevölkerung westlicher Industriestaaten leiden zumindest einmal im Leben unter Rückenschmerzen (Andersson, 1999; Hildebrandt & Mense, 2001; Marschall et al., 2012; Raspe, 2012; Rössler & Rütther, 2005; Rubin, 2007; Schmidt et al., 2007) und es handelt sich bei den Rückenschmerzen um die zweithäufigste Ursache für einen Arztbesuch nach den Kopfschmerzen (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 2001). Die Prävalenz chronischer Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung liegt bei ca. 15% (12-30%) (Andersson, 1999; Krismer & van Tulder, 2007). Die Rückenschmerzen lassen sich nach Angaben des Robert-Koch-Institutes aufgrund unterschiedlicher Ursachen, Dauer, Schweregrad und Chronifizierungsstadium klassifizieren sowie in spezifische und nicht-spezifische Rückenschmerzen einteilen (Bundesärztekammer (BÄK) et al., 2011; Diemer & Burchert, 2002). Ist eine eindeutige Ursache der Beschwerden feststellbar, handelt es sich um spezifische Rückenschmerzen. Dazu zählen Wirbelfrakturen, Bandscheibenvorfälle, Spinalkanalverengungen, Infektionen, Entzündungen, Osteoporose und Tumoren bzw. Metastasen im Bereich der Wirbelsäule. Können die Schmerzen keinem klinischen Krankheitsbild zugeordnet werden und lassen sich keine anatomisch bedingten pathologischen Veränderungen feststellen, so ordnet man die Beschwerden den nichtspezifischen Rückenschmerzen zu (Schröder et al., 2011). „Etwa 15% aller Rückenschmerzpatienten leiden unter spezifischen Rückenschmerzen; bei etwa 85% der Patienten mit Rückenschmerzen liegt dagegen ein nichtspezifischer Rückenschmerz vor“ (Diemer & Burchert, 2002). Besonders schwierig wird die Behandlung von unspezifischen Rückenschmerzen, die von einem akuten Stadium in ein chronisches übergegangen sind. Als chronisch bezeichnet man Schmerzen, die länger als 3-6 Monate anhalten oder dauerhaft Beschwerden verursachen (Andersson, 1999; Freytag et al., 2012; Marschall et al., 2012). Psychische und

soziale Faktoren tragen neben den organischen Ursachen zu der Chronifizierung eines Schmerzes bei (Bruehl-Segendorf & Obens, 1997). Das Risiko für die Entwicklung eines chronischen Rückenleidens steigt mit zunehmendem Alter (Andersson, 1999). Lang andauernde Schmerzzustände beeinträchtigen das Wohlbefinden und die Lebensqualität der Patienten, die Berufsausübung ist oftmals eingeschränkt bis häufig unmöglich. Aufgrund der hohen Prävalenz und Lebenszeitprävalenz zählen Rückenschmerzen zu den teuersten Erkrankungen der Industriestaaten, wobei die sekundären Krankheitskosten wie z.B. Arbeitsausfälle die meisten Kosten verursachen. (Diemer & Burchert, 2002; Hildebrandt & Mense, 2001; Krismer & van Tulder, 2007). Bei Patienten mit Rückenschmerzen wird neben ausgeprägten Schonhaltungen mangelnde körperliche Kondition und eingeschränkte Beweglichkeit beobachtet (Hildebrandt & Mense, 2001). Die Nationale Versorgungsleitlinie Kreuzschmerz der Bundesärztekammer (Bundesärztekammer (BÄK) et al., 2011), Stand Oktober 2015, stellt das Grundgerüst für die Diagnosefindung dar. Wenn klinisch und radiologisch keine Ursache feststellbar ist, kann eine Diagnose nur anhand der subjektiven Empfindungen und Aussagen des Patienten mit der Interpretationshilfe der Versorgungsleitlinie gestellt werden. „Es gibt keinen Labortest und keine technisch unterstützte Untersuchung, die im Zweifelsfall Rückenschmerzen sicher belegen oder ausschließen können.“(Raspe, 2012).

1.1 Anatomie

1.1.1 Die Wirbelsäule

Die Wirbelsäule (lat. Columna vertebralis) stellt das Achsenskelett unseres Körpers dar und ist mit den Extremitäten, dem Kopf und den Rippen verbunden. Die doppelte S-Form ermöglicht dem Menschen einen aufrechten Stand bei gleichzeitiger Stabilität und Beweglichkeit. Sie besteht aus prinzipiell 24 Wirbeln (lat. Vertebrae), die über 23 Synchondrosen miteinander verbunden sind. Die ersten beiden Halswirbel Atlas und Axis stehen über ein echtes Gelenk in Verbindung, das Kreuzbein besteht aus fünf verschmolzenen Wirbeln und die drei bis fünf Steißwirbel bilden das Steißbein (Aumüller et al., 2007; Netter, 2001).

Neben den stabilen Wirbeln und den halbelastischen Zwischenwirbelscheiben (lat. *disci intervertebrales*) trägt auch der Bandapparat der Wirbelsäule zur Stabilisierung des Rückens bei. Die Rückenmuskulatur ermöglicht Bewegungen des Rumpfes und schützt die Wirbelsäule als „aktives Verspannungssystem“ vor Deformationen.

Die Wirbelsäule wird in fünf Abschnitte unterteilt:

- Halswirbelsäule mit 7 Zervikalwirbeln C1-C7,
- Brustwirbelsäule mit 12 Thorakalwirbeln Th1-Th12,
- Lendenwirbelsäule mit 5 Lumbalwirbeln L1-L5,
- Kreuzbein als verschmolzene Sakralwirbel S1-S5,
- Steißbein aus 3-5 Wirbelrudimenten.

Betrachtet man die Wirbelsäule von der Seite so lassen sich vier Krümmungen erkennen, welche unserem Rückgrat die Form eines „doppelten S“ geben (Schünke et al., 2011). Nach ventral konvexe Krümmungen bezeichnet man als Lordosen, nach dorsal konvexe Krümmungen heißen Kyphosen. Man unterscheidet eine Halslordose, eine Brustkyphose, eine Lendenlordose und eine Sakralkyphose. Diese Krümmungen der Sagittalebene sind physiologisch, bestehen allerdings nicht von Geburt an sondern entwickeln und verstärken sich erst postnatal durch spezifische Haltungen wie das Kopfhieven, das Sitzen und das Stehen. Im Alter verstärken sich die Krümmungen durch degenerative Veränderungen der Wirbel und es kommt zur Höhenabnahme der Zwischenwirbelscheiben – die Folge ist eine Längenabnahme der Wirbelsäule (Leonhard et al., 2003).

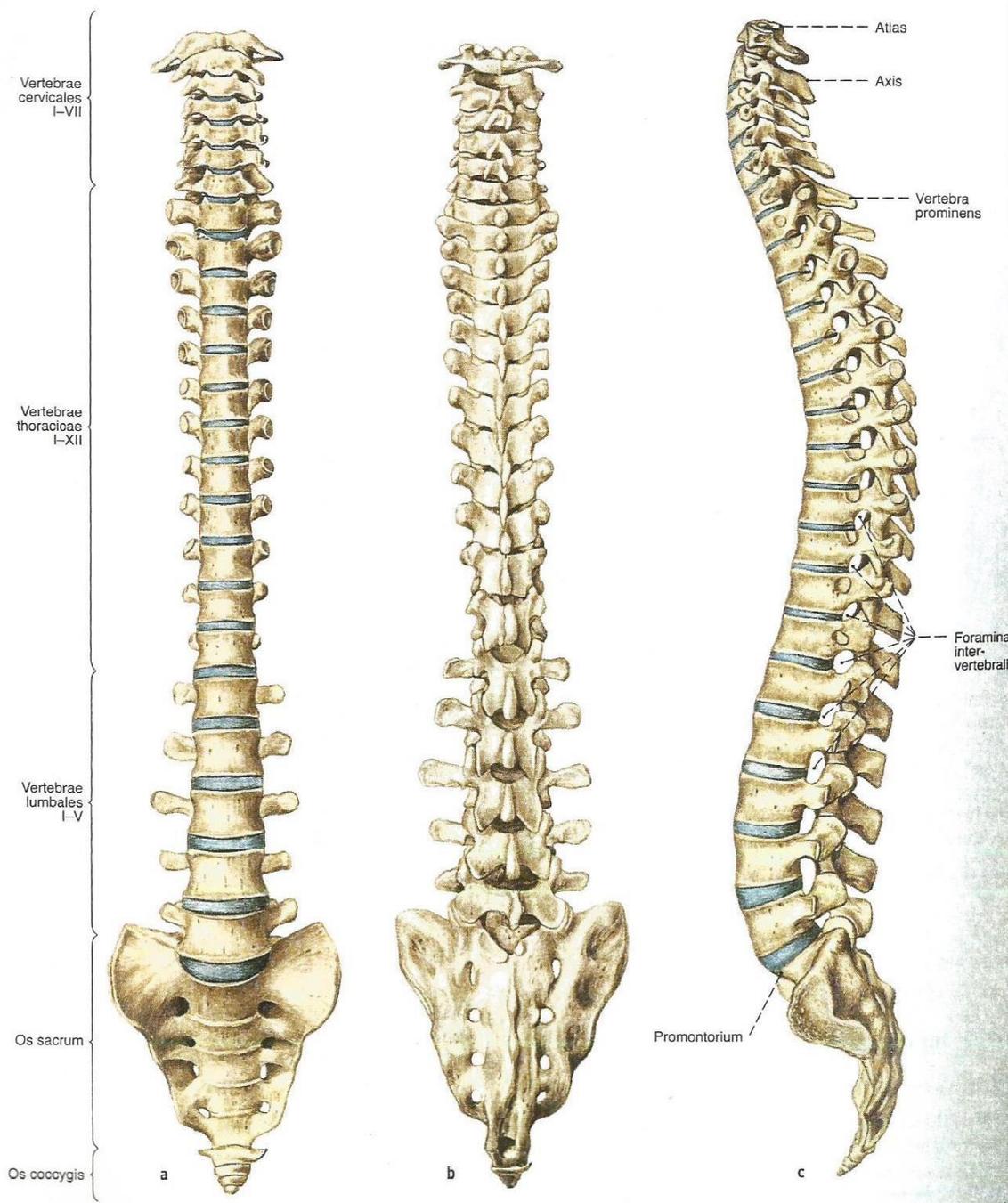


Abbildung 1: Aufbau der Wirbelsäule

Ansicht der Wirbelsäule von ventral (links), dorsal (Mitte) und seitlich (rechts) (Rössler, Rüter, Orthopädie und Unfallchirurgie, 19. Auflage 2005 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München) mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

1.1.2 Wirbelkörper und Bandscheiben

Die Wirbelkörper umgeben das Rückenmark und die jeweiligen austretenden Spinalnervenwurzeln als knöchernes Skelett und stellen damit eine Leit- und Schutzbarriere dar (Rössler & Rüter, 2005). Sie bestehen aus einer äußeren Kortikalis, die eine gefäßreiche Spongiosa umgibt. Die 24 Wirbelkörper mit den zwischengelagerten 23 Intervertebralscheiben nehmen von oben nach unten an Größe zu, um dem durch die Schwerkraft zunehmenden Belastungsdruck standhalten zu können (Aumüller et al., 2007; Niethard & Pfeil, 2005). Atlas und Axis sind die beiden ersten Halswirbel und besitzen einen abweichenden Aufbau der sonst typischen Wirbelgrundform (Netter, 2001). Die restlichen Wirbel bestehen aus dem Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*), einem Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*), dem Dornfortsatz (*Proc. spinosus*), zwei Querfortsätzen (*Procc. transversi/costales*) und vier Gelenkfortsätzen (*Procc. articulares*) (Schünke et al., 2011). Wirbelkörper und Wirbelbogen bilden gemeinsam das Foramen vertebrale in welchem das Rückenmark verläuft, die oben genannten Fortsätze stellen die Verbindungselemente zu Muskulatur und Bändern dar. Nach dorsal sind die Wirbelkörper über paarig angelegte Wirbelgelenke miteinander verbunden, ihre Gelenkflächen werden als Facettengelenke bezeichnet. In den verschiedenen Wirbelsäulenabschnitten haben benachbarte Wirbel eine geringe Beweglichkeit gegeneinander und die Gelenke unterschiedliche Stellungen zueinander, was im Zusammenspiel aller Wirbelkörper der Wirbelsäule jedoch eine enorme Rotations-, Seitbeugungs-, Vor- und Rückneigungsfähigkeit ermöglicht (Netter, 2001).

Die Bandscheiben bestehen aus einem äußeren zweischichtigen Faserring, dem Anulus fibrosus, der den gallertartigen Nucleus pulposus umschließt. Die Außenzone enthält Typ-I Kollagenfasern in konzentrischen Lamellen angeordnet, die sich überkreuzen und beim Übergang in die Innenzone in faserknorpeliges Gewebe mit Typ-II Kollagenfasern übergehen (Schünke et al., 2011). Der Gallertkern besteht vorwiegend aus Wasser und Polyglykanen, der Wassergehalt beträgt beim Kind ca. 80% (Rössler & Rüter, 2005) und nimmt im Laufe des Lebens ab. Zudem wird die Grundsubstanz im Alter immer mehr durch Faserknorpel ersetzt (Netter, 2001). Dadurch sinkt deren Elastizität und die Höhe der Zwischenwirbelscheiben verringert sich, was in Kombination zu pathologischen Prozessen an der Wirbelsäule führen kann. Beim gesunden Menschen ist die

Bandscheibe nur spärlich und im Randbereich durchblutet und innerviert und wird vorwiegend durch Diffusion ernährt. Durch die anhaltende Belastung der Intervertebralscheiben im Tagesverlauf nimmt der Flüssigkeitsgehalt stetig ab, sodass die einzelnen Bandscheiben über 1mm abflachen und damit die Wirbelsäule ca. 2-2,5cm an Länge während eines Tages verliert (Aumüller et al., 2007; Niethard & Pfeil, 2005). Über Nacht regeneriert sich der Wasserhaushalt des Nucleus pulposus wieder. Im Alter kann die Wirbelsäule insgesamt 2-3cm an Länge verlieren (Netter, 2001).

Die benachbarten Wirbelkörper sind neben den Zwischenwirbelscheiben über verschiedene Bänder miteinander verbunden. Die eigentlichen Wirbelkörper sind über die Ligg. longitudinales anterius und posterius, die Querfortsätze sind über die Ligg. intertransversaria verbunden, die Dornfortsätze haben über die Ligg. supraspinalia und interspinalia Kontakt untereinander und die Bogenplatten verbinden die Ligg. flava (Netter, 2001; Schünke et al., 2011).

Das Brustskelett bestehend aus den Rippen und das Achsenskelett bestehend aus den Wirbelkörpern sind über die Querfortsätze und verschiedene Bänder miteinander verbunden.

Ein Bewegungssegment besteht aus zwei benachbarten Wirbeln, der zwischen ihnen gelegenen Bandscheibe, die sie verbindenden Bänder und Muskeln sowie den austretenden Nervenwurzeln (Aumüller et al., 2007). Insgesamt besteht die Wirbelsäule in der Regel aus 25 solchen Segmenten, welches jedes für sich nur eine Bewegung von wenigen Graden ermöglicht, die Summe aller die folgende Gesamtmobilität der Wirbelsäule ergibt (Niethard & Pfeil, 2005):

- Flexion – Extension 250°,
- Rotation 280°,
- Seitneigung 150°.

Bei sogenannten „Schlagenmenschen“ (Kontorsionisten) beträgt die Flexion-Extensionsbewegung bis zu 360° oder sogar darüber hinaus.

Die Muskulatur des Rumpfes gehört zu den kräftigsten Muskeln des menschlichen Körpers. Sie setzt an den Dornfortsätzen, Wirbelbögen und Querfortsätzen der Wirbelkörper an. Neben der Bewegung des Rumpfes spielen vor allem die kleinen tiefen Muskeln eine wichtige Funktion für die dauerhafte Stabilisierung der Wirbelsäule (Aumüller et al., 2007). Man unterscheidet die autochthonen tiefen Rückenmuskeln von der nicht autochthonen oberflächlichen Muskulatur.

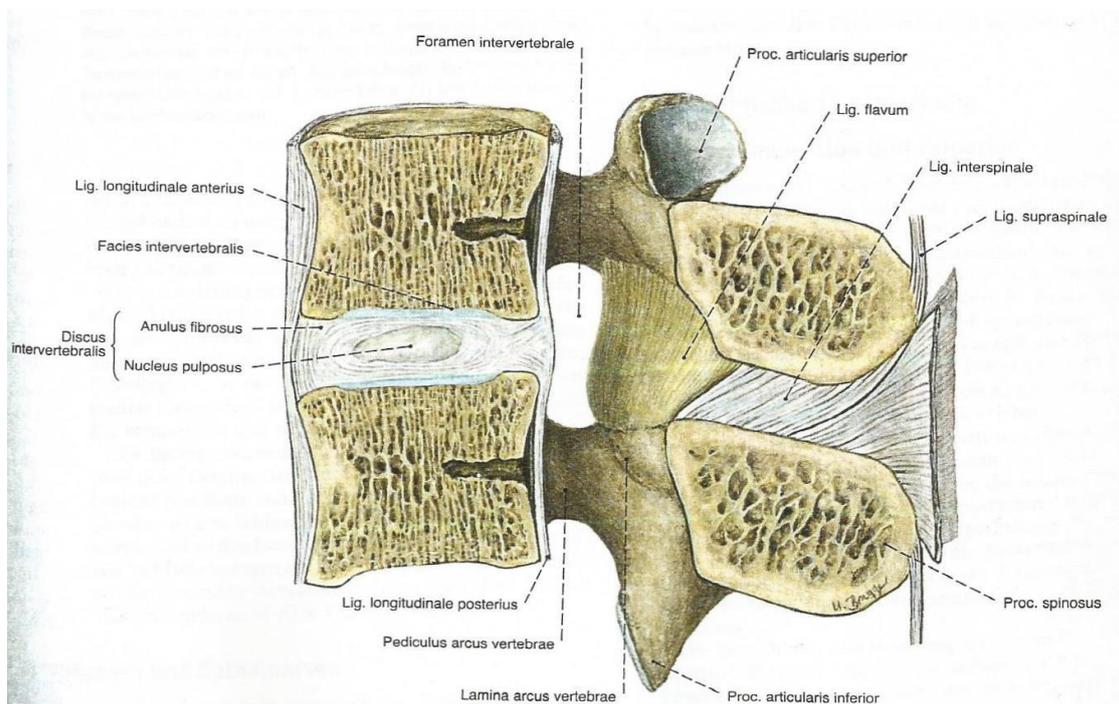


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Bewegungssegments

Lumbales Bewegungssegment im Medianschnitt, zwei Wirbelkörper, Wirbelbögen, Discus intervertebralis, Bänder (Rössler, Rütter, Orthopädie und Unfallchirurgie, 19. Auflage 2005 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München) mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

1.1.3 Rückenmark

Das Rückenmark (Myelon) ist ein Teil des ZNS, verläuft nach seinem Austritt aus dem Schädel durch das Foramen magnum im Canalis vertebralis der Wirbelsäule und endet in Höhe des 1.-2.Lendenwirbels (Niethard & Pfeil, 2005). Es ist von den Rückenmarkshäuten Pia mater, Arachnoidea und Dura mater umgeben, denen das Periost nach außen aufliegt. Radices anterior und posterior des N.spinalis vereinigen sich nach dem Durchtritt durch die Foramina intervetebralia zu Spinalnerven (Netter, 2001).

1.2 Funktion

Die drei vorrangigen Aufgaben der Wirbelsäule sind die Halte- und Stützfunktion, die dynamische Ausgleichsfunktion gegenüber Schwerkraft und als Gegenspieler der ansetzenden Rumpfmuskulatur sowie die Leit- und Schutzfunktion für das Myelon und seine austretenden Nervenwurzeln (Rössler & Rüther, 2005). Die Haltung des Menschen wird wesentlich von seinem aufrechten Stand und Gang geprägt. Die Wirbelsäule als Achsen skelett des menschlichen Körpers nimmt dabei die zentrale Position ein. Ab der Geburt beginnt das Streben zu einer aufrechten Haltung, allerdings bedarf dies einer jahrelangen Entwicklung. Die kindliche Rumpfmuskulatur muss die dafür notwendige Dauerbelastung erst erlernen und üben. Zudem ist die Haltung neben passiven (Knochen, Bänder) und aktiven Haltevorrichtungen abhängig von Alter, vorrätiger Körperkraft, dem momentanen seelischen Zustand und Erbanlagen (Rössler & Rüther, 2005). Eine aufrechte Wirbelsäule beeinflusst nicht nur das äußere Erscheinungsbild sondern nimmt auch Einfluss auf Atmung und das Zusammenspiel von Rücken-, Gesäß-, Bauch- und Brustmuskulatur.

1.3 Pathologie der Wirbelsäule

Man unterscheidet verschiedene Erkrankungsformen der Wirbelsäule:

- Fehlanlagen und Fehlentwicklungen (z.B. Klippel-Feil-Syndrom, Spondylolisthese),
- Formveränderungen wie Kyphosen oder Skoliosen,
- Funktionelle Störungen und degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule,
- Entzündliche Erkrankungen,
- Verletzungen/Traumata.

Bei einem Großteil der oben genannten Erkrankungsformen können die Beschwerden einem entsprechenden Krankheitsbild zugeordnet werden. Für diese Studie sind funktionelle Störungen und degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule, die eine Diskrepanz zwischen klinischem und bildgebendem Befund aufweisen, bedeutsam. Sie erfordern eine schrittweise Diagnostik zur Erfassung der Schmerzursache und -lokalität. Nachfolgend werden die möglichen Ursachen und Krankheitsbilder genauer erläutert.

Alle Strukturen die am Aufbau der Wirbelsäule beteiligt sind, unterliegen physiologischen degenerativen Alterungsprozessen und je größer deren Beanspruchung desto stärker ist die Abnutzung (Wülker et al., 2005). Die betroffenen Regionen der Wirbelsäule sind an erster Stelle die Bandscheiben und angrenzenden Wirbelkörper sowie die Intervertebralgelenke (Netter, 2001). Die morphologischen Veränderungen sind jedoch nicht automatisch gleichzusetzen mit subjektiven Patientenbeschwerden. Diese lassen sich mit den heutigen Methoden in vielen Fällen nicht nachweisen und können nicht vorhergesagt werden.

Der Alterungsprozess der Bandscheibe beginnt bereits nach dem 20. Lebensjahr (Rössler & Rütger, 2005). Die „Pufferwirkung“ des Gallertkerns wird durch die nachlassende Fähigkeit zur Wasseraufnahme und den dadurch vermehrten Kollagengehalt vermindert, sie erhärtet und wird brüchig (Netter, 2001). Dadurch wird die eigentlich als Zugkraft vorgesehene Belastung auf den Faserring zunehmend eine axial wirkende Druck- und Scherkraft. Diese nun dort wirkende mechanische Beanspruchung bewirkt zudem eine Strukturveränderung des äußeren Faserrings und es kann zu Rissbildungen kommen. In

Kombination beider degenerativer Prozesse kann es bei einem geschwächten Anulus fibrosus zu einer Vorwölbung (Protrusio) oder einem Vorfall (Prolaps) des Discus intervertebralis kommen. Findet dieser in dorsale Richtung statt, wird das Rückenmark komprimiert (medianer Prolaps), in dorsolateraler Richtung wird ein Druck auf die Spinalwurzel ausgeübt, was dann zu schmerzhaften Zuständen im Bereich des Innervationsgebietes des betroffenen Nerven führt und in Folge bis hin zu neurologischen Ausfällen gehen kann. Durch die Annäherung der Wirbelkörper aufgrund der Verkleinerung des Intervertebralspaltes kann eine Chondrosis intervertebralis mit Lockerung des Bandapparates und einer Positionsveränderung der Wirbel entstehen. Gleichzeitig kann durch den Höhenverlust das Foramen intervertebrale, verstärkt durch knöchige degenerative Anbauten (Spondylophyten), in seiner Form verändert und eingeengt werden. Diese sich so ausbildende Neuroforaminalstenose kann ebenfalls zu einer Affektion des hierdurch laufenden Nerven führen. In ausgewählten Fällen ist durch die oben beschriebenen Mechanismen sogar eine Einengung des eigentlich mit ausreichend Platz angelegten Wirbelkanals möglich (Spinalkanalstenose), welche dann zu neurologischen Beschwerden oder Ausfällen in den durch diese Engstelle laufenden Nerven führen kann. Die arthrosebedingte Bildung von Spondylophyten führt außerdem zu einer physiologischen Versteifung durch verminderte Beweglichkeit der Wirbelsäule. (Netter, 2001; Niethard & Pfeil, 2005). Die am stärksten belasteten Segmente sind die Hals- und Lendenwirbelsäule.

Die Symptome sind vielfältig und können mit den anatomischen Gegebenheiten und den in der Bildgebung festgestellten Veränderungen kongruent, aber auch diskrepanz sein. Die Bandbreite reicht von asymptomatischen Verläufen bei hochgradiger Degeneration bis zu bewegungseinschränkenden Beschwerden bei nur relativ geringen morphologischen Veränderungen in der Bildgebung. Die Lokalisation und Ausstrahlung der Schmerzen, die Abhängigkeit der Beschwerden von der Körperhaltung, die Provokation des Schmerzes und ein Instabilitätsgefühl können Hinweise für einzelne Erkrankungsformen sein (Wülker et al., 2005).

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die oben beschriebenen häufigsten degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule schematisch dargestellt.

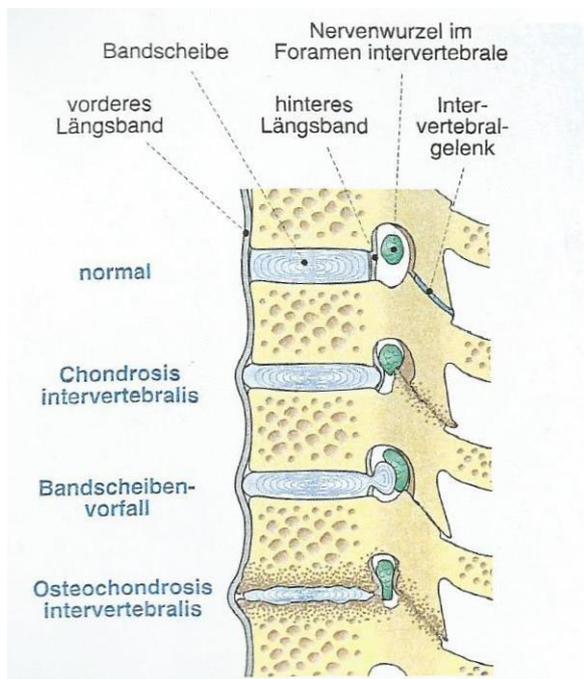


Abbildung 3: Degenerative Veränderungen des Bewegungssegments

Schematische Darstellung der Vorgänge bei der Bandscheibendegeneration (Rössler, Rüter, Orthopädie und Unfallchirurgie, 19. Auflage 2005 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München) mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

1.3.1 Lumbales Schmerzsyndrom

Der Begriff Lumbales Schmerzsyndrom umfasst akute lokalisierte lumbale Rückenschmerzen (Lumbago) sowie deren chronische Formen ohne (Lumbalgie) oder mit zusätzlicher Ausstrahlung in die Beine (Lumboischialgie oder Lumbofemoralgie). Auch eine rein neuropathische Klinik kann gegeben sein (Ischialgie oder Femoralgie). Ursache sind unterschiedliche funktionelle oder degenerative Veränderungen der lumbalen Bewegungssegmente. Eine akute Überlastung oder Funktionsstörung kann zu einer Lumbago, umgangssprachlich als „Hexenschuss“ bezeichnet, führen, wobei die reflektorische Anspannung der Rückenmuskulatur zu einer Bewegungseinschränkung führt. Schmerzhaftes Muskelverspannungen, Diskosen, Spondylosen, Facettengelenksarthrosen und Wurzelkompressionen können die Ursachen für chronisch rezidivierende, belas-

tungsabhängige Beschwerden sein. Differentialdiagnostisch sind Entzündungen, Tumore und Wirbelsäulentraumata von degenerativen Veränderungen zu unterscheiden. Die Therapie ist abhängig vom Schweregrad der Beschwerden und körperlichen Einschränkungen. Sie reicht von Analgetika und Myotonolytika, physikalischen Maßnahmen und manueller Therapie bis zu Miedern und Infiltrationstherapien. Vorbeugend und zur Nachsorge sind ein Haltungstraining sowie regelmäßige Lockerungs- und Entspannungsübungen für den Rücken etabliert.

1.3.2 Lumbaler Bandscheibenvorfall

Der Flüssigkeitsverlust des Nucleus pulposus im Discus intervertebralis führt zu einer Verschmälerung des Bandscheibenraumes. Der Anulus fibrosus wird stärker belastet und es kommt zur Rissbildung und Auffaserung des straffen Bindegewebes. Die für die Stabilität verantwortliche äußere Ringschicht des Anulus fibrosus kann nun seiner Funktion nicht mehr nachkommen und das gesamte Bewegungssegment wird instabil (Grifka & Kuster, 2011). Bei der Protrusion verlagert sich der gallertartige Kern in Richtung der größten Schwachstelle des äußeren Faserrings und es kommt zu einer Vorwölbung der Bandscheibe in diesem Bereich. Beim Prolaps rutscht nur der gallertige Nucleus pulposus durch einen Spalt im Faserring. Geschieht dies im Bereich des Rückenmarks oder des Foramen intervertebrale kann so das darin verlaufende Nervengewebe sowie auch die assoziierte Blutversorgung komprimiert und so gestört bis geschädigt werden. Bei einem sequestrierten Prolaps befindet sich ein abgespaltener Teil des Gallertkerns außerhalb des Anulus fibrosus. Der Übergang von einer Protrusion zu einem Diskusprolaps ist fließend und muss nicht unbedingt mit Schmerzen verbunden sein. (Rössler & Rüter, 2005). In 90% der Fälle sind beim lumbalen Bandscheibenvorfall die Wurzeln der Segmente L5 und S1 betroffen (Rössler & Rüter, 2005; Schünke et al., 2011; Wülker et al., 2005). Durch die Wurzelkompression kann es in Abhängigkeit von der Höhe und der Richtung des Gewebeaustritts zu Schmerzen, Sensibilitätsstörungen oder auch zu Lähmungen im Beinbereich kommen (je nach betroffenem Nerv Femoralgie oder Ischialgie). Die Schmerzen sind meist einseitig und je nach Lage des Prolaps mehr im Rücken- oder Beinbereich angesiedelt (Wülker et al., 2005). Im Röntgenbild ist ein Bandscheibenvorfall nur indirekt über einen verkleinerten Zwischenwirbelraum vermutbar, in der Tomographie ist die Kompression des Duralsacks eindeutig

diagnostizierbar. Ein Bandscheibenvorfall kann sowohl konservativ als auch operativ behandelt werden. In erster Instanz wird versucht, mittels konservativer Therapie eine Schmerzlinderung zu erreichen. Die Indikation für eine Operation ist notfallmäßig bei relevanten sensomotorischen Defiziten gegeben, in der Extremform im Sinne eines Kaudasyndroms (Störungen der Blasen- und Mastdarmfunktion mit Reithosenanästhesie und Sexualfunktionsstörung). Sie kann aber auch bei häufigen Ischiasrezidiven sowie mehrfacher, lang andauernder aber erfolgloser konservativer Behandlung gestellt werden (Rössler & Rüther, 2005).

1.3.3 Degenerative Spinalkanalstenose

Angeborene oder durch degenerative Veränderungen erworbene Einengungen des Wirbel- oder Spinalkanals verursachen Schmerzen, Lähmungserscheinungen und Sensibilitätsstörungen vor allem im Lendenwirbelbereich und in den Beinen. Die Beschwerden sind belastungsabhängig und bessern sich bei Entlastung und Kyphosierung der Lendenwirbelsäule. Die Diagnose wird mittels Kernspintomographie gesichert. Ursächliche degenerative Veränderungen können dorsale Spondylophyten und arthrotisch veränderte Wirbelgelenke sein. Diese entstehen infolge der Bandscheibendegeneration zur Restabilisierung der Bewegungssegmente, die aufgrund des kleiner werdenden Zwischenwirbelraumes instabil geworden sind. Wenn die Osteophyten sich berühren und knöchern versteifen nehmen die Beschwerden zwar ab, die Beweglichkeit der Wirbelsäule wird allerdings eingeschränkt (Schünke et al., 2011).

1.4 Therapiemöglichkeiten

Grundsätzlich wird zwischen einer konservativen Therapie und einer operativen Therapie unterschieden. In den meisten Fällen wird zunächst versucht, die Schmerzen mit Hilfe konservativer Maßnahmen zu lindern und auf lange Sicht erneuten Beschwerden mit zielgerichteten Übungen vorzubeugen. Eine operative Therapie erfolgt meist bei konservativ therapierefraktären Beschwerden, insbesondere dann, wenn eine entsprechende beschwerdeauslösende Ursache identifiziert und adressiert werden kann. Während meist eine solche Chirurgie als hochelektives Verfahren durchgeführt wird, sind operative Maßnahmen in bestimmten Fällen notfallmäßig sofort einzuleiten. Hierzu

zählen beispielsweise das Auftreten von neu aufgetretenen motorischen Defiziten von weniger als 3 von 5 Kraftgraden nach Janda, ein neues Vorliegen von Blasen- oder Mastdarmstörungen oder eine beginnende Sepsis bei epiduralem Abszess. (Grifka & Kuster, 2011; Rössler & Rüter, 2005; Wülker et al., 2005).

1.4.1 Konservative Maßnahmen

Zu den konservativen Maßnahmen zur Schmerzlinderung und –vorbeugung zählen:

- Medikamentöse Therapie: orale Analgetika, Antiphlogistika, Myotonolytika, lokale Injektionen,
- Krankengymnastik,
- Manuelle Therapie,
- Physikalische Therapie: Wärmeanwendung (Bäder, Heizkissen, Fangopackungen),
- Orthetische Versorgung,
- Rückenschule: Haltungs- und Verhaltenstraining zur Vermeidung von Rücken-schäden (Tertiärprävention),
- Ausreichende Aufklärung über die vorliegenden Veränderungen und die zu erwartende Prognose,
- Elektrostimulation,
- Ggf. psychosoziale Mitbetreuung.

1.4.2 Operative Therapie

Bei der operativen Versorgung wird im Falle einer entsprechenden nervalen Kompression versucht, diese zu entlasten und die eingegengten Platzverhältnisse zu beheben. Bei der Sequestrektomie werden die prolabierte Gewebeanteile entfernt, erweitert werden im Rahmen einer Nukleotomie zusätzlich gelockerte Bandscheibenteile mit entfernt. Auch kann insgesamt der Spinalkanal oder auch das Neuroforamen im Rahmen einer solchen Operation erweitert werden (Dekompression), um für das Rückenmark mehr Raum zur Verfügung zu stellen.

Wenn bereits fortgeschrittene degenerative Veränderungen oder eine Instabilität der Wirbelsäule vorliegen, wird eine Versteifung der betroffenen Segmente durchgeführt (Spondylodese). Auch wenn durch die Versteifung ein Teil der Mobilität der Wirbelsäule verloren geht, so ist durch dieses Verfahren meist eine gute und nachhaltige Schmerzreduktion bei erhaltener Belastbarkeit zu erzielen. Hierfür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Die in Deutschland am häufigsten durchgeführte Methode ist die Einbringung von Pedikelschrauben durch die Bogenwurzeln der Wirbelkörper, welche anschließend mittels Titanstangen miteinander verblockt werden und so die eingeschlossenen Segmente immobilisieren. Bei einer solchen Immobilisation über mehrere Jahre verknöchern die stillgelegten Bandscheiben zunehmend, sodass dann auch die ventrale Säule die notwendige Stabilität langfristig sicherstellt. Um diesen Prozess zu beschleunigen und so die dorsal stabilisierende Instrumentation zu entlasten und damit zu schützen, wird häufig das Bandscheibenfach ausgeräumt und hier ein Platzhalter eingebracht, der die Höhe im Bandscheibenfach trotz fehlender Bandscheibe sichert und so eine neuroforaminale Kompression durch Höhenverlust verhindert. Die modernen Platzhalter besitzen eine Form und Struktur, die ein rasches knöchernes Durchbauen ermöglicht. Durch eine zügige Lastaufnahme über die ventrale Säule wird so die dorsale Instrumentation geschützt und die Komplikationsrate im Sinne von Lockerungen oder Ermüdung des dorsalen Konstrukts wird gesenkt. Bezüglich der genauen operativen Verfahren sei auf die entsprechende Literatur verwiesen.

1.5 Stufendiagnostik

1.5.1 Das Konzept der Stufendiagnostik

Der Name Stufendiagnostik ist bereits die Definition des Wortes selbst: die Diagnostik ist ein stufenweiser Prozess, bei dem man über mehrere Zwischenergebnisse zur abschließenden Enddiagnose kommt. Der jeweils nachfolgende Schritt ergibt sich aus dem Ergebnis der vorangegangenen Untersuchung. Bei der Stufendiagnostik bei Wirbelsäulenbeschwerden werden nach einer ausführlichen Anamnese mit Hilfe von Fragebögen und Schmerzdarstellungen wie der numerischen Rating Skala (NRS), einer ausführlichen klinischen Untersuchung sowie Analyse der bildgebenden Befunde zur Diagnose-

findung bestimmte Strukturen der Wirbelsäule lokal betäubt, um mit Hilfe der vom Patienten angegebenen erzielten Besserung einzelne Gebiete als Schmerzursache zu identifizieren und dadurch den eigentlichen Schmerzpunkt zu lokalisieren. Die gezielte Medikamentenapplikation mit Hilfe von Injektionen schaltet definierte Strukturen wie beispielsweise schmerzsignalsendende Nervenbahnen aus (Marschall et al., 2012). Das minimalinvasive Vorgehen wird mittels Bildgebung wie Ultraschall, CT oder Bildverstärkerröntgen kontrolliert. Bei rein therapeutischen Infiltrationen kann diese auch ohne die Notwendigkeit einer bildgebenden Kontrolle durchgeführt werden. Handelt es sich um einen diagnostischen Vorgang, der im Hinblick auf eine Operationsindikation durchgeführt wird, muss die Zielstruktur sicher getroffen werden und eine Bildgebung ist zwingend notwendig. In der orthopädischen Universitätsklinik Tübingen wird Stufendiagnostik bei Patienten durchgeführt, bei denen die klinische Präsentation der Rückenschmerzen mit dem vorliegenden bildmorphologischen Befund nicht in Einklang zu bringen ist.

1.5.2 Historie

Epidurale Infiltrationen sind die in den USA am häufigsten angewandten Eingriffe zur Behandlung von chronischen Rückenschmerzen (Benyamin et al., 2012; Parr et al., 2009) und laut Cohen et al. die weltweit am weitesten verbreitete und genutzte Schmerzbewältigungsmethode trotz der dauerhaft kontrovers diskutierten Sicherheit und Effektivität (2013). Im Jahr 1885 führte der Neurologe J. L. Corning die erste epidurale Infiltration zunächst an einem Hund, danach an einem gesunden Probanden durch, indem er das Lokalanästhetikum Kokain zwischen die Lendenwirbelfortsätze injizierte (Corning, 1885). Die erste Verwendung bei einem Patienten mit anhaltenden Ischiasbeschwerden erfolgte 1901 durch den französischen Physiker J.-A. Sicard und F. Cathelin (Cathelin, 1901; Sicard, 1901). Bis in die 1950er Jahre wurde für epidurale Infiltrationen eine Mischung aus Lokalanästhetikum und Kochsalzlösung verwendet (Davidson & Robin, 1961), die Entdeckung der Kortikosteroide als Medikament erfolgte 1953 durch Lievre et al. 1961 veröffentlichten Goebert et al. eine Studie, in der 113 an Radikulopathien leidende Patienten erfolgreich mit Procain und Hydrocortisonacetat behandelt wurden (Goebert et al., 1961). Die ersten wirklich beurteilbaren epiduralen

Injektionen mit Steroiden wurden von Swerdlow und Sayle-Creer im Jahr 1970 durchgeführt (Swerdlow & Sayle-Creer, 1970).

Bei wirbelsäulennahen Injektionen ist unter Beachtung der hierfür erforderlichen Hygienemaßnahmen die Komplikationsrate gering (Kayser et al., 2008; Theodoridis, 2007). Dafür muss bei den lokalen Injektionen auf eine strenge Asepsis geachtet werden. Insbesondere beim diagnostischen Ansatz ist die korrekte Nadelposition unter radiologischer Kontrolle sicherzustellen (Debrunner, 2002). Da das Verfahren juristisch gesehen eine Körperverletzung im Sinne des § 223 StGB darstellt, müssen die Patienten in vollem Umfang – am besten mit schriftlichem Einverständnis – vor der Behandlung aufgeklärt werden.

1.5.3 Infiltrationstechniken

Das diagnostische Spektrum für Injektionsbehandlungen an der Wirbelsäule ist vielfältig. Man unterscheidet lumbale Spinalnervenanalgesie (LSPA), Radikulografie mit anschließendem Wurzelblock, lumbale Facetteninfiltrationen, ligamentäre Infiltrationen am Iliosakralgelenk (ISG-Block) sowie die lumbale epidurale Schmerztherapie unterteilt in epidural-sakrale Injektionen, epidural-dorsale Injektionen und epidural-perineurale Injektionen.

Bei der minimal-invasiven Injektionsdiagnostik wird heutzutage je nach Indikation ein Lokalanästhetikum, ein abschwellendes Corticosteroid oder eine Mischung aus beiden für die Infiltrationen verwendet, zum Teil werden die Komponenten noch mit Kochsalzlösung verdünnt (Linhardt et al., 2007). Das Anästhetikum führt zur Schmerzreduktion sowie Desensibilisierung der Nozizeptoren und die Steroide haben eine abschwellende Wirkung (Theodoridis, 2007). Unerwünschten Nebenwirkungen des Lokalanästhetikums (LA) wird durch Verwendung von LA mit kurzer Halbwertszeit (HWZ) und einer niedrigen Dosis – pro Injektionsbehandlung maximal 10ml einer 1%igen Lösung – entgegengesteuert. Es kann aufgrund der Anästhesie zu vorübergehenden Lähmungsercheinungen bzw. Lähmungsgefühlen mit nachfolgenden motorischen Störungen kommen. Bei der epidural-perineuralen Injektion treten solche unerwünschten Nebenwirkungen im Bereich der Beine in 5%, bei Lumbaler Spinalnervanalgesie in bis zu 8% der Fälle auf.

1.5.4 Messbarkeit des Infiltrationserfolges

Bei der Evaluation des erzielten Infiltrationserfolges entscheidet der Patient anhand seiner Empfindungen darüber, ob eine Verbesserung seiner Schmerzsituation eingetreten ist und wenn ja, wie groß diese ist. Zur erleichterten Erfassung werden häufig Schmerzska­len verwendet, auf denen der Patient seine subjektiv empfundene Schmerzstärke angeben kann. Es werden dabei visuelle und numerische Skalen unterschieden. Zu den standardisierten Instrumenten zählt beispielsweise die visuelle Analog Skala (VAS), die numerische Rating Skala (NRS) oder die grafische und die verbale Ratingskala (VRS) (Schomacher, 2008). Der Vorteil der NRS im Vergleich zur VAS ist, dass sie sowohl schriftlich als auch mündlich durchgeführt werden kann. Die Maßeinheit auf der Skala bei der NRS, die meist von 0-10 reicht, kann im Vergleich zur VAS eine Beeinflussung des Patienten hervorrufen. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eines Patienten ist sehr spezifisch, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse innerhalb eines Kollektivs aber schwierig, da Schmerz eine subjektive Empfindung darstellt und daher bei jedem Menschen unterschiedlich ist. Jede Person hat eine unterschiedliche Schmerzakzeptanz und -toleranz. Bei Befragung des Patienten vor der ersten Infiltration und jeweils nach einer stattgefundenen Infiltration kann eine Vergleichbarkeit der NRS-Werte und deren Änderung Ausdruck für oder gegen den Erfolg einer Infiltration sein.

Neben der Erfassung der Schmerzintensität kann mit Hilfe von Fragebögen die Einschränkung der körperlichen Fähigkeiten aufgrund der Beschwerden aufgenommen werden. Sowohl der Roland Morris Score (RMS) als auch der Oswestry Disability Index (ODI) greifen alltägliche Situation auf und bringen in Erfahrung, ob der Patient diese im Rahmen der Rückenschmerzen bewältigen kann oder nicht.

Im Gegensatz zu den subjektiv empfundenen Einschränkungen des Patienten gibt es auch Möglichkeiten, Veränderungen der Haltung und des Ganges der Patienten objektivierbar zu erfassen. Diese Änderungen können Hinweise auf schmerzbedingte Fehl- und Schonhaltungen geben. Es ist ein natürlicher, angeborener Reflex, schmerzauslösende Bewegungen zu vermeiden oder überlastete Gliedmaßen zu schonen und im Gegenzug die gesunden vermehrt zu belasten.

Beispielsweise ist es mit einer rasterstereographischen dreidimensionalen lichtoptischen Vermessung der Rückenoberfläche möglich, bei Mehrfachdurchführungen verschiedene Aufnahmezeitpunkte in direkten Vergleich zueinander zu setzen und so die aufgetretenen Veränderungen zu interpretieren und zu beurteilen. Haltungsänderungen und Krümmungen der Wirbelsäule können so Hinweise auf Schmerzen liefern. Auch auf dem Laufband erlaubt ein ähnliches Vorgehen mittels Ganganalyse eine Beurteilung von beispielsweise schonbedingtem Hinken und Fehlbelastungen der Beine.

1.6 Fragestellung

Trotz morphologischer Veränderungen in der MRT lassen sich die subjektiven Aussagen des Patienten nicht immer mit den klinischen Symptomen und röntgenologischen Erkenntnissen in ein Gesamtbild einordnen. Vielfach hangeln sich die Patienten von einer konservativen Maßnahme zur nächsten, ohne dass eine wirkliche Verbesserung ihrer Schmerzsituation erreicht werden kann. Bevor der Schritt zum operativen Eingriff gegangen wird, kann im Rahmen einer Stufendiagnostik versucht werden herauszufinden, ob ein operatives Vorgehen Potenzial zur Linderung besitzt und in welchem Ausmaß dieses durchgeführt werden sollte.

In dieser Studie soll untersucht werden, ob eine Besserung der Beschwerden oder das Fehlen einer solchen objektivierbar messbar ist und ob die Ergebnisse mit den subjektiven Aussagen der Patienten korrelieren. Als objektivierbare Methoden werden hierzu eine rasterstereographische dreidimensionale Vermessung des Rückens und eine Ganganalyse auf dem Laufband durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine klinische Studie. Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der Universität Tübingen zur Begutachtung vorgelegt (Projektnummer 030/2012BO2) und die entsprechende Zustimmung erhalten. Es wurden die Daten von Patienten erhoben, bei welchen studienunabhängig im Rahmen des Vorstellungsgespräches in der Ambulanz der orthopädischen Abteilung der Universitätsklinik Tübingen die Diagnose eines chronischen Rückenleidens mit Diskrepanz zwischen Klinik und radiologischem Befund gestellt wurde. Die Patienten wurden zunächst auf die Möglichkeit zur Studienteilnahme angesprochen und über deren Notwendigkeit und Nutzen informiert. Im Falle der Einwilligung eines Patienten zur Studie wurde geprüft, ob der Patient die notwendigen Einschlusskriterien erfüllte und keine Ausschlusskriterien für die Studie aufwies. Neben den erforderlichen Patienten wurden Probanden für ein Normkollektiv vermessen. Die Anforderungen bestanden darin, keinerlei Beschwerden im Rückenbereich oder Erkrankungen der unteren Extremitäten aufzuweisen. Die Studienteilnehmer wurden mittels einer Studiennummer pseudonymisiert. Die Datenerhebung erfolgte von Juni 2012 bis Februar 2013. Die erhobenen Daten stammten zum einen aus einer dreidimensionalen Rückenvermessung und zum anderen aus einer Ganganalyse auf dem Laufband. Zusätzlich wurden mit zwei unterschiedlichen Fragebögen und der NRS die subjektiven Beschwerden der Patienten protokolliert. Für die Studie stellte die orthopädische Abteilung der Universitätsklinik Tübingen ein Laufband der Firma „daum electronic GmbH“ (Fürth/Deutschland) mit integrierter Druck-/Kraftmessplatte der Firma „zebris medical GmbH“ (Isny/Deutschland) sowie das rasterstereographische Gerät „formetric 4D“ der Firma DIERS (Schlangenbad/Deutschland) zur Verfügung. Die Datenspeicherung erfolgte innerhalb der verwendeten Softwareprogramme „WinFDM-T“ des Laufbandes auf einem studienspezifischen Laptop und der Analysesoftware DICAM basic des Rasterstereographen sowie in Form einer Excel-Tabelle mittels externer Festplatte. Nach Abschluss aller Messungen wurden die Messdaten innerhalb der Programme auf dem Laptop gelöscht. Die Excel-Tabellen ermöglichten das Sammeln aller erhobenen Daten und auch das Einschleusen

dieser in das für die Studie verwendete Statistikprogramm „IBM SPSS Statistics 22“ der Firma IBM.

	Firmenname	Anschrift	Verwendetes Gerät
Laufband	Daum electronics gmbh	Flugplatzstraße 100 D- 90768 Fürth verkauf@daum-electronic.de	Ergo-Run Medical 8 Laufband
Integrierte Kraftmessplatte	Zebris Medical GmbH	Am Galgenbühl 14 D-88316 Isny info@zebris.de	Zebris WinFDM-T Gait Analysis System
Rasterstereograph	DIERS International GmbH	Dillenbergweg 4 D- 65388 Schlangenbad info@diers.de	DIERS formetric 4D mit Analysesoftware DI- CAM basic

Tabelle 1: Übersicht der verwendetenGeräte

Tabellarische Auflistung der in der Studie verwendeten Messgeräte für die Ganganalyse und die rasterstereographische Vermessung des Rückens, jeweils Firmenname, Anschrift und Gerätenamen.

2.2 Patientengruppe und Untersuchungsablauf

Im Rahmen der Studie wurden Patienten gemessen, die im Zeitraum vom 11.06.2012 bis zum 01.02.2013 zu einer Stufendiagnostik in der Orthopädischen Klinik der Universität Tübingen stationär aufgenommen wurden. Die Indikationsstellung erfolgte durch Oberärzte der orthopädischen Abteilung. Die Teilnehmer wurden über die erforderlichen Untersuchungen für diese Studie aufgeklärt und erklärten sich schriftlich mit der Studienteilnahme sowie einer pseudonymisierten Datenerhebung und -verarbeitung einverstanden.

Die Patienten wurden von Montag bis Freitag stationär in der orthopädischen Abteilung der Crona Klinik aufgenommen und erhielten jeden Tag eine Infiltration an der Wirbelsäule. Die Lokalisation der Infiltrationen wurde durch den behandelnden Arzt in Abhängigkeit der zu beantwortenden Fragestellung festgelegt.

Die Patienten wurden montags vor der ersten Infiltration im Untersuchungszimmer aufgenommen, danach mittels Rasterstereographie vermessen und im Anschluss wurde eine Ganganalyse auf dem Laufband durchgeführt. Neben der Erhebung der objektiven Parameter wurden von jedem Patienten zwei Fragebögen (RMS und ODI) ausgefüllt, welche neben der Befragung mit Hilfe der NRS die subjektiven Beschwerden des Patienten erfassten. Im Anschluss erfolgte die erste Infiltration. Nach einer Erholungsphase von drei Stunden wurden die Studienteilnehmer erneut mittels Rasterstereographie vermessen und eine zweite Ganganalyse auf dem Laufband wurde durchgeführt. In den darauffolgenden Tagen erhielten die Patienten täglich eine Infiltration und wurden ebenfalls täglich nach der subjektiven Besserung auf die am Vortag applizierte Infiltration (in % in Bezug auf den vor der Infiltration vorliegenden Bein- und Rückenschmerz) befragt. Am Donnerstagabend wurden die Messungen ein drittes Mal durchgeführt und erneut die beiden Fragebögen von Montag (RMS, ODI) ausgefüllt. Nach einem Abschlussgespräch mit den Patienten erfolgte am Freitag deren Entlassung.

	Vorstellung	Tag1		Tag2	Tag3	Tag4
		Prä	Post			
Diagnose	Röntgen,MRT, klinische Untersuchung					
Infiltration		X		X	X	X
NRS	X	X	X	X	X	X
Besserung (%)				X	X	X
Ganganalyse		X	X			X
Rasterstereographie		X	X			X
ODI, RMS		X				X

Tabelle 2: Studiendesign

Messzeitpunkte: Tag 1 Montag vor (Prä) und nach der ersten Infiltration (Post), Tag 2, 3 und 4; NRS: numerische Ratingskala; Besserungsangabe in Prozent im Vergleich zum Vortag; Fragebögen: Oswestry Disability Index (ODI) und Roland Morris Score (RMS).

2.3 Kontrollgruppe und Versuchsablauf

Für das Normkollektiv wurden die Teilnehmer über die erforderlichen Untersuchungen informiert und erklärten sich mit der Studienteilnahme und einer pseudonymisierten Datenerhebung und -verarbeitung einverstanden.

Dabei wurden zwei Messungen innerhalb eines Tages mit einer zeitlichen Differenz von ca. drei Stunden durchgeführt. Das entsprach dem zeitlichen Abstand der beiden Messungen des Patienten am Aufnahmetag. Hierüber sollte zudem evaluiert werden, welche Rolle ein möglicher Gewöhnungseffekt für die Studienteilnehmer spielt.

Mit dem Kontrollkollektiv wurden demnach zweimal eine Rasterstereographie des Rückens und zweimal eine Laufbandanalyse durchgeführt.

2.4 Rasterstereographie

2.4.1 Grundlagen und Methodik

Die Rasterstereographie ist eine nicht-invasive, berührungsfreie Methode, die der dreidimensionalen Vermessung der Körperoberfläche dient (Betsch et al., 2012; Harzmann, 2001). Für das Bild wird mit optischem Licht gearbeitet, woraus keine Strahlenbelastung für den Organismus resultiert. Damit ist die in den 1980er Jahren von Hierholzer und Drerup entwickelten Methode (1987) beliebig oft wiederholbar, ohne dass für den Patienten gesundheitliche Schäden entstehen. Sie stellt einen „diagnostischen Mittelweg zwischen klinischer Untersuchung und konventioneller Bildgebung“ (Harzmann, 2001) dar. Dank dieses verlässlichen Zusatzverfahrens kann die Anzahl an notwendigen Röntgenuntersuchungen vermindert werden, vor allem im Hinblick auf Verlaufskontrollen bei Patienten mit Wirbelsäulendeformitäten – insbesondere bei jungen Patienten unter 18 Jahren (Hackenberg et al., 2003; Harzmann, 2001; Liljenqvist et al., 1998; Mohokum et al., 2010).

Das Grundprinzip der Rasterstereographie beruht auf der Triangulation (Drerup & Hierholzer, 1994; Harzmann, 2001; Horn, 2010). Die Verbindungen von Kamera zu Lichtquelle, Kamera zu Objekt und Lichtquelle zu Objekt bilden ein Dreieck. Bei bekanntem Abstand zwischen zwei Punkten auf einer Geraden können Winkelmessungen

zu jedem beliebigen Punkt im Raum erfolgen und dessen Lage eindeutig bestimmt werden (Horn, 2010). Bei der Rasterstereographie werden Bilder oder Bildsequenzen zur dreidimensionalen Erfassung einer Körperoberfläche verwendet. Das projizierte Liniennmuster aus parallelen helleren und dunkleren Streifen wird von einer Kamera aufgezeichnet und mittels Binärcode in dreidimensionale Koordinaten umgewandelt (Mohokum et al., 2010). Diese werden wiederum in Invarianten umgerechnet, da für die Beschreibung unregelmäßiger Körper die Oberflächenkrümmungen am besten geeignet sind (Horn, 2010). Bei einer Invarianten handelt es sich um eine Messgröße, die unabhängig von der Position eines Objektes im Raum ist. Die Computersoftware erzeugt ein virtuelles Bild anhand der analysierten Linienkrümmungen. In diesem erscheinen die unterschiedlichen Krümmungen in Form einer Farbskala zur Unterscheidung von konvexen, sattelförmigen und konkaven Bereichen. Die Verbildlichung der Krümmungsstärke wird durch die Farbintensität wiedergespiegelt (Drerup et al., 2001). Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden charakteristische anatomische Fixpunkte bei jedem Bild automatisch definiert; zu diesen gehören die Vertebra Prominens (VP), linkes und rechtes Lumbalgrübchen (Dimple left (DL) und Dimple right (DR)) und der Sakrumpunkt (SP). Diese „Landmarken“ stellen die örtlichen Extrempunkte der Oberflächenkrümmungen dar. Die VP beispielsweise wird als maximal konvexer Punkt im oberen Bereich der Symmetrielinie erkannt und stellt den skelettalen Referenzpunkt dar (Drerup & Hierholzer, 1987). Die automatische Zuordnung dieser Fixpunkte erfolgt mit einer Genauigkeit von 1mm (Drerup et al., 2001; Drerup & Hierholzer, 1987; Harzmann, 2001). VP und SP werden in der Computersoftware von einer Symmetrielinie verbunden. Sie stellt die aus den Flächenkrümmungen berechnete Mittellinie dar, welche den Rücken in eine rechte und eine linke Hälfte aufteilt. Die Rasterstereographie geht davon aus, dass bei einem gesunden Menschen die Symmetrielinie der Dornfortsatzreihe entspricht, (Harzmann, 2001; Liljenqvist et al., 1998) welche in extra aufgeführten Diagrammen in Frontal- und Lateralprojektion dargestellt wird. Ein Vergleich des Kurvenverlaufs mit einem konventionellen Röntgenbild ist dadurch möglich (Drerup & Hierholzer, 1992).

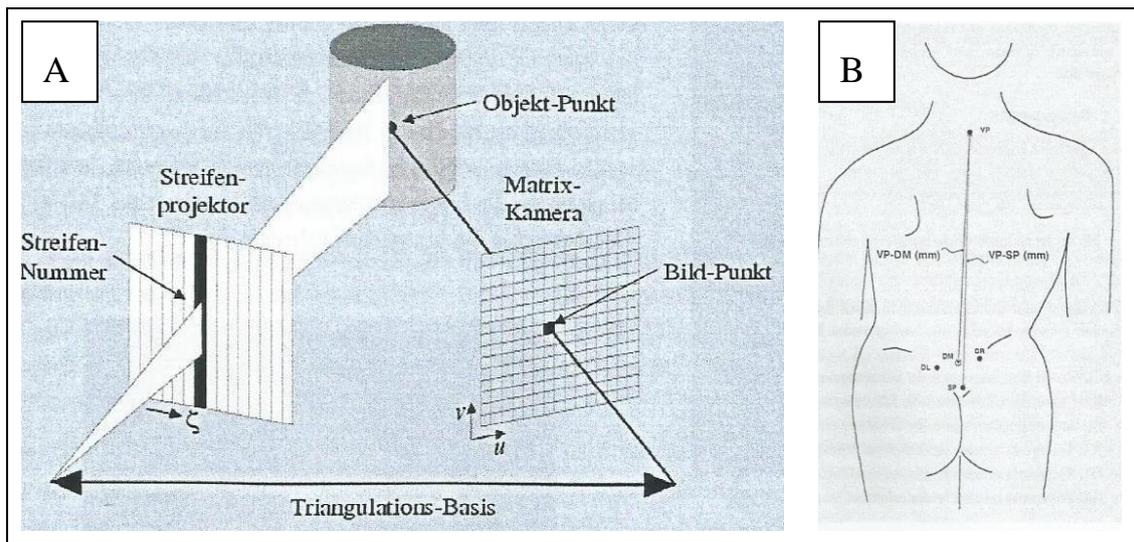


Abbildung 4: Schematische Darstellung Rasterstereographie

(A) Schematische Darstellung der Triangulation; (B) Landkartenpunkte für die Rasterstereographie; aus: Horn, T. (2010).
Optische Wirbelsäulenvermessung: Informationen zur Auswertung DIERS formetric III 4D mit freundlicher Genehmigung von DIERS Biomedical Solutions.

2.4.2 Versuchsaufbau und -ablauf

Das für die Messungen verwendete Gerät DIERS formetric 4D (Diers, Schlangenbad/Deutschland) besteht aus einer höhenverstellbaren Stereobasis, die das Projektions- und Aufnahmesystem verkörpert. Es produziert Einzelbilder mit einer Aufnahmezeit von 20ms. Der Hintergrund vor dem die zu vermessende Person steht, sollte einheitlich dunkel, am besten schwarz, sein. Um eine standardisierte Positionierung der Patienten zu ermöglichen, markiert eine rote Linie im Abstand von ca. 2m die optimale Entfernung zum Gerät. Personen mit langen Haaren sollten diese hochbinden und der Rücken des Patienten muss mindestens bis zur Mitte der Rima ani vollständig entkleidet sein, damit die gesamte Rückenform erfasst werden kann und mögliche Berechnungsfehler vermieden werden können (Harzmann, 2001). Der zu vermessenden Person sollten kaum Angaben hinsichtlich der Standposition vorgeschrieben werden um die natürliche individuelle Haltung erfassen zu können – lediglich ein in etwa hüftbreiter Stand bei gestreckten Beinen sollte gefordert werden.

Die Untersuchung erfolgt im abgedunkelten Raum. Der Patient steht mit entkleidetem Oberkörper mit dem Rücken zum Gerät, den Blick gerade auf eine schwarze Wand vor sich gerichtet. Nach Eingabe der Patientendaten in das Softwaresystem wird das von der

Kamera erzeugte Linienmuster auf dem Rücken der zu vermessenden Person mit Bestätigung der Enter-Taste in einem Einzelbild angezeigt. Wenn die Bildränder zurechtgeschnitten wurden, wird das farbige Krümmungsflächenbild mit automatisch festgelegten anatomischen Fixpunkten VP, DL, DR und SP angezeigt. Sollten die Punkte aufgrund einer Malplatzierung durch die Software nicht der realen Lage entsprechen, können diese manuell geändert werden. Schließlich werden die erfassten Daten ausgedruckt und die Messung ist beendet. Die Untersuchungsdauer beträgt in etwa fünf Minuten (Asamoah et al., 2000; Liljenqvist et al., 1998).

Bei der Oberflächenvermessung des Rumpfes wird die Fehlergrenze im Vergleich zu Röntgenbildern als gering eingestuft. Allerdings summieren sich laut Hierholzer (1993) der apparative Fehler, Fehler durch Haltungsunterschiede der Patienten und methodische Fehler zur Gesamtfehlergrenze. Weiß et al. empfehlen nach eigenen Messungen bei der Verwendung eines Formetric-Scan mit einem Messfehler von 6mm für die maximale und von 3mm für die mittlere Seitabweichung zu rechnen sowie Unterschiede von 3° bzw. 1° für die maximale bzw. mittlere Rotation zu berücksichtigen (1998).

Das Softwareprogramm DICAM basic von DIERS berechnet insgesamt 30 Parameter, von denen für diese Studie die in Tabelle 3 aufgeführten Parameter relevant erschienen und verwendet wurden.

Neben den Parametern, die auf zwei Seiten Report verteilt sind, wird eine dreidimensionale Rekonstruktion der Wirbelsäulenmittellinie in sechs Diagrammen dargestellt: Frontal- und Lateralprojektion (mm), Oberflächenrotation ($^\circ$), Lateralprojektion (mm), Neigung ($^\circ$) und Krümmung ($1/m$) (s. Abb. 5 (C) und (D)).

Parameter	Einheit	Definition
Rumpflänge VP-DM	mm	Direkte Verbindung von VP und DM in mm
Rumpfneigung VP-DM	°	Der Abstand zwischen VP und einer äußeren Schwerelinie
Lotabweichung VP-DM	°	Der Winkel zwischen der direkten Verbindung VPDM und einer Schwerelinie durch VP
Seitabweichung VPDM (+max)	mm	Die maximale Abweichung der Mittellinie der Wirbelsäule von der direkten Verbindung VPDM nach rechts
Seitabweichung VPDM (-max)	mm	Die maximale Abweichung der Mittellinie der Wirbelsäule von der direkten Verbindung VPDM nach links
Kyphosewinkel VP-T12	°	Der Winkel zwischen der Oberflächentangenten an den Punkten VP und T12 (berechnete Höhe Dornfortsatz BWK12)
Lordosewinkel T12-DM	°	Der Winkel zwischen den Oberflächentangenten an den Punkten T12 und DM

Tabelle 3: Parameter Rasterstereographie

Die für diese Studie verwendeten Rasterstereographie-Parameter mit Abkürzungen, Einheit und Definition (Horn, 2010).

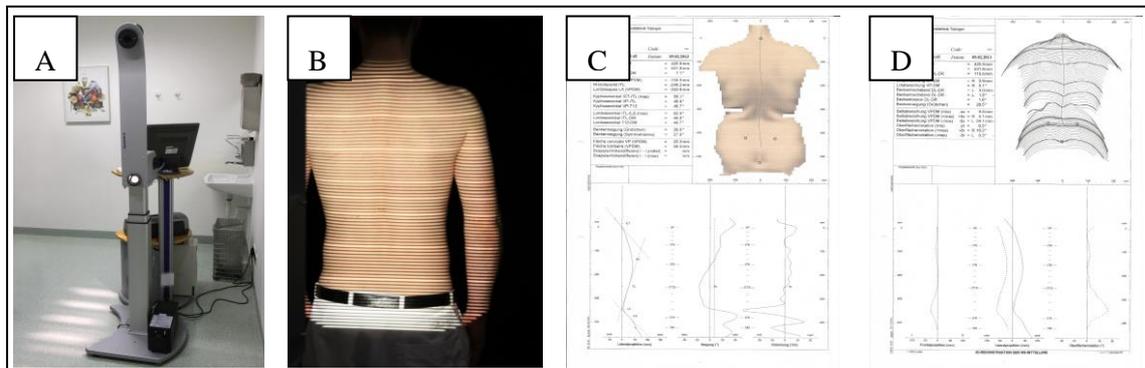


Abbildung 5: Versuchsaufbau und -ablauf der rasterstereographischen Untersuchung

(A) verwendetes Gerät Rasterstereograph formetric 4D der Firma DIERS; (B) projiziertes Linienmuster auf der Rückenoberfläche des Probanden; (C) Report Seite 1; (D) Report Seite 2.

2.5 Laufbandanalyse

2.5.1 Grundlagen und Methodik

Der menschliche Gang ist ein sehr komplexer rhythmischer Prozess (Bollens et al., 2010) und stellt die wichtigste alltägliche Form der Bewegung dar (Kramers-de Quervain et al., 2008). Obwohl jedes Individuum ein eigenes Gangmuster im Laufe seines Lebens entwickelt, können gewisse Tendenzen hinsichtlich Harmonie und Muster eines Ganges definiert werden. Mögliche beeinflussende Faktoren sind Alter, Größe und Gewicht sowie auch anatomische Varianten oder pathologische Veränderungen. Beim Gang ist dann ein reproduzierbares Grundmuster erkennbar, welches weitgehend automatisiert abläuft ohne bewusst wahrgenommen zu werden.

Das Ziel einer Ganganalyse ist die Feststellung ob ein Gangzyklus Störungen aufweist und wenn ja, wo die Ursachen liegen und wie diese gegebenenfalls behoben werden können. Ein Gangzyklus setzt sich aus unterschiedlichen Phasen zusammen; die Standphase macht ca. 62% des Gangzyklus aus, die Schwungphase 38%. Die Standphase teilt sich weiter in die initiale Zweibeinstandphase (12%), die nachfolgende Einbeinstandphase (38%) und die terminale Zweibeinstandphase (12%) auf, die Schwungphase entspricht den 38% bevor es erneut zum bipedalen Bodenkontakt der nächsten Standphase kommt (s. Abb.6). Die ideale Belastungsverteilung beim aufrechten Stand entspricht einer Gleichverteilung von jeweils 50% zwischen rechtem und linkem Fuß. Der Vorfuß sollte mit 1/3 und der Rückfuß mit 2/3 belastet werden und die maximale Druckbelastung sollte 15N/cm² nicht überschreiten (Obens).

Für diese Studie ist vor allem die dynamische Bewegung von Bedeutung. Wenn ein Patient ausstrahlende Rückenschmerzen bis ins Bein verspürt, wird er in der Regel ganz automatisch das schmerzende Bein weniger belasten als das nicht schmerzende Bein. Daraus resultiert bei Bewegung das Erscheinungsbild des Hinkens. Der Patient versucht sein gesundes Bein möglichst lange zu belasten und im Gegenzug das schmerzende Bein so kurz wie möglich einer Belastung auszusetzen. Außerdem ist die Ganggeschwindigkeit dadurch reduziert. Bei einer Kadenz < 80 Schritte/min muss der Gangrhythmus durch Stehenbleiben oder Hinken verändert werden und ein flüssiges symmetrisches Vorwärtstreten kann nicht mehr durchgeführt werden (Kramers-de

Quervain et al., 2008). Für die gebräuchlichsten Messparameter mit physiologischen Norm-Werten von Erwachsenen wurden von Kramers-de Quervain et.al (2008) Referenzwerte vorgeschlagen, die für einen Vergleich herangezogen werden können (s.Tabelle 4).

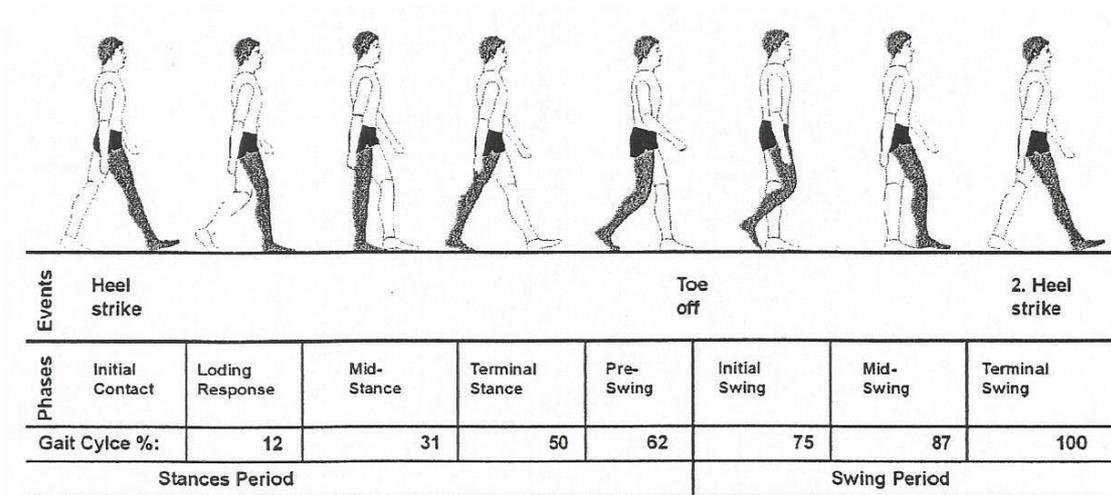


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Gangzyklus

aus: WinFDM-T Bedienungsanleitung mit freundlicher Genehmigung der zebris Medical GmbH.

Freie Gang-Geschwindigkeit: (engl. Gait velocity)	1.20-1.50 [m/sec]
Distanz Gangzyklus (Rechter + Linker Schritt = Doppelschritt): (engl. Stride length)	1.30-1.50 [m]
Schrittlänge: (engl. Step length)	0.65-0.75 [m]
Schritt-Kadenz: (engl. Cadence)	105-130 [/min]

Tabelle 4: Normwerte der Zeit/Distanzparameter für die Ganganalyse

Die Tabelle ist aus der Studie „Ganganalyse beim Gehen und Laufen“ von Kramers-de Quervain et.al 2008 übernommen worden, in der Normwerte für die oben aufgeführten Parameter aufgeführt sind, welche eine Zusammenfassung von Normwerten darstellt, die im Laufe der letzten Jahrzehnte von diversen Autoren publiziert wurden.

2.5.2 Versuchsaufbau und -ablauf

Das verwendete Laufband-Ergometer der Firma „daum electronic GmbH“ mit integrierter Kraftvermessungsplatte der Firma „zebris medical GmbH“ (Zebris Medical GmbH, FDM-T System, Isny/Deutschland) ermöglicht die Analyse der dynamischen Kraft- und Druckverteilung beim Stehen, Gehen und Laufen. Geschwindigkeiten von 0,2km/h - 24km/h in 0,1 km/h Schritten sind einstellbar und eine Steigung von -2% - 15% in 0,5% Schritten wählbar. Die sich unter dem Laufband befindliche Sensorplatte wird über ein Kabel mit dem Computer verbunden und sendet die erhobenen Daten an das zebris Softwareprogramm WinFDM-T. Mit Hilfe einer Kamera wurde die Stand- und Ganganalyse der Patienten zusätzlich zur nachträglichen Fehlersuche, falls erforderlich, bildlich festgehalten. Die Videoaufnahmen beschränkten sich auf die Beine der Patienten ab Mitte Oberschenkel nach kaudal. Dazu mussten die Patienten gegebenenfalls lange Hosen hochkrempeln oder, falls nicht möglich, sich entsprechend entkleiden. Die Kamera wurde mit dem Computer verbunden und die Software schloss die Aufnahmen mit ein.

Für die Untersuchungen wurde insgesamt dreimal während der Studie eine Ganganalyse bei den Patienten durchgeführt. Zu Beginn der Ganganalyse wurde zunächst die für den Patienten aufgrund bestehender Beschwerden mögliche und noch angenehme Maximalgeschwindigkeit ermittelt. Zu besseren Vergleichszwecken wurden dabei Intervalle von 0,5km/h gewählt (0,5km/h, 1km/h, 1,5km/h, 2km/h, 2,5km/h, 3km/h). Der Patient sollte keine Schmerzen beim Laufen haben, sich allerdings doch so zügig fortbewegen, dass bewusstes Hinken möglichst vermieden wurde. Wenn möglich sollte der Patient frei laufen ohne sich am Laufband festhalten zu müssen. Nach einer kurzen Gewöhnungszeit wurde eine Messung über 30s durchgeführt. Im Programm kann die Ganganalyse nach Abschluss der Messung noch bearbeitet werden wenn das System die Zuteilung in rechten/linken Fuß nicht richtig zugeordnet hat. Im dreiseitigen Report können die Messergebnisse farbig ausgedruckt werden. Auf Seite 1 werden die einzelnen Schritte mit der farbig skalierten Druckbelastung (N/cm^2) aufgeführt. Seite 2 enthält eine Tabelle mit den einzelnen erhobenen ganganalytischen Parametern, welche im direkten Seitenvergleich dargestellt sind. Auf der letzten Seite befindet sich eine weitere Tabelle mit Center of Pressure (CoP)-Parametern und den dazu passenden Diagrammen in Schmetterlingsform. Die CoP-Parameter beschreiben die Bewegung des Druckmittelpunktes.

Die Linien der Kraftangriffspunkte werden auf rechten und linken Fuß verteilt sowie gemeinsam in Form eines Schmetterlingsdiagrammes bildlich dargestellt. Dabei handelt es sich um die Einzelschritte, die in Linienform eingetragen sind um die Symmetrie aufzuzeigen. Es werden CoP-Flächen, CoP-Spurlinien und CoP-Geschwindigkeiten (Quotient aus CoP-Spurlänge und Zeit der Messung) unterschieden. Von den im Report aufgeführten Messparametern wurden folgende, in Tabelle 5 aufgeführte Parameter verwendet.

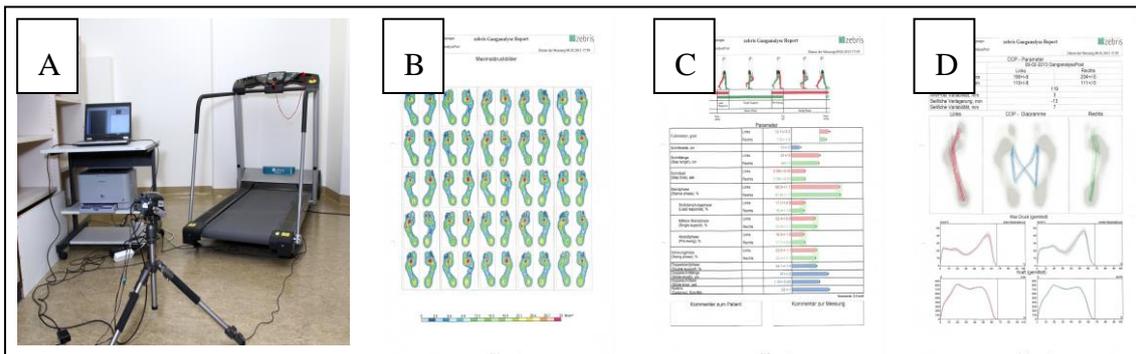


Abbildung 7: Versuchsaufbau und Report der Ganganalyse

(A) Versuchsaufbau Ganganalyse mit der Kamera im Vordergrund, links der Rechner, rechts das Laufband; (B) zeigt die Druckverteilung eines jeden Abrollvorganges mit Ganglinien; (C) Ganganalytische Parameter als Durchschnittswerte mit Standardabweichung; (D) COP-Parameter und zugehörige Diagramme sowie Druck- und Kraftdiagramme.

Parameter	Einheit	Definition
Fußrotation	°	Winkel zwischen Fußlängsachse und Ganglinie, Negativer Wert = Außenrotation, Positiver Wert = Innenrotation
Schrittlänge	cm	Entfernung zwischen Fersenauftritt einer Körperseite und dem Fersenauftritt der kontralateralen Seite
Standphase	%	Zeitraum innerhalb eines Gangzyklus, in dem der Fuß Bodenkontakt hat
Schwungphase	%	Zeitraum innerhalb eines Gangzyklus, bei dem der Fuß keinen Bodenkontakt hat
Schrittweite	cm	Abstand zwischen rechtem und linkem Fuß
Kadenz	Schritte/min	Schrittfrequenz

Tabelle 5: Verwendete Parameter der Ganganalyse

Quelle: WinFDM-T Bedienungsanleitung zebris Medical GmbH.

2.6 Fragebögen

2.6.1 Allgemeines

Zur Dokumentation der subjektiven Wahrnehmung der Patienten wurden für diese Studie zwei unterschiedliche Fragebögen verwendet. Beide wurden von den Patienten am Montag vor Behandlungsbeginn ausgefüllt sowie am Donnerstagabend vor Entlassung erneut bearbeitet. Zusätzlich zu den Fragebögen wurden die Patienten mittels numerischer Rating Skala nach ihrer momentanen Schmerzintensität befragt und es wurden tägliche Befragungen der Besserung in % vorgenommen. Vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt in der Klinik wurden den Patienten die Fragebögen nochmal zur Bearbeitung zugeschickt.

2.6.2 Roland Morris Score (RMS)

Die Originalversion des RMS wurde im Jahr 1983 von Roland und Morris veröffentlicht und gilt heute als einer der meist verbreiteten und genutzten Fragebögen, die für eine Einschätzung von Rückenschmerzen entwickelt wurden (Roland & Morris, 1983). Wiesinger et al. haben die deutsche Version des Roland Morris Score an 125 Patienten mit Schmerzen im unteren Rückenbereich auf Reliabilität und Validität getestet. Die Test-Retest-Reliabilität nach Pearson ergab $r=0,82$, die Validität ergab $r=0,81$ (Wiesinger et al., 1999). Der RMS besteht aus 24 einzelnen Aussagen, welche die Einschränkungen eines Patienten in seinem alltäglichen Leben durch dessen Rückenschmerzen beschreiben. Die Aussagen können nicht mit Ja/Nein beantwortet werden, sondern müssen dichotom entweder als zutreffend markiert werden oder nicht. Der Patient kreuzt die betreffenden Sätze an, die seine momentane Schmerzsituation beschreiben. Die Anzahl der markierten Aussagen korreliert mit der Stärke der Rückenschmerzen und gibt Auskunft über die Beeinträchtigung des Patienten im alltäglichen Leben. Für jede angekreuzte Aussage gibt es einen Punkt, die Skala erstreckt sich von 0-24 Punkte. Heute ist der Roland Morris Score in 36 Übersetzungen kostenlos erhältlich.

2.6.3 Oswestry Disability Index (ODI)

Ursprünglich entwickelt wurde der ODI im Jahr 1976 und erstmals veröffentlicht 1980 (Fairbank et al., 1980). Aus der 1989 modifizierten Version entstand der bis heute verwendete ODI (Version 2.1), der in verschiedenen Sprachen verfügbar ist. Osthus et al. haben im Jahr 2006 die deutsche Version des ODI publiziert und auf Reliabilität, Validität und Akzeptanz getestet. Die Übersetzung erfolgte nach der Forward-backward-translation-Methode (Gaul et al., 2008). Die Test-Retest-Reliabilität war mit $r=0,91$ hoch, die Validität zeigte eine hohe Korrelation zwischen verschiedenen Zeitpunkten des ODI sowie mit dem SF-36 und dem „Funktionsfragebogen Hannover Rücken (FFbH-R)“ (Osthus et al., 2006). Die Zeitangaben zum Ausfüllen des Fragebogens variieren von 3,5min -10min (Fairbank et al., 1980; Tal, 2009). Der Oswestry Disability Index beschäftigt sich mit unterschiedlichen Alltags- und Lebenssituationen des Patienten, die durch die Rückenschmerzen beeinträchtigt sein können. Es handelt sich um einen zustandspezifischen, selbst-verwaltenden Fragebogen, der sich aus folgenden zehn Dimensionen zusammensetzt: Schmerzstärke, Körperpflege, Heben, Gehen, Sitzen, Stehen, Schlafen, Sexualeben, Sozialleben und Reisen. Jeder Abschnitt ist durch 6 Aussagen von 0-5 skaliert. Dabei werden bei 0 keine Schmerzen beschrieben und bei 5 sehr starke Beeinträchtigungen durch die Rücken- oder Beinprobleme. Über ein vorgegebenes Auswertungssystem werden die vom Patienten angekreuzten Punkte zusammengezählt und mit der Gesamtpunktzahl verrechnet. Eine hohe Punkte- bzw. Prozentzahl spricht für eine größere körperliche Einschränkung (Linhardt et al., 2007; Mannion et al., 2006). Besonders vorteilhaft ist die Tatsache, dass Fairbank et al. auch ein Auswertungsverfahren vorgeschlagen haben, bei dem dieser Fragebogen trotz fehlend angekreuzter Fragen verwertet werden kann; die Gesamtpunktzahl wird pro fehlender Frage um 5 Punkte reduziert (Fairbank et al., 1980; Gaul et al., 2008).

2.6.4 Numerische Rating Skala (NRS)

Darüber hinaus wurde täglich die subjektive Schmerzwahrnehmung des Patienten mit Hilfe der Numerischen Rating Skala erfasst. Die NRS ist eine eindimensionale 11-Punkte-Schmerzintensitätsskala zur Anwendung bei Erwachsenen (Hawker et al., 2011). Die häufigste Darstellung entspricht einem horizontalen, meist 100mm langer

Balken mit einer Skala von 0 bis 10 (Johnson, 2005) (s.Abb.8). Der Zahlenwert „0“ entspricht keinen Schmerzen, der Zahlenwert „10“ den stärksten vorstellbaren Schmerzen. Unterteilt in Schweregrade bedeuten Werte von 1-3 geringe Schmerzen, Werte von 4-6 mittelstarke Schmerzen und alle Werte >7 starke Schmerzen. Die NRS ist ein reliables ($r=0,96$ und $0,95$ (Ferraz et al., 1990)) und valides ($0,86-0,95$ (Downie et al., 1978; Ferraz et al., 1990)) Messverfahren zur Erfassung der Schmerzintensität (Hawker et al., 2011). Dabei gibt der Patient seine subjektiv empfundenen Schmerzen an und seine Beschwerden können über eine längere Zeit dokumentiert und die Werte miteinander verglichen werden. Aufgrund der einfachen Handhabung und Verständlichkeit kann die NRS übergreifend in allen Ländern und Kulturen sowie schriftlich oder mündlich, beispielsweise auch am Telefon, angewendet werden. Bei Kindern oder Menschen mit kognitiven Problemen kann die NRS mit Gesichtern zur besseren Schmerzverständigung ergänzt werden oder es werden Smiley-Skalen verwendet (Schomacher, 2008). Da bei der numerischen Ratingskala nur die Schmerzintensität erfasst wird, wurden die beiden oben genannten Fragebögen zur Feststellung der körperlichen und psychischen Beeinträchtigung angewendet. Allgemein können mit der numerischen Ratingskala alle subjektiven Beschwerden (z.B. Zufriedenheit, Übelkeit, Angst, etc.) erfasst werden (Bernateck et al., 2012).

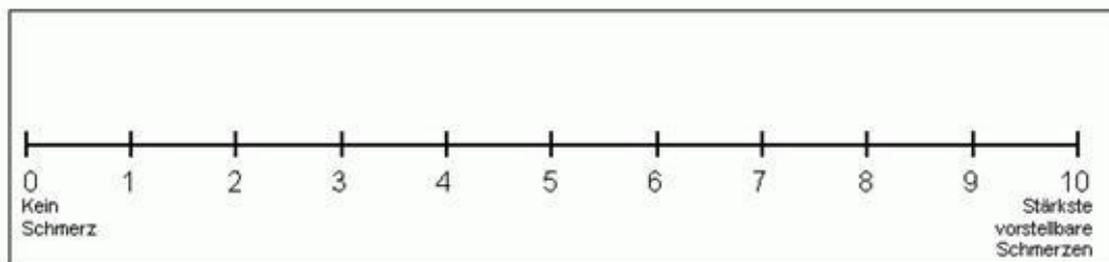


Abbildung 8: Darstellung der Numerischen Rating Skala (NRS)

Quelle: AWMF Leitlinie „Leitlinien der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Schmerztherapie“.

2.7 Infiltrationstechniken

Alle Patienten wurden zu Beginn der Stufendiagnostik über die möglichen Risiken im Rahmen der Infiltrationsdiagnostik schriftlich und mündlich aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Mögliche Allergien, Blutungsneigung und Infektionsneigung des Patienten wurden vermerkt. Vor der Infiltrationsbehandlung wurde der Patient über mögliche Komplikationen während des Eingriffs und Nebenwirkungen des Lokalanästhetikums wie vorübergehende Lähmungen aufgeklärt. Die Patienten wurden in einem separaten Spritzenraum meist in Bauchlage unter aseptischen Bedingungen infiltriert. Bei allen Injektionen wurden vom Behandler Mundschutz und sterile Handschuhe getragen, die Hautdesinfektion des Patienten erfolgt als Sprüh- oder Wischdesinfektion mit einer Mindesteinwirkzeit von 1min. Der richtige Sitz der Nadel wurde unter Bildwandler kontrolliert. Die Patienten wurden nach der Infiltration in ihrem Bett auf die Station gebracht und darüber aufgeklärt, je nach infiltriertem Bereich eine mindestens zweistündige (bei epiduraler Injektion) Bettruhe einzuhalten.

Für diese Studie wurde ein Gemisch aus Lokalanästhetikum (Bupivacain) und Glucocorticoid (Triamcinolon) verwendet. Das Lokalanästhetikum bewirkt eine Schmerzminderung durch die Blockade von Nozizeptoren, die Erregbarkeit der Nerven wird herabgesetzt und die Durchblutung gesteigert. Das Glucocorticoid hat eine entzündungshemmende und immunsuppressive Wirkung. Die Synthese von Entzündungs- und Schmerzmediatoren wird gehemmt (Linhardt et al., 2007; Theodoridis, 2007). In Tabelle 6 sind die durchgeführten Injektionen und jeweils verwendeten Medikationen aufgeführt:

Lokalisation	Medikament
Facetteninfiltration lumbal	5ml 0,25% Carbostesin (Bupivacain) + 1ml Volon A 10mg/ml (Triamcinolon) je Gelenk 1ml
ISG Infiltration	5ml 0,25% Carbostesin (Bupivacain) + 1ml Volon A 10mg/ml (Triamcinolon) pro Seite 6ml
Epidurale/epiperineurale Infiltration	3ml 0,25% Carbostesin (Bupivacain) + 1ml Volon A 10mg/ml (Triamcinolon) + 1ml 0,9% NaCl hiervon 3ml

Tabelle 6: Infiltrationstechniken an der Wirbelsäule und verwendete Medikamente

Die in dieser Studie verwendeten Injektionstechniken im Rahmen der Stufendiagnostik sowie die zugehörigen Medikationen.

Facettenblockade/Facetteninfiltration

Diese Methode wird bei Patienten mit Facettensyndromen angewendet. Die Schmerzrezeptoren der Wirbelgelenkkapseln werden gezielt betäubt, wobei fragestellungsabhängig auch bisweilen mehrere (4-6) Wirbelgelenke gleichzeitig infiltriert werden. Bei diagnostischer Zielsetzung wird die 6-8cm lange Punktionsnadel unter röntgenologischer Kontrolle bis zu dem betreffenden Gelenk vorgeschoben und im Bereich des Gelenkspaltes eine kleine Menge der zu injizierenden Lösung abgegeben. Sofern eine Injektion in den Gelenkraum selbst nicht möglich ist, sollten sowohl der ascendierende Ramus inferior sowie der descendierende Ramus superior des Ramus dorsalis nervi spinalis, welche von zwei Segmenten aus das jeweilige Facettengelenk ansteuern, sukzessiv betäubt werden.

ISG-Infiltration

Man unterscheidet die ligamentäre Injektion, bei der das Gemisch aus Anästhetikum und Corison im Bereich der Bänder um das Gelenkes eingebracht wird von der intraartikulären Injektion, bei der o.g. Medikamentengemisch direkt in das Gelenk gespritzt wird. Beide Methoden werden unter röntgenologischer Kontrolle durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurden die zu injizierenden Lösungen nach Möglichkeit sowohl in den Gelenkspalt als auch in den Bereich der Bänder eingebracht.

Epidurale Infiltration

Eine ultrafeine Kanüle wird unter röntgenologischer Kontrolle in den Epiduralraum durch das interlaminäre Fenster paramedian eingebracht. Die entsprechende Einbringung erfolgt bildverstärkergesteuert. Nach Durchdringung des Lig. flavum erfolgt eine Probeaspiration. Bei negativem Aspirationstest wird anschließend ein Lokalanästhetikum in Kombination mit einem abschwellenden Corticosteroid appliziert. Bei der epidural-sakralen Injektion wird der Epiduralraum über den Hiatus sacralis erreicht und sie wird zur Betäubung des Plexus sacralis bei Coccygodynie oder S1-Ischialgie angewendet. Diese Technik fand jedoch in der aktuellen Studie keine Anwendung. Die epidural-dorsale Infiltration erreicht über den interlaminären Zugang gleichzeitig mehrere Nervenwurzeln, zum Teil sogar beidseitig. Sie wird bei zentralen Spinalkanalstenosen und polyradikulären Syndromen angewendet.

2.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS (IBM SPSS 22.0).

Die Überprüfung auf Normalverteilung der Variablen innerhalb der Studienpopulation erfolgte anhand von Histogrammen. Normalverteilte Variablen werden als Mittelwert (\pm Standardabweichung), nicht normalverteilte Variablen als Median (Minimum-Maximum) wiedergegeben. Die graphische Darstellung erfolgte neben Histogrammen in Form von Boxplots und Bland-Altman-Plots.

Die Korrelation zwischen NRS und ODI wurde mit dem Korrelationskoeffizienten Kendalls tau-b berechnet. Demographische Charakteristiken und das Auslesen der verschiedenen Messungen zwischen den unterschiedlichen Gruppen oder Zeitpunkten wurden je nach Verteilung der Daten mit dem Chi-Quadrat-Test, Wilcoxon-Test, Mann-Whitney-U- oder t-Test auf Signifikanz für unabhängige oder verbundene Stichproben verglichen. Die errechneten p-Werte haben ein Signifikanzlevel von kleiner/gleich 0,05 und es erfolgte keine Adjustierung für multiple Testungen, sondern es werden alle berechneten p-Werte berichtet.

3 Ergebnisse

3.1 Patienten

61 zufällig ausgewählte Patienten wurden auf die Möglichkeit zur Teilnahme an dieser Studie angesprochen und gefragt, ob sie daran teilnehmen würden. Zwei von ihnen entschieden sich gegen eine Teilnahme, zwei weitere erfüllten die Einschlusskriterien aufgrund motorischer Defizite in den unteren Extremitäten nicht. Es wurden daher 57 Personen im Alter von 34 bis 87 Jahren für die Patientengruppe untersucht. Zwei Patienten mussten die Studie während des stationären Aufenthaltes verlassen, da sich im Laufe der Diagnostik eine Coxarthrose als eigentliche Ursache der Beschwerden herausstellte. Zudem wurden bei 9 Patienten keine Messungen am Donnerstag durchgeführt, da sie aufgrund eindeutig zuordenbarer Ursache vorzeitig entlassen wurden.

Das Alter im untersuchten Kollektiv betrug im Median 69 (34-87) Jahre. Es lag keine Normalverteilung vor, da sich zwei „Altersgipfel“ bei ca.50 Jahren und 75 Jahren formierten. Das Patientengut unterteilte sich in 39 weibliche und 18 männliche Patienten. Die Größe lag im Mittel bei 1,64 ($\pm 0,081$) m und das Gewicht im Mittel bei 76,92 ($\pm 15,682$) kg (s.Abb.9 A-D).

Das Vergleichskollektiv umfasste 28 Personen. Der Median des Alters lag mit 57,5 (50-74) Jahren deutlich unter dem Altersdurchschnitt des Patientenkollektivs, womit die beschwerdefreien Referenzprobanden signifikant jünger waren als die Patienten (s. Tabelle 7). 16 Probanden waren weiblich und 12 Probanden männlich. Die Geschlechterverteilung entsprach damit in etwa der des Patientenkollektivs. Beide Kollektive waren stärker weiblich besetzt ohne dass sie einen signifikanten Unterschied in der Geschlechterverteilung aufwiesen (s. Tabelle 7). Die Körpergröße des Referenzkollektivs lag im Mittel bei 1,68 ($\pm 0,805$) m und der Mittelwert des Gewichts lag bei 75,239 ($\pm 16,332$) kg (s.Abb.10 A-D).

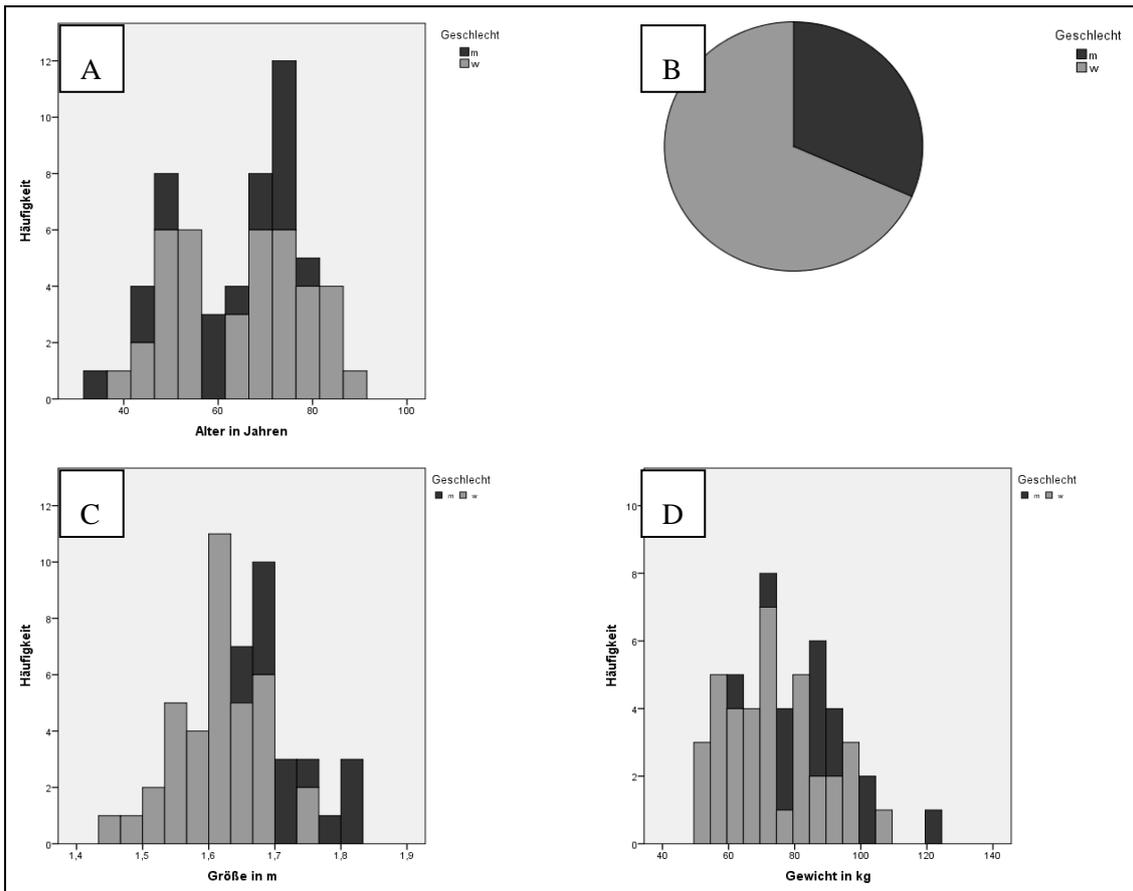


Abbildung 9: Deskriptive Statistik Patientenkollektiv

(A) Histogramm des Probandenalters unterteilt nach Geschlecht mit zweigipfliger Altersstruktur; (B) Kreisdiagramm der Geschlechterverteilung mit einer 2/3 Mehrheit der weiblichen Studienteilnehmer; (C) Histogramm Größe in m nach Geschlecht; (D) Histogramm Gewicht in kg nach Geschlecht.

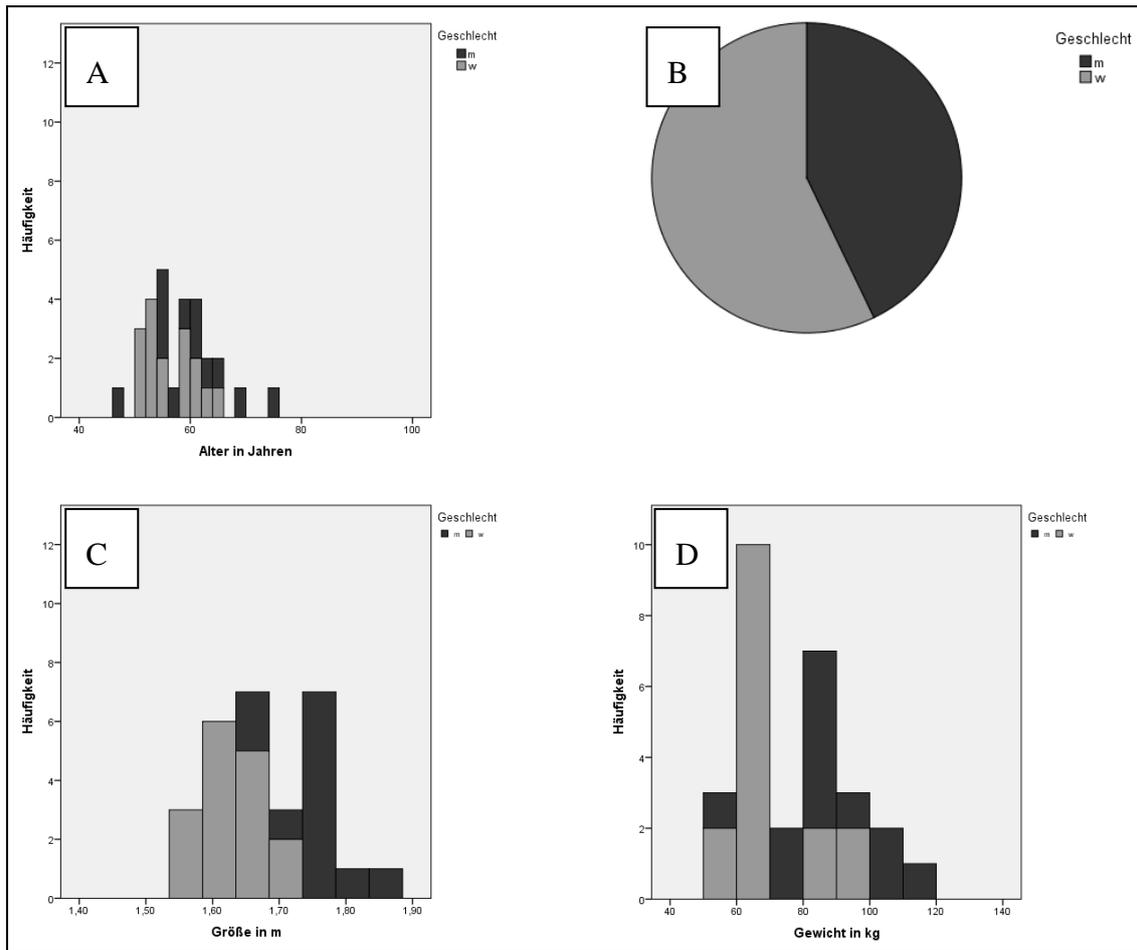


Abbildung 10: Deskriptive Statistik Referenzkollektiv

(A) Histogramm Alter des Referenzkollektivs in Jahren unterteilt nach Geschlecht, ein Altersgipfel bei etwa 55 Jahren; (B) Kreisdiagramm Geschlechterverteilung mit einem größeren Anteil weiblicher Studienteilnehmer; (C) Histogramm Größe in m nach Geschlecht; (D) Histogramm Gewicht in kg nach Geschlecht.

Variable	Patientenkollektiv (n=57)	Normkollektiv (n=28)	p
Alter* (Jahren)	69 (34-87)	57,5 (50-74)	0,025
Weiblich[#]	39	16	0,306
Männlich[#]	18	12	
Körpergewicht[°] (kg)	76,92 (± 15,682)	75,239 (± 16,332)	0,656
Körpergröße[°] (m)	1,64 (± 0,081)	1,68 (± 0,805)	0,044

Tabelle 7: Deskriptive Statistik Patienten- und Normkollektiv im Vergleich

Signifikante Unterschiede sind fett markiert; *Mann-Whitney-U-Test; [#] Chi-Quadrat-Test; [°]t-Test für unabhängige Stichproben

kg=Kilogramm; m=Meter; n=Anzahl;

3.2 Ansprache auf die Infiltrationen

Die Ansprache der Patienten auf die Infiltrationen war sehr unterschiedlich. Zur Auswertung wurden die Patienten anhand der von ihnen angegebenen Besserung, berechnet über die auf der numerischen Rating Skala angegebenen Schmerzintensität, im Verlauf der Woche in 3 Gruppen unterteilt. Die Gruppenzuteilung erfolgte anhand der Vergleichswerte der NRS Montag bei Aufnahme mit dem Wert Montag nach der ersten Infiltration sowie dem Vergleich zwischen Montag bei Aufnahme und Donnerstag vor Entlassung beim Messen von Laufband und Rasterstereographie. Die absolute Besserung wurde in Prozent Besserung in Bezug zum Ausgangswert umgerechnet. Die Grenzwerte für die jeweiligen Gruppenzuordnungen wurden dabei wie folgt definiert: größer als 75% und kleiner als 30% Besserung. Zur besseren Übersichtlichkeit wird im Folgenden die Darstellung mit Farben verdeutlicht mit Grün für eine sehr gute Infiltrationsansprache (>75%), Gelb einer mäßigen Infiltrationsansprache (30-74%) und Rot bei ausbleibender relevanter Besserung (<30%). Auffallend ist, dass verhältnismäßig mehr weibliche Patienten eine gute oder sogar sehr gute Therapieansprache im Vergleich zu den männlichen Patienten angaben. Diese Beobachtung ist sowohl im Vergleich Montag Prä- und Postinfiltration als auch von Montag Präinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung ersichtlich (s.Abb.11 und Tabelle 8).

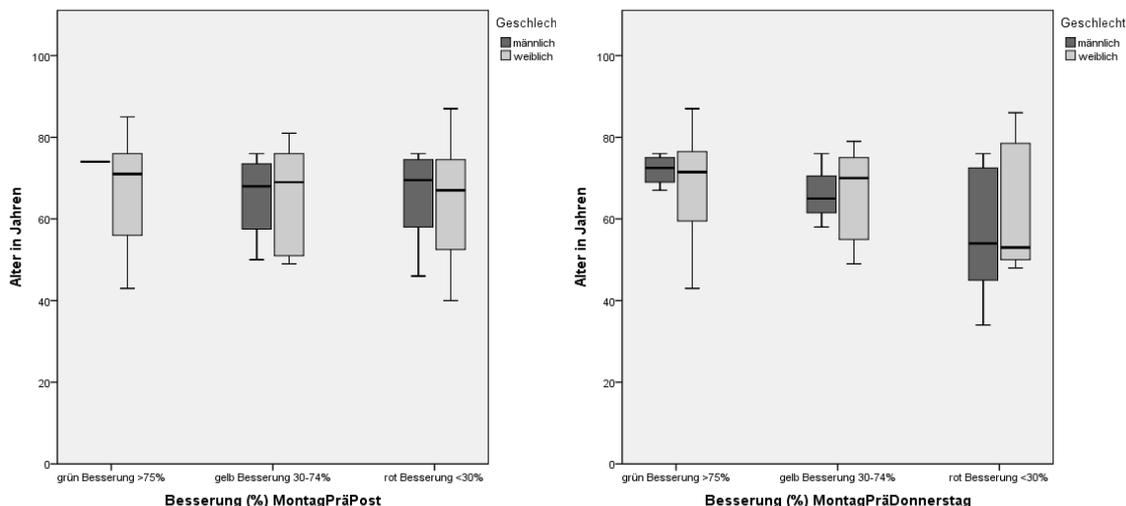


Abbildung 11: Infiltrationsansprache Patientenkollektiv

Die beiden Diagramme zeigen die Ansprache des Patientenkollektivs auf die Infiltrationen in Form der prozentualen Besserung unterteilt in die Gruppen grün, gelb und rot, jeweils nach Alter und Geschlecht unterteilt. Linkes Diagramm: Besserung im Vergleich Montag vor und nach der ersten Infiltration. In allen 3 Gruppen ist die Altersverteilung ähnlich; Rechtes Diagramm: Besserung im Vergleich Montag vor der ersten Infiltration und Donnerstag vor Entlassung. Hier erscheint in der grünen Besserungsgruppe der Altersmedian höher als in der gelben oder der roten Gruppe.

prä=Präinfiltration (Montag vor der ersten Infiltration), post=Postinfiltration (Montag nach der ersten Infiltration)

Zeitpunkt	Geschlecht	Besserung >75% (grüne Gruppe)	Besserung 30<x<75% (gelbe Gruppe)	Besserung <30% (rote Gruppe)
Montag Postinfiltration	männlich	1/14 (7,1%)	4/14 (28,5%)	9/14 (64,3%)
	weiblich	9/38 (23,7%)	9/38 (23,7%)	20/38 (52,6%)
Donnerstag vor Entlassung	männlich	4/15 (26,7%)	3/15 (20,0%)	8/15 (53,3%)
	weiblich	16/35 (45,7%)	8/35 (22,8%)	11/35 (31,4%)

Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeit der Infiltrationsansprache des Patientenkollektivs

Absolute und relative (%) Häufigkeiten der Infiltrationsansprache in den jeweiligen Besserungsgruppen grün, gelb, rot zu den Zeitpunkten Montag nach der ersten Infiltration und Donnerstag vor Entlassung; bessere Infiltrationsansprache bei den Frauen als bei den Männern.

3.3 Ergebnisse der Rasterstereographie

Die dreidimensionale Vermessung des Rückens mit Hilfe der Rasterstereographie wurde insgesamt dreimal während des stationären Aufenthaltes an den Probanden durchgeführt. In den nachfolgenden Diagrammen werden die Differenzen der einzelnen Messparameter zwischen Montag vor und nach der ersten Infiltration und zwischen Montag und Donnerstag vor Entlassung dargestellt. In den Bland-Altman-Plots erfolgt eine Darstellung der Ergebnisse gemäß oben gewählter Gruppenzuteilung mittels der Farben Grün, Gelb und Rot. Die hier analysierten Parameter umfassen die Rumpflänge in mm (RLVPDM), die Rumpfneigung in ° (rnvpdm), die Lotabweichung in ° (lavpdm), die Seitabweichung in mm (SAVPDM +max/SAVPDM -max), den Kyphosewinkel in ° (kwvpt12) und den Lordosewinkel in ° (lwt12dm).

Der Vergleich der Messwerte des Patientenkollektivs zu den verschiedenen Zeitpunkten ergab einen signifikanten Unterschied des Wertes Kyphosewinkel VP-T12 (°) im Vergleich von Montag Prä- zu Montag Postinfiltration ($p=0,032$) (s.Tab.10). Die Mittel- und Medianwerte für die Rumpflänge VP-DM, die Lotabweichung VP-DM, die Seitabweichung VP-DM –max, den Kyphosewinkel VP-T12 und den Lordosewinkel T12-DM entsprachen in etwa den korrespondierenden Mittel- und Medianwerten im Normkollektiv. Die Rumpfneigung VP-DM des Patientenkollektivs mit im Mittel $6-7^\circ$ wies eine Differenz von ca. 3° im Vergleich zum Mittel des Normkollektivs von 3° auf. Hier lag ein signifikanter Unterschied vor (s. Tabelle 9).

Variable	Patientenkollektiv	Normkollektiv	p
Rumpflänge VP-DM (mm)	441,07 (±34,13)	445,19 (±31,53)	0,59°
Rumpfneigung VP-DM (°)	6,05 (± 4,62)	3,11 (±2,65)	<0,01°
Lotabweichung VP-DM (°)	-0,50 (-4,50-7,70)	0,35 (-2,20-2,90)	0,12*
Seitabweichung VP-DM max+ (mm)	9,40 (0,00-46,40)	8,00 (0,30-18,50)	0,41*
Seitabweichung VP-DM max- (mm)	-7,70 (-40,90-0,00)	-7,90 (-24,30-(-1,30))	0,73*
Kyphosewinkel VP-T12 (°)	51,10 (-14,40-78,70)	47,50 (14,90-64,70)	0,26*
Lordosewinkel T12-DM (°)	33,00 (-0,80-52,00)	31,60 (16,30-56,10)	0,73*

Tabelle 9: Test auf signifikante Unterschiede der Rasterstereographiewerte von Patienten- und Normkollektiv

Signifikante Unterschiede sind fett markiert; °t-Test bei unabhängigen Stichproben; * Mann-Whitney-U-Test

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der beiden Lumbalgrübchen (Dimple), T12=12.Thorakalwirbel

Variable	p*				
	Gesamt	Männer	Frauen	>69 Jahre	<69 Jahre
RLVPDMMoPost – RLVPDMMoPrä	0,794	0,427	0,701	0,469	0,869
RLVPDMDo – RLVPDMMoPrä	0,211	0,660	0,221	0,597	0,023
RLVPDMDo – RLVPDMMoPost	0,251	0,061	0,865	0,527	0,016
rnpvdmMoPost – rnpvdmMoPrä	0,740	0,534	0,913	0,656	0,336
rnpvdmDo – rnpvdmMoPrä	0,236	0,530	0,059	0,577	0,121
rnpvdmDo – rnpvdmMoPost	0,670	0,211	0,166	0,443	0,649
lavpdmMoPost – lavpdmMoPrä	0,863	0,088	0,182	0,286	0,367
lavpdmDo – lavpdmMoPrä	0,520	0,916	0,449	0,219	0,538
lavpdmDo – lavpdmMoPost	0,836	0,910	0,903	0,875	0,884
SAVPDMmaxPMoPost – SAVPDMmaxPMoPrä	0,413	0,326	0,744	0,298	0,990
SAVPDMMaxPDo – SAVPDMmaxPMoPrä	0,461	0,660	0,501	0,368	0,835

SAVPDMMaxPDo – SAVPDMmaxPMoPost	0,389	0,820	0,245	0,667	0,661
SAVPDMmaxNMoPost – SAVPDMmaxNMoPrä	0,433	0,326	0,113	0,879	0,387
SAVPDMmaxNDo – SAVPDMmaxNMoPrä	0,861	0,245	0,313	0,977	0,986
SAVPDMmaxNDo – SAVPDMmaxNMoPost	0,781	0,851	0,852	0,577	0,889
kwvpt12MoPost – kwvpt12MoPrä	0,032	0,196	0,094	0,509	0,014
kwvpt12Do – kwvpt12MoPrä	0,266	1,000	0,179	0,403	0,251
kwvpt12Do – kwvpt12MoPost	0,380	0,053	0,929	0,726	0,135
lwt12dmMoPost – lwt12dmMoPrä	0,633	0,605	0,421	0,899	0,501
lwt12dmDo – lwt12dmMoPrä	0,635	0,551	0,922	0,909	0,525
lwt12dmDo – lwt12dmMoPost	0,498	0,977	0,466	0,677	0,198

Tabelle 10: Intrapopulärer Vergleich Patientenkollektiv zu verschiedenen Messzeitpunkten

Bei der Untersuchung der verschiedenen Messzeitpunkte und erhobenen Parameter im Gesamtkollektiv zeigt sich kein relevanter Unterschied im Haltungprofil während des stationären Aufenthaltes. Ein signifikanter Unterschied kann hier für den Kyphosewinkel festgehalten werden. Bei der geschlechterspezifischen Auftrennung ist kein Haltungparameter signifikant unterschiedlich, ebenso wenig bei den Patienten oberhalb des Altersmedians von 69 Jahren. Die jüngeren Patienten unter 69 Jahre weisen signifikante Unterschiede der Parameter Kyphosewinkel und Rumpflänge auf.

*Wilcoxon-Test; signifikante Unterschiede sind fett markiert

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen, T12 = 12.Thorakalwirbel, MoPrä=Montag Präinfiltration, MoPost = Montag Postinfiltration, Do= Donnerstag, RL=Rumpflänge, rn=Rumpfeigung, la=Lotabweichung, SA=Seitabweichung, kw=Kyphosewinkel, lw=Lordosewinkel

3.3.1 Rumpflänge VP-DM (mm)

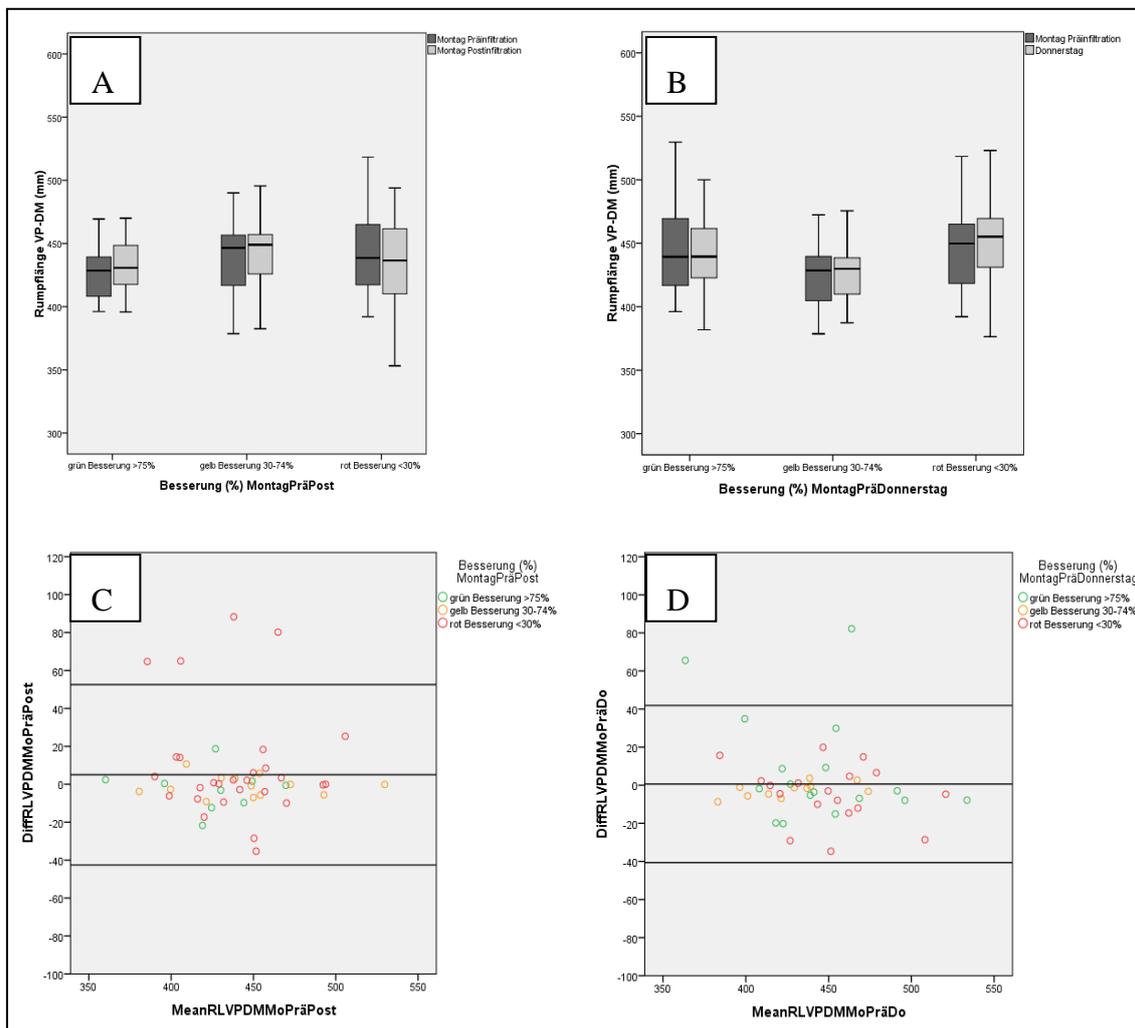


Abbildung 12: Rumpflänge VPDM (mm) Patientenkollektiv

Die beiden Boxplot-Diagramme (A) und (B) zeigen die Rumpflänge des Patientenkollektivs aufgeteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot im Vergleich Montag vor und nach der ersten Infiltration (A) sowie Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung (B). Es ist kein relevanter Unterschied erkennbar; (C) und (D) zeigen in Form von Bland-Altman-Plots die Differenz der Rumpflänge VPDM gegen deren Mittelwert aufgetragen, die Zeitpunkte Montag Prä- und Postinfiltration (C) sowie Montag vor der ersten Infiltration und Donnerstag vor Entlassung (D). Die farbige Markierung zeigt die Zugehörigkeit zu den Besserungsgruppen Grün, Gelb und Rot an. Auch hier ist keine Tendenz erkennbar.

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen; DiffRLVPDMMoPräPost= Differenz der Rumpflänge VP-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanRLVPDMMoPräPost=Mittelwert der Rumpflänge VP-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.2 Rumpfneigung (°)

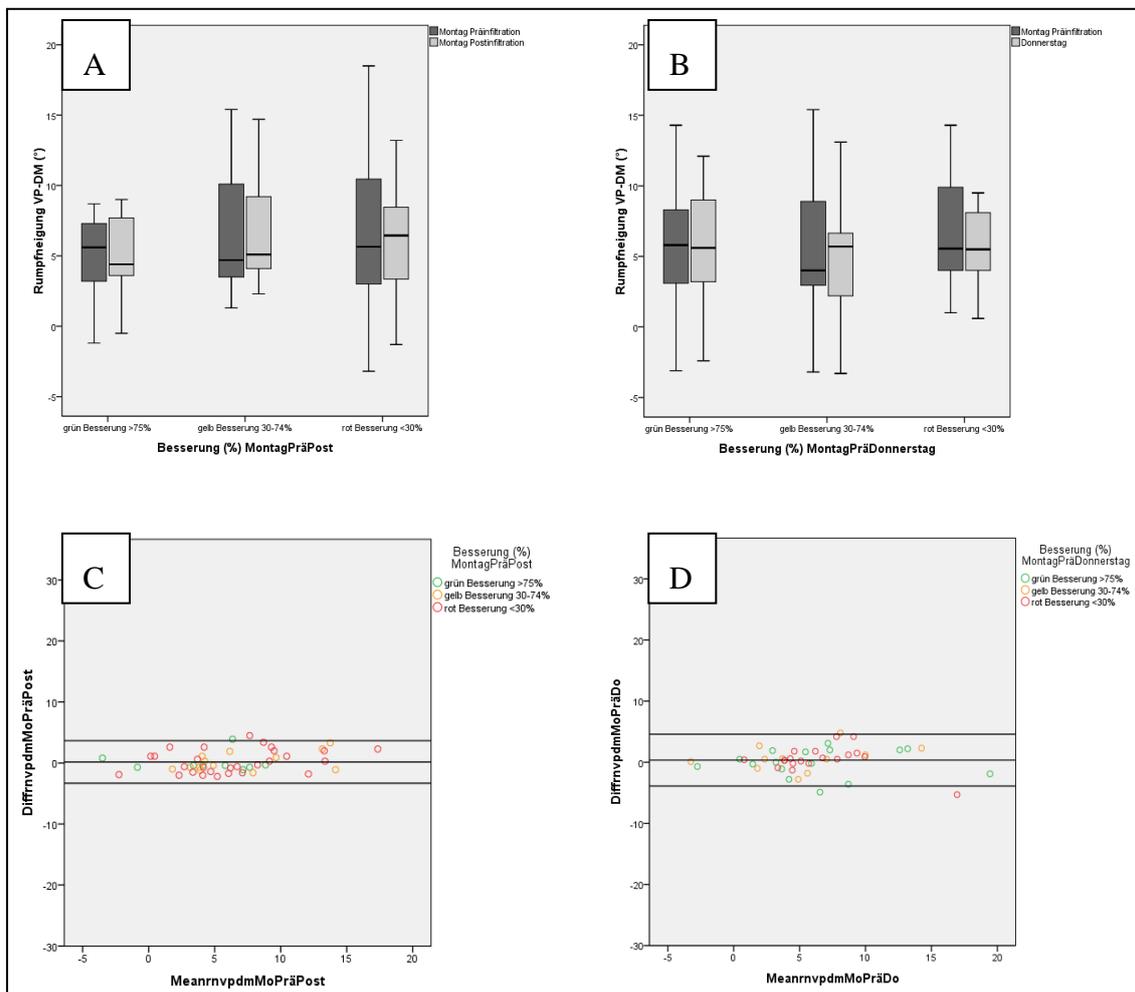


Abbildung 13: Rumpfneigung VPDM (°) Patientenkollektiv

Die Boxplots zeigen die Veränderung der Rumpfneigung im Vergleich der Zeitpunkte Montag Prä- und Postinfiltration (A) und Montag Präinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung (B). Es ist kein wesentlicher Unterschied im Laufe des Aufenthaltes erkennbar. Die Bland-Altman-Plots zeigen die Differenz und Mittelwert der Rumpfneigung gegeneinander aufgetragen, die einzelnen Kreise markieren farbige ihre Zugehörigkeit zu den Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot. Es ist keine Tendenz im Laufe des Aufenthaltes erkennbar.

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen; DiffnrvpdmMoPräPost= Differenz der Rumpfneigung VP-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanrvpdmMoPräPost=Mittelwert der Rumpfneigung VP-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.3 Lotabweichung VP-DM (°)

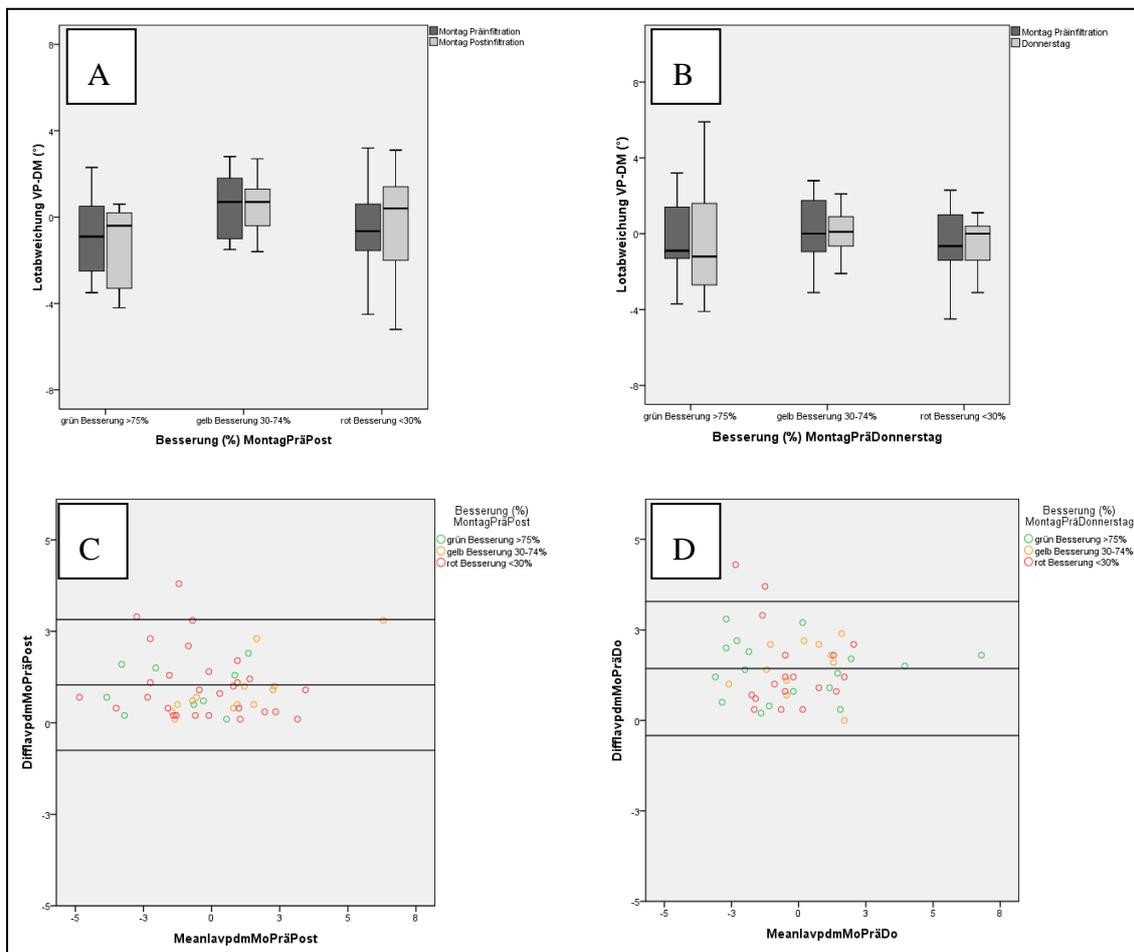


Abbildung 14: Lotabweichung VPDM (°) Patientenkollektiv

Die Boxplot-Diagramme (A) und (B) zeigen die Lotabweichung des Patientenkollektivs im Vergleich der Zeitpunkte Montag Prä- und Postinfiltration sowie Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung. Zudem erfolgt die Unterteilung in die Besse- rungsgruppen Grün, Gelb, Rot. Weder vor noch nach der ersten Infiltration oder im Verlauf bis Donnerstag ist eine relevante Ver- änderung erkennbar; Die Bland-Altman-Plots (C) und (D) stellen die Differenz der Rumpfneigung gegen den Mittelwert aufgetra- gen dar zu den o.g. Zeitpunkten. Auch hier sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen; DiffLAVpdmMoPräPost= Differenz der Lotabweichung VP-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanLAVpdmMoPräPost=Mittelwert der Lotabweichung VP-DM von Mon- tag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.4 Seitabweichung VP-DM +max (mm)

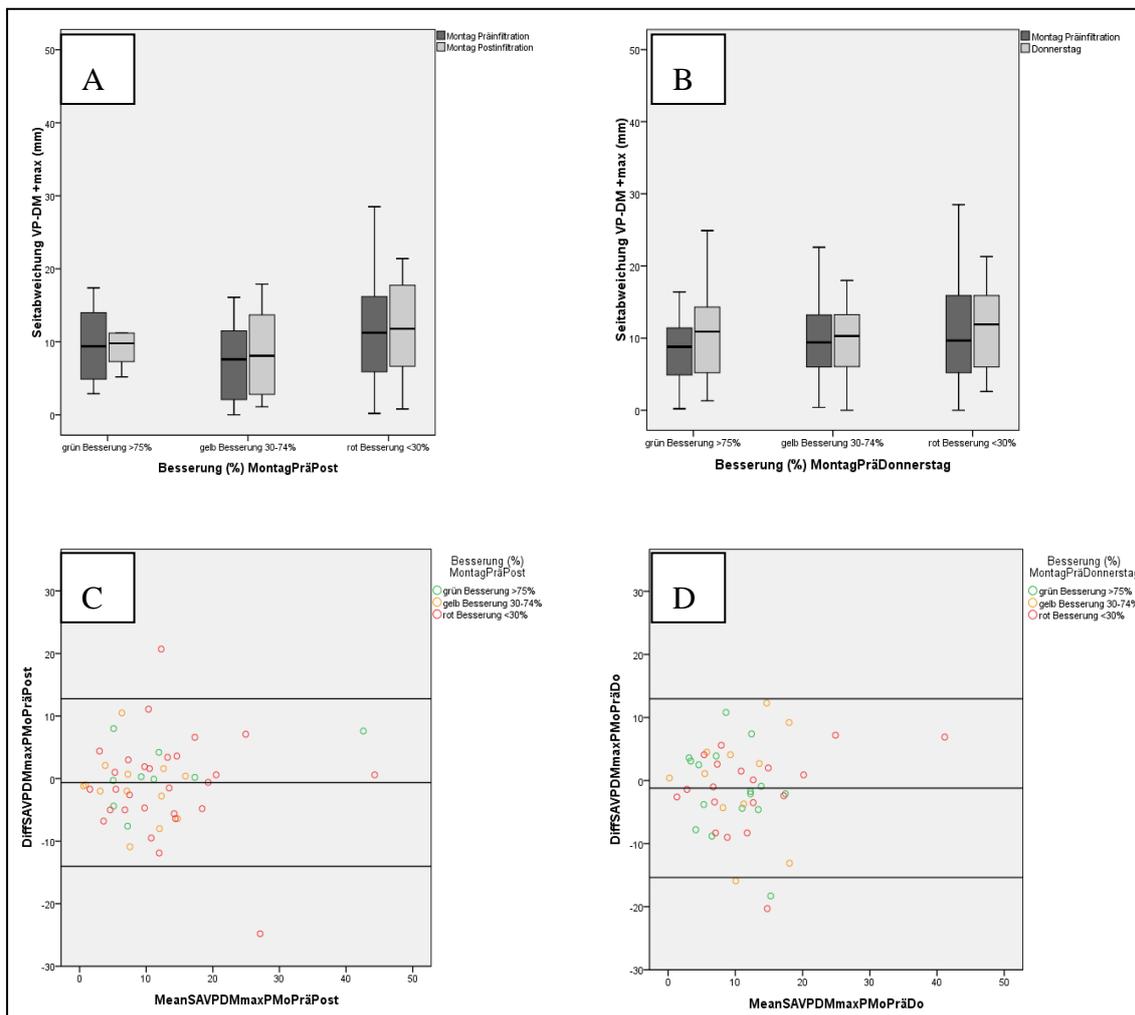


Abbildung 15: Seitabweichung +max VPDM (mm) Patientenkollektiv

(A) und (B) stellen die Seitabweichung nach rechts in Form von Boxplots dar. Es werden die Zeitpunkte Montag Prä- und Postinfiltration (A) sowie Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung miteinander verglichen (B). Auf der X-Achse werden die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot dargestellt. Es ist kein nennenswerter Unterschied in den beiden Diagrammen erkennbar. Die Bland-Altman-Plots (C) und (D) zeigen die Differenzen und Mittelwerte der Seitabweichung gegeneinander aufgetragen. In beiden Diagrammen sind Ausreißerwerte erkennbar aber keine relevanten Unterschiede in der Streuung ersichtlich.

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen; +max/maxP=Abweichung der Mittellinie der Wirbelsäule nach rechts, DiffSAVPDMmaxPMoPräPost= Differenz der Seitabweichung VP-DM nach rechts von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanSAVPDMmaxPMoPräPost=Mittelwert der Seitabweichung VP-DM nach rechts von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.5 Seitabweichung VP-DM -max (mm)

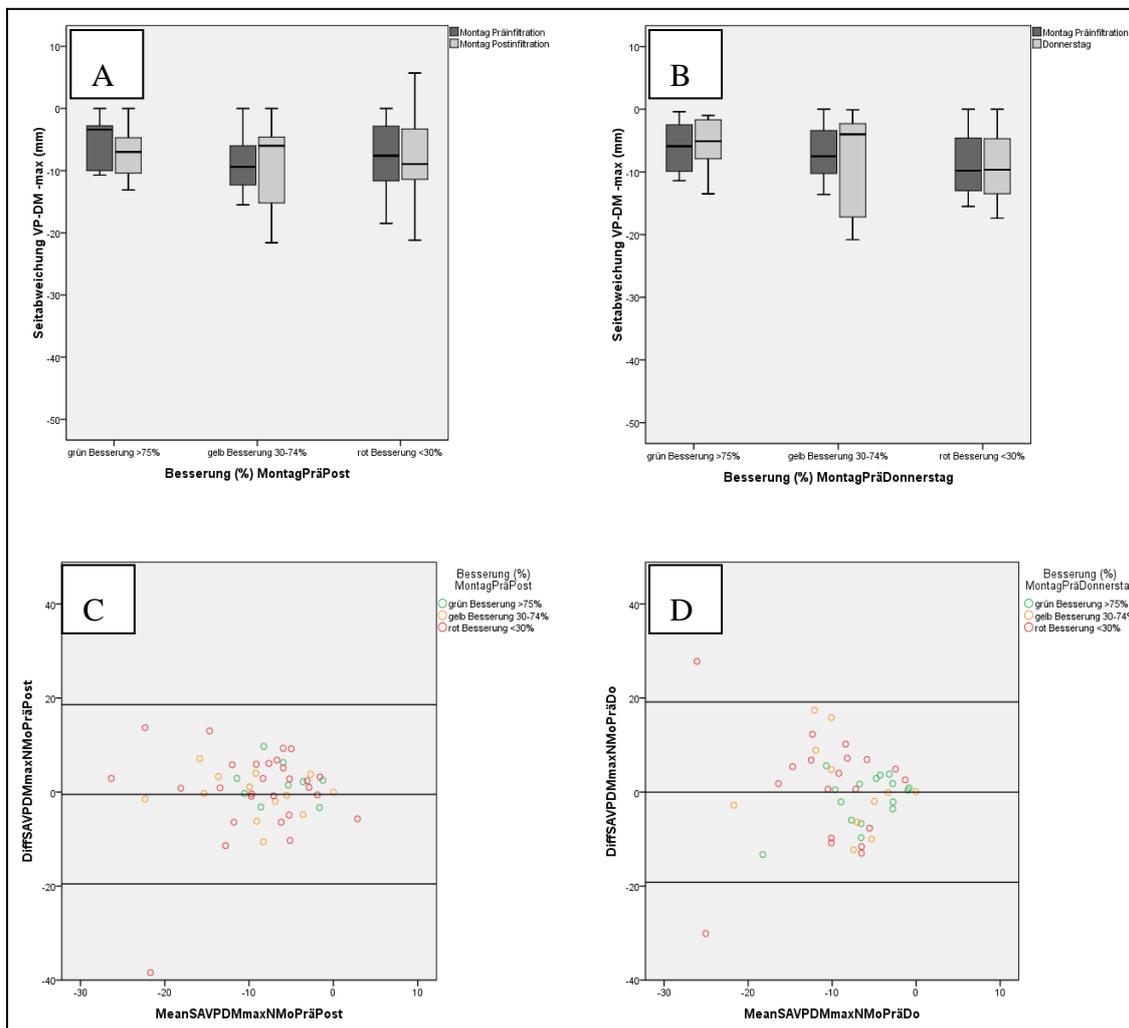


Abbildung 16: Seitabweichung –max VPDM (mm) Patientenkollektiv

Diagramm (A) und (B) zeigen Boxplotdarstellungen der Seitabweichung VPDM nach links unterteilt in die Verbesserungsgruppen Grün, Gelb, Rot zu den vergleichenden Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration (A) und Montag Präinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung (B). Die Medianwerte der grünen und roten Gruppe scheinen sich zwischen den Zeitpunkten anzunähern; (C) und (D) sind Bland-Altman-Plots welche die Differenzen und Mittelwerte der Seitabweichung gegeneinander auftragen. Es sind keine nennenswerten Unterschiede innerhalb der Streuung erkennbar.

VP=Vertebra prominens, DM=Mitte der Lumbalgrübchen; -max/maxN=Abweichung der Mittellinie der Wirbelsäule nach links, DiffSAVPDMmaxNMoPräPost= Differenz der Seitabweichung VP-DM nach links von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanSAVPDMmaxNMoPräPost=Mittelwert der Seitabweichung VP-DM nach links von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.6 Kyphosewinkel VP-T12 (°)

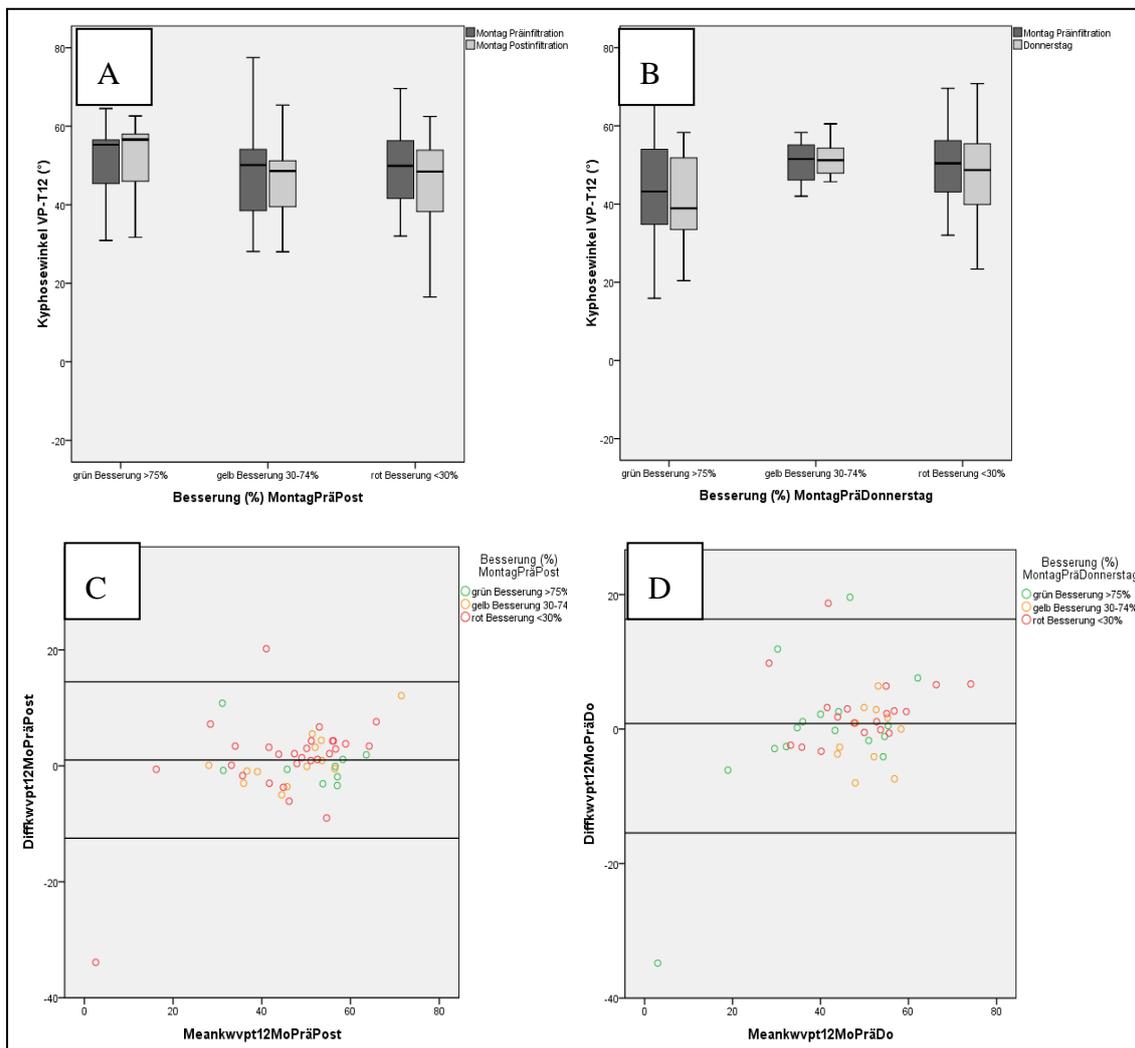


Abbildung 17: Kyphosewinkel VP-T12 (°) Patientenkollektiv

(A) und (B) zeigen den Kyphosewinkel des Patientenkollektivs in Form von Boxplot-Diagrammen unterteilt in Besserungsgruppen und zu den vergleichenden Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration (A) sowie Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung (B). In (B) ist eine Verkleinerung des Kyphosewinkels in der Grünen Gruppe erkennbar. Anhand der Mittelwerte ist eine Verkleinerung des Kyphosewinkels von $48,08 (\pm 14,5)^\circ$ am Montag Präinfiltration auf $46,73 (\pm 11,6)^\circ$ am Montag Postinfiltration berechenbar, diese Differenz ist signifikant unterschiedlich ($p=0,032$). Die Bland-Altman-Plots (C) und (D) weisen extreme Ausreißerwerte um mehr als 30° auf, hierbei handelt es sich sehr wahrscheinlich um einen Messfehler. Die Streuungen weisen keine signifikante Differenz auf.

VP=Vertebra prominens, T12=12.Thorakalwirbel; Diffkwvpt12MoPräPost= Differenz des Kyphosewinkels VP-T12 von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Meankwvpt12MoPräPost=Mittelwert des Kyphosewinkels VP-T12 von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.3.7 Lordosewinkel T12-DM (°)

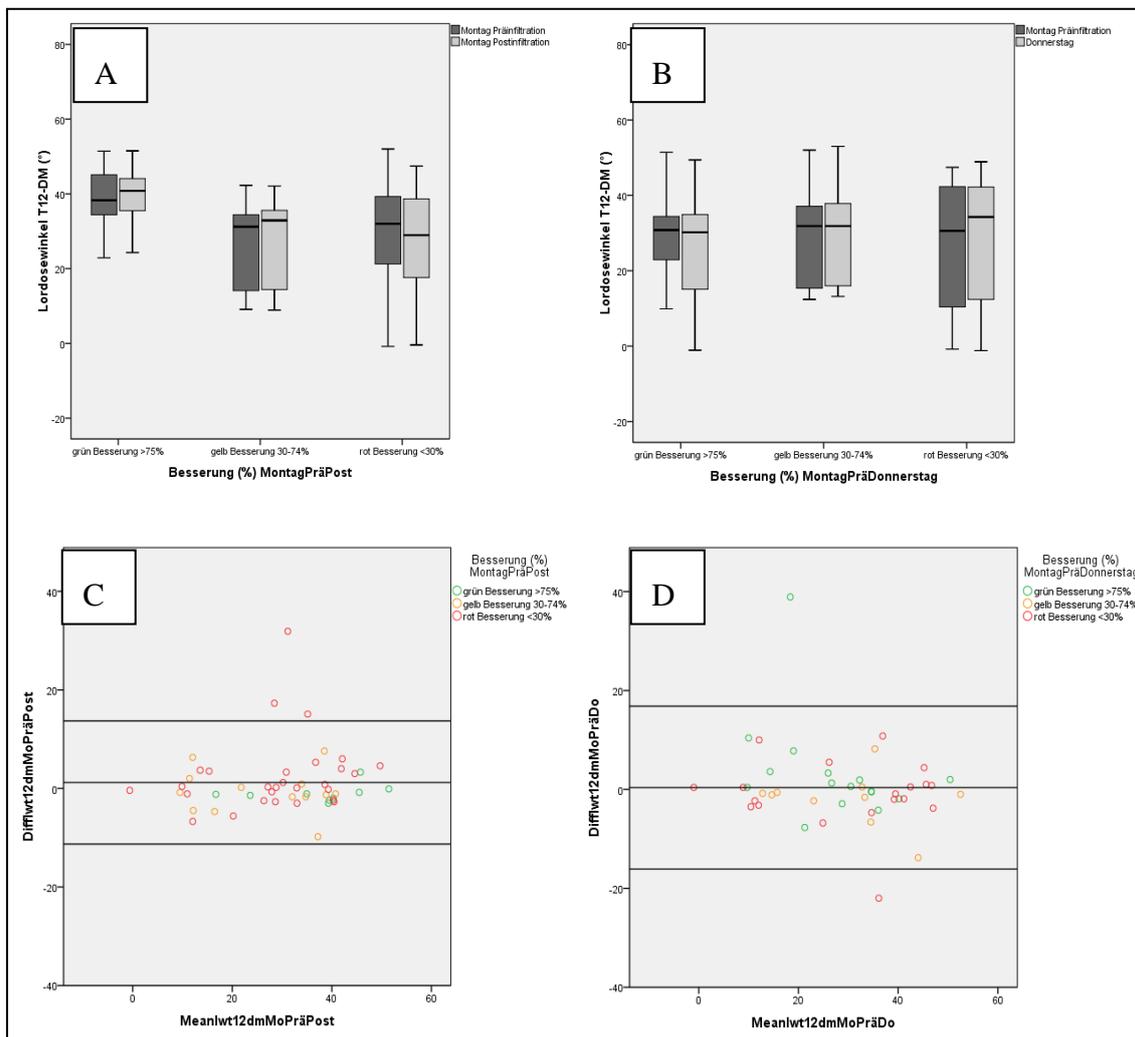


Abbildung 18: Lordosewinkel T12-DM (°)Patientenkollektiv

Lordosewinkel zu den Messzeitpunkten Prä- und Postinfiltration am Aufnahmetag (A) sowie Präinfiltration vom Aufnahmetag und der Messung vor Entlassung (B). Der Lordosewinkel des Patientenkollektivs zeigt ähnliche Werte wie der des Normkollektivs. Die Streuung der Einzelwerte im Bland-Altman-Plot (D) erscheint größer als in Diagramm (C) wo die Einzelwerte enger beieinander liegen. Die Ausreißwerte bei 30-40° sind vermutlich Messfehler.

DM=Mitte der Lumbalgrübchen, T12=12.Thorakalwirbel; DiffIwt12dmMoPräPost= Differenz des Lordosewinkels T12-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; MeanIwt12dmMoPräPost=Mittelwert des Lordosewinkels T12-DM von Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration; Do=Donnerstag

3.4 Ergebnisse der Ganganalyse

Aus dem dreiseitigen Report des Softwareprogrammes Win FDM-T wurden die in Tabelle 11 und 12 aufgeführten Parameter untersucht und ausgewertet. Die einzelnen Parameter wurden in der Auswertung wie bei den Ergebnissen der Rasterstereographie jeweils in die Besserungsgruppen Grün, Gelb und Rot unterteilt und mit den Werten des Normkollektivs in direkten Vergleich gesetzt. Zudem wurden die Parameter Fußrotation, Schrittlänge, Standphase und Schwungphase nicht in linken und rechten Fuß sondern unter der Ordnung größerer und kleinerer Messwert aufgesplittert. Dies erfolgte unter der Annahme, dass eine geringe Differenz zwischen diesen beiden Werten als Ausdruck eines harmonischen Gangbildes verstanden werden kann, eine große Differenz im Sinne eines asymmetrischen Gangbildes als pathologisch zu werten ist.

Die Medianwerte für Fußrotation und Schrittweite im Patientenkollektiv ähneln den Werten des Normkollektivs. Die Werte für die Schrittlänge des Patientenkollektivs lagen im Median bei 22,5 (4,5-53,0) cm. Im Vergleich lagen diese Werte beim Normkollektiv mit im Median von 37,5 (22,5-55,0) cm deutlich höher. Die Standphase der Patienten war im Median länger als die der Normgruppe, dafür machte das Referenzkollektiv mit im Median 73,0 (42,0-160,0) deutlich mehr Schritte/min als das Patientenkollektiv mit einer Kadenz von im Median 50,0 (14,0-84,0) Schritten/min. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Probanden des Normkollektivs im Schnitt mit einer Geschwindigkeit von 2,5 (1,1-3,0) km/h liefen, das Patientenkollektiv hingegen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,0 (0,2-3,0) km/h.

Der Vergleich innerhalb des Patientenkollektivs zu den verschiedenen Messzeitpunkten ergab signifikante Unterschiede der Medianwerte der Parameter Schrittweite, Kadenz, Fußrotation, Schrittlänge, Standphase und Schwungphase (s.Tab.13).

Variable	Patientenkollektiv	Normkollektiv	p*
Geschwindigkeit (km/h)	1,0 (0,2-3,0)	2,5 (1,1-3,0)	<0,001
Schrittweite (cm)	12,0 (5,0-22,0)	11,0 (2,0-18,0)	0,206
Kadenz (Schritte/min)	51,0 (13,0-86,0)	63,5 (42,0-160,0)	<0,001

Tabelle 11: Allgemeine Gangparameter Ganganalyse

Signifikante Unterschiede sind fett markiert; * Mann-Whitney-U-Test

Variable		Patientenkollektiv	Normkollektiv	p*
Standphase (%)	Größerer Wert	73,4 (63,4-86,5)	67,5 (64,0-76,1)	<0,001
	Kleinerer Wert	70,1 (56,6-85,3)	65,7 (61,4-72,9)	<0,001
Schwungphase (%)	Größerer Wert	29,9 (14,7-37,1)	34,3 (27,1-38,6)	<0,001
	Kleinerer Wert	26,7 (13,5-36,6)	32,5 (23,9-36,0)	<0,001
Schrittlänge (cm)	Größerer Wert	23,0 (6,0-53,0)	36,0 (23,0-55,0)	<0,001
	Kleinerer Wert	20,0 (2,0-53,0)	34,0 (22,0-54,0)	<0,001
Fußrotation (°)	Größerer Wert	12,2 (2,7-32,3)	12,3 (5,7-17,3)	0,347 n.s.
	Kleinerer Wert	8,5 (-0,6-21,0)	8,3 (0,1-15,1)	0,947 n.s.

Tabelle 12: Spezielle Parameter Ganganalyse von Patienten- und Normkollektiv im Vergleich

Die Parameter Standphase, Schwungphase, Schrittlänge und Fußrotation wurden in den jeweils für einen Messzeitpunkt größeren und kleineren Wert aufgeteilt, um eine Aussage über die Asymmetrie des Gangbildes zu ermöglichen und einen Ausgleich der Werte im Falle von beim zweiten Messzeitpunkt umgekehrter Verteilung von großem und kleinem Wert zu vermeiden.

Signifikante Unterschiede sind fett markiert; * Mann-Whitney-U-Test

Variable	p*
FRgrößerMoPost – FRgrößerMoPrä	0,381
FRkleinerMoPost – FRkleinerMoPrä	0,038
DiffFRgrößer/kleinerMoPost – DiffFRgrößer/kleinerMoPrä	0,011
FRgrößerDo – FRgrößerMoPrä	0,003
FRkleinerDo – FRkleinerMoPrä	0,460
DiffFRgrößer/kleinerDo – DiffFRgrößer/kleinerMoPrä	0,001
FRgrößerDo – FRgrößerMoPost	0,063
FRkleinerDo – FRkleinerMoPost	0,394
DiffFRgrößer/kleinerDo – DiffFRgrößer/kleinerMoPost	0,588
SWMWMoPost – SWMWMoPrä	0,091
SWMWDo – SWMWMoPrä	0,088
SWMWDo – SWMWMoPost	0,820
KMWMoPost – KMWMoPrä	0,101
KMWDo – KMWMoPrä	0,487
KMWDo – KMWMoPost	0,544
SLgrößerMoPost – SLgrößerMoPrä	0,761
SLkleinerMoPost – SLkleinerMoPrä	0,661
DiffSLgrößer/kleinerMoPost – DiffSLgrößer/kleinerMoPrä	0,369
SLgrößerDo – SLgrößerMoPrä	0,134
SLkleinerDo – SLkleinerMoPrä	0,034
DiffSLgrößer/kleinerDo – DiffSLgrößer/kleinerMoPrä	0,001
SLgrößerDo – SLgrößerMoPost	0,570
SLkleinerDo – SLkleinerMoPost	0,049
DiffSLgrößer/kleinerDo – DiffSLgrößer/kleinerMoPost	0,026
SPgrößerMoPost – SPgrößerMoPrä	<0,001
SPkleinerMoPost – SPkleinerMoPrä	<0,001
DiffSPgrößer/kleinerMoPost – DiffSPgrößer/kleinerMoPrä	<0,001

SPgrößerDo – SPgrößerMoPrä	0,022
SPkleinerDo – SPkleinerMoPrä	0,102
DiffSPgrößer/kleinerDo – DiffSPgrößer/kleinerMoPrä	<0,001
SPgrößerDo – SPgrößerMoPost	0,081
SPkleinerDo – SPkleinerMoPost	0,003
DiffSPgrößer/kleinerDo – DiffSPgrößer/kleinerMoPost	0,007
SchwPgrößerMoPost – SchwPgrößerMoPrä	0,240
SchwPkleinerMoPost – SchwPkleinerMoPrä	0,328
DiffSchwPgrößer/kleinerMoPost – DiffSchwPgrößer/kleinerMoPrä	0,109
SchwPgrößerDo – SchwPgrößerMoPrä	0,304
SchwPkleinerDo – SchwPkleinerMoPrä	0,048
DiffSchwPgrößer/kleinerDo – DiffSchwPgrößer/kleinerMoPrä	0,010
SchwPgrößerDo – SchwPgrößerMoPost	0,702
SchwPkleinerDo – SchwPkleinerMoPost	0,691
DiffSchwPgrößer/kleinerDo – DiffSchwPgrößer/kleinerMoPost	0,209

Tabelle 13: Intrapopulärer Vergleich der Ganganalyseparameter des Patientenkollektivs zu verschiedenen Messzeitpunkten

Bei der Untersuchung der verschiedenen Messzeitpunkte und erhobenen Parametern zeigen sich nennenswerte Unterschiede bei der Fußrotation, der Schrittlänge, der Stand- und Schwungphase.

*Wilcoxon-Test; signifikante Messwerte sind fett markiert

MoPrä=Montag Präinfiltration, MoPost=Montag Postinfiltration, Do=Donnerstag, FR=Fußrotation, SW=Schrittweite, KM=Messwert Kadenz, SL=Schrittlänge, SP=Standphase, SchwP=Schwungphase, größer=größerer Messwert, kleiner=kleinerer Messwert, Diff = Differenz

3.4.1 Fußrotation (°)

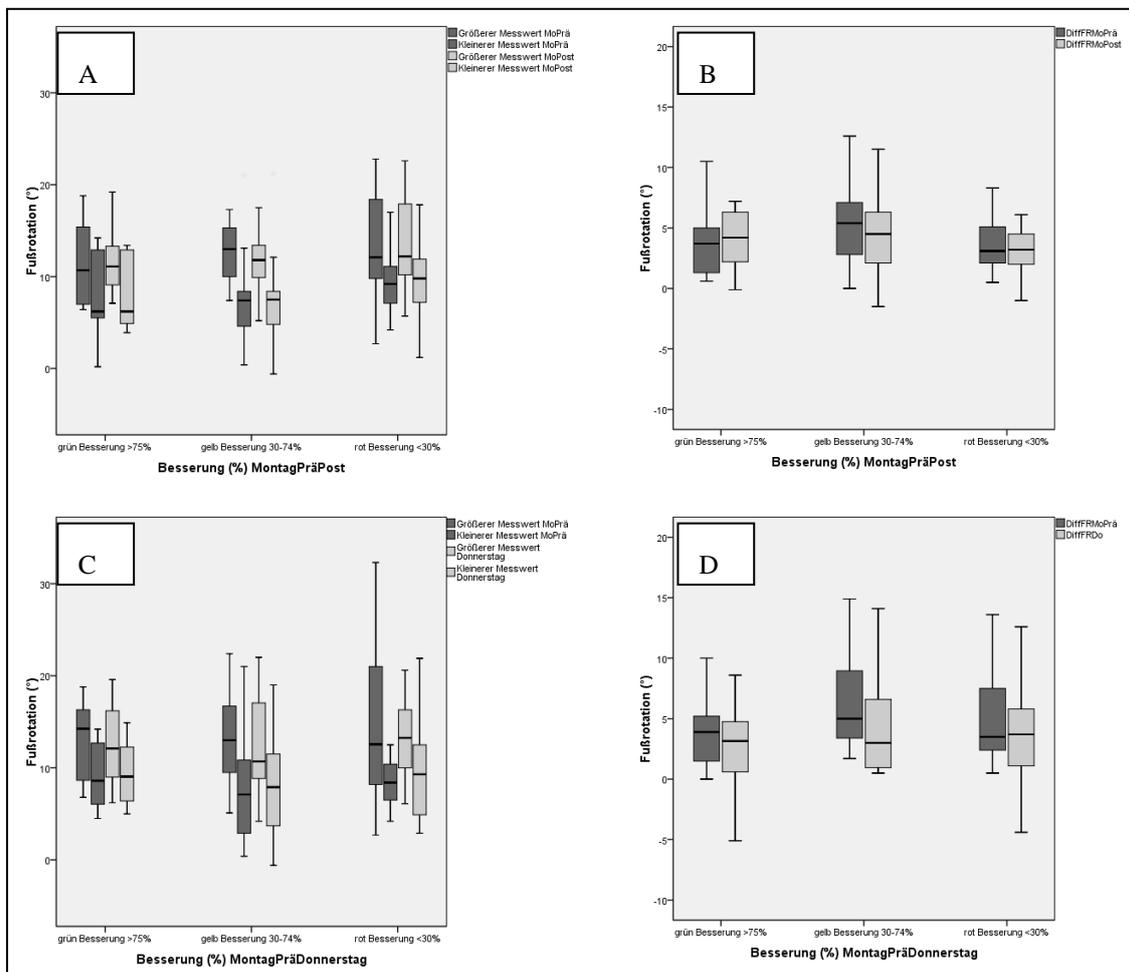


Abbildung 19: Fußrotation (°) Patientenkollektiv

Diagramm (A) zeigt die Fußrotation des Patientenkollektivs geordnet nach größerem und kleinerem Messwert zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration sowie unterteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot; (B) zeigt die Differenzen von größerem und kleinerem Messwert zu den Zeitpunkten wie in (A) und ebenfalls nach Besserungsgruppen sortiert; Diagramm (C) ist äquivalent zu (A) nur zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung und Diagramm (D) entspricht (B) zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung. Sowohl bei den Mittelwerten der Messwerte als auch bei den Differenzen sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Eine infiltrationserfolgsspezifische Besserung ist nicht zu beobachten.

MoPrä=Montag Präinfiltration; MoPost=Montag Postinfiltration; Diff=Differenz; FR=Fußrotation

3.4.2 Schrittlänge (cm)

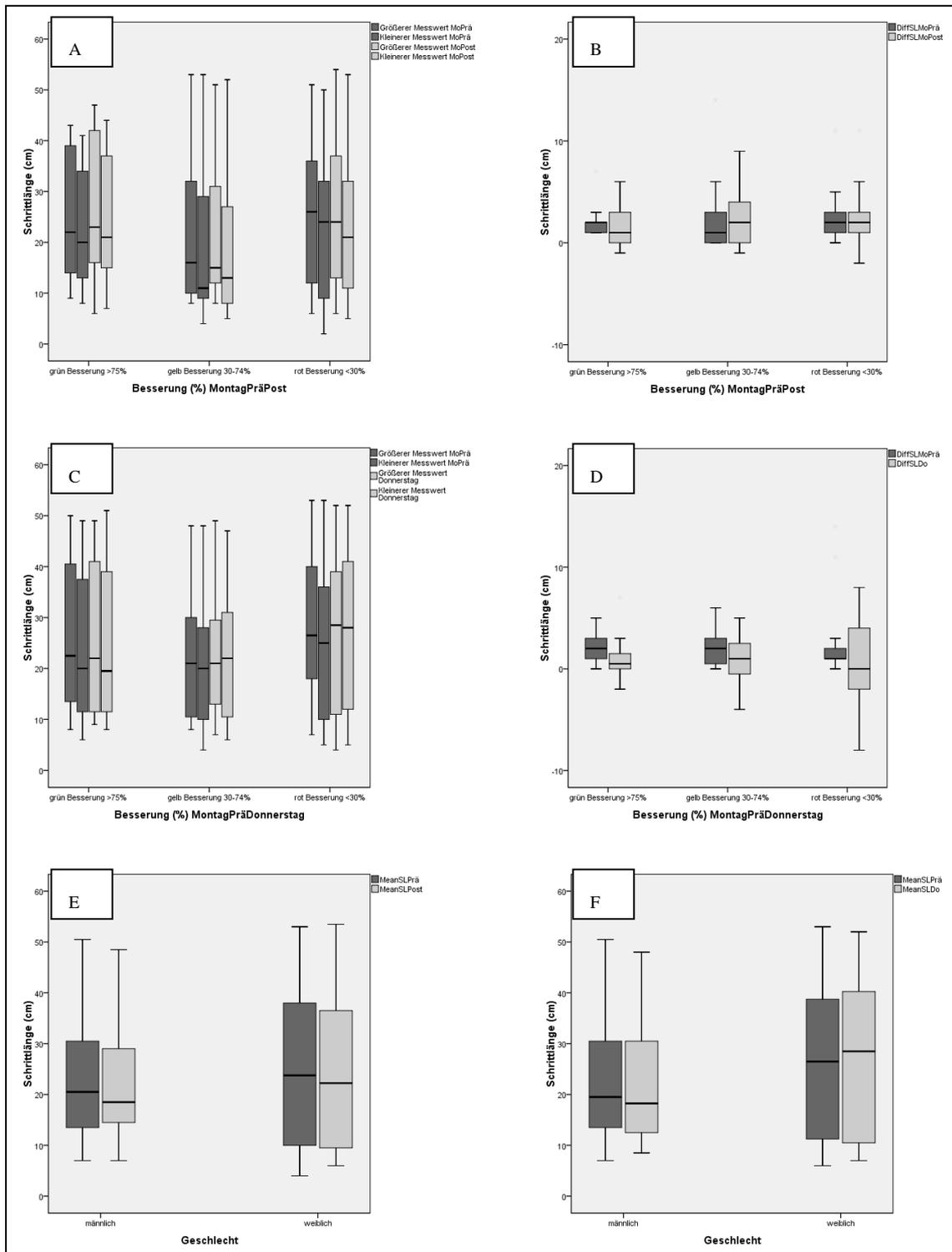


Abbildung 20: Schrittlänge (cm) Patientenkollektiv

Schrittlänge des Patientenkollektivs zu den Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration (A) sowie die Differenzen (B), zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung (C) sowie die Differenzen zwischen diesen Werten (D). Diagramm (E) und (F) zeigt die Schrittlänge unterteilt nach Geschlecht. Dabei fällt auf, dass die Schrittlänge der Frauen größer ist als die der Männer. Eine infiltrationserfolgsspezifische Besserung ist jedoch nicht zu beobachten.

MoPrä=Montag Präinfiltration; MoPost=Montag Postinfiltration; Diff=Differenz; Mean=Mittelwert; SL=Schrittlänge

3.4.3 Standphase (%)

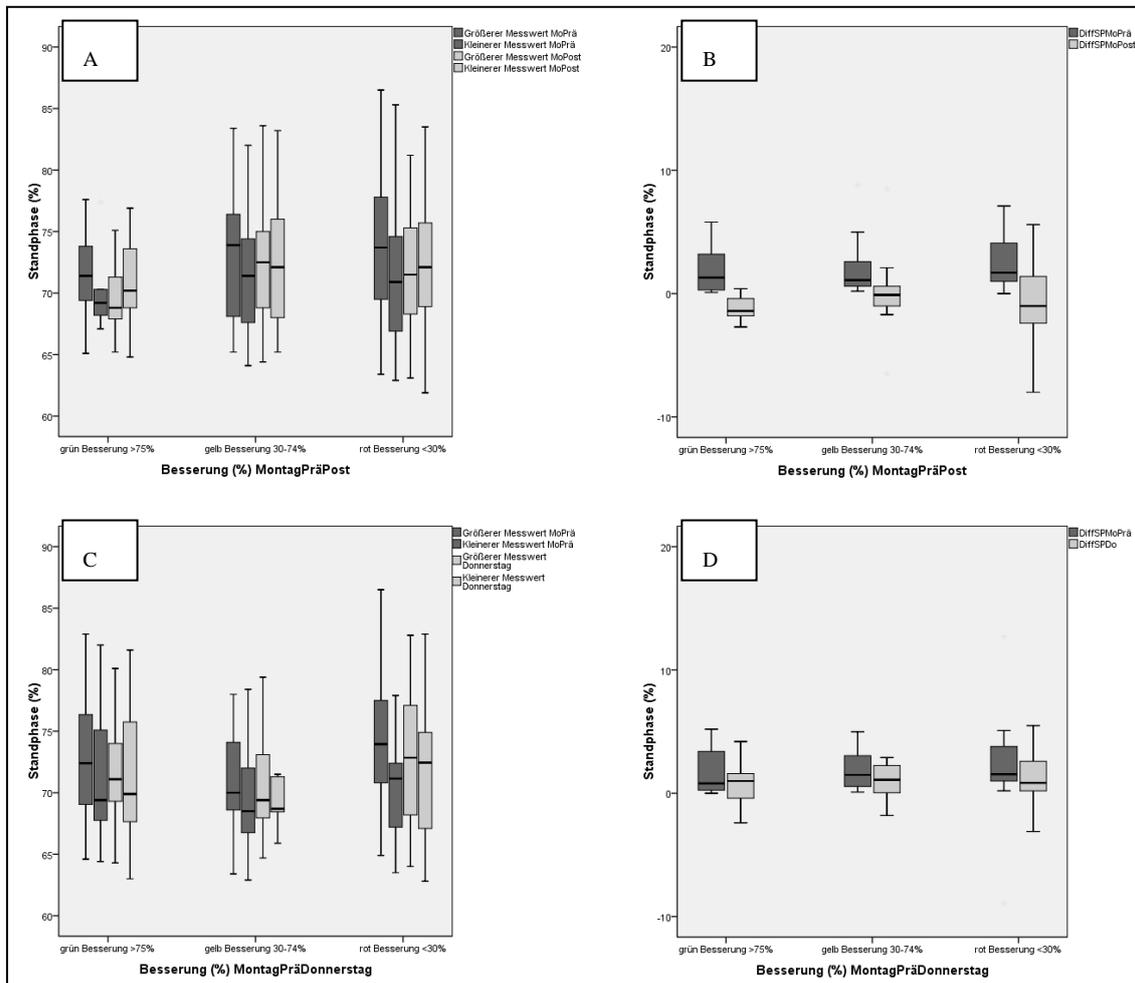


Abbildung 21: Standphase (%) Patientenkollektiv

Diagramm (A) zeigt in Boxplot-Darstellung die Standphase des Patientenkollektivs unterteilt in Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot und geordnet nach größerem und kleinerem Messwert sowie den Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration. In (B) sind deren Differenzen ersichtlich; Diagramm (C) zeigt das Äquivalent zu (A) zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung sowie deren Differenzen in Diagramm (D); Insgesamt fällt auf, dass die Standphase des Patientenkollektivs deutlich länger ist als die des Normkollektivs. Eine infiltrationserfolgsspezifische Besserung ist jedoch nicht zu beobachten.

MoPrä=Montag Präinfiltration; MoPost=Montag Postinfiltration; Diff=Differenz; SP=Standphase

3.4.4 Schwungphase (%)

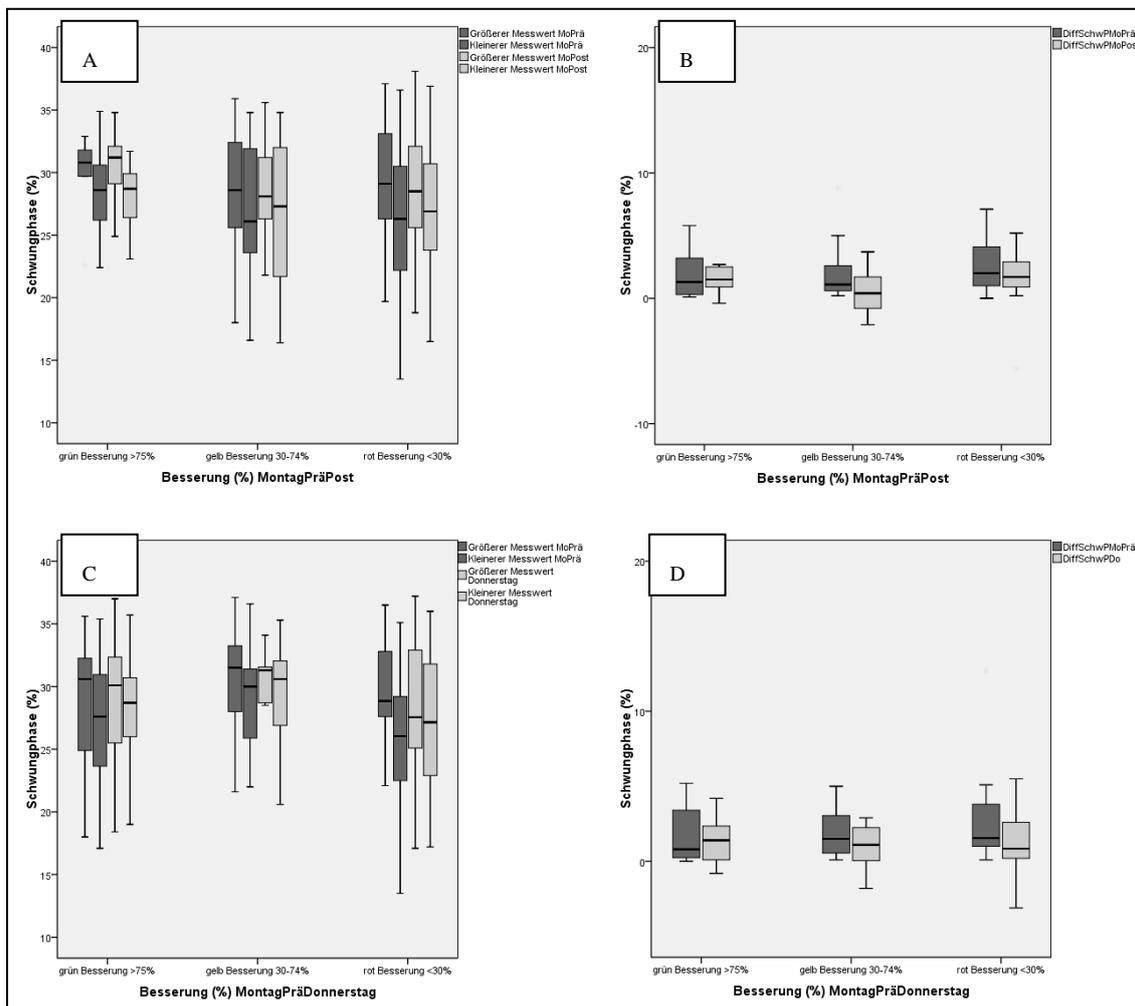


Abbildung 22: Schwungphase (%) Patientenkollektiv

Abbildung (A) zeigt die Schwungphase des Patientenkollektivs zum Zeitpunkt Montag Prä- und Postinfiltration im Vergleich sowie unterteilt in Besserungsgruppen und nach größerem und kleinerem Messwert geordnet. Boxplotdiagramm (B) zeigt die Differenzen. Diagramm (C) zeigt die Schwungphase zum Zeitpunkt Montag Präinfiltration im Vergleich mit Donnerstag vor Entlassung und in (D) sind deren Differenzen ersichtlich; Die Schwungphase im Studienkollektiv ist deutlich kürzer als beim Referenzkollektiv. Es ist keine Harmonisierung der Werte erkennbar.

MoPrä=Montag Präinfiltration; MoPost=Montag Postinfiltration; Diff=Differenz; SchwP=Schwungphase

3.4.5 Schrittweite (cm)

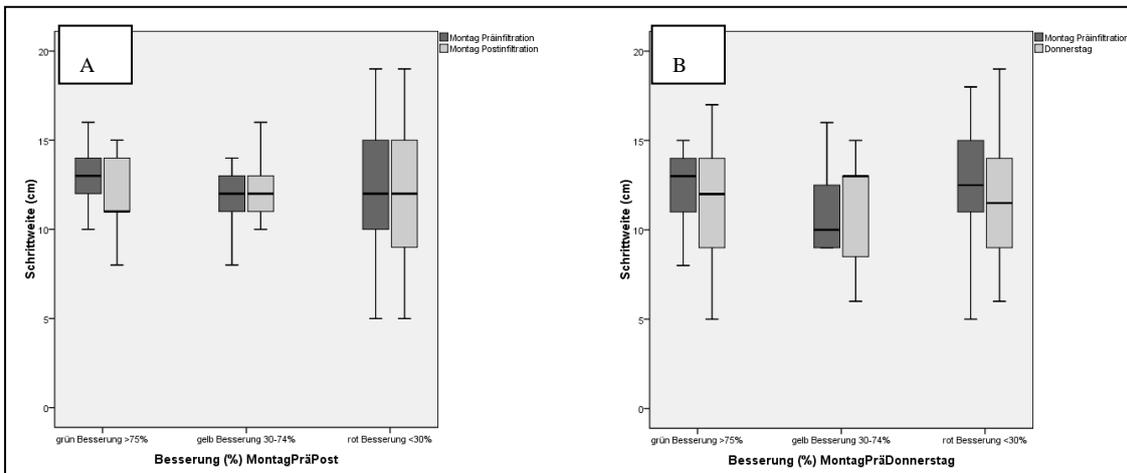


Abbildung 23: Schrittweite (cm) Patientenkollektiv

Diagramm (A) zeigt die Schrittweite des Patientenkollektivs zu den vergleichenden Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration sowie unterteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot. (B) zeigt dieses für die Zeitpunkte Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung. In der grünen Besserungsgruppe ist hier durchaus eine geringere Schrittweite nach den Infiltrationen erkennbar, im Vergleich zu den anderen Veränderungen ist dies jedoch kein besserungsgruppenspezifischer signifikanter Unterschied.

3.4.6 Kadenz (Schritte/min)

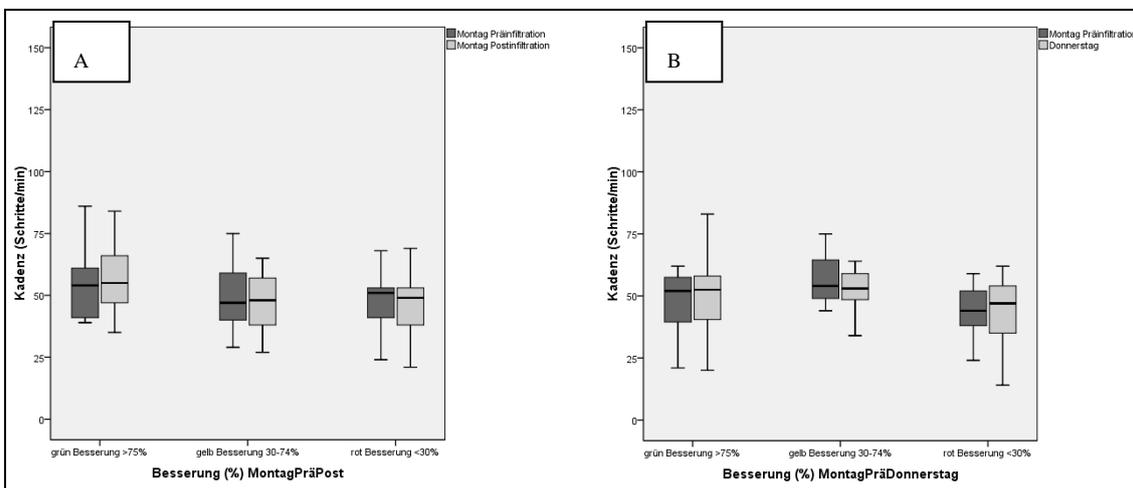


Abbildung 24: Kadenz (Schritte/min) Patientenkollektiv

In beiden Diagrammen (A) und (B) wird die Anzahl Schritte/min des Patientenkollektivs unterteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb und Rot gezeigt, in (A) zum Zeitpunkt Montag Prä- und Postinfiltration und in (B) zum Zeitpunkt Montag Präinfiltration und Donnerstag vor Entlassung. Es werden im Mittel ca. 50 Schritte/min gemacht und keine Veränderungen sind ersichtlich.

3.5 Ergebnisse der Fragebögen

3.5.1 Oswestry Disability Index

Anhand der subjektiven Einschätzung des Patienten zeigte sich, dass es eine Besserung der Beschwerden vom Zeitpunkt vor der ersten Infiltration am Montag bis zum Zeitpunkt der zweiten Messung am Ende des Aufenthaltes in der Klinik gab. Der Effekt hielt in der Grünen und Gelben Gruppe auch noch vier Wochen nach der Infiltrationstherapie an, allerdings nahmen die Beschwerden wieder zu. In der Roten Gruppe hatten die Patienten die Schmerzintensität vier Wochen nach ihrem stationären Aufenthalt sogar stärker eingestuft als am Aufnahmetag.

Unterteilt nach Geschlecht war erkennbar, dass die Beschwerden bei den männlichen Patienten nach vier Wochen im Verhältnis wieder genauso groß oder noch größer waren als vor Beginn der Stufendiagnostik, bei den Frauen nahmen die Schmerzen ebenfalls wieder zu, blieben aber im Mittel noch unter dem Level zu Studienbeginn (s. Abb. 25).

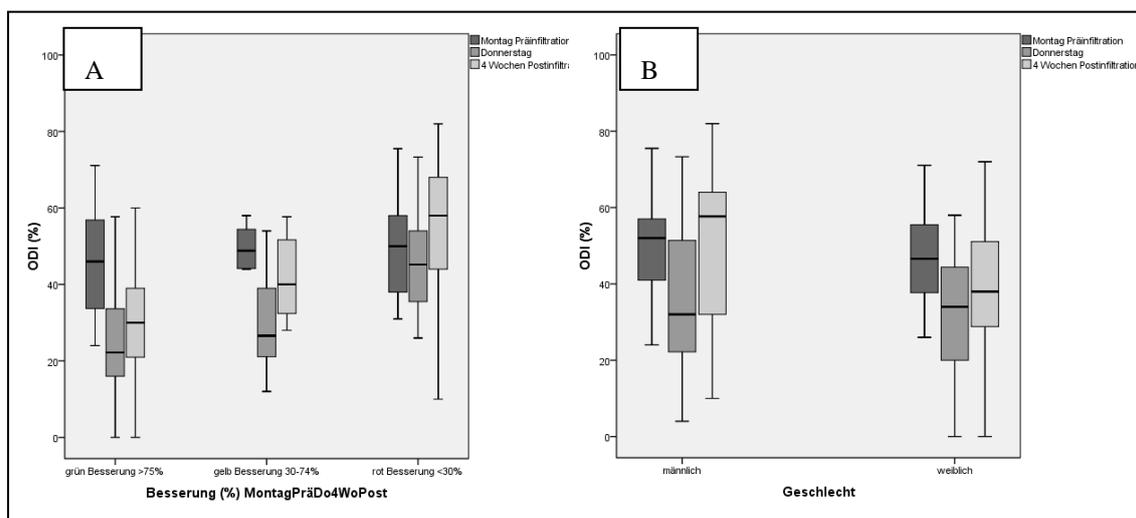


Abbildung 25: Anhalten des Infiltrationseffektes anhand des ODI

Im Boxplot Diagramm (A) sind die in Prozent umgerechneten Angaben der Patienten auf dem ODI zu den Zeitpunkten Montag vor der ersten Infiltration, Donnerstag vor Entlassung und 4 Wochen nach dem stationären Aufenthalt dargestellt. Zudem wurde das Patientenkollektiv in die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot eingeteilt. Es ist erkennbar, dass in allen drei Gruppen eine Besserung von Montag Prä-zu Montag Postinfiltration eintritt, die nach vier Wochen wieder weniger wird (Grüne und Gelbe Gruppe) oder sogar schlechter als der Anfangszustand wird (Rote Gruppe). Diagramm (B) zeigt die ODI-Angaben nach Geschlecht unterteilt zu denselben Zeitpunkten wie in (A). Es fällt auf, dass vor allem die Männer einen sehr schlechten Zustand vier Wochen Postinfiltration angeben im Vergleich zu den Frauen. In beiden Gruppen hält der Effekt der Infiltration jedoch nicht länger als vier Wochen an.

ODI=Oswestry Disability Index; MontagPräDo4WoPost= Vergleich von Montag Präinfiltration, Donnerstag und vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt

3.5.2 Roland-Morris-Score

Die Auswertung des Roland-Morris Score ergab vergleichbare Ergebnisse wie beim Oswestry Disability Index. Die beiden Gruppen mit einer Besserung von mehr als 30% empfanden eine deutliche subjektive Besserung am Ende des stationären Aufenthaltes, nach vier Wochen wurden die Schmerzen allerdings wieder stärker. In der Roten Gruppe mit wenig bis gar keiner Besserung war auch im Diagramm ersichtlich, dass die Schmerzempfindung zu allen drei Befragungszeitpunkten ähnlich war.

Nach Geschlecht getrennt war erkennbar, dass die weiblichen Patienten insgesamt ihre Schmerzen als weniger stark einstufen und die Besserung nach dem stationären Aufenthalt länger und effektiver anhielt im Vergleich zu den männlichen Patienten (s.Abb.26 B).

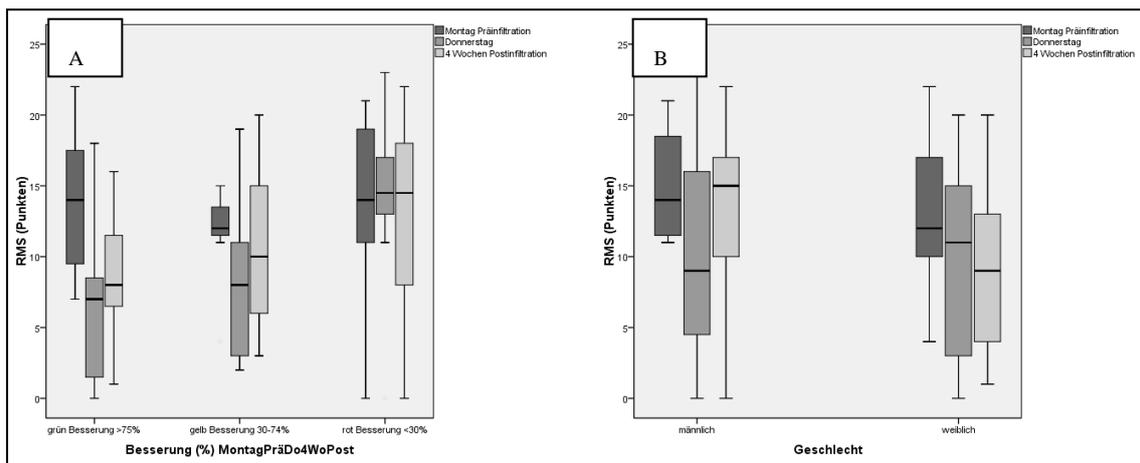


Abbildung 26: Interpretation der Infiltrationsansprache mit Hilfe des RMS

Boxplot-Diagramme des RMS stellen die Punktwerte des Patientenkollektivs unterteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb und Rot sowie zu den Zeitpunkten Montag Prä- und Postinfiltration sowie Donnerstag vor Entlassung dar. In (A) ist das gesamte Patientenkollektiv aufgeführt, in (B) ist es noch nach Geschlecht unterteilt. Die Therapieansprache in der roten Gruppe ist überhaupt nicht vorhanden und bei den Frauen scheint der Infiltrationseffekt länger anzuhalten.

RMS=Roland Morris Score; MontagPräDo4WoPost= Vergleich von Montag Präinfiltration, Donnerstag und vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt

3.6 Ergebnisse der Numerischen Rating Skala

Bei den erhobenen Daten und Auswertungen ließen sich Parallelen zu den Ergebnissen der Fragebögen ODI und RMS erkennen: in allen drei Besserungsgruppen gab es eine signifikante Verbesserung der Schmerzsenstion von Montag vor der ersten Infiltration sowohl zu Donnerstag vor Entlassung als auch vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt (s. Tabelle 15). Allerdings nahmen die Beschwerden der Patienten in allen drei Gruppen vier Wochen Postinfiltration wieder zu. In Abbildung 27 (B) ist die Korrelation von NRS und ODI im Vergleich Montag Präinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung mittels Streudiagramm gezeigt. Die Korrelation wurde bivariat mit Kendalls-tau-b berechnet und ergab einen Korrelationskoeffizienten von 0,328 (s. Tabelle 14).

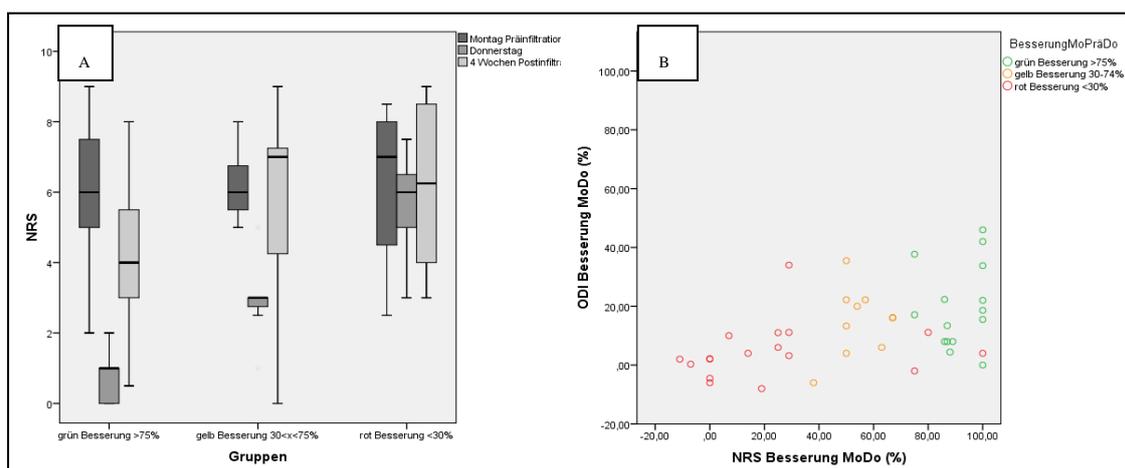


Abbildung 27: Korrelation von NRS und ODI in Bezug auf den Infiltrationseffekt

(A) Ergebnisse der Numerische Rating Skala (NRS) zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration, Donnerstag und vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt unterteilt in die Besserungsgruppen Grün, Gelb, Rot. In allen drei Gruppen kommt es am Donnerstag zu einer Verminderung der Beschwerden, die nach vier Wochen wieder zunimmt. Die Ergebnisse sind äquivalent zu denen des RMS und des ODI. (B) Bland-Altman-Plot zur Darstellung der korrelierenden Ergebnisse von NRS und ODI im Vergleich Montag Präinfiltration zu Donnerstag.

NRS=Numerische Rating Skala; ODI=Oswestry Disability Index; Mo=Montag; Do=Donnerstag; Prä=Präinfiltration

			NRSBesserungMoDo	ODIBesserungMoDo
Kendall-tau-b	NRSBesserungMoDo	Korrelationskoeffizient	1,000	0,328
		Sig. (2-seitig)		0,003
	ODIBesserungMoDo	Korrelationskoeffizient	0,328	1,000
		Sig. (2-seitig)	0,003	

Tabelle 14: Korrelation NRS und ODI

Mit einer Korrelation von 0,328 besteht eine positive Korrelation zwischen ODI und NRS.

NRS = Numerische Rating Skala, ODI = Oswestry Disability Index, Mo = Montag, Do = Donnerstag

3.7 Therapieanhalten

Der Effekt der wirbelsäulennahen Infiltrationsdiagnostik war zeitlich limitiert. Anhand der subjektiven Angaben des Patientenkollektivs war ersichtlich, dass nach einem Zeitraum von vier Wochen beim Großteil der Patienten wieder annähernd die Ausgangsschmerzstärke erreicht war.

Variable	Montag Präinfiltration	Donnerstag vor Entlassung	4 Wochen Postinfiltration	p [#]	
ODI (%)	48,8 (6,0-71,1)	26 (0,0-58,0)	29,4 (0,0-72,0)	Do-MoPrä	<0,001
				4WoPost-MoPrä	0,002
RMS (Punkte)	14,0 (0,0-22,0)	7,0 (0,0-20,0)	9,5 (0,0-20,0)	Do-MoPrä	0,001
				4WoPost-MoPrä	0,001
NRS	5,3 (0,0-9,0)	1,8 (0,0-9,0)	3,5 (0,0-8,0)	Do-MoPrä	0,001
				4WoPost-MoPrä	0,002

Tabelle 15: Signifikanztest subjektive Parameter

Signifikante Unterschiede sind fett markiert; [#] Wilcoxon-Test

ODI=Oswestry Disability Index, RMS=Roland Morris Score, NRS=numerische Ratingskala, MoPrä=Montag Präinfiltration, Do=Donnerstag vor Entlassung, 4WoPost= vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt

4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob die von den Patienten subjektiv empfundene und angegebene Besserung ihrer Schmerzsituation im Rahmen der beiden Fragebögen RMS und ODI sowie der NRS durch Rasterstereographie oder Ganganalyse objektivierbar ist.

Hierzu wurden 57 Patienten mit chronischen Rückenbeschwerden im Zeitraum von Juni 2012 bis Februar 2013 während eines mehrtägigen stationären Aufenthaltes für die Studie untersucht und diagnostisch infiltriert. Die Ganganalyse und die rasterstereographische Rückenvermessung erfolgten zweimal am Aufnahme-Tag – vor und nach der ersten Infiltration – sowie am Abend vor der Entlassung. Die Fragebögen wurden zu Beginn am Montag vor der ersten Infiltration sowie am Donnerstagabend vor Entlassung ausgefüllt. Die Infiltrationen und Befragungen zur prozentualen Beschwerdebesserung erfolgten täglich. Vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt erhielten die Patienten erneut die beiden Fragebögen RMS und ODI sowie die NRS zugeschickt.

Trotz vieler Patienten mit einem guten Ansprechen auf die Infiltrationen und einer großen Verbesserung ihrer Beschwerden, konnte mit der Rasterstereographie nur der Kyphosewinkel VP-T12 (°) als einziger Messwert mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten erfasst werden. Auch die Aufteilung des Patientenkollektivs in Subgruppen mit sehr guter (Grün), guter (Gelb) und geringer (Rot) Therapieansprache und der Fokussierung auf die Ergebnisse aus der Grünen Gruppe ergaben keine weiterführenden Informationen. Im Rahmen der Ganganalyse wurden signifikante Unterschiede bei einigen Parametern im Vergleich von Montag Präinfiltration zu Montag Postinfiltration nachgewiesen. Allerdings korrelierten die Veränderungen in Rasterstereographie und Ganganalyse nicht mit den subjektiven Angaben der Patienten, eine individuelle Beurteilung der Besserung anhand der gesehenen objektivierbaren Veränderungen erscheint nicht möglich. Auffallend ist insgesamt jedoch das deutlich veränderte Haltungs- und Gangbild im Vergleich mit dem Referenzkollektiv.

Nachfolgend werden die Messergebnisse der Rasterstereographie und der Ganganalyse mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen und Fehlerquellen diskutiert.

4.1 Rasterstereographie – Studienergebnisse im Vergleich mit der vorhandenen Literatur und mögliche Fehlerquellen

Veränderungen der Wirbelsäule und ihrer benachbarten Strukturen im Röntgenbild auf eine Schmerzwahrnehmung zu projizieren ist schwierig, da meist multisegmentale Veränderungen vorliegen und kein unmittelbarer Rückschluss über die hiervon verursachten Beschwerden möglich ist. Viele Personen mit morphologischen Veränderungen in der MRT oder im Röntgenbild haben keinerlei Rückenbeschwerden oder physische Einschränkungen. Andersherum reichen oftmals minimale Veränderungen des muskuloskelettalen Systems Wirbelsäule aus, um starke Schmerzen zu verursachen. Zudem gibt es keine einheitliche Definition einer normalen Haltung und daher variieren auch die Parameter innerhalb eines Referenzkollektivs bei beschwerdefreien Probanden stark.

Der intrapopuläre Vergleich der Messergebnisse zu den verschiedenen Messzeitpunkten Montag Präinfiltration, Montag Postinfiltration und Donnerstag vor Entlassung ergab im Studienkollektiv nur einen signifikanten Unterschied im Rückenprofil: der Messwert Kyphosewinkel VP-T12 ($^{\circ}$) von Montag Prä- zu Montag Postinfiltration verringerte sich um im Median $2,5^{\circ}$ ($p = 0,032$). Die weiteren erhobenen rasterstereographischen Werte Rumpflänge, Rumpfeigung, Lotabweichung, Seitabweichung +max, Seitabweichung -max und der Lordosewinkel wiesen weder im Vergleich von Montag Prä- zu Montag Postinfiltration, Montag Präinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung noch von Montag Postinfiltration zu Donnerstag vor Entlassung signifikante Unterschiede auf. Bei der geschlechterspezifischen Auftrennung der Werte ergaben sich weder bei Frauen noch bei Männern signifikante Unterschiede der Messwerte zwischen den Messzeitpunkten. Interessant für die Suche nach einer möglichen Ursache für das Ausbleiben einer fassbaren Änderung des Rückenprofils im Rahmen dieser Studie ist der Umstand, dass es einen Unterschied in Abhängigkeit des Patientenalters zu geben scheint: Wiesen ältere Patienten oberhalb des Medianwertes des Alters (69 Jahre) gar keine signifikanten Veränderungen der Messwerte auf, zeigten sich hier bei den jüngeren Patienten signifikante Unterschiede der Rumpflänge VP-DM (mm) im Vergleich Montag Präinfiltration zu Donnerstag ($p=0,023$) und Montag Postinfiltration zu Donnerstag ($p=0,016$). Weiterhin ist in dieser jüngeren Gruppe der Kyphosewinkel im Vergleich Montag Prä- und Postinfiltration signifikant verringert ($p=0,014$) was sich in einer geringeren Brustwirbelsäu-

lenkyphose äußert. Es ist die Veränderung in dieser Gruppe, die auch für den beobachteten Unterschied im Gesamtkollektiv verantwortlich ist.

Der Messwert der Rumpflänge VP-DM (mm) erscheint als hinweisender Parameter für eine Verbesserung der Schmerzsituation der Patienten als ungeeignet, da sich die Länge der Wirbelsäule im Verlauf eines Tages aufgrund des abnehmenden Wassergehaltes in den Bandscheiben bereits von selbst verringert. Das erklärt das Ergebnis der Abnahme der Rumpflänge von Montag Prä- zu Postinfiltration. Die geringfügige „Verlängerung“ der Rumpflänge am Donnerstag vor Entlassung um im Mittel 1,7mm kann durch Haltingvarianzen beeinflusst sein. Aufgrund der Tatsache, dass im Rahmen dieser Studie für die Vermessung des Rückens statische Aufnahmen gemacht wurden, spielen Haltingvarianzen eine erhebliche Rolle. Durch die Aufnahme von beispielsweise 3-5 Aufnahmen pro Patient pro Messdurchgang hätten die Werte gemittelt werden können, wodurch äußere Einflüsse wie Ein- und Ausatmung minimiert worden wären. Da bereits vierdimensionale dynamische Geräte auf dem Markt verfügbar sind, können Haltingvarianzen durch die Aufnahme einer Messserie ausgeglichen werden. Es konnte gezeigt werden, dass gemittelte Ergebnisse aus einer Serie von Einzelmessungen genauer als eine Einzelmessung sind und eine statistisch höhere Zuverlässigkeit haben (Drerup et al., 2001). Bei der bestehenden Situation von einem Einzelbild pro Patient pro Messdurchgang müssen daher oben genannte Fehlerquellen berücksichtigt werden. Die Schwierigkeit liegt dabei darin, dem Patienten einerseits so wenig wie möglich Vorgaben hinsichtlich seiner Haltung zu machen um die natürliche Position zu erfassen. Dazu zählen der hüftbreite Stand an einer markierten Linie auf dem Fußboden und der Blick geradeaus auf die Wand (Drerup et al., 2001). Weitere mögliche kontrollierbare Parameter, zu denen die Patienten jedoch in der aktuellen Studie keinerlei Anweisungen erhielten, wären eine kontrollierte Ein- und Ausatmung, locker hängende Arme oder ein leicht nach vorne geneigter Kopf zur besseren Darstellung von VP gewesen.

Der Kyphosewinkel VP-T12 ($^{\circ}$) ist ebenfalls haltungsabhängig. Je aufrechter die Haltung des Oberkörpers desto geringer wird die Brustkyphose und es kommt automatisch zu einem verkleinerten Kyphosewinkel. Eine aufrechte Haltung wird durch Rückenschmerzen oftmals vernachlässigt, da eine schonhaltungsbedingte Kyphosierung die Abstände der meist schmerzverursachenden kleinen Wirbelgelenke sowie auch des dorsa-

len Bandscheibenzwischenraumes vergrößert. Die signifikante Abnahme des Kyphosewinkels von Montag Präinfiltration mit im Mittel 48,08 ($\pm 14,52$)° zu Montag Postinfiltration mit im Mittel 46,73 ($\pm 11,67$)° bis hin zu Donnerstag vor Entlassung mit im Mittel 45,79 ($\pm 11,35$)° könnte einen Hinweis auf ein geringeres Beschwerdepotential geben.

Der Vergleich von Patienten- und Referenzkollektiv ergab einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) des Messwertes Rumpfneigung VP-DM (°). Hier lag eine Differenz von fast 3° vor. Das Patientenkollektiv wies dabei eine positive verstärkte Rumpfneigung nach vorne im Vergleich zum Referenzkollektiv auf. Ursächlich hierfür können Bandscheibendegenerationen, osteoporotisch veränderte Wirbelkörper die zu Sinterungsfrakturen neigen und eine insuffiziente Muskulatur sein (Rössler & Rüter, 2005). Die übrigen erhobenen Messparameter wiesen keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Vergleichskollektiven auf.

Rasterstereographische Werte für ein Normkollektiv bestehend aus 51 Freiwilligen ohne muskuloskelettale Beschwerden, Tätowierungen und extreme Körperbehaarung mit einem Altersmedian von 24,6 ($\pm 5,58$) Jahren, einer mittleren Größe von 1,74 ($\pm 0,1$) m und einem mittleren Gewicht von 74,76 ($\pm 18,06$) kg wurden von Mohokum et al. 2010 untersucht. Die Parameter Kyphosewinkel VP-T12 (°), Lordosewinkel T12-DM (°) und Rumpflänge VP-DM (mm) wurden von drei verschiedenen geschulten Untersuchern jeweils dreimal pro Proband hintereinander am selben Tag gemessen. Zudem ergab sich daraus eine hohe Test-Retest Reliabilität von $> 0,9$ (Cronbach α) für das Messverfahren mittels Rasterstereographie. In Tabelle 16 sind die Mittelwerte der o.g. Rasterstereographieparameter von Mohokum et al. sowie des eigenen Referenzkollektivs aufgeführt.

Variable	Referenzkollektiv Mohokum et.al.2010	Normkollektiv Studie
Kyphosewinkel VP-T12 (°)	44,07 ($\pm 8,73$)	45,62 ($\pm 10,92$)
Lordosewinkel T12-DM (°)	34,16 ($\pm 7,96$)	32,40 ($\pm 11,58$)
Rumpflänge VP-DM (mm)	461,87 ($\pm 35,06$)	445,19 ($\pm 31,54$)

Tabelle 16: Rasterstereographieparameter Normkollektive im Vergleich

Vergleich der Rasterstereographiewerte des Normkollektivs dieser Studie mit einem Normkollektiv aus der Studie von Mohokum et.al (2010).

VP=Vertebra prominens, T12=12.Thorakalwirbel, DM=Mitte der Lumbalgrübchen

Auch Schröder et al. vermaß in seiner Studie eine Kontrollgruppe und ein mittlerer Kyphosewinkel von $48 (\pm 9)^\circ$ wurde ermittelt (2011). 177 beschwerdefreie Personen mit einer Geschlechterverteilung von 89 weiblichen und 88 männlichen Probanden und einem mittleren Alter von $26,4 (\pm 4,5)$ Jahren bei den Frauen und $27,7 (\pm 4,4)$ Jahren bei den Männern nahmen dazu an der Studie teil. Ob die Personen von unterschiedlichen Untersuchern vermessen wurden und wie oft die Messungen durchgeführt wurden, ist nicht erläutert. In dieser Studie waren die Probanden des Referenzkollektivs signifikant jünger als die Patienten ($p < 0,001$). In beiden Studien, die zum Vergleich herangezogen wurden, waren die Teilnehmer für das Referenzkollektiv signifikant jünger als die Personen die für das Normkollektiv dieser Studie vermessen wurden. In Relation zur Studie von Mohokum et al. war das Referenzkollektiv auch signifikant kleiner wodurch sich der Unterschied in der Rumpflänge erklären lässt.

Bei Patienten mit Adipositas, starker Behaarung, ausgeprägtem Muskelrelief, Tätowierungen oder dunkler Hautfarbe kann es zu Schwierigkeiten bei der automatischen Fixpunkterkennung kommen (Asamoah et al., 2000). Im Falle der Nichterkennung der anatomischen Landmarken durch die Analysesoftware müssen die Fixpunkte (VP, DL, DR, SP) vom Untersucher eigenständig festgelegt werden, damit eine Berechnung der Parameter erfolgen kann. Trotz Unterweisung durch einen Mitarbeiter der Firma DIERS muss hier eine Fehlerquelle durch die selbständige Festsetzung der Fixpunkte, die in mehr als einem Fall notwendig war, gesehen werden. Mohokum et al. haben die Auswirkung des BMI auf die automatische Zuordnung der Fixpunkte getestet und keinen signifikanten Unterschied feststellen können, wohl haben sie aber für die freiwilligen Teilnehmer der Studie Tätowierungen, starke Körperbehaarung und stark definierte Muskeln als Ausschlusskriterien angegeben (2010). Im Rahmen dieser Studie wurde kein Proband mit Tätowierungen, dunkler Hautfarbe oder stark definierten Muskeln vermessen. Adipöse Patienten gehörten jedoch zum Patientenkollektiv dazu. Dabei wurden häufiger die Fixpunkte vom System nicht erkannt und mussten vom Untersucher festgelegt werden.

Drerup et al fertigte für seine Studie 500 Rasterstereographieaufnahmen von 75 Patienten an und in über 96% der Fälle wurden alle anatomischen Landmarken VP, DL, DR und SP korrekt aufgefunden und die Reproduzierbarkeit der Fixpunktlokalisierung lag

bei 1,3 (± 1)mm für VP, DL und DR(1987). Die Definition des Sakrumpunktes stellte sich aufgrund der sehr hohen Konkavkrümmung im Bereich der Rima ani als am schwierigsten und daher ungenauesten dar (Drerup & Hierholzer, 1987).

Trotz einiger signifikanter Unterschiede sowohl intrapopulär als auch im Vergleich mit dem Referenzkollektiv konnte kein rasterstereographischer Parameter definitiv und mit Sicherheit bestimmt werden, der für eine relevante Haltungsänderung in Bezug auf die Beschwerdefreiheit zutrifft. Bei der altersspezifischen Auftrennung der gemessenen Parameter fiel auf, dass sich bei den jüngeren Patienten Veränderungen von Rumpflänge und Kyphosewinkel zeigten, bei den älteren Probanden jedoch keine relevanten Änderungen nachgewiesen werden konnten. Ein denkbarer Grund könnte dafür die bereits bestehende Dauer der Schmerzzustände sein. Möglicherweise benötigen die älteren Patienten, deren chronischen Beschwerden bereits seit Jahren bestehen einen längeren Zeitraum, um nachweisbare Veränderungen in Haltung und Gang zu erreichen. Fehlhaltungen die über Jahre bestehen, kann der Körper nicht in einem Zeitraum von wenigen Tagen ablegen.

4.2 Ganganalyse – wie entscheidend ist der Gewöhnungseffekt?

Das Gangbild in dieser Studie wies im Vergleich zum Referenzkollektiv ausgeprägte Pathologien auf. In Abhängigkeit der vom Patienten subjektiv empfundenen Schmerzreduktion wurde jedoch keine Besserung der ganganalytischen Parameter gesehen. Die Beschwerden schränken den Schmerzgeplagten in seinem normalen Gangrhythmus ein und verursachen eine behinderte Lokomotion. Khodadadeh et al. stellten die Behauptung auf, dass jeder Patient mit chronischen Rückenschmerzen einen signifikant unnatürlichen, krankhaften Gang aufweist (1993). Diverse Autoren in der Literatur vertreten die Ansicht, dass die Funktion der Wirbelsäule untrennbar mit dem Gangmuster verbunden ist und sie gegenseitig aufeinander Einfluss nehmen (Khodadadeh & Eisenstein, 1993; Simon et al., 2015).

Der Gang auf einem Laufband unterscheidet sich deutlich vom Gehen auf ebenem Untergrund. Ein gesunder Mensch ohne Beschwerden im Rücken- oder Beinbereich kann den habituellen Gang nicht in derselben Weise von seinem gewohnten Terrain auf das

Laufband übertragen. Die vorgegebene Breite und das Anlaufen gegen eine entgegengesetzt gerichtete Kraft benötigt Konzentration, Gleichgewicht und eine notwendige Eingewöhnungszeit. Bei Patienten mit Beschwerden im Rücken oder in den Beinen oder mit einer Kombination aus beidem könnte dieser Effekt verstärkt sein, da selbst das Gehen auf gewohntem Untergrund für viele unter Schmerzen eine Herausforderung darstellt. Außerdem beeinflussen Wirbelsäulenveränderungen das natürliche Gleichgewicht beim Gehen (Simon et al., 2015). Um einen sicheren Gang zu ermöglichen liefen die Patienten barfuß und mit einer selbst gewählten Geschwindigkeit. Eine einheitlich vorgegebene Geschwindigkeit zur besseren intrapopulären Vergleichbarkeit war aufgrund der diversen physischen Konstitutionen der Studienteilnehmer nicht durchführbar. Die individuell gewählte Geschwindigkeit eines Probanden wurde jedoch zu allen Messzeitpunkten beibehalten. In der Literatur wurde die Durchführung einer Ganganalyse häufig barfuß und mit einer selbst gewählten Geschwindigkeit der Probanden beschrieben (Barzilay et al., 2016; Khodadadeh & Eisenstein, 1993; Stief et al., 2015).

Die Werte für Geschwindigkeit, Kadenz, Stand- und Schwungphase sowie die Schrittlänge waren im Vergleich von Patienten- und Normkollektiv im Rahmen dieser Studie alle signifikant unterschiedlich. Einzig die Fußrotation und die Schrittweite wiesen ähnliche Werte zwischen den beiden Studiengruppen auf. Bei der Analyse der Parameter innerhalb des Patientenkollektivs zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten gab es einen signifikanten Unterschied der Schrittweite zu den Zeitpunkten Montag Präinfiltration und Montag Postinfiltration im Vergleich sowie in der Kadenz von Montag Prä- zu Montag Postinfiltration. Bei den beidseits vorliegenden Parametern Fußrotation, Schrittlänge, Standphase und Schwungphase ist der größere Messwert der Standphase von Montag Präinfiltration zu Montag Postinfiltration signifikant unterschiedlich. Khodadadeh et al. beschrieben bereits, dass Patienten mit chronischen Rückenschmerzen sich im Vergleich zu gesunden Probanden mit einer geringeren Geschwindigkeit fortbewegten, eine verminderte Kadenz aufweisen sowie eine verlängerte Stand- und Schwungphase im Gangzyklus vorherrsche (1993). Diese Ergebnisse fanden sich auch in mehreren weiteren Studien (Lamoth et al., 2006; Simmonds et al., 2012; Vogt et al., 2003), welche damit die Ergebnisse die in dieser Studie gewonnen wurden unterstützen. Andriacchi et al. sowie Andersson et al. spezifizierten, dass die Geschwindigkeit Auswirkungen auf viele ganganalytische Parameter hat und diese sich durch Veränderungen der Ge-

schwindigkeit ebenfalls verändern. Damit nimmt der Parameter Geschwindigkeit eine Schlüsselrolle ein und die davon abhängigen Parameter müssen immer in Relation dazu gesehen und interpretiert werden (Andersson et al., 1981; Andriacchi et al., 1977). Kramers-de Quervain et.al veröffentlichte 2008 Normwerte für die physiologische freie Ganggeschwindigkeit und Kadenz von Erwachsenen. Demnach liegt die mittlere freie Ganggeschwindigkeit bei 1,2-1,5m/sec und die Anzahl der Schritte/min bei 105-130. Zudem wird in der Publikation beschrieben, dass eine Kadenz von weniger als 80 Schritten/min einen flüssigen und symmetrischen Gang schier unmöglich macht und pathologische Verhaltensmuster wie Hinken oder Stehenbleiben zwangsläufig auftreten (Kramers-de Quervain et al., 2008).

In unserer Studie lief das Patientenkollektiv im Mittel 1,3km/h auf dem Laufband, was umgerechnet 0,36m/sec entspricht. Das Normkollektiv lief im Vergleich dazu im Mittel 2,5km/h auf dem Laufband, was umgerechnet 0,7m/sec entspricht. Eine Fehlerquelle dieser Studie könnte darin liegen, dass keine standardisierte Geschwindigkeit festgelegt wurde, da die Patienten unterschiedliche Beschwerden hatten und keine einheitliche Geschwindigkeit zu laufen im Stande waren. Einige Patienten hatten die Schmerzen nur im Rückenbereich, bei anderen handelte es sich um reine Ischialgien oder eine Kombination aus beidem (Lumboischialgie). Daher wurden Abstufungen der Geschwindigkeiten von 0,5km/h von 0,5-3km/h für die Patienten angewendet und dann für jeden Patienten die individuelle Geschwindigkeit während der gesamten Studie beibehalten. Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit ergab sich auch eine sehr niedrige Kadenz beim Patientenkollektiv von im Mittel 50 Schritten/min. Die Kadenz des Normkollektivs lag mit im Mittel 87 Schritten/min nur knapp über der „Grenze“ von 80 Schritten/min, die für einen physiologischen und flüssigen Gang laut Kramers-de Quervain gefordert wird. Eine Erklärung für diese geringe Kadenz im Normkollektiv könnte die ungewohnte Situation auf dem Laufband sein, da die freiwilligen Probanden ohne vorherige Übung zur Ganganalyse auf dem Laufband untersucht wurden.

In der klinischen Studie von Kalron et al. (2013) wurde mit Patienten, die an Multipler Sklerose litten, und einem Kontrollkollektiv aus gesunden Probanden eine Ganganalyse durchgeführt. Es handelte sich um 87 Patienten mit einer Geschlechterverteilung von 50 weiblichen und 37 männlichen Teilnehmern bei einem mittleren Alter von 40,9 ($\pm 11,9$)

Jahren sowie einem Referenzkollektiv bestehend aus 25 Probanden (14 Frauen, 11 Männer) mit einem Altersmittelwert von 38,5 ($\pm 9,4$) Jahren. Die Studienteilnehmer liefen alle barfuß und mit einer selbstgewählten Geschwindigkeit für 1 Minute. Hierbei ergab sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der Geschwindigkeit zwischen Patienten- und Referenzkollektiv, wobei das Normkollektiv im Mittel mit 3,5km/h deutlich schneller lief als das Normkollektiv in dieser Studie (2,5km/h). Auch die Kadenz war sowohl im Patienten- als auch im Kontrollkollektiv der vergleichbaren Studie mit 94,4 bzw. 101,1 Schritten/min höher als in dieser Studie und entsprach in etwa den Angaben von Kramers-de Quervain. Parameter wie die Schrittlänge und die Kadenz korrelieren mit der Ganggeschwindigkeit wodurch diese einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse liefert. Je schneller man läuft, desto mehr Schritte werden pro Minute produziert und desto größer wird die Schrittlänge, um die Geschwindigkeit aufrechtzuerhalten. Dies muss bei der vergleichenden Betrachtung Berücksichtigung finden.

Die Schrittweite (cm) des Patientenkollektivs vermindert sich von Montag Präinfiltration mit im Mittel 12,4 ($\pm 3,1$)cm auf im Mittel 12,07 ($\pm 3,4$)cm am Montag Postinfiltration bis zu im Mittel 11,65 ($\pm 3,7$)cm am Donnerstag vor Entlassung. Die Unterschiede von 0,33cm bzw. 0,75cm sind nicht signifikant, allerdings nähern sich die Werte den Werten des Referenzkollektivs an.

Das normale Verhältnis von Stand- zu Schwungphase beträgt in etwa 62% zu 38%. (Kramers-de Quervain et al., 2008). Das Patientenkollektiv weist im Verhältnis zum Normkollektiv im Mittel eine signifikant längere Stand- und signifikant kürzere Schwungphase auf. Eine längere Standphase des gesunden gegenüber dem kranken Bein äußert sich als schmerzbedingtes Hinken, da die kranke Seite durch die längere kontralaterale Standphase entlastet wird. In der Studie wurden die ganganalytischen Parameter nicht in rechte und linke Seite unterteilt, da statistisch gesehen prozentual gleich viele Probanden Rechts- wie Linkshinker sind und sich die Werte im Mittel gegeneinander aufsummiert hätten. Durch die Aufteilung in größeren und kleineren Wert ist trotzdem erkennbar, dass im Patientenkollektiv sowohl eine verlängerte Standphase vorliegt und passend dazu eine verkürzte Schwungphase. Insofern zeigt sich im Patientenkollektiv eine pathologische Veränderung des Gangzyklus. Barzilay et al. beschreiben in ihrer Studie eine signifikante Verbesserung aller gemessenen Gangparameter im

Vergleich vor Beginn der „AposTherapy“ sowie nach 3 und 6 Monaten. Dabei handelt es sich um Schuherhöhungen, die Patienten mit Knie- oder Hüftbeschwerden sowie chronischen Rückenschmerzen nichtinvasiv helfen sollen. Geschwindigkeit, Kadenz und Schrittlänge haben nach einer Behandlungszeit von 6 Monaten mit täglichem Training zugenommen (2016). Vergleichbare Ergebnisse wurden auch in der retrospektiven Studie von Elbaz et al. beschrieben (Elbaz et al., 2009).

Bei allen oben aufgeführten Studien wurde die Ganganalyse bei Patienten im Rahmen vor und nach einer chirurgischen oder konservativen Therapie durchgeführt und die ermittelten Ergebnisse wurden dann miteinander verglichen. Die hier durchgeführte Studie beschreibt diagnostische Infiltrationen und kein therapeutisches Vorgehen mit dem Ziel einer permanenten Verbesserung der Schmerzsituation. Die ganganalytischen Parameter im Rahmen dieser Studie wurden innerhalb weniger Tage erhoben und die Messzeitpunkte lagen zeitlich sehr nah beieinander. Der Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Studien, welche Vergleichsmessungen erst nach Monaten oder Jahren durchführten, ist daher nur bedingt möglich. Es konnten zwar auch innerhalb der kurzen Zeitdifferenz signifikante Veränderungen zwischen den Messzeitpunkten festgestellt werden, diese korrelierten jedoch nicht mit den subjektiv empfundenen Veränderungen der Patienten. Ein möglicher Erklärungsversuch für dieses Ergebnis könnte der Umstand sein, dass für eine Aufhebung der zum Teil über Jahre antrainierten Schonhaltungen und chronischen Schmerzzustände ein Zeitraum von nur wenigen Tagen nicht ausreicht. Selbst bei vollständiger Schmerzfreiheit bewegt man sich nach jahrelangen Beschwerden nicht plötzlich ganz anders, der gesamte Bewegungsapparat muss sich an die durch degenerative Veränderungen beeinflusste Form der Wirbelsäule, der Bandscheiben und eventuell ausgebildeter Spondylophyten gewöhnen sowie Schonhaltungen ablegen, verkürzte Muskeln müssen aufgedehnt werden, insuffiziente Muskulatur auftrainiert – dafür ist ein monate- bis jahrelanges Rehabilitationstraining erforderlich. Eine erneute Messung nach einem Zeitraum von beispielsweise 3, 6 oder 12 Monaten wäre jedoch nicht im Sinne der Fragestellung sinnvoll gewesen, da der analgetische Effekt der diagnostischen Infiltrationen nur über eine begrenzte Zeit andauert.

4.3 Zeitlich begrenzte Dauer des diagnostischen Infiltrationseffektes

Die Studienteilnehmer füllten vier Wochen nach ihrem stationären Aufenthalt nochmals die ihnen zugeschickten Fragebögen Roland Morris Score und Oswestry Disability Index sowie die Numerische Rating Skala aus und schickten sie an die Klinik zurück. Dadurch erfolgte eine weitere Dokumentation der aktuellen Schmerzsituation und die Dauer des diagnostischen Infiltrationseffektes wurde geprüft. Die Rücklaufquote lag bei 68,4%. Der Großteil der Studienteilnehmer gab eine zunehmende Wiederkehr der Beschwerden im Vergleich zum Zeitpunkt der Entlassung an, jedoch bestand immer noch ein signifikanter Unterschied zum Zeitpunkt vor Beginn der Stufendiagnostik.

Die Dauer des Infiltrationseffektes ist unter anderem abhängig von der injizierten Menge an Corticosteroid und Anästhetikum. Theodoridis (2007) behauptete, dass aufgrund der verminderten Erregbarkeit der Nerven durch das Lokalanästhetikum eine Infiltrationsserie von 6-12 Infiltrationen an aufeinander folgenden Tagen immer an derselben Stelle zu einer dauerhafteren Schmerzminderung führen kann. Da es sich im Rahmen dieser Studie um diagnostische und keine therapeutischen Infiltrationen handelte, wurde die injizierte Menge an Anästhetikum und Corticosteroid so gering gewählt, dass der Effekt der Schmerzlinderung auftritt um die Schmerzursache zu identifizieren. Eine längerfristige Schmerzfreiheit war dabei jedoch nicht das Ziel, vielmehr sollte auch am Folgetag eine erneute Infiltration mit diskriminativer Aussagekraft möglich sein.

Linhardt et al. führten im Jahr 2007 eine Studie mit 61 Patienten durch, welche für 10 Tage im Rahmen einer minimalinvasiven Injektionstherapie stationär aufgenommen wurden. Der Großteil der Studienteilnehmer (75%) wies Bandscheibenvorwölbungen und -vorfälle mit radikulärer Symptomatik auf. Die subjektiven Beschwerden der Studienteilnehmer wurden mittels VAS und Verwendung des ODI ermittelt. In der Studie ergaben sich vor Beginn der Therapie eine durchschnittliche VAS von 6,9 ($\pm 1,7$) und ein ODI von 46,4 ($\pm 17,0$)%. Bei der Nachuntersuchung der Studie von Linhardt et.al, die durchschnittlich 14,5 Monate nach der Therapie erfolgte, gaben die Patienten einen signifikant niedrigeren ODI-Wert von im Mittel 33,9 ($\pm 21,7$)% und einen ebenfalls signifikant verringerten VAS-Wert von im Mittel 4,9 ($\pm 3,0$) an.

Im Vergleich zur eigenen Studie war die Größe des Studienkollektivs vergleichbar und die Verfahren zur Erfassung der subjektiven Beschwerden waren ähnlich. Die Zeitpunkte der Nachuntersuchung lagen im Rahmen dieser Studie bei wenigen Tagen bis Wochen und sind daher nicht mit den Werten aus der Studie von Linhard et.al, die nach 14,5, Monaten durchgeführt wurden, in Vergleich zu setzen. Das Beschwerdebild unterscheidet sich ebenfalls, da die Probanden dieser Studie unspezifische Rückenschmerzen aufwiesen, deren Beschwerden nicht mit den morphologischen Veränderungen in der MRT korrelierten. Bei der eigenen Studie handelt es sich zudem im Gegensatz zu der o.g. Studie nicht um ein infiltratives Therapieverfahren sondern es wurden diagnostische Infiltrationen durchgeführt. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist insofern nicht sinnvoll. Es ist jedoch interessant zu sehen, dass der Effekt von therapeutischen Infiltrationen sogar über mehr als 1 Jahr hinweg anhalten kann. Das Ziel der diagnostischen Infiltrationen war es herauszufinden, welche Regionen und Bestandteile der Wirbelsäule eines individuellen Patienten auf die Infiltration reagieren oder eben nicht um dadurch den unsicheren Ausgangsbefund einem spezifischen Krankheitsbild zuordnen zu können. Im Anschluss ist eine Infiltrationstherapie, wie sie in der oben erläuterten Studie durchgeführt wurde, eine Möglichkeit zur längerfristigen Schmerzminderung oder alternativ ein operativer Eingriff ein Weg zu einer möglichen dauerhaften Schmerzfreiheit.

4.4 Geschlechterspezifische Ansprache auf die Infiltrationen

Ein Vergleich von Männern und Frauen in Bezug auf ihre Ansprache auf die Infiltrationen ergab, dass prozentual mehr weibliche Patienten eine bessere Ansprache aufwiesen als die Männer. Sowohl zum Zeitpunkt Montag nach der ersten Infiltration als auch zum Zeitpunkt am Donnerstag vor Entlassung bewertete sich der Großteil der männlichen Patienten mit einer geringen Besserung von weniger als 30% und wurde damit der Roten Gruppe mit geringer Therapieansprache zugeordnet. In der Auswertung der Fragebögen nach Geschlecht war erkennbar, dass die Beschwerden der männlichen Patienten vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt die Ausgangsschmerzstärke nicht nur wieder erreichten, sondern dass die Beschwerden teilweise größer waren als zu Beginn

der Stufendiagnostik. Das Alter der weiblichen und männlichen Studienteilnehmer zeigte keinen signifikanten Unterschied und kann nicht als mögliche Ursache für die geschlechterspezifische Infiltrationsansprache gesehen werden. Allerdings wurden Unterschiede in Größe und Gewicht gefunden, die Männer des Patientenkollektivs waren signifikant größer und schwerer als die Frauen. Da sowohl die Haltung als auch die Fortbewegung mit Größe und Gewicht in Korrelation stehen, könnten diese beiden Parameter die Ansprache auf die Infiltrationen beeinflusst haben.

Fillingim et al. zufolge haben Frauen eine höhere Prävalenz für Rückenschmerzen ohne jedoch ein erhöhtes Risiko für eine nachfolgende Chronifizierung aufzuweisen. Ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen in Bezug auf die Schmerzintensität konnte nicht nachgewiesen werden, jedoch ist sowohl der Schwellenwert als auch die Toleranzschwelle für Schmerzen bei Frauen niedriger als bei Männern (Fillingim et al., 2009). Im Rahmen des Placebo-Effektes wurde kein geschlechterspezifisch signifikanter Unterschied in der Literatur gefunden.

Die erfolgreiche Schmerzlinderung im Rahmen der diagnostischen Infiltrationen ist abhängig vom Ausgangsbefund. Je nach Komplexität und Umfang der chronisch degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule ist eine unterschiedlich hohe Wahrscheinlichkeit des Infiltrationserfolges gegeben. Je mehr Segmente betroffen sind und je mehr verschiedene Strukturen degenerative Veränderungen aufzeigen desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Schmerzen nur teilweise und nicht vollständig gelindert bzw. behoben werden können. Schmerz ist eine Empfindung, die von jedem Individuum in unterschiedlicher Intensität empfunden wird und nicht messbar ist (Khodadadeh & Eisenstein, 1993). Die empfundenen Beschwerden und physischen Einschränkungen bestehen oftmals trotz erfolgreicher Behandlung fort, da eine jahrelange Summierung und antrainierte Haltungsveränderungen damit einhergehen (Barzilay et al., 2016). Es wurde innerhalb der Studie nicht geklärt, seit welchem Zeitraum die Beschwerden der Patienten bereits bestanden. Es wäre möglich, dass der Großteil der Männer die Schmerzzustände bereits seit längerer Zeit ertrugen als die Frauen, ebenso besteht die Überlegung, dass die männlichen Probanden ursächlich multimodale Veränderungen aufwiesen im Vergleich zu den weiblichen Studienteilnehmern. Auch die signifikant größere Größe und das schwerere Gewicht wären mögliche Erklärungsansätze.

4.5 Studienlimitation

Bei der Rasterstereographie und der Laufbandanalyse handelt es sich um reliable, valide und präzise Messinstrumente mit einer hohen Sensitivität und Spezifität, die in der Handhabung und Durchführung ein geschultes Personal erfordern. Zu Beginn der Studie wurde der Untersucher, welcher die Rasterstereographie-Messungen durchführte, von einem Spezialisten der Firma DIERS in die Bedienung des Gerätes und vor allem in die Verwendung des Software-Programms unterwiesen. Eine korrekte und reproduzierbare Positionierung des Probanden im Rahmen der Rasterstereographie anhand jeweils einer Aufnahme pro Messzeitpunkt besitzt jedoch eine gewisse Unschärfe und muss daher als Fehlerquelle aufgeführt werden. Da die Messung nicht über einen längeren Zeitraum mittels Videosequenz erfolgte, während derer verfälschende Einflüsse wie beispielsweise die Ein- und Ausatmung nivelliert worden wären, sondern nur eine Einzelaufnahme möglich war, sind Differenzen bei Parametern wie z.B. der Rumpflänge unabhängig vom Infiltrationserfolg bereits gegeben. Zudem wurden die Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten am Tag durchgeführt und eine Abnahme der Wirbelsäulenlänge im Laufe des Tages ist in der Literatur bekannt. Auch die Festsetzung der Fixpunkte durch den Untersucher bei fehlerhafter oder nicht auffindbarer Fixpunktsetzung durch das System stellt eine Fehlerquelle dar. Die nicht einheitliche Geschwindigkeit bei der Ganganalyse stellt ebenfalls ein Problem dar. Durch verschiedene Geschwindigkeiten sind die Messwerte für Kadenz und Schrittlänge nicht vergleichbar zwischen den Patienten sondern nur intraindividuell. Allerdings wurde diesem Aspekt insofern Rechnung getragen, als dass als entscheidendes Kriterium die individuelle Besserung der Symmetrie des Gangbildes zu den verschiedenen Messzeitpunkten erhoben wurde. Die Durchführung der Messungen der Rasterstereographie und Ganganalyse erfolgte ausschließlich durch ein und dieselbe Person. Die Infiltrationen wiederum wurden von unterschiedlichen Ärzten durchgeführt und es wurden immer unterschiedliche Lokalisationen betäubt und verschiedene Bereiche infiltriert, womit hier keine vergleichbare Situation gegeben war. Allerdings ist nicht das Ziel der Studie die Präzision der Infiltration an sich zu beurteilen, sondern den Zusammenhang zwischen erlebter Besserung und Veränderungen von Haltung und Gang, womit der Störfaktor der Infiltrationstechnik vernachlässigbar erscheint.

5 Zusammenfassung

Mit einer Lebenszeitprävalenz von über 80% zählen Rückenschmerzen in der heutigen Zeit zu den relevantesten Erkrankungen in der menschlichen Bevölkerung. Der Forschung, die an der Verbesserung der Diagnostik und nachfolgenden Therapieindikationsstellung bei Wirbelsäulenbeschwerden ansetzt, ist daher enorme Wichtigkeit beizumessen. Das Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob die durch diagnostische wirbelsäulennahe Infiltrationen hervorgerufenen Verbesserungen der subjektiven Schmerzsituation objektiv mittels rasterstereographischer Vermessung des Wirbelsäulenprofils oder Ganganalyse auf dem Laufband erfasst werden können.

Dafür wurden 57 Personen für das Patientenkollektiv und 28 Probanden für das Referenzkollektiv untersucht. Die Patienten wurden für mehrere Tage stationär aufgenommen und erhielten tägliche Infiltrationen an der Wirbelsäule. Die dreidimensionale Vermessung des Rückens und die Ganganalyse auf dem Laufband erfolgten am Aufnahmetag – vor und nach der ersten Infiltration – sowie am Abend vor der Entlassung. Die subjektive Selbsteinschätzung der Patienten bezüglich ihrer Schmerzsituation wurde mit Hilfe der Fragebögen Oswestry Disability Index und Roland Morris Score am Tag der Aufnahme und der Entlassung erfasst, ebenso wurden täglich Werte für die Numerische Rating Skala und die prozentuale Besserung der Beschwerden abgefragt. Vier Wochen nach dem stationären Aufenthalt wurden den Patienten nochmals die beiden Fragebögen und die NRS postalisch zur Beantwortung zugesandt. Die Referenzprobanden wurden zweimal in einem zeitlichen Abstand von drei Stunden mittels Rasterstereographie und Laufbandanalyse vermessen.

Vielen Patienten konnten durch die Infiltrationen im Rahmen der Stufendiagnostik die Schmerzen gelindert werden. Gleichzeitig fanden sich bei etlichen Patienten Veränderungen der Haltungs- und Gangparameter zu den verschiedenen Messzeitpunkten im Vergleich zum Referenzkollektiv. Diese korrelierten jedoch nicht mit den subjektiven Schmerzeindrücken. Auch eine Subgruppenanalyse gemäß der angegebenen Besserung zeigte hier keinen Zusammenhang.

Die fehlende Verbesserung der hier objektiv gemessenen Parameter könnte dadurch erklärt werden, dass es sich in den meisten Fällen um Schmerzzustände handelt, die

bereits seit Monaten oder Jahren bestanden. Obwohl der Schmerzreiz durch das Anästhetikum an der richtigen Stelle ausgeschaltet wurde, war es nicht möglich, die über längere Zeit antrainierten Schonhaltungen innerhalb der Kürze des Klinikaufenthaltes von wenigen Tagen zu revidieren. Ob bei einer längerfristigen Schmerzlinderung Veränderungen im Rahmen von Rasterstereographie und Ganganalyse erkennbar sind kann nicht beurteilt werden und muss Gegenstand von zukünftigen Untersuchungen sein.

Für den momentanen Zeitpunkt bleibt das einzige Mittel für eine erfolgreich dokumentierte Schmerzlinderung die subjektive Einschätzung und Aussage des Patienten, die im persönlichen Gespräch mit dem Arzt erfasst werden muss.

6 Literaturverzeichnis

- Andersson, G. B. (1999). Epidemiological features of chronic low-back pain. *Lancet*, 354(9178), 581-585. doi:10.1016/S0140-6736(99)01312-4.
- Andersson, G. B., Andriacchi, T. P., & Galante, J. O. (1981). Correlation between changes in gait and in clinical status after knee arthroplasty. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 52(5), 569-573.
- Andriacchi, T. P., Ogle, J. A., & Galante, J. O. (1977). Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements. *J Biomech*, 10(4), 261-268.
- Asamoah, V., Mellerowicz, H., Venus, J., & Klöckner, C. (2000). Oberflächenvermessung des Rückens: Wertigkeit in der Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen. *Springer*, 29, 480-489.
- Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., . . . Zilch, H.-G. (2007). *Duale Reihe Anatomie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Barzilay, Y., Segal, G., Lotan, R., Regev, G., Beer, Y., Lonner, B. S., . . . Elbaz, A. (2016). Patients with chronic non-specific low back pain who reported reduction in pain and improvement in function also demonstrated an improvement in gait pattern. *Eur Spine J*, 25, 2761-2766.
- Benyamin, R. M., Manchikanti, L., Parr, A. T., Diwan, S., Singh, V., Falco, F. J. E., . . . Hirsch, J. A. (2012). The Effectiveness of lumbar interlaminar epidural injections in managing chronic low back and lower extremity pain. *Pain Physician*, 15, 363-404.
- Bernateck, M., Karst, M., Sabatowski, R., & Siebrecht, D. (2012). *Schmerzmedizin. 1000 Fragen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Betsch, M., Wild, M., Grosse, B., Rapp, W., & Horstmann, T. (2012). The effect of simulating leg length inequality on spinal posture and pelvic position: a dynamic rasterstereographic analysis. *Eur Spine J*, 21(4), 691-697. doi:10.1007/s00586-011-1912-5.
- Bollens, B., Crevecoeur, F., Nguyen, V., Detrembleur, C., & Lejeune, T. (2010). Does human gait exhibit comparable and reproducible long-range autocorrelations on level ground and on treadmill? *Gait&Posture*, 32, 369-373.
- Bruehl-Segendorf, C., & Obens, T. (1997). *Bewegungsanalyse von Rumpf und Wirbelsäule*.
- Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), & Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). (2011). Nationale Versorgungsleitlinie Kreuzschmerz: Kurzfassung 1.Auflage Version 5 (Stand: Oktober 2015). *AWMF-Register, nvl/007*.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2001). Chronischer Schmerz. Ergebnisse der Forschung verbessern die Versorgung der Patienten. *BMBF publik*.

- Cathelin, F. (1901). Une nouvelle voie d'injection rachidienne: methode des injections epidurales par le procede du canal sacre-applications a l'homme. *Compt Rend Soc Du Biol*, 53, 452-453.
- Cohen, S. P., Bicket, M. C., Jamison, D., Wilkinson, I., & Rathmell, J. P. (2013). Epidural steroids: a comprehensive, evidence-based review. *Reg Anesth Pain Med*, 38(3), 175-200. doi:10.1097/AAP.0b013e31828ea086.
- Corning, J. (1885). Spinal anaesthesia and local medication of the cord. *N Y Med J.*, 42, 483-485.
- Davidson, J. T., & Robin, G. C. (1961). Epidural injections in the lumbosacral syndrome. *Br J Anaesth*, 33, 595-598.
- Debrunner, A. M. (2002). *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: Patientenorientierte Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates*. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle: Verlag Hans Huber.
- Diemer, W., & Burchert, H. (2002). *Chronische Schmerzen: Kopf- und Rückenschmerzen, Tumorschmerzen*. Gesundheitsberichterstattung des Bundes, (7). Berlin.
- Downie, W., Leatham, P., Rhind, V., Wright, V., Branco, J., & Anderson, J. (1978). Studies with pain rating scales. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 37, 378-381.
- Drerup, B., Ellger, B., Meyer zu Bentrup, F., & Hierholzer, E. (2001). Rasterstereographische Funktionsaufnahmen: Eine neue Methode zur biomechanischen Analyse der Skelettgeometrie. *Springer*, 30, 242-250.
- Drerup, B., & Hierholzer, E. (1987). Automatic localization of anatomical landmarks on the back surface and construction of a body-fixed coordinate system. *J. Biomechanics*, 20(10), 961-970.
- Drerup, B., & Hierholzer, E. (1992). Evaluation of frontal radiographs of scoliotic spines: Measurement of position and orientation of vertebrae and assessment of clinical shape parameters. *J. Biomechanics*, 25(11), 1357-1362.
- Drerup, B., & Hierholzer, E. (1994). Back shape measurement using video rasterstereography and three-dimensional reconstruction of spinal shape. *Clinical Biomechanics*, 9, 28-36.
- Elbaz, A., Mirovsky, Y., Mor, A., Enosh, S., Debbi, E., Segal, G., . . . Debi, R. (2009). A novel biomechanical device improves gait pattern in patient with chronic nonspecific low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 34(15), E507-E512.
- Fairbank, J. C. T., Couper, J., Davies, J. B., & O'Brien, J. P. (1980). The Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire. *Physiotherapy*, 66, 271-273.
- Ferraz, M., Quaresma, M., Aquino, L., Atra, E., Tugwell, P., & Goldsmith, C. (1990). Reliability of pain scales in the assessment of literate and illiterate patients with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*, 17(8).
- Fillingim, R. B., King, C. D., Ribeiro-Dasilva, M. C., Rahim-Williams, B., & Riley III, J. L. (2009). Sex, Gender, and Pain: A Review of Recent Clinical and Experimental Findings. *J Pain*, 10(5), 447-485.

- Freytag, A., Thiede, M., Schliffhorst, G., Höer, A., Wobbe, S., Luley, C., & Glaeske, G. (2012). Versorgungskosten von Rückenschmerzen und die Bedeutung der Schmerzchronifizierung: Ergebnisse einer GKV Routinedatenanalyse. *Z Gastroenterol*, *50*(3), 271-272. doi:10.1055/10.1055/s-0031-1299319
- Gaul, C., Mette, E., Schmidt, T., & Grond, S. (2008). Praxistauglichkeit einer deutschen Version des "Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire" - Ein Fragebogen zur Beeinträchtigung durch Rückenschmerzen. *Der Schmerz*, *1*, *22*, 51-58.
- Goebert, H. W., Jr., Jallo, S. J., Gardner, W. J., & Wasmuth, C. E. (1961). Painful radiculopathy treated with epidural injections of procaine and hydrocortisone acetate: results in 113 patients. *Anesth Analg*, *40*, 130-134.
- Grifka, J., & Kuster, M. (2011). *Orthopädie und Unfallchirurgie: Für Praxis, Klinik und Facharztprüfung*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Hackenberg, L., Hierholzer, E., Pözl, W., Götze, C., & Liljenqvist, U. (2003). Rasterstereographic back shape analysis in idiopathic scoliosis after posterior correction and fusion. *Clinical Biomechanics*, *18*, 883-889.
- Harzmann, H. C. (2001). *Methode und klinische Einsatzmöglichkeiten der dreidimensionalen Rückenoberflächenvermessung mit der Videorasterstereographie (VRS)*.
- Hawker, G., Mian, S., Kendzerska, T., & French, M. (2011). Measures of Adult Pain. *Arthritis Care & Research*, *63*(S11), S240-S252.
- Hierholzer, E. (1993). Objektive Analyse der Rückenform von Skoliosepatienten. *Gustav Fischer Verlag*, 72-78.
- Hildebrandt, J., & Mense, S. (2001). Rückenschmerzen: Ein ungelöstes Problem. *Springer*, *15*, 411-412.
- Horn, T. (2010). *Optische Wirbelsäulenvermessung: Informationen zur Auswertung DIERS formetric III 4D*.
- Johnson, C. (2005). Measuring pain. Visual Analog Scale versus Numeric Pain Scale: What is the difference? *Journal of chiropractic medicine*, *4*(1).
- Kalron, A., Dvir, Z., Frid, L., & Achiron, A. (2013). Quantifying gait impairment using an instrumented treadmill in people with multiple sclerosis. *ISRN Neurol*, *2013*, 867575. doi:10.1155/2013/867575.
- Kayser, R., Mahlfeld, K., & Heyde, C. E. (2008). Das Konzept der stationären Stufendiagnostik bei Patienten mit lumbalem Rückenschmerz : Orthopädische Kompetenz bei der Diagnostik und Behandlung von Rückenschmerzpatienten. *Orthopäde*, *37*(4), 285-299. doi:10.1007/s00132-008-1225-5.
- Khodadadeh, S., & Eisenstein, S. M. (1993). Gait analysis of patients with low back pain before and after surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, *18*(11), 1451-1455.

- Kramers-de Quervain, I.-A., Stüssi, E., & Stacoff, A. (2008). Ganganalyse beim Gehen und Laufen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 56, 35-42.
- Krismer, M., & van Tulder, M. (2007). Low back pain (non-specific). *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 21(1), 77-91. doi:10.1016/j.berh.2006.08.004.
- Lamoth, C. J., Meijer, O. G., Daffertshofer, A., Wuisman, P. I. J. M., & Beek, P. J. (2006). Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: changes in motor control. *Eur Spine J*, 15, 23-40.
- Leonhard, H., Tillmann, B., Töndury, G., & Zilles, K. (2003). *Anatomie des Menschen* (Vol. 1): Georg Thieme Verlag.
- Liljenqvist, U., Halm, H., Hierholzer, E., Drerup, B., & Weiland, M. (1998). Die dreidimensionale Oberflächenvermessung von Wirbelsäulendeformitäten anhand der Videorasterstereographie. *Z. Orthop*, 136.
- Linhardt, O., Madl, M., Boluki, D., Renkawitz, T., Matussek, J., Quint, U., & Grifka, J. (2007). Minimal-invasive Injektionstherapie beim Lumbalsyndrom. *Orthopade*, 36(1), 49-58. doi:10.1007/s00132-006-1027-6.
- Mannion, A. F., Junge, A., Grob, D., Dvorak, J., & Fairbank, J. C. (2006). Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 2: Sensitivity to change after spinal surgery. *Eur Spine J*, 15(1), 66-73. doi:10.1007/s00586-004-0816-z.
- Marschall, U., L'hoest, H., & Wolik, A. (2012). *Vergleich der Kosteneffektivität von Operationen, multimodaler und interventioneller Schmerztherapie bei Rückenschmerzen: Eine Analyse mit Krankenkassendaten*.
- Mohokum, M., Mendoza, S., Wolf, U., Sitter, H., Paletta, J. R., & Skwara, A. (2010). Reproducibility of Rasterstereography for Kyphotic and Lordotic Angles, Trunk Length, and Trunk Inclination. *Spine (Phila Pa 1976)*, 35(14), 1353-1358.
- Netter, F. (2001). *Netters Orthopädie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Niethard, F., & Pfeil, J. (2005). *Duale Reihe: Orthopädie* (Vol. 5): Georg Thieme Verlag.
- Obens, T. <fussbelastung_orientierung_abstract.pdf>.
- Osthus, H., Cziske, R., & Jacobi, E. (2006). Cross-cultural adaption of a German version of the Oswestry Disability Index and evaluation of its measurement properties. *Spine (Phila Pa 1976)*, 15, E448-453.
- Parr, A. T., Diwan, S., & Abdi, S. (2009). Lumbar interlaminar epidural injections in managing chronic low back and lower extremity pain: A systematic review. *Pain Physician*, 12, 163-188.
- Raspe, H. (2012). *Rückenschmerzen*. Gesundheitsberichterstattung des Bundes, (53). Berlin.
- Roland, M., & Morris, R. (1983). A study of the natural history of back pain. Part 1: Development of a reliable and sensitive measure of disability in low back pain. *Spine* 1983, 8, 141-144.

- Rössler, H., & Rüter, W. (2005). *Orthopädie und Unfallchirurgie* (Vol. 19): Elsevier Verlag.
- Rubin, D. I. (2007). Epidemiology and risk factors for spine pain. *Neurol Clin*, 25(2), 353-371. doi:10.1016/j.ncl.2007.01.004.
- Schmidt, C. O., Raspe, H., Pflingsten, M., Hasenbring, M., Basler, H. D., Eich, W., & Kohlmann, T. (2007). Back pain in the German adult population: prevalence, severity, and sociodemographic correlates in a multiregional survey. *Spine (Phila Pa 1976)*, 32(18), 2005-2011. doi:10.1097/BRS.0b013e318133fad8.
- Schomacher, J. (2008). Gütekriterien der visuellen Analogskala zur Schmerzbewertung. *physioscience 2008*, 4, 125-133.
- Schröder, J., Stiller, T., & Mattes, K. (2011). Referenzdaten in der Wirbelsäulenformanalyse. *Manuelle Medizin*, 49(3), 161-166. doi:10.1007/s00337-011-0831-1.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2011). *Prometheus Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem* (Vol. 3). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Sicard, A. (1901). Les injections medicamenteuses extra-durales par voie sacrococcygienne. *Compt Rend Soc Du Biol*, 53, 396-398.
- Simmonds, M. J., Lee, C. E., Etnyre, B. R., & Morris, G. S. (2012). The Influence of Pain Distribution on Walking Velocity and Horizontal Ground Reaction Forces in Patients with Low Back Pain. *Pain Research and Treatment*, 2012.
- Simon, A. L., Ilharreborde, B., Souchet, P., & Kaufman, K. R. (2015). Dynamic balance assessment during gait in spinal pathologies - A literature review. *Orthopaedics&Traumatology: Surgery&Research*, 101, 235-246.
- Stief, F., Meurer, A., Wienand, J., Rauschmann, M., & Rickert, M. (2015). Has a Mono- or Bisegmental Lumbar Spinal Fusion Surgery an Influence on Self-Assessed Quality of Life, Trunk Range of Motion, and Gait Performance? *Spine (Phila Pa 1976)*, 40(11), E618-E626.
- Swerdlow, M., & Sayle-Creer, W. (1970). A study of extradural medication in the relief of the lumbosciatic syndrome. *Anaesthesia*, 25, 341-345.
- Tal, A. (2009). Rückenschmerzen im Alltag bestimmen. *physiotherapie*, 7-8.
- Theodoridis, T. (2007). Injektionstherapie an der Wirbelsäule ohne Bildsteuerung. *Orthopade*, 36(1), 73-85. doi:10.1007/s00132-006-1033-8.
- Vogt, L., Pfeifer, K., & Banzer, W. (2003). Neuromuscular control of walking with chronic low-back pain. *Manual Therapy*, 8(1), 21-28.
- Weiß, H. R., El Obeidi, N., Lohschmidt, K., & Verres, C. (1998). Die automatische Oberflächenvermessung des Rumpfes - Technischer Fehler. *Phys Rehab Kur Med*, 8.
- Wiesinger, G. F., Nuhr, M., Quittan, M., Ebenbichler, G., Wöfl, G., & Fialka-Moser, V. (1999). Cross-cultural adaption of the Roland Morris questionnaire for the

German-speaking patients with low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 24(11), 1099-1103.

Wülker, N., Kluba, T., Rehart, S., Reize, P., Roetman, B., & Rudert, M. (2005). *Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Universitätsklinik Tübingen, Abteilung für Orthopädie unter Betreuung von Professor Dr. N. Wülker durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Dr. med. Ulf Krister Hofmann, Assistenzarzt Orthopädie des Universitätsklinikums Tübingen.

Sämtliche Versuche wurden nach Einarbeitung durch Dr. med. Ulf Krister Hofmann von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch die Statistikerin Frau Aline Naumann des Institutes für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie durch Dr. med. Ulf Krister Hofmann, Assistenzarzt in der Orthopädie des Universitätsklinikums Tübingen, und mich.

Ich erkläre hiermit, die vorgelegte Dissertation selbstständig verfasst zu haben und keine anderen als die ausdrücklich bezeichneten Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet zu haben.

Tübingen, den

8 Veröffentlichungen

Vorträge im Rahmen der Dissertation

1. Hofmann U. K., Winnewisser J., Leichtle C., Wülker N., Gesicki M.: „Wirbelsäulennahe Infiltrationstherapie – sind die Aussagen der Patienten verlässlich und objektiv messbar?“, 61. Jahrestagung VSOU, Baden-Baden, 05/2013
2. Hofmann U. K., Winnewisser J., Leichtle C., Wülker N., Gesicki M.: „Wirbelsäulennahe Infiltrationstherapie zur Klärung von Operationsindikationen – sind die Aussagen der Patienten objektiv messbar und verlässlich?“, Kongress DKOU Berlin, 10/2013
3. Hofmann U. K., Winnewisser J., Leichtle C., Wülker N., Gesicki M.: „Indikationsstellung von Wirbelsäulenoperationen – sind Patientenangaben zum Effekt von gezielten Infiltrationen objektiv messbar? Möglichkeiten und Einschränkungen“, 62. Jahrestagung VSOU, Baden-Baden, 05/2014

Poster

1. Hofmann U. K., Winnewisser J., Leichtle C., Wülker N., Gesicki M.: „Indikationsstellung von Wirbelsäulenoperationen – sind Patientenangaben zum Effekt von gezielten Infiltrationen objektiv messbar? Möglichkeiten und Einschränkungen“, 62. Jahrestagung VSOU, Baden-Baden, 05/2014

Anhang

Deskriptive Statistik Patientenkollektiv Ganganalyseparameter

	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Fußrotation größerer Messwert Montag Präinfiltration (°)	2,70	32,30	12,20	13,24	6,05
Fußrotation kleinerer Messwert Montag Präinfiltration (°)	-,60	21,00	8,45	8,43	4,79
Fußrotation größerer Messwert Montag Postinfiltration (°)	5,20	30,90	12,05	13,16	5,22
Fußrotation kleinerer Messwert Montag Postinfiltration (°)	-,60	21,40	8,80	8,99	4,60
Fußrotation größerer Messwert Donnerstag (°)	-,50	29,40	12,45	12,90	5,52
Fußrotation kleinerer Messwert Donnerstag (°)	-,60	21,90	8,65	9,06	4,67
Schrittweite Messwert Montag Präinfiltration (cm)	5,00	22,00	12,00	12,41	3,13
Schrittweite Messwert Montag Postinfiltration (cm)	5,00	21,00	12,00	12,07	3,43
Schrittweite Messwert Donnerstag (cm)	1,00	19,00	12,00	11,65	3,65
Schrittlänge größerer Messwert Montag Präinfiltration (cm)	6,00	53,00	23,00	25,59	14,47
Schrittlänge kleinerer Messwert Montag Präinfiltration (cm)	2,00	53,00	20,00	23,18	14,64
Schrittlänge größerer Messwert Montag Postinfiltration (cm)	6,00	54,00	22,50	24,77	14,47
Schrittlänge kleinerer Messwert Montag Postinfiltration (cm)	5,00	53,00	19,50	22,70	14,70
Schrittlänge größerer Messwert Donnerstag (cm)	4,00	52,00	25,00	25,44	14,77
Schrittlänge kleinerer Messwert Donnerstag (cm)	4,00	52,00	22,50	24,46	14,72

Standphase größerer Messwert Montag Präinfiltration (%)	63,40	86,50	73,35	73,11	5,73
Standphase kleinerer Messwert Montag Präinfiltration (%)	56,60	85,30	70,10	70,57	5,35
Standphase größerer Messwert Montag Postinfiltration (%)	0,00	83,60	71,30	70,31	10,68
Standphase kleinerer Messwert Montag Postinfiltration (%)	0,00	83,50	72,00	71,18	10,99
Standphase größerer Messwert Donnerstag (%)	64,00	83,30	71,30	72,20	5,21
Standphase kleinerer Messwert Donnerstag (%)	62,80	82,90	70,85	71,32	5,25
Schwungphase größerer Messwert Montag Präinfiltration (%)	14,70	37,10	29,90	29,27	5,05
Schwungphase kleinerer Messwert Montag Präinfiltration (%)	13,50	36,60	26,65	26,89	5,73
Schwungphase größerer Messwert Montag Postinfiltration (%)	16,80	38,10	29,05	28,90	4,91
Schwungphase kleinerer Messwert Montag Postinfiltration (%)	16,40	36,90	27,30	27,08	5,34
Schwungphase größerer Messwert Donnerstag (%)	17,10	37,20	29,45	28,89	5,03
Schwungphase kleinerer Messwert Donnerstag (%)	16,70	36,00	28,35	27,60	5,37
Kadenz Messwert Montag Präinfiltration (Schritte/min)	13,00	86,00	51,00	49,71	13,41
Kadenz Messwert Montag Postinfiltration (Schritte/min)	15,00	84,00	49,00	48,50	13,53
Kadenz Messwert Donnerstag (Schritte/min)	14,00	83,00	50,00	48,74	12,69

Deskriptive Statistik Patientenkollektiv Rasterstereographieparameter

	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	Standardabweichung
Rumpflänge VP-DM Montag Präinfiltration (mm)	361,40	529,70	438,90	441,07	34,13
Rumpflänge VP-DM Montag Postinfiltration (mm)	353,20	529,80	436,95	437,01	35,46
Rumpflänge VP-DM Donnerstag vor Entlassung (mm)	330,60	537,50	440,40	442,91	38,46
Rumpfneigung VP-DM Montag Präinfiltration (°)	-3,20	18,50	5,20	6,05	4,62
Rumpfneigung VP-DM Montag Postinfiltration (°)	-3,90	16,20	5,70	6,18	4,21
Rumpfneigung VP-DM Donnerstag vor Entlassung (°)	-3,30	86,20	5,70	7,78	12,42
Lotabweichung VP-DM Montag Präinfiltration (°)	-4,50	7,70	-0,50	-,12	2,18
Lotabweichung VP-DM Montag Postinfiltration (°)	-5,20	4,90	0,30	-,18	2,14
Lotabweichung VP-DM Donnerstag vor Entlassung (°)	-4,10	5,90	0,00	-,16	2,05
Seitabweichung VP-DM +max Montag Präinfiltration (mm)	0,00	46,40	9,40	10,92	9,19
Seitabweichung VP-DM +max Montag Postinfiltration (mm)	,80	44,00	10,00	11,67	8,95
Seitabweichung VP-DM +max Donnerstag vor Entlassung (mm)	0,00	37,70	11,05	11,44	7,42
Seitabweichung VP-DM –max Montag Präinfiltration (mm)	-40,90	0,00	-7,70	-9,18	8,40
Seitabweichung VP-DM –max Montag Postinfiltration (mm)	-29,20	5,70	-7,80	-8,57	6,96
Seitabweichung VP-DM –max Donnerstag vor Entlassung (mm)	-40,00	0,00	-6,15	-8,35	7,65

Kyphosewinkel VP-T12 Montag Präinfiltration (°)	-14,40	78,70	51,10	48,08	14,52
Kyphosewinkel VP-T12 Montag Postinfiltration (°)	16,50	72,70	48,60	46,73	11,67
Kyphosewinkel VP-T12 Donnerstag vor Entlassung (°)	20,40	70,80	47,35	45,79	11,35
Lordosewinkel T12-DM Montag Präinfiltration (°)	-,80	52,00	33,00	30,41	12,85
Lordosewinkel T12-DM Montag Postinfiltration (°)	-,40	51,50	31,45	29,17	12,18
Lordosewinkel T12-DM Donnerstag vor Entlassung (°)	-1,20	53,00	30,20	28,27	14,54



Orthopädische Klinik · Hoppe-Seyler-Straße 3 · 72076 Tübingen

Universitätsklinikum Tübingen
Orthopädische Klinik
Ärztlicher Direktor
Prof. Dr. med. N. Wülker

Sekretariat: 07071/29-8668
 Service-Telefon: 07071/29-8603
 Vermittlung: 07071/29-8661
 Telefax: 07071/29 - 409

Prüfärzte: OÄ Dr. C. Leichtle, OA Dr. M. Gesicki, U.K. Hofmann

Dr. C.I. Leichtle	Dr. med. Marco Gesicki	Ulf Krister Hofmann
Orthopädische Universitätsklinik Tübingen	Orthopädische Universitätsklinik Tübingen	Orthopädische Universitätsklinik Tübingen
Hoppe-Seyler-Strasse 3	Hoppe-Seyler-Strasse 3	Hoppe-Seyler-Strasse 3

Informationsblatt und Einverständniserklärung

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

bei Ihnen ist eine Infiltrationsbehandlung an der Wirbelsäule vorgesehen. Im Rahmen dieser Infiltrationsbehandlung soll eine diagnostische Eingrenzung der Schmerzursache erfolgen, begleitend soll auch ein therapeutischer Effekt im Sinne einer Reduktion des Leidensdruckes erzielt werden.

Während dieser medizinisch notwendigen Behandlung sollen im Rahmen der Studie:

„Ganganalyse und Rasterstereographie bei chronischen lumbalen Beschwerden, Lumboischialgie oder Ischialgie vor und nach

Durchführung einer bildverstärkergestützten wirbelsäulennahen Infiltrationstherapie im Rahmen einer stationären Stufendiagnostik, prospektive Studie“

Daten gesammelt und aufgezeichnet werden, die Ihre Erkrankung sowie die Behandlung und den Verlauf nach Durchführung der Infiltrationsbehandlung betreffen. Anhand dieser Daten, die bei mehreren Patienten gesammelt werden, soll überprüft werden, ob die von Ihnen empfundene subjektive Besserung im Rahmen der Infiltrationstherapie auch mit einer Änderung und Verbesserung des Gangbildes und der Körperhaltung einhergeht.

Diese Stufendiagnostik erfolgt im Rahmen eines stationären Aufenthaltes von 5 Tagen.

Im Verlauf der stationären Behandlung erfolgt entsprechend Ihrer Anamnese, Ihres körperlichen Untersuchungsbefundes, Ihrer Befunde aus der Bildgebung sowie der im Vordergrund stehenden Beschwerden täglich eine bildwandlergestützte Infiltrationstherapie mit einem Lokalanästhetikum und einem Kortikoid (Carbostesin, Volon A).

Mögliche Infiltrations-Varianten sind hier, je nach Befund, die Infiltration von Facettengelenken der Wirbelsäule, epidurale Infiltrationen, Infiltrationen der Kreuzdarmbeingelenke (ISG), Infiltrationen der Ansätze der autochthonen Rückenmuskulatur am hinteren Beckenkamm, Trochanterinfiltrationen und Wurzelblockaden.

Diese Interventionen dienen in erster Linie diagnostischen Zwecken mit Bestimmung und Eingrenzung der Hauptschmerzursache und Abklärung einer OP-Indikation. Begleitend entsteht auch häufig eine deutliche therapeutische Wirkung im Sinne von längerfristiger Beschwerdebesserung und Mobilitätsverbesserung.

Die Bewertung des therapeutischen und diagnostischen Effektes erfolgt durch die tägliche gezielte postinterventionelle Befragung des infiltrierten Patienten.

Hierbei wird detailliert nach Ihrer subjektiven Besserung der Beschwerdesymptomatik in Prozent der Ausgangsbeschwerden gefragt.

Die Bewertung erfolgt somit derzeit allein aufgrund Ihres subjektiven Empfindens zum Zeitpunkt der Befragung. Dieses Vorgehen ist derzeit Standard in der orthopädischen Universitätsklinik Tübingen.

Ein Messinstrument zur objektiven Erfassung des Behandlungserfolges ist derzeit in der medizinischen Literatur noch nicht beschrieben und steht zur Differenzierung der Behandlungsergebnisse nicht zur Verfügung.

- Im Rahmen dieser prospektiven Studie soll nun, zusätzlich zu dem standardisierten Vorgehen mit Erfassung der subjektiven Bewertung durch den Patienten, zusätzlich die Erhebung objektivierbarer Daten durch Ganganalysen und Rasterstereographie (lichtoptische Vermessung der Wirbelsäule) erfolgen.

Zu diesem Zweck ist vorgesehen, vor Beginn dieses bei uns regelhaft durchgeführten Vorgehens eine Ganganalyse auf einem Laufband durchzuführen.

Ebenso soll eine lichtoptische Vermessung Ihrer Wirbelsäule mittels Rasterstereographie vor Beginn der Infiltrationsbehandlung durchgeführt werden.

Nach erfolgter Infiltrationstherapie werden dann Verlaufsuntersuchungen durch Ganganalyse auf dem Laufband sowie

Fragebogen zu Rückenschmerzen
German translation of the Roland-Morris disability questionnaire by MAPI in 2005

„Ganganalyse und Rasterstereographie bei chronischen lumbalen Beschwerden, Lumboischialgie oder Ischialgie vor und nach Durchführung einer bildverstärkergestützten wirbelsäulennahen Infiltrationstherapie im Rahmen einer stationären Stufendiagnostik, prospektive Studie“

Klinik: Orthopädische Universitätsklinik Tübingen

Patienten-Studien-Nummer:

_____/____

Patienteninitialen:

_____/____
Vorname/Nachname

Wenn Sie Rückenschmerzen haben, sind alltägliche Dinge manchmal schwer zu erledigen.

Diese Liste enthält einige Sätze, die andere Menschen verwendet haben, um ihre Situation zu beschreiben, wenn sie Rückenschmerzen haben. Wenn Sie die Liste durchlesen, fällt Ihnen vielleicht der eine oder andere Satz auf, weil er Ihre Beschwerden von *heute* gut beschreibt. Wenn Sie die Liste lesen, denken Sie bitte daran, wie Ihre Situation *heute* ist. Wenn Sie einen Satz lesen, der Ihre Situation *heute* beschreibt, kreuzen Sie diesen Satz bitte an. Falls ein Satz Ihre Situation nicht beschreibt, kreuzen Sie diesen Satz nicht an und gehen zum nächsten. **Bitte denken Sie daran, nur die Sätze anzukreuzen, von denen Sie sicher sind, dass sie Ihre Situation *heute* beschreiben.**

1. Wegen meiner Rückenschmerzen bleibe ich den größten Teil des Tages zu Hause.
2. Ich wechsle häufig meine Körperhaltung, um meinen Rücken zu entlasten.
3. Ich gehe wegen meiner Rückenschmerzen langsamer als sonst.
4. Wegen meiner Rückenschmerzen erledige ich keine der Arbeiten, die ich sonst im Haushalt erledige.
5. Wegen meiner Rückenschmerzen halte ich mich beim Treppensteigen am Geländer fest.
6. Wegen meiner Rückenschmerzen lege ich mich häufiger als sonst zum Ausruhen hin.
7. Wegen meiner Rückenschmerzen muss ich mich an etwas abstützen, um aus einem Polstersessel hochzukommen.
8. Wegen meiner Rückenschmerzen bitte ich andere Menschen, etwas für mich zu erledigen.
9. Wegen meiner Rückenschmerzen brauche ich zum Ankleiden länger als sonst.
10. Wegen meiner Rückenschmerzen achte ich darauf, nur kurze Zeit zu stehen.
11. Wegen meiner Rückenschmerzen achte ich darauf, mich so wenig wie möglich zu bücken oder niederzuknien.
12. Wegen meiner Rückenschmerzen fällt es mir schwer, von einem Stuhl aufzustehen.
13. Ich leide den größten Teil des Tages/der Nacht unter Rückenschmerzen.

14. Meine Rückenschmerzen erschweren mir das Umdrehen im Bett.
15. Wegen meiner Rückenschmerzen ist mein Appetit nicht besonders gut.
16. Wegen meiner Rückenschmerzen habe ich Probleme beim Anziehen von Socken (oder Strümpfen/Strumpfhosen).
17. Wegen meiner Rückenschmerzen gehe ich nur kurze Strecken.
18. Wegen meiner Rückenschmerzen schlafe ich weniger als sonst.
19. Wegen meiner Rückenschmerzen brauche ich beim Ankleiden Hilfe.
20. Wegen meiner Rückenschmerzen verbringe ich den größten Teil des Tages sitzend.
21. Wegen meiner Rückenschmerzen versuche ich, schwere Arbeiten im Haushalt zu vermeiden.
22. Wegen meiner Rückenschmerzen bin ich reizbarer und übellauniger als sonst.
23. Wegen meiner Rückenschmerzen gehe ich Treppen langsamer hinauf als sonst.
24. Wegen meiner Rückenschmerzen verbringe ich den größten Teil des Tages im Bett.

Behinderungsfragebogen bei Rückenbeschwerden: Oswestry Disability Questionnaire – Deutsche Version (ODQ-D)

„Ganganalyse und Rasterstereographie bei chronischen lumbalen Beschwerden, Lumboischialgie oder Ischialgie vor und nach Durchführung einer bildverstärkergestützten wirbelsäulennahen Infiltrationstherapie im Rahmen einer stationären Stufendiagnostik, prospektive Studie“

Klinik: Orthopädische Universitätsklinik Tübingen

Patienten-Studien-Nummer:

_____ / _____

Patienteninitialen:

_____ / _____

Vorname/Nachname

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen aus. Er soll uns darüber informieren, wie Ihre Rücken-(oder Bein) probleme Ihre Fähigkeit beeinflussen, den Alltag zu bewältigen. Wir bitten Sie, jeden Abschnitt zu beantworten. Kreuzen Sie in jedem Abschnitt nur die Aussage an, die Sie heute am besten beschreibt.

Abschnitt 1: Schmerzstärke

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ich habe momentan keine Schmerzen. | 0 |
| <input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind momentan sehr schwach. | 1 |
| <input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind momentan mäßig. | 2 |
| <input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark. | 3 |
| <input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind momentan sehr stark. | 4 |
| <input type="checkbox"/> Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar. | 5 |

Abschnitt 2: Körperpflege (Waschen, Anziehen etc.)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden. | 0 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft. | 1 |
| <input type="checkbox"/> Meine Körperpflege durchzuführen ist schmerzhaft, und ich bin langsam und vorsichtig. | 2 |
| <input type="checkbox"/> Ich brauche bei der Körperpflege etwas Hilfe, bewältige das meiste aber selbst. | 3 |
| <input type="checkbox"/> Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege. | 4 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett. | 5 |

Abschnitt 3: Heben

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden. | 0 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker. | 1 |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich daran schwere Gegenstände vom Boden zu heben, aber es geht, wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch). | 2 |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich daran schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen. | 3 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben. | 4 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen. | 5 |

Abschnitt 4: Gehen

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich nicht daran so weit zu gehen, wie ich möchte. | 0 |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1–2 km zu gehen. | 1 |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0,5 km zu gehen. | 2 |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100 m zu gehen. | 3 |
| <input type="checkbox"/> Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen. | 4 |
| <input type="checkbox"/> Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen. | 5 |

Abschnitt 5: Sitzen

- Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen, wie ich möchte. 0
- Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen, wie ich möchte. 1
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu sitzen. 2
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu sitzen. 3
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu sitzen. 4
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen. 5

Abschnitt 6: Stehen

- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden. 0
- Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker. 1
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen. 2
- Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen. 3
- Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen. 4
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen. 5

Abschnitt 7: Schlafen

- Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört. 0
- Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört. 1
- Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 6 Stunden. 2
- Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 4 Stunden. 3
- Ich schlafe aufgrund von Schmerzen weniger als 2 Stunden. 4
- Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen. 5

Abschnitt 8: Sexualeben (falls zutreffend)

- Mein Sexualeben ist normal und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker. 0
- Mein Sexualeben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker. 1
- Mein Sexualeben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft. 2
- Mein Sexualeben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt. 3
- Ich habe aufgrund von Schmerzen fast kein Sexualeben. 4
- Schmerzen verhindern jegliches Sexualeben. 5

Abschnitt 9: Sozialleben

- Mein Sozialleben ist normal und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker. 0
- Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker. 1
- Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, außer dass sie meine eher aktiven Interessen, z.B. Sport, einschränken. 2
- Schmerzen schränken mein Sozialleben ein und ich gehe nicht mehr so oft aus. 3
- Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein. 4
- Ich habe aufgrund von Schmerzen kein Sozialleben. 5

Abschnitt 10: Reisen

- Ich kann überallhin reisen und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker. 0
- Ich kann überallhin reisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker. 1
- Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein. 2
- Ich kann aufgrund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein. 3
- Ich kann aufgrund von Schmerzen nur kurze, notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen. 4
- Schmerzen hindern mich daran Fahrten zu machen, außer zur medizinischen Behandlung. 5

In Patientenakte

Infiltrationsbogen im Rahmen der Studie:

„Ganganalyse und Rasterstereographie bei chronischen lumbalen Beschwerden, Lumboischialgie oder Ischiialgie vor und nach Durchführung einer bildverstärkergestützten wirbelsäulennahen Infiltrationstherapie im Rahmen einer stationären Stufendiagnostik, prospektive Studie“

Klinik: Orthopädische Universitätsklinik Tübingen

Patienten-Studien-Nummer: _____ / _____

Patienteninitialen: _____ / _____

Vorname/Nachname

Tag der Infiltration	Lokalisation der Infiltration	Uhrzeit	Menge Carbost.	Menge Volon A	Erfolgt durch	Ausdruck erfolgt in 2 Ebenen	Besserung gesamt in %	Besserung BeinSZ in %	Besserung RückenSZ in %	Post-Infiltration VAS
Montag			ml	ml			%	%	%	
Dienstag			ml	ml			%	%	%	
Mittwoch			ml	ml			%	%	%	
Donnerstag			ml	ml			%	%	%	
Freitag			ml	ml			%	%	%	

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Dissertation unterstützt und gefördert haben und ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr. N. Wülker für die Möglichkeit, diese Doktorarbeit in seiner Abteilung zu schreiben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Ulf K. Hofmann für die Überlassung des Dissertationsthemas, die jahrelange Unterstützung, Hilfe und Antreibung, dass diese Arbeit zu einem erfolgreichen Ende gelangen konnte sowie die Tatsache, dass er immer und überall erreichbar war. Ich kenne keinen Betreuer, der sich so sehr für seine Doktoranden engagiert. Vielen Dank dafür.

Frau Aline Naumann danke ich für die hilfreiche Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Studie.

Ich danke meiner über alles geliebten Schwester, meiner Mutter, meiner Oma und meinem Onkel, die mich nicht nur seelisch und moralisch, sondern auch finanziell immer unterstützt haben und trotz langer Durststrecken immer daran geglaubt haben, dass ich diese Doktorarbeit zu Ende bringe. Danke Mama, dass Du mir immer den Rücken gestärkt hast und in allen Lebenslagen hinter mir stehst.

Ich danke Herrn Dr. Dr. W. R. Ude und Frau Dr. G. B. Sigloch, dass sie mich ermuntert haben, die Doktorarbeit so schnell als möglich fertigzustellen.

Zuletzt danke ich Christiane Hellstern für das Lesen und Korrigieren dieser Arbeit.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Julia Patricia Winnewisser
Geburtsdatum und –ort	02.01.1990 in Tübingen
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	ledig

Schulbildung

1996-2000	Grundschule Bruckenacker-Außenstelle Filderstadt
2000-2009	Eduard-Spranger-Gymnasium Filderstadt
18.06.2009	Allgemeine Hochschulreife

Studium

2009-2015	Studium der Zahnmedizin an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
	Naturwissenschaftliche Vorprüfung: 28.09.2010
	Zahnärztliche Vorprüfung: 11.04.2012
	Staatsexamen: 17.06.2015

Berufstätigkeit

seit 15.07.2015	Assistenzärztin in der zahnärztlichen Praxis Dr.Sigloch&Kollegen
-----------------	---