

KORRELATION DER EMG-, RADIOLOGISCHEN UND LABORCHEMISCHEN
BEFUNDE DER PARAVERTEBRALEN MUSKULATUR MIT
KLINISCHEM ZUSTAND NACH FUSIONS-OP DER LWS

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Christin Hartmann
geboren am 01.01.1989 in Stollberg

Gutachter

- 1. Prof. Dr. Rolf Kalff, Jena**
- 2. Prof. Dr. Ulrich C. Smolenski, Jena**
- 3. Prof. Dr. Raimund Firsching, Magdeburg**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.11.2014

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
1 ZUSAMMENFASSUNG	1
2 EINLEITUNG	3
3 ZIELE DER ARBEIT	4
4 METHODIK	5
4.1 PATIENTEN	5
4.2 OPERATIONSTECHNIK	5
4.2.1 PLIF	5
4.2.2 PERKUTANER-FIXATEUR	7
4.3 STUDIENDESIGN	7
4.3.1 PLIF-GRUPPE	7
4.3.2 PERKUTAN-GRUPPE	8
4.4 LABORPARAMETER	8
4.5 SF-36	9
4.5.1 SF-36 ALLGEMEINES	9
4.5.2 SF-36 VERGLEICH: PLIF-GRUPPE VERSUS NORMBEVÖLKERUNG	11
4.6 EMG	11
4.7 CT	16
4.7.1 ALLGEMEINES	16
4.7.2 CT-VOLUMETRIE	16
4.7.3 FUSIONSRATE NACH EINEM JAHR	20
4.8 STATISTISCHE VERFAHREN	21
5 ERGEBNISSE	22
5.1 LABORPARAMETER	22
5.1.1 LABORPARAMETER PLIF-GRUPPE	22
5.1.2 LABORPARAMETER VERGLEICH: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	24
5.2 EMG	26
5.2.1 EMG PLIF-GRUPPE	26
5.2.2 EMG VERGLEICH: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	29
5.3 CT PLIF-GRUPPE	31
5.3.1 CT-VOLUMETRIE	31
5.3.2 FUSIONSRATE	32

5.4 SF-36 PLIF-GRUPPE	33
5.4.1 ALLGEMEINE ERGEBNISSE ZUR ENTWICKLUNG DER LEBENSQUALITÄT	33
5.4.2 SF-36 VERGLEICH: PLIF-GRUPPE VERSUS NORMBEVÖLKERUNG	36
5.5 KORRELATIONSANALYSEN PLIF-GRUPPE	38
6 DISKUSSION	44
6.1 ATROPHIE DER PARASPINALEN MUSKULATUR	44
6.1.1 ALLGEMEINES	44
6.1.2 DIREKTES MUSKELTRAUMA	45
6.1.3 INDIREKTES MUSKELTRAUMA	47
6.2 KLINISCHES OUTCOME	48
6.3 VERGLEICH PLIF VERSUS PERKUTANER FIXATEUR	52
6.3.1 ALLGEMEINES	52
6.3.2 DIREKTES MUSKELTRAUMA	52
6.3.3 INDIREKTES MUSKELTRAUMA	53
6.4 KRITIKPUNKTE	54
7 SCHLUSSFOLGERUNG	57
8 LITERATURVERZEICHNIS	58
9 ANHANG	IV
9.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
9.2 TABELLENVERZEICHNIS	V
9.3 SF-36 FRAGEBOGEN	VI
9.4 REFERENZWERTE LABORPARAMETER	IX
9.5 LEBENSLAUF	X
9.6 DANKSAGUNG	XII
9.7 EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	XIV

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a.p.	anterior-posterior
ASAT	Aspartat Aminotransferase
BWS	Brustwirbelsäule
CK	Creatinkinase in [$\mu\text{mol/l}$]
CT	Computertomografie
Div	per division
EMG	Elektromyografie
Entl.	Entlassung
HU	Hounsfield unit
IFCC	International Federation of Clinical Chemistry
Interq.	Interquartilabstand
J	Jahr
K	Korrelationskoeffizient
K-Draht	Kirschnerdraht
L	Lendenwirbelkörper
LDH	Laktat-Dehydrogenase [$\mu\text{mol/l}$]
LWS	Lendenwirbelsäule
M	Monate
MRT	Magnetresonanztomografie
MUAP	motor unit action potential, Aktionspotential bei leichter Willkürinnervation
N	Anzahl
OP	Operation
PEEK	Polyether Ether Keton
PLIF	posteriore lumbale interkorporelle Fusion
post	zweiter postoperativer Tag
prä	präoperativ
PSA	pathologische Spontanaktivität
ROI	region of interest
S	Sakralwirbelkörper
SF-36	Short Form (36) Health Survey
ghp	general health perception, allgemeine Gesundheitswahrnehmung
ksk	körperliche Summenskala
mhi	mental health index, psychisches Wohlbefinden
pain	bodily pain index, körperliche Schmerzen
pfi	physical functioning index, körperliche Funktionsfähigkeit
psk	psychische Summenskala
rawhtran	Gesundheitsveränderung verglichen mit Zustand vor einem Jahr
rolem	role-emotional index, emotionale Rollenfunktion
rolph	role physical index, körperliche Rollenfunktion
social	social functioning index, soziale Funktionsfähigkeit
vital	vitality index, Vitalität
Sign.	Signifikanz
Tab.	Tabelle
Th	Thorakalwirbelkörper, Brustwirbelkörper

1 ZUSAMMENFASSUNG

Bekannt ist, dass es im Gefolge von offenen dorsalen lumbalen Fusionsoperationen zu paraspinaler Muskelatrophie kommen kann. Die Ursachen für diese Atrophie sind jedoch nicht hinlänglich geklärt. Ein Zusammenhang zwischen postoperativer Muskelatrophie und schlechterem klinischen Outcome wird vermutet, konnte aber bislang nicht belegt werden. Die vorliegende prospektive, klinische Studie untersucht das Atrophieausmaß der lumbalen Paraspinalmuskulatur, ätiologische Einflussfaktoren sowie den klinischen Verlauf nach offener posteriorer lumbaler interkorporeller Fusion (PLIF). Außerdem sollen die unterschiedlichen Ursachen der Atrophie zwischen minimalinvasivem perkutanen Fixateur und offener PLIF verglichen werden.

Es wurden in die PLIF-Gruppe prospektiv 30 Patienten eingeschlossen (13 männliche, 17 weibliche, Altersmedian 61 Jahre, Altersspanne 33-80 Jahre). Die PLIF-Operation wurde mono- oder bisegmental in herkömmlicher Operationsmethodik unter Nutzung eines offenen lumbalen dorsalen Zugangsweges über die Mittellinie durchgeführt. Die Erhebung des klinischen Outcomes gelang mittels dem Short Form Health Survey (SF-36) Fragebogen zu den Zeitpunkten präoperativ sowie drei, sechs und zwölf Monate postoperativ. Nadel-Elektromyografie (EMG) wurde an der paraspinalen Muskulatur präoperativ, sechs und zwölf Monate postoperativ durchgeführt, um den funktionellen Status der Muskeln und die indirekte Muskeltraumatisierung zu erfassen. Zur Quantifizierung der direkten intraoperativen Muskelschädigung wurden die Serumwerte von Creatinkinase (CK), Laktat-Dehydrogenase (LDH) und Myoglobin präoperativ, am zweiten postoperativen Tag sowie zum Entlassungszeitpunkt bestimmt. Eine Volumetrie mittels computertomografischen (CT) Aufnahmen präoperativ und ein Jahr postoperativ diente der Analyse des paraspinalen Muskel- und Fettvolumens und demzufolge auch der morphologischen Abschätzung des Atrophieausmaßes. Anhand der CT-Bilder erfolgte zusätzlich die Berechnung der Fusionsrate in meiner PLIF-Gruppe nach einem Jahr postoperativ. Als zweite Patientengruppe wurden 19 Patienten eingeschlossen (12 männliche, 7 weibliche, Altersmedian 48 Jahre, Altersspanne 18-79 Jahre), bei denen ein Fixateur interne minimalinvasiv perkutan implantiert wurde. Die Verlaufsuntersuchungen mittels Laborparameter und EMG (EMG-Messungen ausschließlich zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ) erfolgten analog zu denen der PLIF-Gruppe.

In den Ergebnissen meiner Arbeit zeigt sich in der PLIF-Gruppe verglichen mit präoperativ eine signifikante Steigerung der elektromyografischen Denervierungszeichen im Sinne von erhöhter pathologischer Spontanaktivität (PSA) und Lichtung des Interferenzmusters sowie Hinweise für Reinnervationsvorgänge durch Zunahme der Polyphasierate nach einem Jahr postoperativ. Die Laborparameter ergeben eine signifikante Erhöhung von CK und Myoglobin am zweiten postoperativen Tag. Das paraspinale Muskelvolumen sinkt signifikant von präoperativ 67,8 % auf 60,4 % nach einem Jahr postoperativ. Die Korrelationsanalysen beschreiben einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Denervierung und Muskelvolumen. Das paraspinale Muskelvolumen korreliert signifikant positiv mit dem körperlichen und psychischen Outcome sowie mit körperlichen Schmerzen nach einem Jahr postoperativ. Beim Vergleich der PLIF- und Perkutan-Gruppe ergeben sich hinsichtlich der untersuchten EMG-Parameter signifikant niedrigere, d.h. physiologischere Scorewerte in der minimalinvasiven Gruppe.

Die paraspinale Muskelatrophie nach offener PLIF scheint sowohl mit indirekter Muskeltraumatisierung durch Verletzung des Ramus dorsalis und folgender Denervierung, als auch mit direkter Muskelschädigung durch das chirurgische Vorgehen während der Operation assoziiert zu sein. Da die Muskelatrophie mit einem schlechteren klinischen Outcome korreliert, ist denkbar, dass das Ausmaß der Atrophie ein wesentlicher Einflussfaktor auf ein erfolgreiches Langzeitergebnis nach Operationen an der Lendenwirbelsäule (LWS) sein könnte. Ein Erklärungsansatz für die bereits bekannte geringere Muskelatrophie im Anschluss an ein minimalinvasives Vorgehen könnte laut meinen Daten eine reduzierte indirekte Muskeltraumatisierung bei Einbringen eines perkutanen Fixateurs, verglichen mit der offenen PLIF, sein.

2 EINLEITUNG

Minimalinvasive Operationsmethoden finden zunehmend Eingang in die Operationsroutine der Wirbelsäulenchirurgie. Verglichen mit offenen dorsalen Zugangswegen zur lumbosakralen Wirbelsäule wird angenommen, dass die minimalinvasiven Techniken das paraspinale Muskeltrauma minimieren, was für ein besseres klinisches Outcome verantwortlich sein könnte. Verschiedene Studien haben belegt, dass es nach offenen dorsalen lumbalen Fusionsoperationen zu einer Atrophie der paraspinalen Muskulatur kommt und dass das Atrophieausmaß deutlich ausgeprägter ist im Vergleich zu minimalinvasivem Vorgehen (Kim et al. 2005, Kim et al. 2008, Stevens et al. 2006). Die Ursachen dieser paraspinalen Muskelatrophie sind jedoch noch nicht abschließend geklärt. Eine Verletzung des Ramus dorsalis des segmentalen Spinalnerven (Hodges et al. 2006) sowie das direkte Muskeltrauma durch Druck und Zug an den paraspinalen Muskeln während der Operation (Kumbhare et al. 2008) werden als ätiologische Einflussfaktoren bezüglich der Atrophie diskutiert. Auch an die Inaktivitätsatrophie infolge von Immobilisation des Bewegungssegmentes durch eine Fusionsoperation muss gedacht werden. Außerdem ist denkbar, jedoch noch nicht wissenschaftlich bewiesen worden, dass die postoperative Atrophie der paravertebralen Muskelmasse mit einem schlechteren klinischen Outcome nach offenen lumbalen Fusionsoperationen assoziiert ist. Es gibt in der Literatur ebenfalls bisher noch keine Belege dafür, dass die Schonung der paraspinalen Muskeln in einem besseren klinischen Outcome resultiert.

3 ZIELE DER ARBEIT

Ziel meiner Dissertation ist die Untersuchung des Atrophieausmaßes sowie des funktionellen Status der lumbalen paraspinalen Muskulatur in Korrelation mit dem klinischen Outcome im postoperativen Verlauf nach offenen mono- oder bisegmentalen PLIFs. Hinsichtlich der verschiedenen Ätiologien dieser postoperativen Muskelatrophie soll der Einfluss von direkter und indirekter Muskeltraumatisierung diskutiert werden. Ein weiteres Ziel meiner Arbeit ist der Vergleich der minimalinvasiven (perkutaner Fixateur) und offenen (PLIF) Operationsmethode hinsichtlich des Ausmaßes von direkter und indirekter Muskelirritation, um dadurch eine Erklärung für die geringere postoperative Muskelatrophie bei minimalinvasiven Operationstechniken zu finden. Durch Einsatz von EMG, Laborparameteranalysen, CT sowie dem SF-36 Fragebogen konnte diesen Zielen nachgegangen werden.

4 METHODIK

4.1 Patienten

In meine Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die sich im Zeitraum April 2010 bis Mai 2011 einer mono- oder bisegmentalen PLIF bzw. perkutanen Fixateurimplantation in der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Jena unterzogen haben. Patienten mit Voroperationen an der BWS/LWS, Polyneuropathie, Diabetes mellitus, Osteoporose, infektiösen Erkrankungen, Tumoranamnese oder Myopathien wurden nicht miteinbezogen. Tab. 1 gibt einen Überblick über die deskriptiven Charakteristika meiner Patientengruppen.

Tab. 1: Deskriptive Statistik der PLIF- und Perkutan-Gruppe

Deskriptive Statistik Patienten			PLIF	Perkutan
Anzahl	Männlich	N	13	12
		%	43	63
	Weiblich	N	17	7
		%	57	37
Gesamt		30	19	
Alter zur Operation	Minimum		33	18
	Maximum		80	79
	Mittelwert		59	48
	Median		61	48

Legende: N... absolute Patientenzahl, %... prozentualer Patientenanteil,
PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion

4.2 Operationstechnik

Alle Eingriffe wurden unter perioperativer antibiotischer Abschirmung mittels Ceftriaxon und kontinuierlichen elektrophysiologischem Monitoring durchgeführt.

4.2.1 PLIF

Bei einer PLIF handelt es sich um eine Operation zur Stabilisierung der Wirbelsäule und Dekompression spinaler Strukturen vorwiegend bei degenerativen Prozessen. Die Indikationsstellung erfolgte bei therapieresistenter Claudicatio spinalis Symptomatik und

gleichzeitigem bildmorphologischen Nachweis einer Spinalkanalstenose verbunden mit Anzeichen der degenerativen Instabilität.

Zusammengefasst beinhaltet dieses operative Verfahren folgende Teilaspekte: Stabilisierung des Wirbelsäulenabschnitts mittels Pedikelschrauben und Stangen, Laminektomie bzw. Laminotomie, Explorierung der Nervenwurzeln und des Duralsacks mit gegebenenfalls Dekompression und schließlich die interkorporelle Fusion mittels Eigenknochen-befüllten PEEK-Cages nach Diskektomie. Die Operation wurde in allen Fällen als offener dorsaler Zugang mit Abschieben der autochthonen Rückenmuskulatur über das Niveau der kleinen Wirbelgelenke ausgeführt.

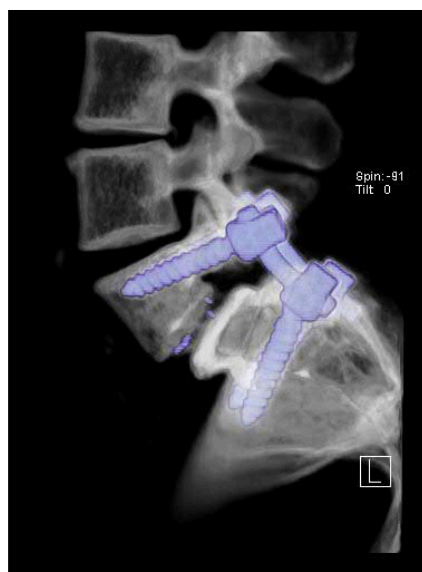
In meinem Patientengut wurden PLIFs ausschließlich in der LWS mit Konzentration auf den unteren LWS-Bereich durchgeführt. Tab. 2 verdeutlicht die deskriptive Statistik der PLIF-Operationen und Abb. 1 zeigt eine monosegmentale PLIF.

Tab. 2: Deskriptive Statistik PLIF

Deskriptive Statistik PLIF		N
Operierte Segmente	monosegmental	26
	bisegmental	4
Operationsbereich	L2/L3	2
	L3/L4	10
	L4/L5	12
	L5/S1	10

Legende: PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, L... Lendenwirbelkörper, S... Sakralwirbelkörper, N... Anzahl

Abb. 1: Darstellung einer monosegmentalen PLIF auf der Höhe L5 bis S1



Legende: PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, L... Lendenwirbelkörper, S... Sakralwirbelkörper

4.2.2 Perkutaner-Fixateur

Die perkutanen Fixateure wurden in allen Fällen im Rahmen von Frakturversorgung eingebracht. Im Folgenden wird ausschließlich das perkutane Einbringen der Fixateure beschrieben, denn nur dieser operative Schritt hat Auswirkung auf die paraspinale Muskulatur und den Ramus dorsalis, was die Betrachtungsschwerpunkte meiner Arbeit sind.

Die Lagerung des Patienten erfolgte auf dem Bauch mit ventralem Durchhang. Nach entsprechendem Anlegen von Hautschnitten fand unter a.p. und seitlicher Bildwandlerkontrolle zunächst die Sondierung der Pedikel mit der Yamshidinadel und das Einbringen eines Kirschnerdrahtes (K-Draht) statt. Über den K-Draht wurde mit dem kanülierten Pfriem der Pedikel eröffnet und nachfolgend aufgebohrt. Die Schrauben wurden entsprechend über den K-Draht eingebracht und festgedreht. Die Lagekontrolle der Schrauben erfolgte unter a.p. und seitlicher Bildwandlerkontrolle. Über das entsprechende Instrumentarium wurden Längsstäbe in die Schraubenköpfe eingefädelt und mittels Madenschrauben fixiert. Eine Reposition und Formkorrektur der Wirbelkörper erfolgte mithilfe der Stangenausrichtung. Anschließend wurde der Fixateur durch die Madenschrauben festgezogen.

In meiner Patientengruppe waren alle perkutanen Fixateurimplantationen im unteren BWS- bis oberen LWS-Bereich lokalisiert und führten in allen Fällen zu einer bisegmentalen Fusion.

4.3 Studiendesign

Bei meiner Arbeit handelt es sich um eine prospektive klinische Studie mit Nachbetrachtungszeit von einem Jahr postoperativ. Alle Untersuchungen fanden im Rahmen der routinemäßigen Operationsvorbereitung und Nachsorge in der Neurochirurgie des Universitätsklinikums Jena statt. Die SF-36 Fragebögen wurden teilweise nachträglich auf dem Postweg zugestellt.

4.3.1 PLIF-Gruppe

Um kontinuierlich den derzeitigen Gesundheitszustand der Patienten zu erfassen, erfolgten verschiedene klinische Untersuchungen zu mehreren Zeitpunkten. Einen Überblick gibt Tab. 3.

Tab. 3: Überblick über durchgeführte Untersuchungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Zeitpunkt		präoperativ	post	Entlassung	3 Monate postoperativ	6 Monate postoperativ	1 Jahr postoperativ
Unter- suchungen	Laborparameter	x	x	x			
	EMG	x				x	x
	CT-Volumetrie	x					x
	SF-36	x			x	x	x

Legende: EMG... Elektromyografie, CT... Computertomografie, SF-36... Short Form Health Survey, post... zweiter postoperativer Tag, x... Untersuchung zu diesem Zeitpunkt durchgeführt

4.3.2 Perkutan-Gruppe

Die Perkutan-Gruppe soll hinsichtlich der längerfristigen EMG-Befunde mit den PLIF-Patienten verglichen werden. Deshalb erfolgte ein EMG der paraspinalen Muskulatur zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ. Außerdem wurden auch die Laborparameter CK, LDH und Myoglobin präoperativ, am zweiten postoperativen Tag und zur Entlassung abgenommen.

4.4 Laborparameter

In der klinischen Praxis sind die meist genutzten Serummarker, die auf eine Muskelverletzung Hinweis geben, CK, LDH, Aldolase, Myoglobin, Troponin, ASAT (Aspartat Aminotransferase) und Carboanhydrase III. Sie sind geeignet, um den funktionellen Status des Muskelgewebes widerzuspiegeln (Brancaccio et al. 2010). Es ist bereits untersucht worden, dass CK und LDH nach Wirbelsäulenoperationen erhöht sind und sich im postoperativen Verlauf wieder dem Normbereich nähern (Lenke et al. 1994, Wukich et al. 1990). Durch das Zugangstrauma im Rahmen der Operation (z.B. Sperrer) kommt es zu einer direkten Schädigung der paraspinalen Muskulatur, wodurch sich der Anstieg der muskulären Laborparameter im Serum erklärt. Wie stark diese Annahme auch in meinen beiden Patientengruppen zutrifft, sollte sich anhand der durchgeführten peripher venösen Blutentnahmen mittels Heparin-Plasma Probeentnahmeröhrchen und anschließender Analyse bestätigen. Die Bestimmung des LDHs und CKs gelang mit einem enzymatischen UV-Test, IFCC-Methode. Der Serumgehalt von Myoglobin wurde mithilfe eines Chemilumineszenz-Mikropartikelimmunoassays ermittelt. Alle Messungen erfolgten am Institut für Klinische Chemie und Laboratoriumsdiagnostik des Universitätsklinikums Jena.

4.5 SF-36

4.5.1 SF-36 Allgemeines

Die Erfassung und Dokumentation der gesundheitsbezogenen Lebensqualität stellt heutzutage eine zunehmende Bedeutung in der Evaluation von medizinischen Interventionen dar. Wesentliche Komponenten sind dabei die körperliche Verfassung, das psychische Befinden, Funktionsfähigkeit im Alltag und Beruf sowie soziale Integration (Wenger et al. 1984). Dazu diente in meiner Studie der SF-36 Fragebogen, den zufriedenstellende psychometrische Eigenschaften kennzeichnen und der in der Lage ist, Änderungen des Gesundheitszustands sensitiv zu erfassen (Hemingway et al. 1997). Er gilt als eines der weit verbreitetsten, krankheitsübergreifenden Messinstrumente. Die Entwicklungsphase ist seit mittlerweile Jahrzehnten im Gange und nahm ihren Ursprung in der Medical Outcome Study mit einer Fragensammlung von 149 Items (Tarlov 1983). In meiner Arbeit wurde die deutschsprachige Übersetzung des SF-36, Version 1, zur Einschätzung des Outcomes nach PLIF-Operationen eingesetzt. Der SF-36 ist als eines der ersten Messinstrumente im internationalen Raum breit verfügbar und anerkannt worden. In den Jahren 1992-1996 wurde der Fragebogen im deutschen Sprachraum übersetzt, an verschiedenen Gruppen psychometrisch geprüft und normiert, sodass er im Deutschen Bundesgesundheitsurvey 1998 erfolgreich eingesetzt wurde, um weitere Referenzwerte für die deutsche Bevölkerung zu erhalten (Bullinger und Kirchberger 1998, Bullinger 1995, Radoschewski und Bellach 1999, Bellach et al. 2000). Somit existiert eine breite Datenbasis im Sinne von repräsentativen Referenzpopulationen, welche die Normbevölkerung und krankheitsspezifische Patientengruppen umfassen.

Das multidimensionale standardisierte Konstrukt beinhaltet 36 Items, die in acht Subskalen und zwei Summenscores, welche die körperliche und psychische Gesundheit widerspiegeln, zusammengefasst werden. Der vollständige Fragebogen ist im Anhang einsehbar. Einen Überblick über die verschiedenen Dimensionen des Fragebogens vermittelt Tab. 4. Die Antwortmöglichkeiten variieren zwischen dichotomen und mehrstufig skalierten, maximal sechsstufigen Antwortkategorien.

Tab. 4: Zusammensetzung der beiden Summenskalen aus den SF-36 Subskalen

Subskalen	Summenskalen	Subskalen	
<p>pfi ...physical functioning index ...körperliche Funktionsfähigkeit</p>	ksk- körperliche Summenskala	psk- psychische Summenskala	<p>vital ...vitality index ...Vitalität</p>
<p>pain ...bodily pain index ...körperliche Schmerzen</p>			<p>social ...social functioning index ...soziale Funktionsfähigkeit</p>
<p>rolph ...role physical index ...körperliche Rollenfunktion</p>			<p>rolem ...role-emotional index ...emotionale Rollenfunktion</p>
<p>ghp ...general health perception ...allgemeine Gesundheitswahrnehmung</p>			<p>mhi ...mental health index ...psychisches Wohlbefinden</p>

Bei rawhtran handelt es sich um eine gesonderte Skala, welche die Gesundheitsveränderung verglichen mit dem Zustand im Vorjahr thematisiert. Diese Kategorie wird nicht in eine Summenskala mit eingerechnet und hat entgegengesetzte Polarität, d.h. eins verschlüsselt einen viel besseren Gesundheitszustand als vor einem Jahr, der Wert fünf kodiert einen derzeit viel schlechteren.

Die Patienten wurden gebeten, bei allen 36 Items die Antwortmöglichkeit zu markieren, die ihrem Erleben am nächsten kommt. Nach Erfassen der gekennzeichneten Antworten des Fragebogens konnten diese computergestützt mittels IBM SPSS Statistics 19 ausgewertet werden. Die Daten wurden nun entsprechend den Vorgaben im SF-36 Handbuch aufbereitet (Bullinger und Kirchberger 1998). Mithilfe der mitgelieferten Syntaxdatei konnte dem Auswertungsalgorithmus aus dem Manual gefolgt werden, was in der Erzeugung der Sub- und Summenskalen resultierte. Als Ergebnis ergaben sich Skalen mit den Wertebereichen zwischen null und 100, wobei (mit Ausnahme der gesonderten Skala Gesundheitsveränderung verglichen mit Zustand vor einem Jahr- rawhtran) stets null die schlechteste und 100 die beste Lebensqualität darstellen. Damit ist ein Vergleich der Skalenwerte innerhalb und zwischen Patientengruppen möglich.

(Ellert und Kurth 2004, Morfeld und Bullinger 2008, Ellert und Bellach 1999, Ware und Sherbourne 1992, Ware und Gandek 1998, Bullinger und Kirchberger 1998, Lüthi 2007, Pioch 2005, Beaton et al. 1997, Kurth und Ellert 2002)

4.5.2 SF-36 Vergleich: PLIF-Gruppe versus Normbevölkerung

Die Daten der Normpopulation entstammen dem Handbuch des SF-36 Fragebogen (Bullinger und Kirchberger 1998). Im Rahmen der Normierung dieses Messinstruments erfolgte 1994 die Befragung einer für Deutschland repräsentativen Bevölkerungsstichprobe. Ziel dabei war u.a. die Gewinnung von Referenzwerten aus der Normpopulation, sodass ein Vergleich mit anderen klinischen Kollektiven, wie beispielsweise meiner PLIF-Gruppe, möglich wird. Dafür werden die Daten der gesamtdeutschen Bevölkerung sowie die Normwerte von erkrankten Personen in meiner Arbeit verwendet. Letztgenannte Gruppe ist ein Bestandteil der gesamtdeutschen Normbevölkerung. Sie umfasst Personen, die an Rückenschmerzen, Ischias oder Bandscheibenschaden leiden, wobei die Zuordnung in diese Diagnosegruppe durch Selbstauskunft der Patienten erfolgte. Die Subskala Gesundheitsveränderung verglichen mit Zustand vor einem Jahr (rawhtran) wird im Vergleich außer Acht gelassen, da in der Normstichprobe keine Daten dieser Kategorie zur Verfügung standen. Zur Einschätzung der Unterschiede in der Lebensqualität zwischen PLIF-Gruppe und Normbevölkerung wurden Differenzen in folgender Art und Weise gebildet: PLIF-Gruppe präoperativ minus gesamtdeutsche Normbevölkerung und PLIF-Gruppe ein Jahr postoperativ minus gesamtdeutsche Normpopulation.

4.6 EMG

Die indirekte Muskeltraumatisierung, die durch Denervierung im Rahmen des operativen Eingriffs stattgefunden hat, sollte mit einer Elektromyografie der paraspinalen Muskulatur erfasst werden. Von besonderem Interesse waren dabei auch die langfristigen Konsequenzen durch die abgelaufene neuronale Schädigung während der Operation, weshalb eine Nachbeobachtungszeit von einem Jahr postoperativ vorgesehen war. Inwieweit sich Reinnervationsprozesse an Denervationen anschlossen, wurde ebenfalls mit dieser Messmethode gut analysiert. Mittels der elektromyografischen Testung können verlässliche Rückschlüsse auf den Funktionszustand der Rami dorsales der Spinalnerven gezogen werden, die aus Bildgebung nicht ableitbar sind. Durch eine EMG-Untersuchung ist es möglich, die Frage zu klären, ob es sich bei aufgetretenen muskulären Defiziten oder Atrophien um neurogene oder myogene Veränderungen handelt. Die EMG-Untersuchungen wurden im Rahmen der routinemäßigen Operationsvorbereitung und Nachsorge, wie bei allen Patienten der Klinik für Neurochirurgie im Universitätsklinikum Jena, durchgeführt.

Für die Untersuchung stand das Gerät Nicolet VikingSelect System (VikingSelect Master Software V7.0, Firma Nicolet Biomedical) zur Verfügung, das folgende Einstellungen aufwies: Verstärkung 50 $\mu\text{V}/\text{Div}$ bei PSA, 1mV/Div bei Willkürpotentialen, untere Grenzfrequenz (Hochpass) 20 Hz, obere Grenzfrequenz (Tiefpass) 3 kHz, Verzögerung: 4 Div. Zur Verwendung kam die konzentrische bipolare Ambu[®] Neuroline Nadel mit einer Länge von 50 mm und dem Durchmesser von 0,45 mm. Da jede EMG-Untersuchung von der subjektiven Interpretation und Erfahrung des Untersuchers abhängig ist, wurden alle Patienten ausschließlich von einem in der Methodik erfahrenen Neurochirurgen, der bezüglich des Untersuchungszeitpunktes verblindet war, untersucht.

Die Vorgehensweise entsprach dabei dem paraspinal Mapping (Haig et al. 1993, Haig et al. 1991). Der Musculus multifidus stellte sich als besonders geeignet heraus, da er über eine monoradikuläre Innervation verfügt, die verlässliche Rückschlüsse auf den jeweils versorgenden Spinalnerv und seiner zugehörigen Wurzel ermöglicht (Haig et al. 1993, Bogduk et al. 1982). Ausgehend vom Processus spinosus wurde 2,5 cm nach beidseits lateral und 1 cm nach kranial gegangen. Der Einstichwinkel betrug 45 bis 60 °. Dort lokalisierten sich dann auf einer Höhe beidseits der Wirbelsäule die zwei Einstichpunkte, von denen die Potenziale des Musculus multifidus abgeleitet werden konnten. Um das Myotom S1 zu prüfen, suchte man den Mittelpunkt zwischen den beiden Spinae iliacae posteriores superiores und ging davon wiederum 2,5 cm beidseits nach lateral. Das EMG wurde im gesamten operierten Bereich auf jeder Segmenthöhe abgeleitet. Für meine Auswertung verwendete ich die am stärksten pathologischen Befunde aus der gesamten Untersuchung.

Nach gründlicher Desinfektion der Einstichstellen wurde die Messung in Bauchlage der Patienten durchgeführt. Eine Optimierung der Lagerung konnte durch Kissen unter dem Abdomen erreicht werden. Ausgeschlossen von der Untersuchung wurden Patienten, die medikamentös auf orale Antikoagulantien eingestellt waren.

In meiner Arbeit lag der Schwerpunkt während der EMG-Analyse auf folgenden drei Parametern: PSA, Polyphasierate und Interferenzmuster. Diese wurden in Scores von null bis vier eingeteilt, wobei null physiologische und vier maximal pathologische Zustände widerspiegeln. Die Einteilung von PSA orientierte sich ebenfalls am PSA Score aus paraspinal Mapping (Haig et al. 1993, Haig et al. 1995). Eine Übersicht über die Abstufungsgrade der beurteilten EMG-Parameter gibt Tab. 5.

Tab. 5: Scores der EMG-Parameter

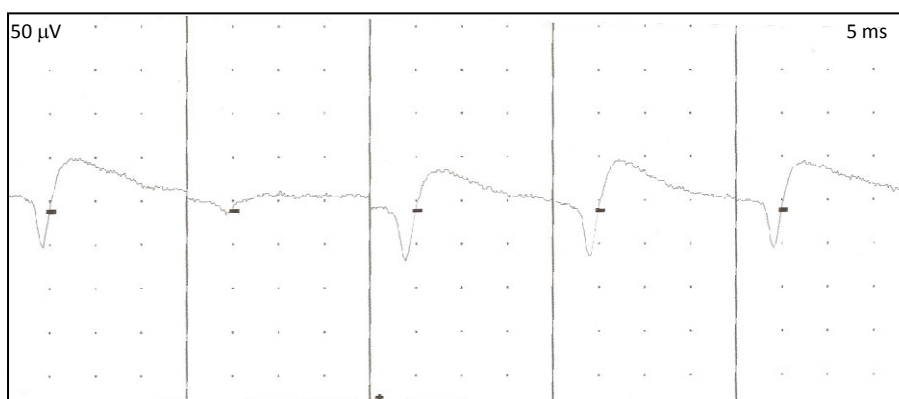
Score	PSA	Polyphasien	Interferenzmuster
0	keine	keine	MUAPs füllen den Bildschirm aus, Grundlinie nicht sichtbar
1	ein einzelne PSA Serie	25 % der MUAPs polyphasisch	MUAPs leicht gelichtet
2	mehrere PSA Serien	50 % der MUAPs polyphasisch	MUAPs mäßig gelichtet, Grundlinie sichtbar
3	zahlreiche PSA Serien in mehr als einer Tiefe	75 % der MUAPs polyphasisch	MUAPs stark gelichtet, Grundlinie sichtbar
4	PSA Serien füllen den gesamten Bildschirm	100 % der MUAPs polyphasisch	keine maximale Willkürinnveration möglich

Legende: PSA... pathologische Spontanaktivität, MUAPs... motor unit action potentials

Es gilt für alle drei Parameter, dass Beobachtungen im EMG stets nur dann von Bedeutung waren, wenn sie reproduzierbar, d.h. mehrmals in identischer Konfiguration auftraten und keine Einzelercheinungen waren. Die Nadel wurde in verschiedene Richtungen geführt, sodass von zahlreichen Stellen des jeweiligen Muskelsegments nadelnahe Potenzialableitungen gelangen. So wurden beispielsweise bei leichter Willkürinnveration mindestens 20 verschiedene MUAPs (motor unit action potentials) innerhalb einer Einstichstelle analysiert.

Zuerst wurde unter Ruhebedingungen, d.h. maximaler Relaxation, nach PSA gesucht. Unter PSA werden Fibrillationen und positive scharfe Wellen zusammengefasst. An der denervierten Muskelfaser kommt es zur Membranstabilität, was zu spontanen rhythmischen Schwankungen (Oszillationen) des Membranpotenzials mit lokaler Überschreitung der Depolarisationsschwelle führt. Es folgt die Generierung und Fortleitung eines Aktionspotentials, das als PSA abgeleitet wird. Abb. 2 zeigt ein Beispiel von typischer PSA in Form von positiven scharfen Wellen zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ.

Abb. 2: Rhythmische positive scharfe Wellen als Beispiel für pathologische Spontanaktivität



Anschließend erfolgte die Analyse der Aktionspotentiale (MUAPs) bei leichter Willkürinnervation. Dazu wurden die Patienten zur Streckung im Hüftgelenk aufgefordert, was sekundär in der Anspannung der paraspinalen Muskulatur resultierte. Dabei wurde die Polyphasierate beurteilt. Als polyphasisch galt ein MUAP, das mehr als vier Nulliniendurchgänge aufwies. Unter physiologischen Bedingungen sind die Aktionspotentiale meist zwei- bis vierphasisch. Eine erhöhte Polyphasierate findet man typischerweise während stattfindenden Reinnervationsvorgängen nach Denervierung. In diesem Prozess kommt es zur Ausbildung von zahlreichen kollateralen Axonästen. Wegen noch unvollständiger Myelinisierung findet die Erregungsleitung entlang der neu geformten terminalen Axone langsamer statt. Aufgrund dieser unterschiedlichen Impulsleitungsgeschwindigkeiten und der vergrößerten motorischen Endplattenfläche kommt es zu einer asynchronen elektrischen Aktivität. Es resultiert eine Aufspaltung des MUAPs, was sich in einer erhöhten Polyphasierate äußert. Abb. 3 zeigt physiologische MUAPs. Demgegenüber stellen sich in Abb. 4 deutliche polyphasische Potenziale im Rahmen von Reinnervationsvorgängen dar.

Abb. 3: Physiologische MUAPs (motor unit action potentials)

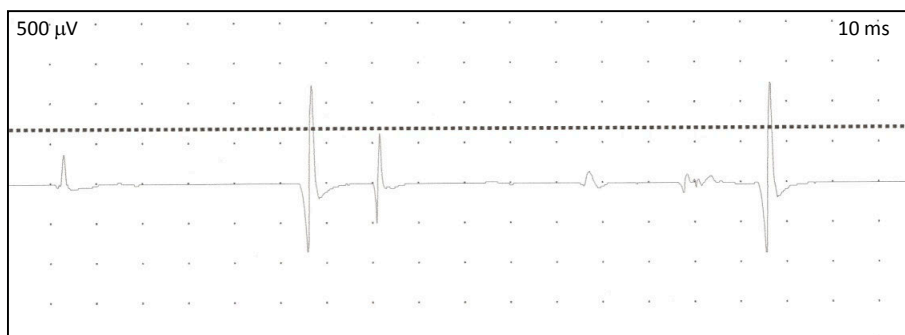
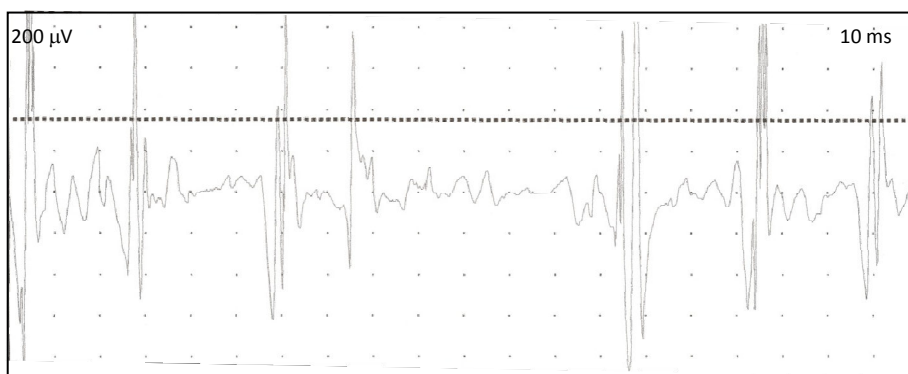


Abb. 4: Polyphasische MUAPs (motor unit action potentials)



Den Abschluss bildete die Beurteilung der Gesamtaktivität des Musculus multifidus bei maximaler Anspannung. Dies gelang meist dadurch, dass der Untersucher gegen die Rückenanspannung des Patienten antagonisierte, um eine noch stärkere Kontraktion hervorzurufen. Hierbei wurde nun das Interferenzmuster analysiert. Bei maximaler Willküraktivität werden alle in einem Muskel verfügbaren motorischen Einheiten mit hohen Entladungsfrequenzen angetrieben. Es kommt im physiologischen Zustand zur Potenzialüberlagerung der einzelnen motorischen Einheiten, sodass die Grundlinie nicht sichtbar ist. Gelichtete Interferenzmuster deuten auf Verlust motorischer Einheiten als Resultat von Denervierung oder myogenem Untergang hin. Abb. 5 zeigt ein mäßig gelichtetes Interferenzmuster (Score 2). In Abb. 6 ist im Vergleich dazu ein stark gelichtetes Interferenzmuster (Score 3) zu sehen.

Abb. 5: Mäßig gelichtetes Interferenzmuster (Score 2)

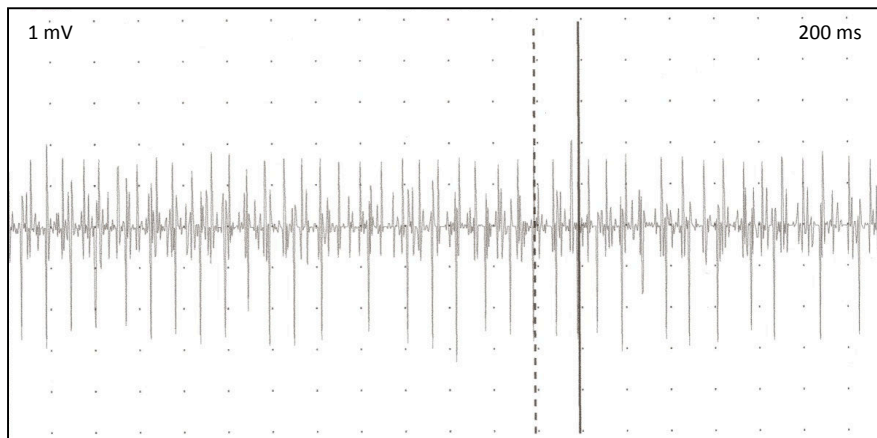
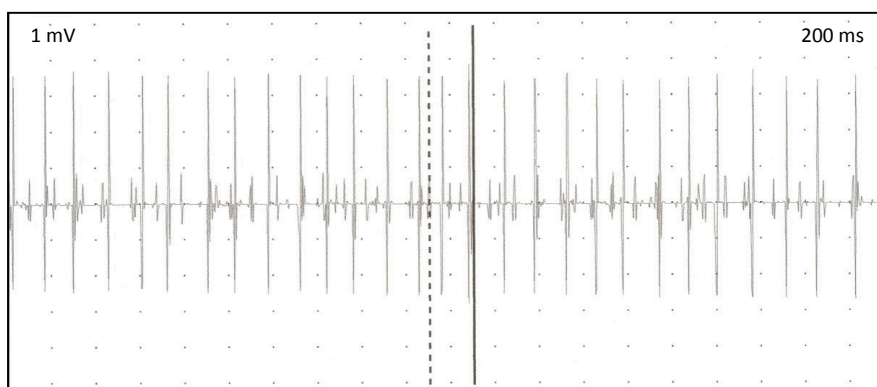


Abb. 6: Stark gelichtetes Interferenzmuster (Score 3)



Eine aussagekräftige Interpretation des Interferenzmusters war nur bei guter Compliance der Patienten möglich.

(Horowitz Steven H 2012, Stöhr 1998, Hopf et al. 1996, Geiringer 2002, Ludin 1993, Kukowski 2001, Bischoff et al. 2008, Bischoff und Schulte-Mattler 2011).

4.7 CT

4.7.1 Allgemeines

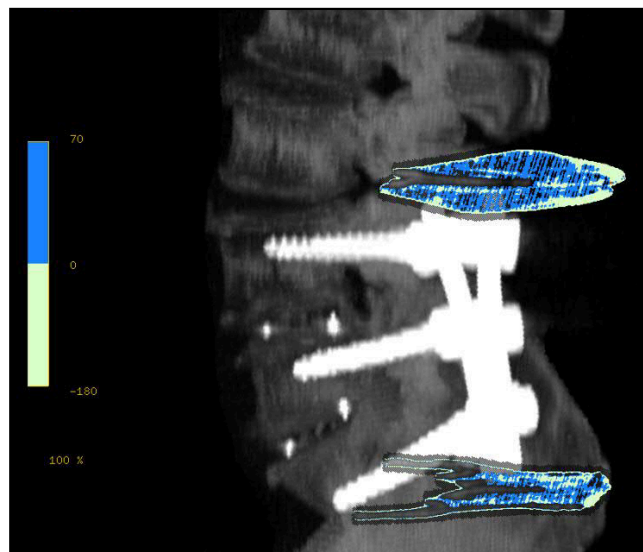
CT-Aufnahmen erfolgten mit dem 64-Mehrzeiler thin-slice CT LightSpeed™ VCT der Firma GE Healthcare (General Electric Company, Medical Systems) im Zentrum für Radiologie am Universitätsklinikum Jena. Die Bildgebung fand mit folgenden standardisierten Einstellungen statt: Schichtdicke 1 mm, Tischgeschwindigkeit 10,62 mm/Rotation, Pitch 0,531:1 mm/Umdrehung, Umdrehungszeit 0,6 s, Aufnahmegeschwindigkeit 17,7 mm/s, insgesamt Untersuchungsdauer circa 10 s. Die Patienten wurden in Rückenlage mit Füßen voran ins CT gefahren. Es handelte sich stets um Nativaufnahmen ohne Kontrastmittel, wie sie bei allen Patienten der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum Jena standardmäßig präoperativ und ein Jahr postoperativ durchgeführt werden. Beim Programm BWS wurde Th1 bis L1 abgebildet und beim LWS-CT sollten die Höhen Th12 bis S1 zur Darstellung kommen. Eine elektronische Archivierung der CT-Daten gelang mittels Cerner ProVision PACS.

4.7.2 CT-Volumetrie

Anhand der CT-Aufnahmen wurde eine Volumetrie mit Bestimmung des prozentualen Fett- und Muskelanteils durchgeführt. Dazu wurde die Advantage Workstation™ der Firma GE Healthcare (General Electric Company, Medical systems, machine type: HP xw8400 Workstation) mit der Software AW VolumeShare 2, Version 4.4 und dem Betriebssystem Linux verwendet. Zuerst erfolgte das Laden der präoperativen und ein Jahr postoperativen CT-Aufnahmen aus dem PACS-Archiv. Für die Betrachtungen und Messungen wurden stets Bilder im Weichteilfenster (windows wide 300, windows level 50, Kernel standard) ausgewählt. Von Interesse war für die Volumetrie die erste Schicht direkt oberhalb und unterhalb der Instrumentierung, also jeweils die ersten Schichten ohne Artefakte. Diese Vorgehensweise, d.h. Konzentration der Volumetrie auf zwei Schichten außerhalb der Instrumentierung, wurde bereits in anderen Studien so etabliert (Kim et al. 2005, Gille et al. 2007). Innerhalb des Operationsgebietes war eine Volumenmessung nicht erfolgreich, da sich zu viele und unterschiedlich starke Artefakte durch die Instrumentierung abbildeten. Nachdem in den axialen Aufnahmen die beiden Höhen der oberen und unteren Schicht gefunden wurden, folgte parallel dazu die Einstellung der Mediosagittalebene, um die entsprechenden Höhen in dieser Ebene zu markieren. Eine exakte Höhenangabe gelang durch Abmessung entlang der dorsalen Wirbelkörperkanten als Bezugslinie. Die ausgemessenen

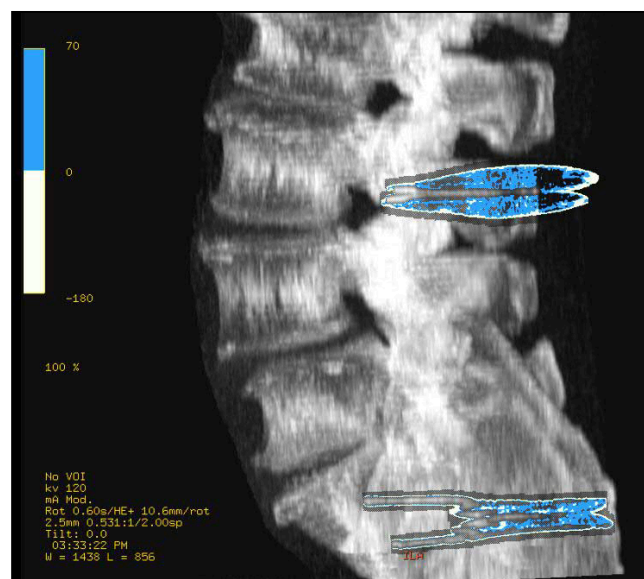
Lokalisationen der beiden Schichten wurden notiert, um genau die gleichen Ebenen in der präoperativen Aufnahme wiederzufinden. Dazu wurden die präoperativen Bilder zuerst in der Mediosagittalebene aufgerufen mit anschließender Abmessung der beiden Höhen. Im nächsten Schritt wurden diese Höhen in der axialen Schicht analysiert und in gleicher Art und Weise wie die postoperative Aufnahme volumetrisch bestimmt. Abb. 7 und Abb. 8 veranschaulichen die Lokalisation der oberen und unteren Schicht mit durchgeführter Volumetrie.

Abb. 7: CT 1 Jahr postoperativ mit erfolgter Volumetrie der oberen und unteren Schicht



Legende: blau... Muskel, hellgrün... Fett

Abb. 8: Präoperatives CT mit erfolgter Volumetrie der oberen und unteren Schicht



Legende: blau... Muskel, hellgrün... Fett

Die Ergebnisse für Fett- und Muskelvolumenanteil wurden anfangs getrennt für die obere und untere Schicht bestimmt. Am Ende wurde jeweils der Mittelwert für prozentuale Fett- und Muskelanteile aus oberer und unterer Schicht gebildet. Alle anschließenden statistischen Berechnungen wurden ausschließlich mit diesem Mittelwert durchgeführt.

Der Prozess der Volumetrie ist mithilfe Abb. 9, Abb. 10, Abb. 11, Abb. 12 und Abb. 13 dargestellt.

Abb. 9: Obere Schicht in axialer Ebene

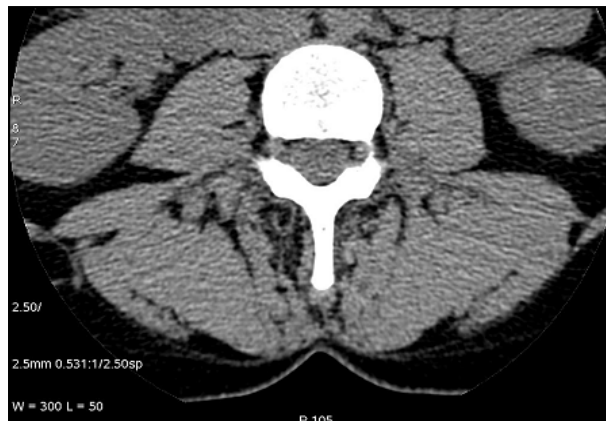


Abb. 10: Umfahren des Umfangs der paraspinalen Muskulatur

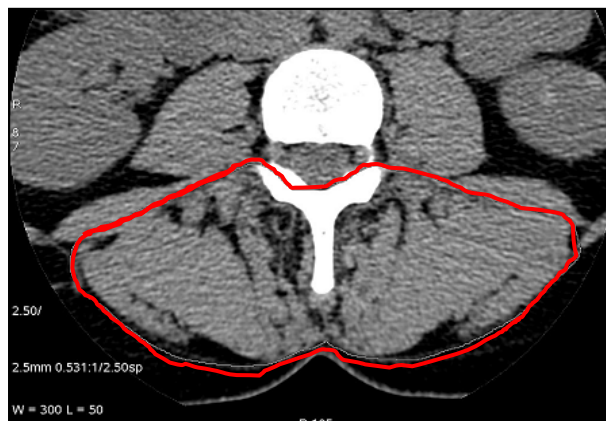
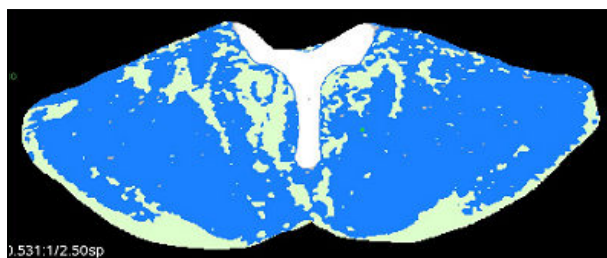


Abb. 11: ROI (region of interest) für Volumenanalyse

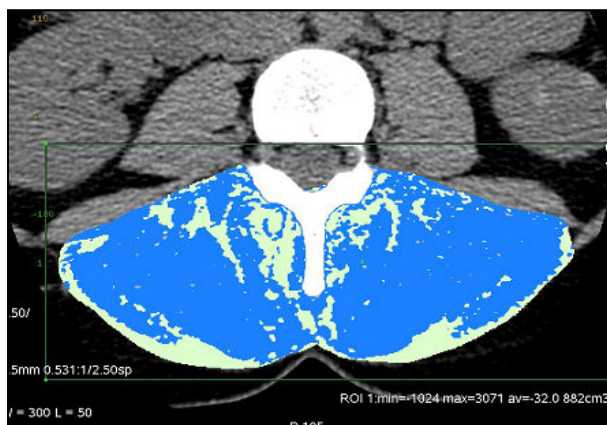


Abb. 12: Ergebnis der Volumetrie (22,9 % Fett, 77,1 % Muskel)



Legende: blau... Muskel, hellgrün... Fett

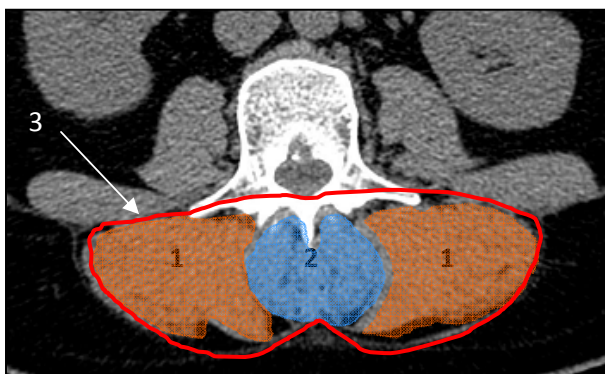
Abb. 13: ROI (region of interest) mit durchgeführter Volumetrie in axialer Schicht



Legende: blau... Muskel, hellgrün... Fett

Die Volumenbestimmung erfolgte, indem in der oberen und unteren axialen Schicht der Bereich der paraspinalen Muskulatur im Umfang umfahren und als region of interest (ROI) markiert sowie ausgeschnitten wurde. Nun konnten die prozentualen Anteile von Fett- und Muskelgewebe im ausgewählten Gebiet angezeigt werden, wobei die zwei Gewebe unterschiedlich farblich hervorgehoben wurden (Muskel blau, Fett hellgrün). Für diese Analyse mussten zu Beginn für Fett- und Muskelgewebe die entsprechenden Hounsfield-Einheiten (HU) wie folgt definiert werden: Fett -180 bis 0 HU und Muskel 0 bis 70 HU. Gewebe mit HU außerhalb dieses Bereiches, wie beispielsweise Knochen (Processus spinosus, Corpus vertebrae), wurden nicht miteinbezogen in die Volumetrie, auch wenn sie in der ROI inbegriffen waren. Bei allen Schichten wurde die ROI standardisiert umfahren, das bedeutete insbesondere die Auswahl der korrekten paraspinalen Muskelanteile. Dabei lag die Konzentration auf dem Musculus longissimus und Musculus multifidus, deren äußere Konturen durch mehrfaches Analysieren der axialen Schichten erfasst wurden. Vorbild bei der Auswahl von geeigneten Muskeln bildete die Studie zur Analyse der paravertebralen lumbalen Muskulatur nach Fusionsoperationen (Hartwig et al. 2011). Abb. 14 zeigt die analysierten Muskelstrukturen.

Abb. 14: Analyse der paraspinalen Muskulatur



Legende: 1... Musculi longissimi, 2... Musculi multifidi, 3... ROI (region of interest)

Somit entstand letztlich die Möglichkeit, Fett- und Muskelvolumen vom präoperativen und ein Jahr postoperativen Zeitpunkt zu vergleichen, um Fragestellungen der Muskelatrophie mit Ersatz durch Fettgewebe im postoperativen Verlauf zu beantworten.

4.7.3 Fusionsrate nach einem Jahr

Mit der Cerner ProVision Workstation (Firma GE Healthcare, General Electric Company, Medical systems) wurden die CT-Aufnahmen ein Jahr postoperativ bezüglich erfolgter Fusion der operierten Segmente analysiert. Die Analyse erfolgte anhand von Dünnschicht-Rekonstruktionen im Knochenfenster in drei Ebenen (windows wide 3000, windows level 300, Kernel bone).

Die Fusion wurde nur dann als erfolgreich beurteilt, wenn gleichzeitig folgende drei Voraussetzungen erfüllt waren: keine Veränderung des Alignements, keine Lyse im Schraubenbereich sowie erfolgte knöchernernde Konsolidierung im Bandscheibenfach (Schnake et al. 2013a, Bridwell et al. 1995, Eck et al. 2000, Schiffman et al. 2003, Schnake et al. 2013b, Burkus et al. 2001).

Es resultierte eine Unterscheidung in erfolgreiche und nicht stattgefundenene Fusion, anhand derer die Berechnung der Fusionsrate bei PLIF-Patienten gelang.

4.8 Statistische Verfahren

Für die Erfassung meiner Daten und deren statistischer Auswertung nutzte ich Microsoft Office Excel 2007 und IBM SPSS Statistics 19. Operations- und Elektrophysiologieberichte waren über das SAP-Programm des Universitätsklinikums Jena zugänglich, über welches ich zusätzlich an bibliografische Patientendaten gelangte. Für die Literaturverwaltung stand mir EndNote X5 zur Verfügung. Nach Absprache mit dem Institut für medizinische Statistik wurde bei gepaarten Wertepaaren (Laborparameter präoperativ, postoperativ, Entlassung; SF-36 Sub- und Summenskalen präoperativ, drei Monate postoperativ, sechs Monate postoperativ, ein Jahr postoperativ; EMG-Parameter präoperativ, sechs Monate postoperativ, ein Jahr postoperativ; CT-Volumetrie Ergebnisse präoperativ und ein Jahr postoperativ) mit dem Wilcoxon-Test auf signifikante Unterschiede geprüft. Für ungepaarte Stichproben (Laborparameter zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe, EMG-Parameter zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe) wurde der Mann-Whitney-Test (u-Test) angewendet. Der Median sowie Interquartilabstand zwischen dem ersten und dritten Quartil eigneten sich für diese Daten am besten als Streuungsmaße. Bei der Gegenüberstellung der SF-36 Resultate meiner PLIF-Gruppe mit der Normbevölkerung wurde eine Website (www.graphpad.com/quickcalcs/ttest1.cfm?Format=SD, GraphPad Software) genutzt, die nach Eingabe von Mittelwert, Standardabweichung und Patientenanzahl unter Verwendung eines ungepaarten T-Tests die Daten hinsichtlich der signifikanten Unterscheidung untersuchte. Bei Testung mittels T-Test sind Mittelwert in Verbindung mit Standardabweichung als Maße für die Streuung geeignet. Die Korrelationsanalyse erfolgte durch Berechnung des Spearman-Korrelationskoeffizienten.

Als statistisch signifikant wurden Ergebnisse mit $p \leq 0,05$ unter Verwendung der exakten zweiseitigen Signifikanz bei einem Konfidenzintervall von 95 % gewertet.

Meine Daten lagen in verschiedenen Skalenniveaus vor. Der Gruppe von metrischen Daten sind die Laborparameter, Fett- und Muskelanteile der CT-Volumetrie sowie Sub- und Summenskalen des SF-36 Fragebogens zuzurechnen. Die EMG-Parameter entsprechen einem ordinalen Niveau und die Fusionsrate einem nominalen.

Die Ergebnisse konnten mittels SPSS in Form von Liniendiagrammen und Boxplots veranschaulicht werden. Letztere zeigen den Median mit dem ersten und dritten Quartil als Streumaße, die den Boxplotrahmen formen. Werte, die diese Spannweite überschreiten, werden Ausreißerwerte genannt und im Diagramm durch kleine Sterne oder Kreise dargestellt.

5 ERGEBNISSE

Alle folgenden Ausführungen beziehen sich primär auf die PLIF-Gruppe. Falls auch die Perkutan-Gruppe in meine Betrachtungen mit eingeschlossen wird, werde ich dies explizit betonen.

5.1 Laborparameter

5.1.1 Laborparameter PLIF-Gruppe

Für CK und Myoglobin lässt sich ein ähnlicher Verlauf mit einer signifikanten postoperativen Steigerung der Werte finden. Zum Entlassungszeitpunkt nähern sich diese Laborparameter wieder dem Referenzbereich, bleiben jedoch noch signifikant über dem Niveau des präoperativen Ausgangswertes (Tab. 6 und Tab. 7).

LDH zeigt hingegen keinerlei signifikante Änderungen im zeitlichen Verlauf.

Folgende Tabelle (Tab. 6) sowie Abb. 15 und Abb. 16 verdeutlichen die quantitative Entwicklung der Laborparameter.

Tab. 6: Laborparameter im zeitlichen Verlauf

Laborparameter		Zeitpunkt		
		präoperativ	postoperativ	Entlassung
LDH [μmol/l]	Median	3,65	3,66	3,80
	Interq.	0,92	0,87	1,13
	N	30	23	30
CK [μmol/l]	Median	1,80	5,00	2,80 #
	Interq.	1,69	3,16	2,45
	N	30	24	30
Myoglobin [μg/l]	Median	44,00	216,00	64,00 #
	Interq.	36,50	306,75	59,00
	N	30	24	30

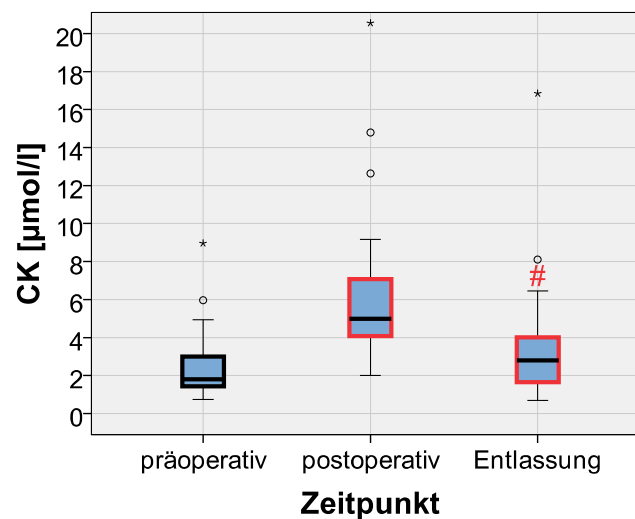
Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase, Interq. ... Interquartilabstand, N... Patientenzahl, rot markiert... $p < 0,05$ versus präoperativ, #... $p < 0,05$ versus postoperativ

Tab. 7: Prüfung auf signifikante Unterschiede der Laborparameter im zeitlichen Verlauf

Laborparameter	Signifikanz zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten		
	prä/post	post/Entl.	prä/Entl.
LDH	0,681	0,970	0,526
CK	0,000*	0,000*	0,035*
Myoglobin	0,000*	0,000*	0,012*

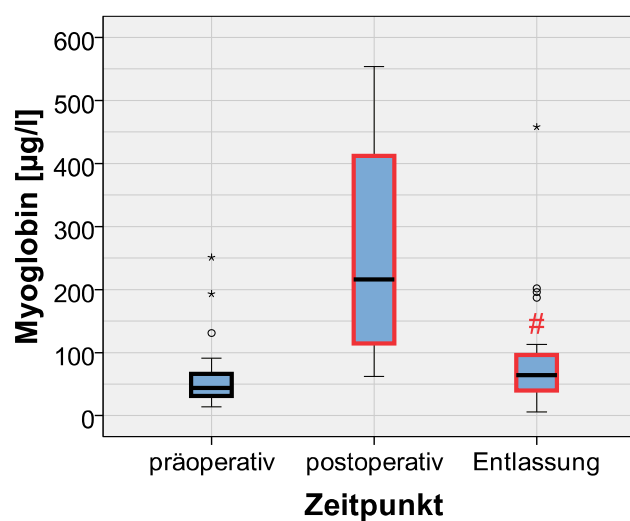
Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase, prä... präoperativ, post... zweiter postoperativer Tag, Entl. ... Entlassung, *... $p \leq 0,05$

Abb. 15: CK im zeitlichen Verlauf



Legende: CK... Creatinkinase, roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ, #... $p \leq 0,05$ versus postoperativ

Abb. 16: Myoglobin im zeitlichen Verlauf



Legende: roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ, #... $p \leq 0,05$ versus postoperativ

5.1.2 Laborparameter Vergleich: PLIF- versus Perkutan-Gruppe

Einen quantitativen Überblick über die Entwicklung der Laborparameter in der Perkutan-Gruppe gibt Tab. 8.

Tab. 8: Laborparameter im zeitlichen Verlauf in der Perkutan-Gruppe

Laborparameter		Zeitpunkt		
		präoperativ	postoperativ	Entlassung
LDH [μmol/l]	Median	5,80	6,36	4,00
	Interq.	1,33	3,11	1,02
	N	10	4	6
CK [μmol/l]	Median	3,99	12,07	6,00
	Interq.	4,14	9,23	3,29
	N	11	4	5
Myoglobin [μg/l]	Median	9,00	774,00	355,50
	Interq.	1258,00	3539,50	290,00
	N	9	4	4

Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase, Interq. ... Interquartilabstand, N... Patientenzahl

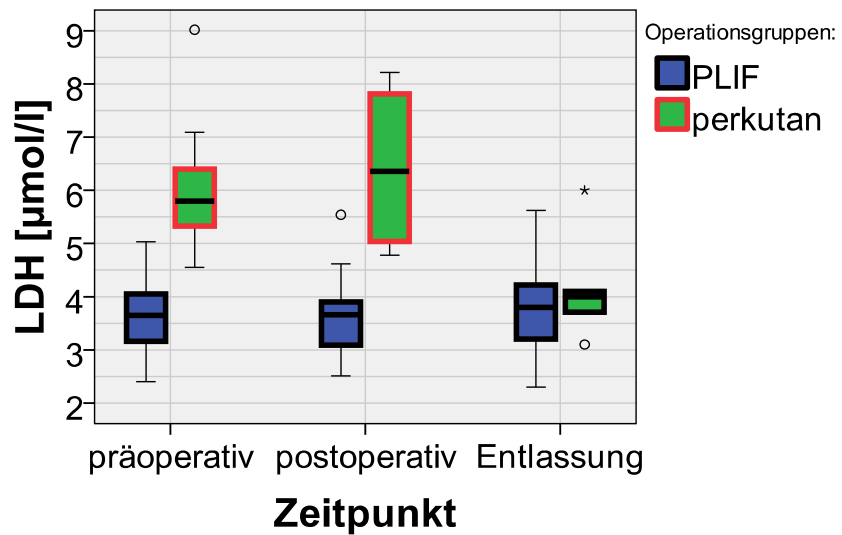
Tab. 9 sowie Abb. 17, Abb. 18 und Abb. 19 zeigen das Verhalten der Laborparameter verglichen zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe.

Tab. 9: Prüfung auf signifikante Unterschiede Laborparameter zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe

Laborparameter	Signifikanz zu unterschiedlichen Zeitpunkten		
	präoperativ	postoperativ	Entlassung
LDH	0,000*	0,000*	0,586
CK	0,004*	0,005*	0,055
Myoglobin	0,001*	0,015*	0,001*

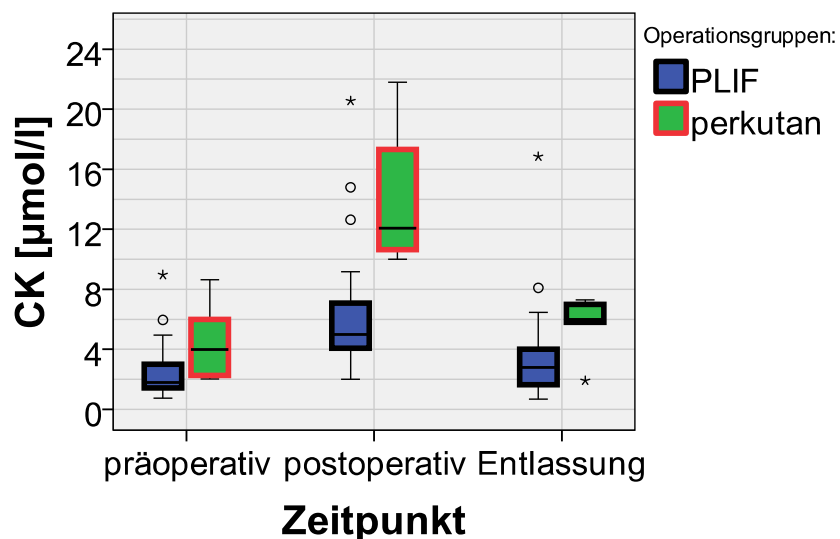
Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase, *... $p \leq 0,05$ PLIF- versus Perkutan-Gruppe

Abb. 17: LDH im zeitlichen Verlauf: PLIF- versus Perkutan-Gruppe



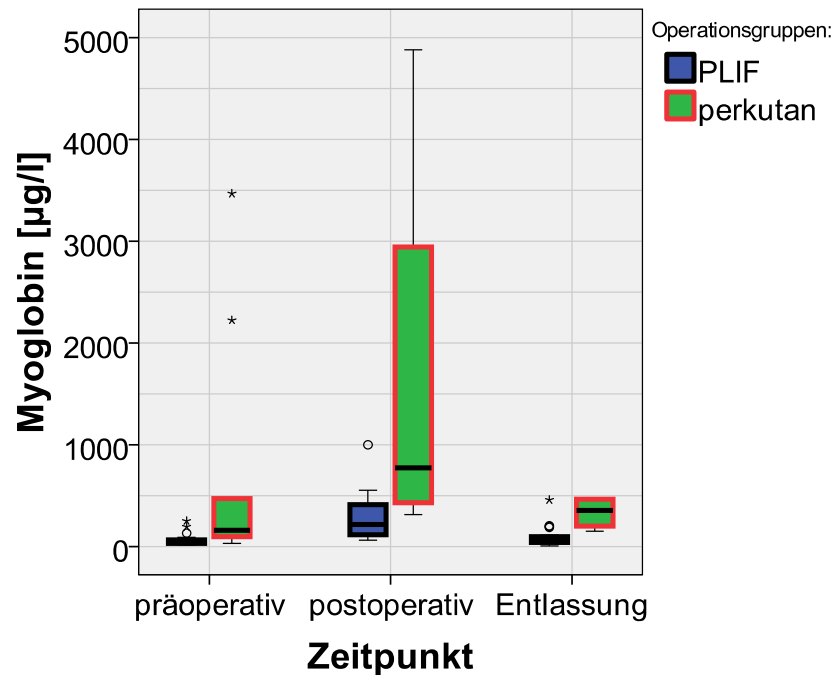
Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus PLIF

Abb. 18: CK im zeitlichen Verlauf: PLIF- versus Perkutan-Gruppe



Legende: CK... Creatinkinase, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus PLIF

Abb. 19: Zeitlicher Verlauf Myoglobin: PLIF- versus Perkutan-Gruppe



Legende: PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus PLIF

In der Perkutan-Gruppe sind bereits die präoperativen Ausgangswerte signifikant höher als in der PLIF-Gruppe und auch im weiteren Verlauf bleiben die Laborparameter signifikant auf stets höherem Niveau, folgen aber insgesamt dem gleichen Verlauf wie die Werte der PLIF-Gruppe.

5.2 EMG

5.2.1 EMG PLIF-Gruppe

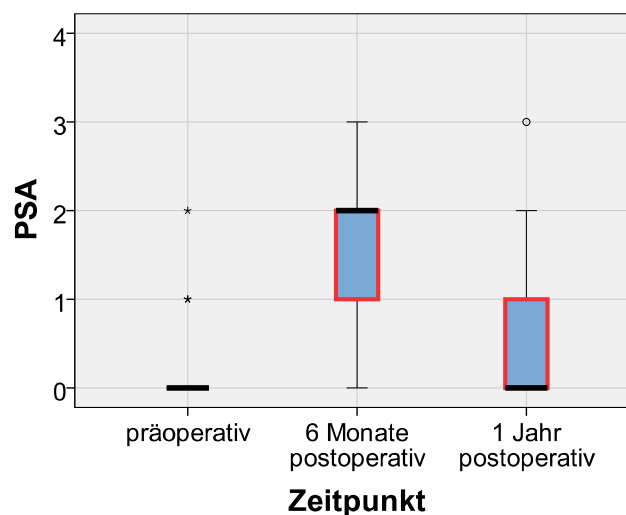
Tab. 10 sowie Abb. 20, Abb. 21 und Abb. 22 verdeutlichen den zeitlichen Verlauf der EMG-Parameter.

Tab. 10: EMG-Parameter im zeitlichen Verlauf

EMG-Parameter		Zeitpunkt		
		prä	6M	1J
PSA	Median	0	2	0
	Interq.	0	1	1
	N	30	19	25
Polyphasien	Median	0	1	1
	Interq.	0	1	1
	N	30	17	25
Interferenzmuster	Median	0	2	1
	Interq.	0	1	2,5
	N	30	17	20

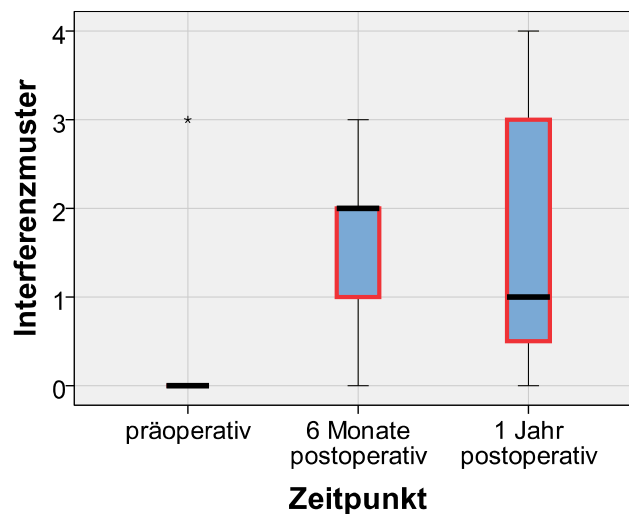
Legende: EMG... Elektromyografie, PSA... pathologische Spontanaktivität, Interq. ... Interquartilabstand, N... Patientenzahl, prä... präoperativ, 6M... 6 Monate postoperativ, 1J... 1 Jahr postoperativ, rote Markierung... $p \leq 0,05$ versus präoperativ, Scores EMG-Parameter: siehe Tab. 5 (S. 13)

Abb. 20: PSA im zeitlichen Verlauf



Legende: PSA... pathologische Spontanaktivität, Scores PSA: siehe Tab. 5 (S. 13), roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

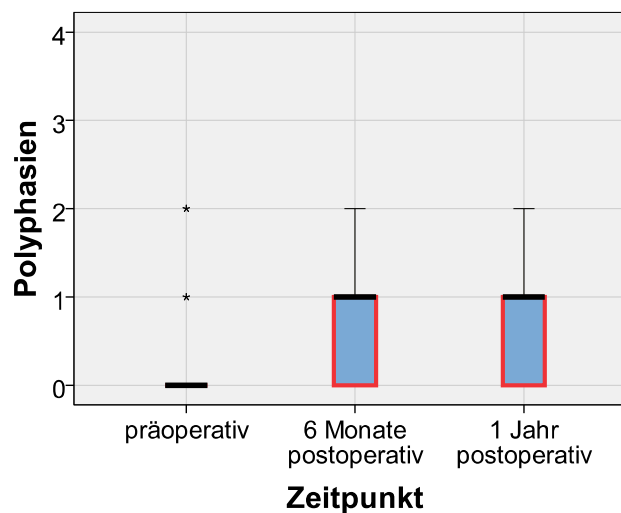
Abb. 21: Interferenzmuster im zeitlichen Verlauf



Legende: Scores Interferenzmuster: siehe Tab. 5 (S. 13), roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Es zeigt sich bei PSA und dem Interferenzmuster eine Steigerung der Score-Mediane von präoperativ zu sechs Monaten postoperativ. Ein Jahr postoperativ findet sich insgesamt ein Rückgang in den Score-Medianen, wobei der PSA-Median den präoperativen Wert wieder erreicht. Der Median des Interferenzmuster-Scores bleibt allerdings noch erhöht im Vergleich zu präoperativ.

Abb. 22: Polyphasien im zeitlichen Verlauf



Legende: Scores Polyphasien: siehe Tab. 5 (S. 13), roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Der Median der Polyphasierate steigt von präoperativ zu sechs Monaten postoperativ und bleibt auf diesem Wert auch zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ.

Es bestehen signifikante Unterschiede bei den drei EMG-Parametern zwischen den Zeitpunkten präoperativ versus sechs Monate postoperativ sowie präoperativ versus ein Jahr postoperativ. Im Zeitraum von sechs Monaten zu einem Jahr postoperativ ändern sich PSA, Polyphasien und Interferenzmuster nicht mehr signifikant. Dies wird mit Tab. 11 belegt.

Tab. 11: Prüfung auf signifikante Unterschiede EMG-Parameter im zeitlichen Verlauf

EMG-Parameter	Signifikanz zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten		
	prä/6M	6M/1J	prä/1J
PSA	0,000*	0,052	0,024*
Polyphasien	0,008*	0,398	0,007*
Interferenzmuster	0,000*	0,289	0,001*

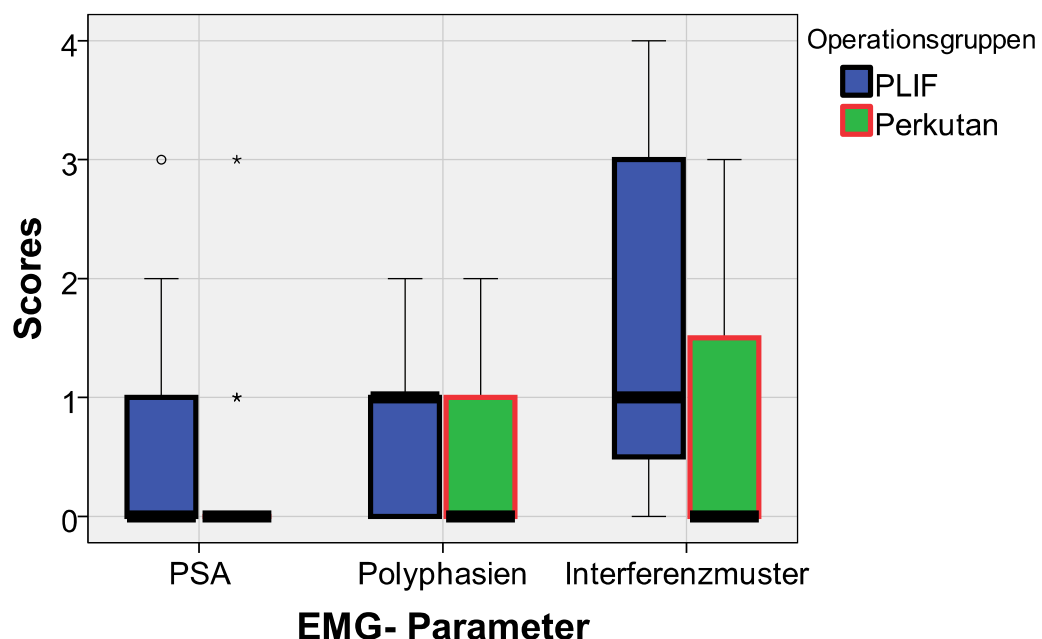
Legende: EMG... Elektromyografie, PSA... pathologische Spontanaktivität, prä... präoperativ, 6M... 6 Monate postoperativ, 1J... 1 Jahr postoperativ, *... $p \leq 0,05$

5.2.2 EMG Vergleich: PLIF- versus Perkutan-Gruppe

Um das langfristige Ausmaß der indirekten Muskeltraumatisierung durch die beiden unterschiedlichen Operationsverfahren miteinander zu analysieren, folgt ein Vergleich der EMG-Ergebnisse zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ.

Abb. 23 vermittelt einen ersten Eindruck über die Ausprägung der EMG-Parameter mit Gegenüberstellung von PLIF- und Perkutan-Gruppe.

Abb. 23: EMG-Parameter zum Zeitpunkt 1 Jahr postoperativ: PLIF- versus Perkutan-Gruppe



Legende: EMG... Elektromyografie, PSA... pathologische Spontanaktivität, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, roter Rahmen... $p \leq 0,05$ versus PLIF, Scores EMG-Parameter: siehe Tab. 5 (S. 13)

Es wird hier erkenntlich, dass die Medianwerte für Polyphasierate und Interferenzmuster in der Perkutan-Gruppe geringer ausfallen, d.h. sie befinden sich im physiologischeren Bereich. Für PSA ergeben sich sowohl in der PLIF- als auch in der Perkutan-Gruppe Score-Mediane auf dem physiologischen Niveau von Null.

Tab. 12 erlaubt einen direkten Vergleich der Häufigkeitsverteilung in den EMG-Scores zwischen den beiden Operationsgruppen.

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung EMG-Parameter 1 Jahr postoperativ: PLIF- versus Perkutan-Gruppe

Ausprägungsgrad EMG-Parameter	Anzahl	PSA		Polyphasien		Interferenzmuster	
		PLIF	PERKUTAN	PLIF	PERKUTAN	PLIF	PERKUTAN
0	%	52,0	78,6	40,0	61,5	25,0	66,7
	N	13	11	10	8	5	2
1	%	24,0	14,3	40,0	15,4	30,0	-
	N	6	2	10	2	6	-
2	%	20,0	-	20,0	23,1	15,0	-
	N	5	-	5	3	3	-
3	%	4,0	7,1	-	-	25,0	33,3
	N	1	1	-	-	5	1
4	%	-	-	-	-	5,0	-
	N	-	-	-	-	1	-
Gesamtanzahl		25	14	25	13	20	3

Legende: EMG... Elektromyografie, %... prozentualer Patientenanteil, N... absolute Patientenanzahl, PSA... pathologische Spontanaktivität, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, Scores EMG-Parameter: siehe Tab. 5 (S.13)

PSA, Polyphasierate und Interferenzmuster unterscheiden sich signifikant zwischen den beiden Operationsgruppen (Tab. 13).

Tab. 13: Prüfung auf signifikante Unterschiede EMG-Parameter 1 Jahr postoperativ: PLIF versus Perkutan

Signifikanzprüfung PLIF versus Perkutan	EMG-Parameter		
	PSA	Polyphasien	Interferenzmuster
Signifikanz	0,000*	0,042*	0,045*

Legende: PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, EMG... Elektromyografie, PSA... pathologische Spontanaktivität, *... p≤0,05 PLIF- versus Perkutan-Gruppe

5.3 CT PLIF-Gruppe

5.3.1 CT-Volumetrie

Tab. 14 präsentiert die Ergebnisse der Volumenmessung.

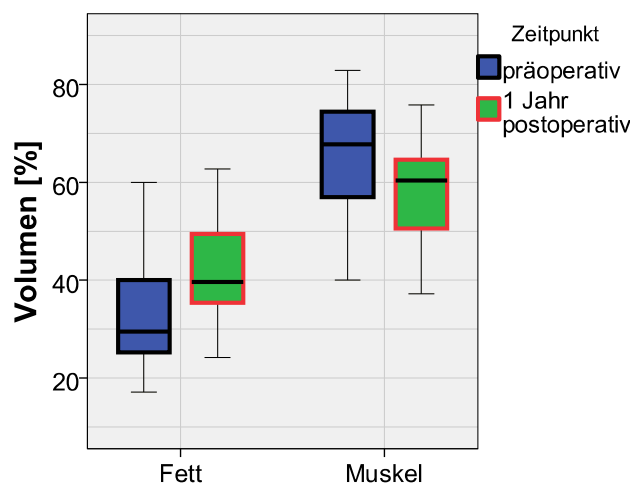
Tab. 14: CT-Volumetrie Ergebnisse und Prüfung auf signifikante Unterschiede präoperativ versus 1 Jahr postoperativ

CT-Volumetrie		Zeitpunkt		Signifikanz prä/1J
		prä	1J	
Fett	Median [%]	29,5	39,7	0,000*
	Interq.	16,9	15,7	
	N	14	21	
Muskel	Median [%]	67,8	60,4	0,000*
	Interq.	19,1	15,7	
	N	14	21	

Legende: CT... Computertomografie, Interq. ... Interquartilabstand, N... Patientenzahl, prä... präoperativ, 1J... 1 Jahr postoperativ, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Fett- und Muskelvolumen unterscheiden sich signifikant zwischen präoperativ und ein Jahr postoperativ, wobei im Fettgewebe eine signifikante Zunahme und im Muskelgewebe eine signifikante Abnahme ein Jahr postoperativ zu verzeichnen ist. Dieses Verhalten veranschaulicht auch Abb. 24.

Abb. 24: Ergebnisse der CT-Volumetrie: Fett- und Muskelvolumen präoperativ versus 1 Jahr postoperativ



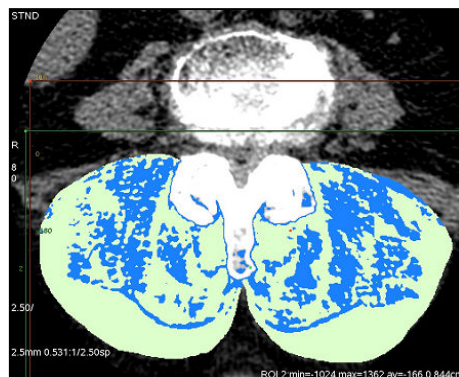
Legende: roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Das Fettvolumen steigt im Median um 6,3 %, während das Muskelvolumen im Median um 5,7 % abnimmt. Abb. 25 und Abb. 26 veranschaulichen ein typisches Bild von deutlicher Muskelatrophie mit Ersatz durch Fettvolumen zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ.

Abb. 25: Starke Muskelatrophie, Ersatz durch Fett



Abb. 26: Volumetrie von Abb. 25

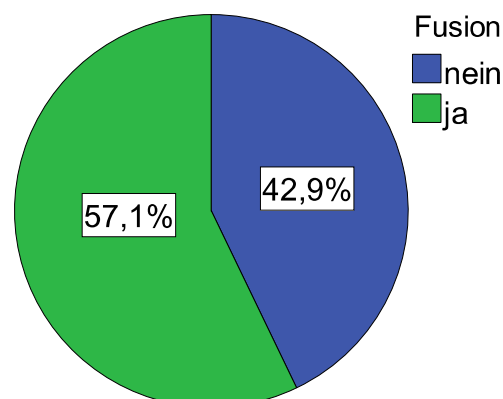


Legende: blau... Muskel, hellgrün... Fett

5.3.2 Fusionsrate

Von insgesamt 28 Patienten wurde bei zwölf Patienten (42,9 %) eine nicht erfolgreiche Fusion festgestellt. 16 (57,1 %) Patienten zeigten eine deutliche Fusion. Damit ergibt sich eine Fusionsrate von 57,1 % (Abb. 27).

Abb. 27: Fusionsrate



5.4 SF-36 PLIF-Gruppe

5.4.1 Allgemeine Ergebnisse zur Entwicklung der Lebensqualität

Tab. 15 gibt einen Eindruck über die Entwicklung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität, gemessen mittels SF-36, um das Outcome nach PLIF-Operationen einzuschätzen.

Die gesonderte Skala Gesundheitsveränderung verglichen mit Zustand vor einem Jahr (rawhtran) wird aufgrund ihrer entgegengesetzten Polarität bei den folgenden Aussagen vernachlässigt.

Tab. 15: SF-36 Sub- und Summenskalen im zeitlichen Verlauf

SF-36 Subskalen		präoperativ	3 Monate postoperativ	6 Monate postoperativ	1 Jahr postoperativ
pfi	Median	30,00	55,00	35,00	40,00
	Interq.	39,45	41,11	45,00	50,00
rolph	Median	0,00	0,00	0,00	0,00
	Interq.	0,00	50,00	50,00	50,00
pain	Median	22,00	41,00	32,00	41,00
	Interq.	14,50	28,50	40,00	30,00
ghp	Median	47,00	51,00	50,00	42,00
	Interq.	18,50	20,75	28,25	32,00
vital	Median	40,00	50,00	45,00	45,00
	Interq.	22,50	30,00	25,00	25,00
social	Median	50,00	75,00	75,00	75,00
	Interq.	31,25	50,00	68,75	62,50
rolem	Median	100,00	100,00	100,00	100,00
	Interq.	100,00	100,00	100,00	100,00
mhi	Median	60,00	68,00	60,00	64,00
	Interq.	20,00	20,00	22,00	28,00
rawhtran	Median	4,00	2,00	3,00	2,00
	Interq.	1,00	3,00	2,50	2,00
ksk	Median	24,28	31,56	24,35	27,54
	Interq.	10,85	13,40	18,05	15,95
psk	Median	46,20	53,10	47,95	54,52
	Interq.	21,27	14,26	22,61	19,89

Legende: SF-36... Short Form Health Survey, Interq. ... Interquartilabstand, rote Markierung... $p \leq 0,05$ versus präoperativ, SF-36 Subskalen: siehe Tab. 4 (S.10)

Bei der Berechnung, ob sich die SF-36 Sub- und Summenskalen signifikant im Laufe der Zeit ändern, ergeben sich folgende Resultate (Tab. 16).

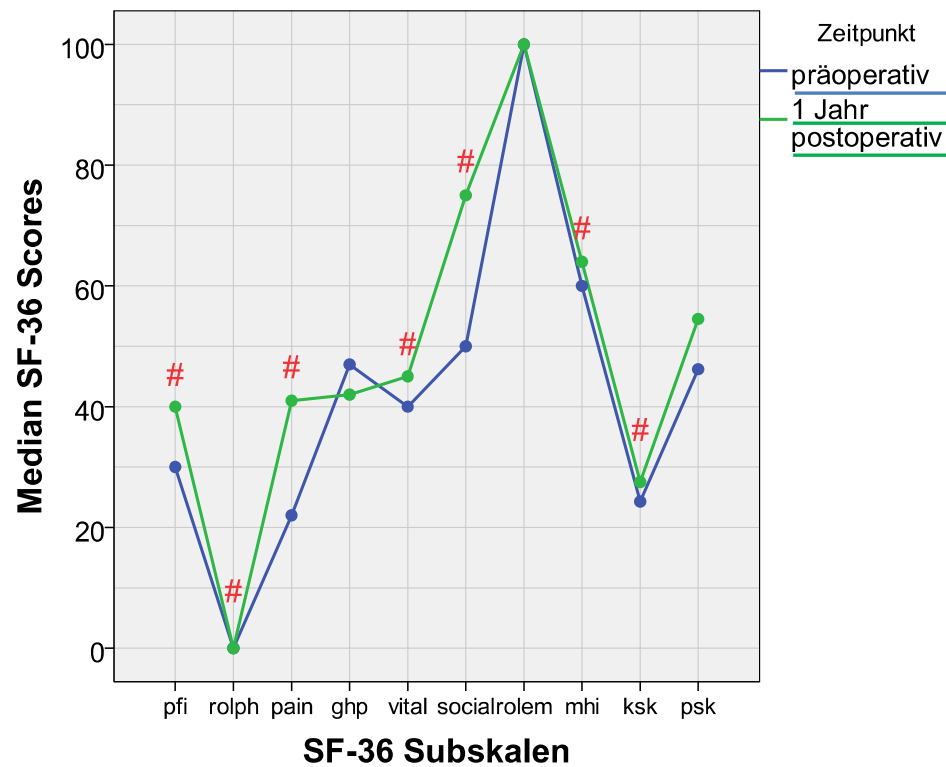
Tab. 16: Prüfung auf signifikante Unterschiede SF-36 Sub- und Summenskalen im zeitlichen Verlauf

SF-36 Subskalen	Signifikanz zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten		
	prä/3M	prä/6M	prä/1J
pfi	0,001*	0,125	0,021*
rolph	0,063	0,063	0,016*
pain	0,000*	0,002*	0,000*
ghp	0,048*	0,763	0,106
vital	0,352	0,630	0,027*
social	0,035*	0,744	0,034*
rolem	0,625	1,000	0,180
mhi	0,111	0,202	0,045*
rawthran	0,000*	0,002*	0,000*
ksk	0,000*	0,016*	0,002*
psk	0,312	0,806	0,117

Legende: SF-36... Short Form Health Survey, prä... präoperativ, 3M... 3 Monate postoperativ, 6M... 6 Monate postoperativ, 1J... 1 Jahr postoperativ, *... $p \leq 0,05$, SF-36 Subskalen: siehe Tab. 4 (S.10)

Es wird ersichtlich, dass sich die meisten signifikanten Änderungen zwischen den Zeitpunkten präoperativ versus drei Monate und versus ein Jahr postoperativ finden lassen. Signifikanzberechnungen zwischen den Zeitpunkten drei Monate versus sechs Monate postoperativ, drei Monate versus ein Jahr postoperativ sowie sechs Monate versus ein Jahr postoperativ ergaben keinerlei signifikante Unterschiede. Demzufolge findet eine deutliche Änderung der Lebensqualität nur in der Zeitspanne präoperativ zu drei Monaten postoperativ statt. Auch ein Jahr postoperativ ist ein deutlicher Unterschied in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bezogen auf den präoperativen Zustand zu erkennen, was Abb. 28 zeigt.

Abb. 28: SF-36 Sub- und Summenskalen: präoperativ versus 1 Jahr postoperativ

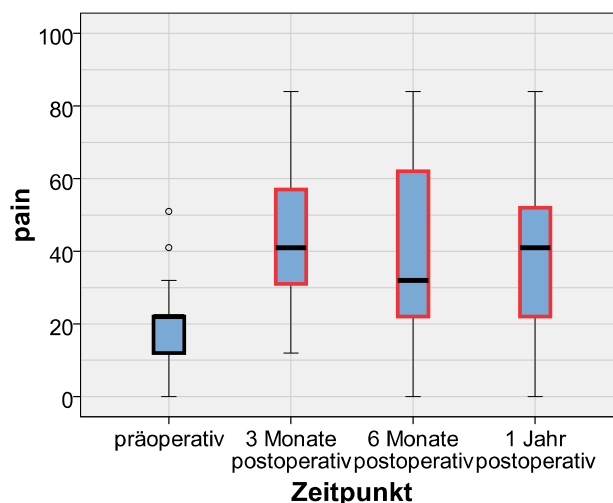


Legende: SF-36... Short Form Health Survey, #... $p \leq 0,05$ versus präoperativ, SF-36 Subskalen: s. Tab. 4 (S.10)

Die Medianwerte liegen ein Jahr postoperativ in fast allen Sub- und Summenskalen (außer allgemeine Gesundheitswahrnehmung- ghp) deutlich über den präoperativen.

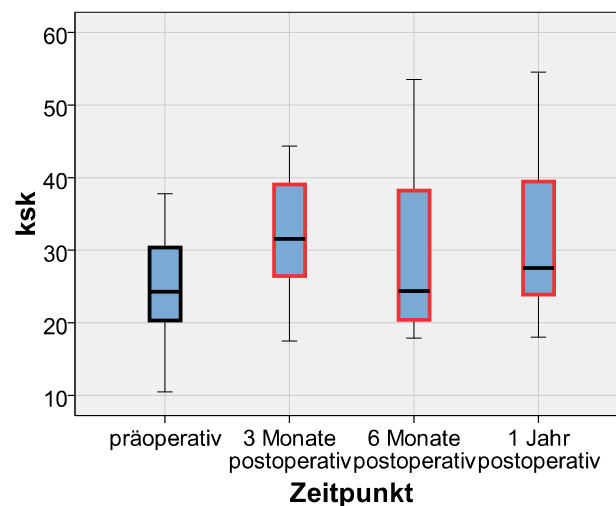
Die Änderung der Lebensqualität kann am besten anhand ausgewählter Sub- bzw. Summenskalen durch Abb. 29, Abb. 30 und Abb. 31 veranschaulicht werden.

Abb. 29: Körperliche Schmerzen (pain) im zeitlichen Verlauf



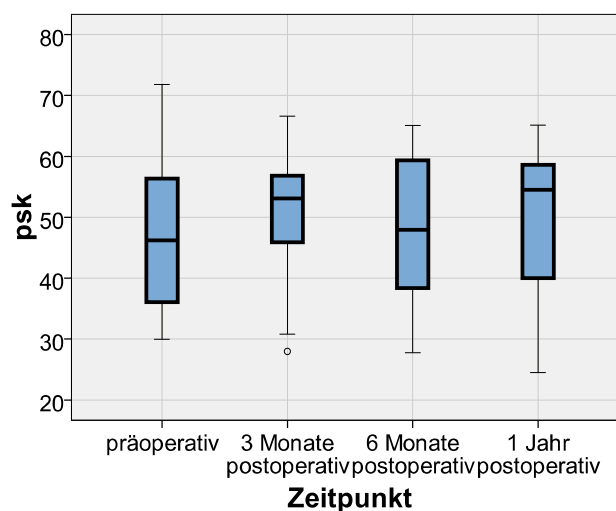
Legende: roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Abb. 30: Körperliche Summenskala (ksk) im zeitlichen Verlauf



Legende: roter Boxplotrahmen... $p \leq 0,05$ versus präoperativ

Abb. 31: Psychische Summenskala (psk) im zeitlichen Verlauf

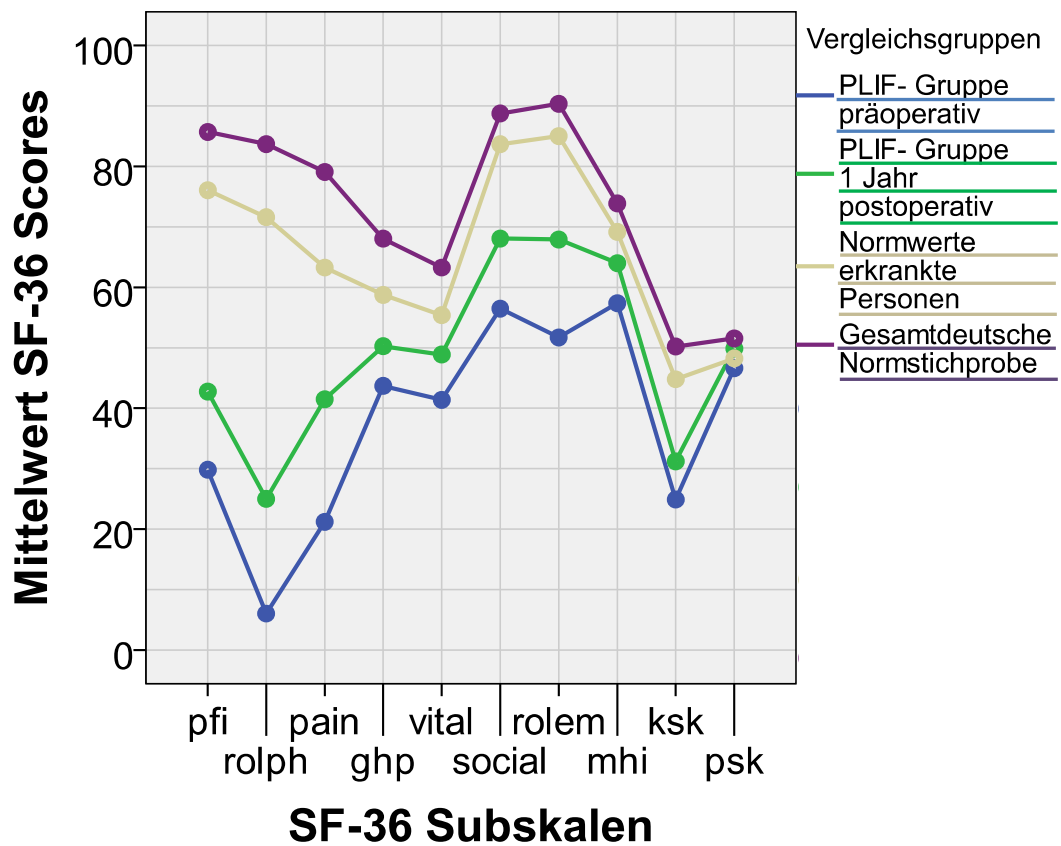


Die körperliche Summenskala (ksk) und körperliche Schmerzen (pain) ändern sich signifikant. Die psychische Summenskala (psk) zeigt hingegen keine signifikanten Veränderungen im zeitlichen Verlauf.

5.4.2 SF-36 Vergleich: PLIF-Gruppe versus Normbevölkerung

Ein weiterer Gesichtspunkt, unter dem ich das Outcome meiner Patienten betrachten möchte, ist die Einordnung der erzielten Lebensqualität der PLIF-Gruppe verglichen mit der deutschen Durchschnittsbevölkerung. Dazu folgen in Abb. 32 Gegenüberstellungen der SF-36 Scores meiner PLIF-Gruppe präoperativ und ein Jahr postoperativ versus den Werten der gesamtdeutschen Normstichprobe.

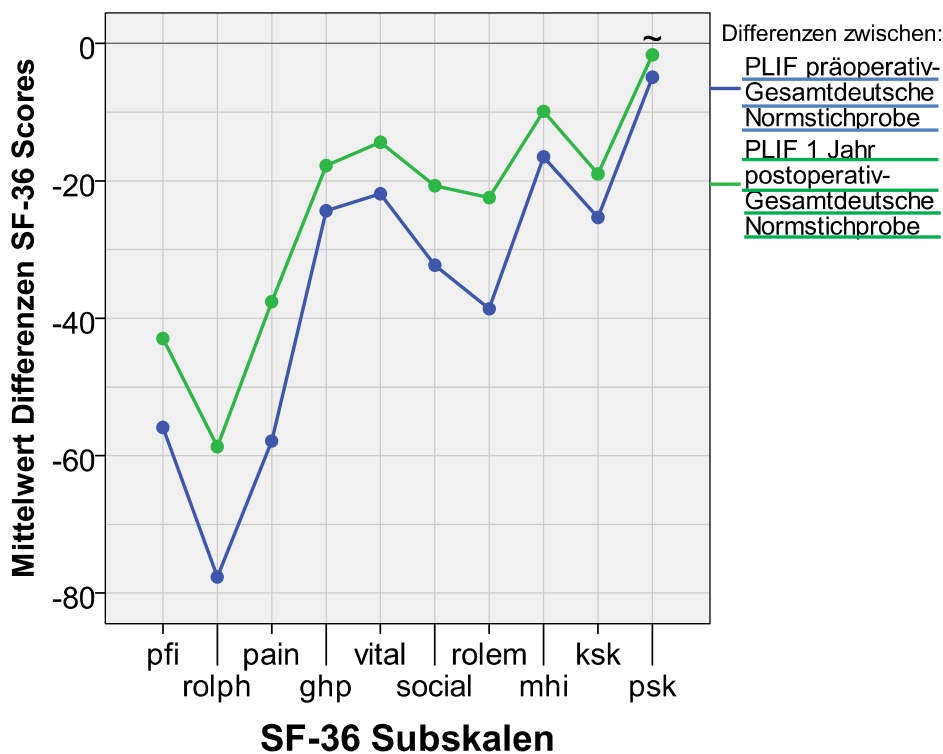
Abb. 32: Vergleich SF-36 Scores zwischen PLIF-Gruppe und Normbevölkerung



Legende: SF-36... Short Form Health Survey, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, SF-36 Subskalen: siehe Tab. 4 (S.10)

Inwieweit die Lebensqualität der PLIF-Gruppe von der gesamtdeutschen Normstichprobe abweicht, zeigt Abb. 33.

Abb. 33: Differenzen SF-36 Scores zwischen PLIF-Gruppe und gesamtdeutscher Normstichprobe zu den Zeitpunkten präoperativ und 1 Jahr postoperativ



Legende: SF-36... Short Form Health Survey, PLIF... posteriore lumbale interkorporelle Fusion, ~... $p > 0,05$, SF-36 Subskalen: siehe Tab. 4 (S.10)

Es ergeben sich stets negative Differenzen, da die SF-36 Scores der PLIF-Gruppe immer geringer ausfallen als die der Normpopulation.

5.5 Korrelationsanalysen PLIF-Gruppe

Ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Auswertung meiner Daten liegt auf der Korrelationsanalyse. Ziel ist es, Faktoren herauszukristallisieren, die signifikanten Einfluss auf das Outcome nach PLIF-Operation haben. Die Korrelationsanalysen wurden, mit Ausnahme der Laborparameter (Entlassungszeitpunkt), stets mit Daten durchgeführt, die ein Jahr postoperativ erhoben wurden. Folgende Faktoren wurden auf gegenseitigen Zusammenhang hin untersucht: EMG-Parameter, die das Ausmaß der indirekten Muskeltraumatisierung widerspiegeln, wobei PSA und Interferenzmuster Parameter der Denervierung sind und Polyphasien durch Reinnervationsvorgänge entstehen, CT-Volumetrie zur Quantifizierung der Folgen von direkter und indirekter Muskelirritation, Laborparameter, welche das direkte Trauma der paraspinalen Muskulatur durch eine PLIF anzeigen sollen sowie Alter, Fusionsrate und Geschlecht. Zur Einschätzung des Einflusses auf das Outcome wurden nur die wesentlichen Kategorien des

SF-36 Fragebogens ausgewählt: körperliche Schmerzen (pain), körperliche (ksk) sowie psychische Summenskala (psk).

Bei der Korrelationsanalyse zwischen EMG-Parametern und CT-Volumetrie ergeben sich folgende Resultate (Tab. 17).

Tab. 17: Korrelationsanalyse EMG versus CT-Volumetrie

Korrelationsanalyse EMG/ CT-Volumetrie		CT-Volumetrie [%]			
		Fettvolumen		Muskelvolumen	
		K	Sign.	K	Sign.
EMG	PSA	0,219	0,002*	-0,219	0,002*
	Interferenzmuster	0,178	0,046*	-0,178	0,046*

Legende: EMG... Elektromyografie, CT... Computertomografie, PSA... pathologische Spontanaktivität, K... Korrelationskoeffizient, Sign. ... Signifikanz, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$
 EMG-Parameter Scores: 0... physiologisch, 4... maximal pathologisch
 CT-Volumetrie: 0 %... minimales Volumen, 100 %... maximales Volumen

Das Fettvolumen korreliert positiv mit PSA und Interferenzmuster. Dies bedeutet, umso höhere, d.h. pathologischere Werte bei den EMG-Parametern, desto größer auch der Fettgewebsanteil. Entgegengesetzt findet sich eine negative Korrelation zwischen dem Muskelvolumen und PSA bzw. Interferenzmuster. Größere Ergebnisse in beiden EMG-Kategorien gehen einher mit einer Abnahme an Muskelvolumen.

In Tab. 18 werden Korrelationen zwischen Denervierungszeichen im EMG und Veränderungen von Fett- und Muskelvolumen mit dem Outcome gegenübergestellt.

Tab. 18: Korrelationsanalyse EMG und CT-Volumetrie versus SF-36

Korrelationsanalyse EMG und CT-Volumetrie/SF-36		SF-36 Summenskalen				SF-36 Subskala	
		ksk		psk		pain	
		K	Sign.	K	Sign.	K	Sign.
EMG	PSA	-0,138	0,038*	-0,236	0,000*	-0,179	0,007*
	Interferenzmuster	-0,067	0,368	-0,251	0,001*	-0,108	0,149
CT- Volumetrie [%]	Fettvolumen	-0,169	0,020*	-0,214	0,003*	-0,382	0,000*
	Muskelvolumen	0,169	0,020*	0,214	0,003*	0,382	0,000*

Legende: EMG... Elektromyografie, CT... Computertomografie, SF-36... Short Form Health Survey, PSA... pathologische Spontanaktivität, ksk... körperliche Summenskala, psk... psychische Summenskala, pain... körperliche Schmerzen, K... Korrelationskoeffizient, Sign. ... Signifikanz, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$
 EMG-Parameter Scores: 0... physiologisch, 4... maximal pathologisch
 CT-Volumetrie: 0 %... minimales Volumen, 100 %... maximales Volumen
 SF-36 Scores: 0... schlechtester Gesundheitszustand, 100... bester Gesundheitszustand

Es ergibt sich eine negative Korrelation der EMG-Parameter mit den SF-36 Kategorien, d.h. je höher und damit pathologischer die Werte für PSA und Interferenzmuster, desto geringer die SF-36 Scores, welche für einen schlechteren Gesundheitszustand sprechen. Weiterhin erschließt sich aus Tab. 18 eine negative Korrelation des Fettvolumens mit den SF-36 Subskalen. Ein Anstieg im Fettvolumen steht im Zusammenhang mit einer Verringerung der SF-36 Scores, d.h. schlechterem Gesundheitszustand. Demgegenüber ergibt sich für das Muskelvolumen eine positive Korrelation: umso mehr Muskelanteil, desto größer die SF-36 Scores und damit bessere Lebensqualität.

Als zusätzlicher Einflussfaktor wurde das Alter bezüglich Korrelationen mit Ausmaß an Denervierung und Reinnervationsvorgängen (EMG), Fett- und Muskelvolumen (CT-Volumetrie) sowie dem Outcome (SF-36) untersucht (Tab. 19).

Tab. 19: Korrelationsanalyse EMG, CT-Volumetrie und SF-36 versus Alter

Korrelationsanalyse EMG, CT-Volumetrie und SF-36/Alter		Alter	
		K	Sign.
EMG	PSA	0,338	0,000*
	Polyphasien	0,189	0,003*
	Interferenzmuster	0,069	0,334
CT-Volumetrie [%]	Fettvolumen	0,140	0,042*
	Muskelvolumen	-0,140	0,042*
SF-36	ksk	-0,251	0,000*
	psk	0,088	0,149
	pain	-0,028	0,644

Legende: EMG... Elektromyografie, CT... Computertomografie, SF-36... Short Form Health Survey, PSA... pathologische Spontanaktivität, ksk... körperliche Summenskala, psk... psychische Summenskala, pain... körperliche Schmerzen, K... Korrelationskoeffizient, Sign. ... Signifikanz rote Markierung und *... $p \leq 0,05$

EMG-Parameter Scores: 0... physiologisch, 4... maximal pathologisch

CT-Volumetrie: 0 %... minimales Volumen, 100 %... maximales Volumen

SF-36 Scores: 0... schlechtesten Gesundheitszustand, 100... besten Gesundheitszustand

Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Alter und den EMG-Parametern, d.h. umso älter die Patienten sind, desto höhere, also krankhaftere Werte ergeben sich bei PSA, Polyphasien und Interferenzmuster. Denervierung tritt demzufolge bei älteren Patienten mit höherer Wahrscheinlichkeit auf als bei jüngeren. Bezüglich des Fettvolumens findet sich eine positive Korrelation, hinsichtlich des Muskelanteils besteht ein negativer Zusammenhang.

Weiterhin imponiert eine negative Korrelation des Alters mit der körperlichen Summenskala (ksk) und mit körperlichen Schmerzen (pain). Demgegenüber steht Alter jedoch in meinem Patientengut im positiven Zusammenhang mit der psychischen Summenskala (psk). Höheres Alter bringt demnach meist bessere Punkte in der psychischen Gesundheit. Ältere Patienten befinden sich zwar im Zustand schlechterer körperlicher Gesundheit, sie sind jedoch dem jüngeren Patientengut hinsichtlich des psychischen Wohlbefindens überlegen.

Weiterhin untersuchte ich den Zusammenhang zwischen Alter und Fusionsrate (Tab. 20).

Tab. 20: Korrelationsanalyse Alter versus Fusionsrate

Korrelationsanalyse Alter/ Fusionsrate	Fusionsrate	
	K	Sign.
Alter	-0,255	0,000*

Legende: *K...* Korrelationskoeffizient, *Sign. ...* Signifikanz, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$
Fusionsrate: 0... keine Fusion, 1... erfolgreiche Fusion

Es besteht ein negativer Zusammenhang zwischen Fusionsrate und Alter, d.h. ältere Patienten haben geringere Chancen auf eine erfolgreiche Fusion.

Außerdem war von Interesse, ob es sich beim Geschlecht um einen Einflussfaktor handelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in Tab. 21 präsentiert.

Tab. 21: Korrelationsanalyse EMG, CT-Volumetrie, SF-36 und Fusionsrate versus Geschlecht

Korrelationsanalyse EMG, CT-Volumetrie, SF-36 und Fusionsrate/Geschlecht		Geschlecht	
		K	Sign.
EMG	PSA	-0,024	0,701
	Polyphasien	-0,33	0,000*
	Interferenzmuster	-0,055	0,441
CT-Volumetrie [%]	Fettvolumen	0,334	0,000*
	Muskelvolumen	-0,334	0,000*
SF-36	ksk	-0,058	0,342
	psk	-0,116	0,057
	pain	-0,162	0,008*
Fusionsrate		0,125	0,037*

Legende: EMG... Elektromyografie, CT... Computertomografie, SF-36... Short Form Health Survey, PSA... pathologische Spontanaktivität, ksk... körperliche Summenskala, psk... psychische Summenskala, pain... körperliche Schmerzen, K... Korrelationskoeffizient, Sign. ... Signifikanz, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$

EMG-Parameter Scores: 0... physiologisch, 4... maximal pathologisch

CT-Volumetrie: 0 %... minimales Volumen, 100 %... maximales Volumen

SF-36 Scores: 0... schlechtester Gesundheitszustand, 100... bester Gesundheitszustand

Fusionsrate: 0... keine Fusion, 1... erfolgreiche Fusion

Geschlecht: 1... männlich, 2... weiblich

Es ergibt sich eine negative Korrelation des Geschlechts mit den EMG-Parametern, d.h. das weibliche Geschlecht ist für physiologischere Werte bezüglich PSA, Polyphasien und Interferenzmuster prädisponiert. Fettvolumen steht im positiven, Muskelvolumen im negativen Zusammenhang mit dem Geschlecht. Dies bedeutet: das weibliche Geschlecht geht einher mit höherem Fett- und geringerem Muskelvolumen, verglichen zu männlichen Patienten. Bei Betrachtung der Lebensqualität zeigt sich eine negative Korrelation mit dem Geschlecht. Es scheint, dass weibliche Patienten ein schlechteres Outcome hinsichtlich des Gesundheitszustandes berichten. Eine positive Korrelation ergibt sich zwischen Fusionsrate und Geschlecht. Bei Frauen ist die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Fusion also höher als bei Männern. Um generelle Korrelationen hinsichtlich des Geschlechts treffen zu können, wären weitere Untersuchungen mit einer größeren Stichprobe hilfreich.

Zusätzlich wurde die Korrelation des direkten Muskeltraumas (Laborparameter zum Entlassungszeitpunkt) mit dem Denervierungsgrad (EMG) und der Lebensqualität (SF-36) geprüft (Tab. 22).

Tab. 22: Korrelationsanalyse EMG und SF-36 versus Laborparameter

Korrelationsanalyse EMG und SF-36/Laborparameter		Laborparameter zum Entlassungszeitpunkt					
		LDH		CK		Myoglobin	
		K	Sign.	K	Sign.	K	Sign.
EMG	PSA	0,164	0,009*	0,092	0,149	0,098	0,123
	Interferenzmuster	0,04	0,578	0,211	0,003*	0,242	0,001*
SF-36	ksk	-0,303	0,000*	-0,069	0,261	-0,069	0,261
	psk	-0,004	0,948	-0,103	0,092	-0,212	0,000*
	pain	-0,237	0,000*	-0,135	0,027*	-0,14	0,021*

Legende: EMG... Elektromyografie, SF-36... Short Form Health Survey, PSA... pathologische Spontanaktivität, ksk... körperliche Summenskala, psk... psychische Summenskala, pain... körperliche Schmerzen, LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase, K... Korrelationskoeffizient, Sign. ... Signifikanz, rote Markierung und *... $p \leq 0,05$

EMG-Parameter Scores: 0... physiologisch, 4... maximal pathologisch

SF-36 Scores: 0... schlechtesten Gesundheitszustand, 100... besten Gesundheitszustand

Laborparameter: umso höher, desto pathologischer (d.h. desto größeres direktes Muskeltrauma)

Es zeigt sich eine positive Korrelation der Laborwerte mit den EMG-Parametern, das bedeutet stärkeres direktes Muskeltrauma geht einher mit pathologischeren EMG-Werten. Desweiteren bestätigt sich eine negative Korrelation zwischen LDH, CK und Myoglobin mit den SF-36 Kategorien. Somit korreliert eine stärkere Muskelschädigung mit geringerer Lebensqualität.

6 DISKUSSION

6.1 Atrophie der paraspinalen Muskulatur

6.1.1 Allgemeines

Es sind viele Gründe für ein unzufriedenes Outcome nach PLIF-Operationen bekannt, wobei die Funktionsstörung der paraspinalen Muskulatur infolge von Atrophie zu einem der meist diskutierten Einflussfaktoren zählt (Lu et al. 2002).

In verschiedenen Studien wurde bereits die Traumatisierung der paraspinalen Muskulatur mit resultierender Atrophie nach offenen Wirbelsäulenoperationen an der LWS durch unterschiedliche Methoden nachgewiesen: anhand von Muskelbiopsien mit histologischer sowie histochemischer Analyse (Kawaguchi et al. 1994b, Kawaguchi et al. 1994a, Kawaguchi et al. 1996a), Funktionstests der Muskulatur (Gejo et al. 1999), intramuskulären Druckmessungen (Stevens et al. 2006, Kawaguchi et al. 1996b) sowie systemischen Laborparametern (Kawaguchi et al. 1996a, Kim et al. 2006, Lenke et al. 1994). Mithilfe von volumetrischen Analysen konnte durch mehrere MRT-Studien (Kim et al. 2005, Stevens et al. 2006, Liu et al. 2010) und CT-Untersuchungen (Hartwig et al. 2011) die zunehmende Muskelatrophie der paravertebralen Muskelmasse im postoperativen Verlauf belegt werden. Auch meine Ergebnisse bestätigen diese progressive paraspinale Muskelatrophie verbunden mit Ersatz durch Fettgewebe nach PLIFs (Tab. 14 und Abb. 24).

Mögliche Ursachen für diese Atrophie sind im Rahmen des operativen Vorgehens einerseits die direkte Traumatisierung der Muskulatur durch Zug und Druck, andererseits könnte auch die sekundäre Atrophie infolge von Denervierung wegen Verletzung des Ramus dorsalis eine Rolle spielen (Suwa et al. 2000, Braunsfurth und Kallitzas 1975). Zusätzlich ist die Fusion des Bewegungssegments durch eine PLIF mit resultierender funktioneller Inaktivität der paraspinalen Muskulatur in diesem Bereich als weiterer Grund für eine Atrophie denkbar. Im Folgenden möchte ich bezugnehmend auf meine Ergebnisse die verschiedenen Ätiologien der Muskelatrophie näher beleuchten.

6.1.2 Direktes Muskeltrauma

CK ist das etablierteste Enzym für die Diagnostik und Verlaufskontrolle von Muskelerkrankungen. Es zeichnet sich als sensitivster Indikator für Muskeltraumata aus. Dieser Laborparameter ist besonders für die Differenzierung einer Muskelverletzung hinsichtlich der myogenen oder neurogenen Pathogenese geeignet (Bohlmeyer et al. 1994, Wu und Perryman 1992). Das Enzym befindet sich in den Myofibrillen der inneren Mitochondrienmembran sowie im Cytoplasma, wo es für die zelluläre Energiespeicherung und den Energietransport Verantwortung trägt (Bessman und Carpenter 1985). Es handelt sich um ein Dimer, bestehend aus M- und B-Polypeptiden, welches in Form von drei Isoenzymen (CK-MM, CK-MB, CK-BB) im Cytoplasma mit spezifischen Gewebspräferenzen vorkommt sowie zwei Typen von Makro-CK, die sich in den Mitochondrien lokalisieren. Eine Erhöhung der Isoenzyme CK-MM, CK-MB und CK-BB im Serum erlauben Schlussfolgerungen auf die Art des verletzten Gewebes. Physiologischerweise findet sich die höchste CK Konzentration im Skelettmuskel, wobei in diesem Gewebe zu nahezu 100 % die Isoform CK-MM dominiert. Im Herzmuskelgewebe ist das Vorkommen von CK-MB charakteristisch (Neumeier 1981, Yousef et al. 2006, Brancaccio et al. 2010). Der CK-MB Anteil kann jedoch auch in der quergestreiften Muskulatur erhöht sein. Eine chronische oder wiederholte Muskelschädigung mit unvollständiger Heilung oder laufenden Regenerationsvorgängen ist mit einer CK-MB Produktion im Muskel verbunden, ähnlich dem Zustand während embryonalen bzw. fetalen Entwicklungsprozessen, und hat einen messbaren CK-MB Serumanstieg zur Folge (Healey et al. 1985, Wolf 1991). Somit kann es also auch bei Abwesenheit von myokardialen Ereignissen zu einem Anstieg von CK-MB kommen. Das Auftreten von CK-BB konzentriert sich auf das Gehirngewebe (Neumeier 1981).

LDH befindet sich im Cytosol und katalysiert den letzten anaeroben Glykolyse-schritt, die Umwandlung von Pyruvat zu Laktat (Rawn 1989). Dieses Enzym ist nahezu in jedem körperlichen Gewebe zu finden. Die Serum LDH Aktivität ist somit kein spezifischer muskulärer Parameter, sondern vielmehr ein globaler Marker für Zelluntergänge. Anhand der Isoenzyme gelingen aber auch mittels dieses Laborwerts Rückschlüsse auf die Art des Gewebeschadens. Es existieren fünf Isoformen, die sich als tetrametrische Kombinationen aus M- und H-Ketten zusammensetzen. Für die quergestreifte Muskulatur ist das Vorkommen von LDH 5 (Isoenzym MMMM) charakteristisch (Bohlmeyer et al. 1994, Brancaccio et al. 2010, Wu und Perryman 1992).

Myoglobin ist ein monomeres Sauerstoff bindendes Protein, dessen Hauptfunktion die Sauerstoffversorgung des Muskelgewebes ist (Wu und Perryman 1992).

Durch die Untersuchung der besagten Laborparameter sollte in meiner Arbeit das Ausmaß an direkter Muskeltraumatisierung nachgewiesen werden (Tab. 6, Tab. 7, Abb. 15, Abb. 16). Für CK und Myoglobin gilt gleichermaßen: der postoperative signifikante Anstieg könnte die direkte Muskeltraumatisierung durch die Operation widerspiegeln. Der anschließende Rückgang zum Entlassungszeitpunkt kann am ehesten als Erholung von der direkten Muskelirritation gesehen werden. Es hat jedoch noch keine vollständige Remission zum Entlassungszeitpunkt stattgefunden, weshalb sich höhere Werte im Vergleich zum Ausgangsbefund finden lassen (Tab. 6). Über den postoperativen Verlauf der CK-Werte lassen sich in der Literatur ähnliche Angaben finden wie in meiner Arbeit (Kawaguchi et al. 1997, Lenke et al. 1994).

Der schnelle und signifikante Anstieg von CK und Myoglobin am zweiten postoperativen Tag rechtfertigt eine Interpretation dieser Werte hinsichtlich der Repräsentation für gerade stattgefundenene Muskeltraumatisierung im Rahmen der Operation, auch wenn es weitere Gründe für Erhöhungen dieser Laborparameter gibt. Darunter zählen beispielsweise ein myokardiales Ereignis, Verletzung anderer Strukturen durch ungünstige perioperative Lagerung des Patienten, alkoholinduzierte und medikamentös-toxische Effekte von cholesterinsenkenden Wirkstoffen, Muskelrelaxantien oder Steroiden (Zuckner 1994, Curry et al. 1989, Hirano et al. 1992), körperliche Betätigung direkt vor dem operativen Eingriff (Tiidus und Ianuzzo 1983) sowie iatrogene Muskelverletzung im Sinne von intramuskulären Injektionen oder EMG-Untersuchungen (Miller 2012). Andere Grunderkrankungen aus dem rheumatologischen Bereich (Miro et al. 1996, Garton und Isenberg 1997, Bohan et al. 1977), systemische Vaskulitiden (Fort et al. 1994, Lanham et al. 1984, Fauci et al. 1983), infektiöse Myopathien, Muskeldystrophien (Rosalki 1989), endokrine Myopathien z.B. im Rahmen einer Hypothyreose und Motoneuronenerkrankungen (Amrit und Anderson 1974) sind nur einige der weiteren Beispiele, die außerdem für eine Erhöhung der Muskelenzyme verantwortlich sein können. Die Höhe der postoperativen CK- und Myoglobinwerte könnte auch Rückschlüsse auf das Ausmaß der direkten Muskelschädigung erlauben (Kim et al. 2006, Arts et al. 2007). Es muss allerdings kritisch angemerkt werden, dass die Laborparameter keinen Hinweis auf einen spezifischen Muskel geben.

LDH ist zur Beurteilung der Muskelschädigung durch die Operation in meinen beiden Patientengruppen nicht geeignet, da LDH nicht adäquat mit dem postoperativen Verlauf korreliert (Tab. 6).

Durch die Korrelationsanalyse (Tab. 22) kann nachgewiesen werden, dass ein postoperativ schlechter Funktionszustand der paraspinalen Muskulatur (gelichtetes Interferenzmuster im EMG)

mit erhöhten CK- und Myoglobinwerten signifikant korreliert. Dies könnte dafür sprechen, dass die direkte Muskelschädigung im Zusammenhang steht mit muskulärer Dysfunktion und schließlich auch Atrophie. Dabei muss beachtet werden, dass die Korrelationskoeffizienten zwar signifikant, jedoch meist nur sehr schwach sind (Tab. 22). Demzufolge muss es neben dem direkten Muskeltrauma weitere Parameter geben, die zur paraspinalen Atrophie und Funktionsstörung beitragen.

6.1.3 Indirektes Muskeltrauma

Meine Daten der EMG-Messungen geben Hinweise, dass die Denervierung infolge von Verletzung des Ramus dorsalis einer der weiteren Einflussfaktoren für die Ausbildung von paraspinaler Atrophie und muskulärer Dysfunktion sein könnte (Tab. 10, Abb. 20, Abb. 21, Abb. 22, Tab. 11).

Die signifikant differenten Werte von PSA und gelichtetem Interferenzmuster sechs Monate und ein Jahr postoperativ im Vergleich zu präoperativ (Tab. 11) können als Indikator für die abgelaufene Denervierung durch axonale Schädigung des Ramus dorsalis interpretiert werden. Gleichermaßen widerspiegelt die im postoperativen Verlauf gesteigerte Polyphasierate die nachfolgenden Reinnervationsvorgänge. Ähnliche Erkenntnisse im Sinne einer postoperativen Steigerung der PSA sowie Rarefizierung des Interferenzmusters und Besserung mit zunehmendem Abstand vom Operationszeitpunkt wurden bereits veröffentlicht (Donovan et al. 1980). Da sich auch ein Jahr postoperativ die EMG-Parameter in meinem Patientengut noch immer signifikant vom präoperativen Zustand unterscheiden (Tab. 11), ist wahrscheinlich, dass die Denervierung langfristig persistiert und ebenfalls neuronale Regenerationsvorgänge ein Jahr postoperativ noch im Gange sind.

Meine Korrelationsanalysen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen gelichtetem Interferenzmuster und erhöhten CK- sowie Myoglobinwerten. Auch bei PSA zeigt sich die gleiche Tendenz, jedoch nicht signifikant, d.h. erhöhte LDH-, CK- und Myoglobinwerte treten gleichzeitig mit verstärkter PSA-Rate auf (Tab. 22). Einerseits könnte dies bedeuten, dass verstärkte direkte Muskelschädigung einhergeht mit einer muskulären Funktionsstörung. Andererseits könnte diese Korrelation dahingehend interpretiert werden, dass ein direktes und indirektes Muskeltrauma miteinander positiv korrelieren, d.h. umso traumatischer der Eingriff, desto stärker die indirekte und direkte muskuläre Schädigung. Diese Überlegung würde ein minimalinvasives Vorgehen mit

insgesamt geringerer Traumatisierung wegen kleinerem Zugangsweg befürworten. Eine signifikant negative Korrelation von PSA und Interferenzmuster mit Muskelvolumen (Tab. 17) lässt vermuten, dass Denervierung im Zusammenhang mit Muskelatrophie steht. Entgegengesetzte Beziehungen lassen sich für PSA und Interferenzmuster mit dem Fettvolumen finden (Tab. 17), d.h. mit steigender PSA-Rate und gelichtetem Interferenzmuster steigt signifikant die Wahrscheinlichkeit für erhöhtes Fettvolumen. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die atrophierten Muskelanteile durch Fettgewebe ersetzt werden. Meine Ergebnisse unterstützen hiermit die Vermutung, dass Denervation der paraspinalen Muskulatur nach Verletzung des Ramus dorsalis mit dem Auftreten von Muskelatrophie assoziiert ist. Diese Erkenntnis wurde bereits durch eine experimentelle Studie belegt (Hayashi et al. 1992), wobei jedoch betont werden muss, dass sich meine Resultate nur im klinischen Kontext einordnen lassen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt gibt es in der Literatur keine prospektiven Studien, die sich mit Nadel-EMG Verlaufsuntersuchungen verbunden mit gleichzeitiger quantitativer Analyse des Atrophieausmaßes der paraspinalen Muskulatur nach PLIFs beschäftigen.

6.2 Klinisches Outcome

Der kausale Zusammenhang zwischen Atrophie oder fettiger Degeneration der paraspinalen Muskulatur mit einem schlechteren klinischen Outcome nach offenen Operationen an der LWS ist in der Literatur bereits bekannt (Hyun et al. 2007, Ren et al. 2009, Sihvonen et al. 1993, Tsutsumimoto et al. 2009, Watanabe et al. 2005), wobei es sich stets um vergleichende retrospektive Arbeiten handelt. Derzeit sind noch keine prospektiven Studien zur Unterstützung dieser Theorie veröffentlicht.

Für die Beurteilung des Outcomes nach PLIF-Operationen wurde in meiner Arbeit der SF-36 Fragebogen verwendet (Tab. 15, Tab. 16, Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30, Abb. 31). Wenngleich im postoperativen Verlauf der Gesundheitszustand nicht konstant steigt (Tab. 15), ist jedoch ein Jahr postoperativ, mit Ausnahme der Skala allgemeine Gesundheitswahrnehmung (ghp), eine zumeist signifikante Verbesserung klar zu erkennen (Abb. 28). Die PLIF-Operation kann demzufolge bei entsprechender Indikationsstellung deutlich zur Steigerung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität beitragen. Es kann von einem langfristig positiven Outcome bezüglich der Lebensqualität in meiner PLIF-Gruppe gesprochen werden.

Es ist eine generelle Tendenz in meinen Daten ableitbar (Tab. 15): im Vergleich zu präoperativ existiert nach drei Monaten postoperativ eine zumeist signifikante Verbesserung der Lebensqualität. Im Verlauf zu sechs Monaten postoperativ findet sich eine Verschlechterung im selbsteingeschätzten Gesundheitszustand. Zum Zeitpunkt ein Jahr postoperativ ist erneut eine klare Steigerung zu sehen. Dieser charakteristische Verlauf kann besonders gut nachvollzogen werden anhand der Skalen körperliche Funktionsfähigkeit (pfi), körperliche Schmerzen (pain), Vitalität (vital), psychisches Wohlbefinden (mhi), Gesundheitsveränderung verglichen mit Zustand vor einem Jahr (rawhtran), körperliche (ksk) sowie psychische Summenskala (psk). Bei körperlicher Rollenfunktion (rolph) und emotionaler Rollenfunktion (rolem) lässt sich die Tendenz nur schwer nachvollziehen, was am ehesten mit den beschränkten Antwortmöglichkeiten ja oder nein in diesen beiden Kategorien zu erklären ist. Zustand schlechtester Lebensqualität findet sich stets präoperativ (Ausnahme: allgemeine Gesundheitswahrnehmung-ghp). Als Höhepunkt der Lebensqualität behauptet sich der Zeitpunkt drei Monate postoperativ, da hier überwiegend die höchsten Punktwerte erreicht werden. Mögliche Gründe dafür sind beispielsweise die noch konsequente Teilnahme an medizinischer Trainingstherapie und Physiotherapie, welche im weiteren postoperativen Verlauf oftmals zunehmend in Vernachlässigung geraten sowie noch laufende oder erst kürzlich abgeschlossene Anschlussheilbehandlungen. Dass aktive Beübung der Muskulatur sowie Rehabilitationstherapien positive Auswirkung auf das Outcome haben, wurde in mehreren Studien anhand unterschiedlicher Rehabilitationsmaßnahmen bestätigt (Abbott et al. 2010a, Christensen et al. 2003, Nielsen et al. 2008, Nielsen et al. 2010, Tarnanen et al. 2012). Neu geknüpft Kontakte zu gleichermaßen betroffenen Patienten und der damit verbundene Erfahrungsaustausch können einen positiven Einfluss auf die empfundene Lebensqualität bewirken. Der relativ kurze zeitliche Abstand zum präoperativen deutlich schlechteren Gesundheitszustand trägt auch vermutlich zu einer subjektiv empfundenen stark gebesserten Lebensqualität nach drei Monaten postoperativ bei. Oftmals beobachtet man zu diesem Zeitpunkt noch eine prophylaktische körperliche Schonung und eine vorsichtige, allmähliche Wiedereingliederung ins Berufsleben, die insgesamt das Gefühl der Überforderung sowie Überlastung durch die vorausgegangene Operation vermeiden sollen und dadurch positive Auswirkung auf das Allgemeinbefinden haben können. Die soziale Unterstützung sowie Stressreduktion wurden in einer früheren Studie als Komponenten mit günstiger Beeinflussung des Outcomes nach Wirbelsäulenoperationen benannt (Laxton und Perrin 2003). Weiterhin besteht

drei Monate postoperativ möglicherweise noch eine feste Analgetikamedikation, die durch Schmerzlinderung ebenfalls eine Lebensqualitätsverbesserung erreicht.

Bei Betrachtung der beiden Summenskalen (Tab. 15, Tab. 16, Abb. 30, Abb. 31) fällt auf, dass sich in der körperlichen Summenskala stets signifikante Änderungen zeigen und ein Jahr postoperativ eine merkliche Besserung zu verzeichnen ist. Hingegen ergeben sich in der psychischen Summenskala zu keinem Zeitpunkt signifikante Veränderungen. Demzufolge wirkt sich die PLIF-Operation deutlich positiv auf den körperlichen Gesundheitszustand aus, während die psychische Gesundheit jedoch kaum beeinflusst wird. Diese Diskrepanz wurde auch in einer vorausgegangenen Studie so eruiert (Juricek et al. 2010). Objektiv, d.h. körperlich, hilft die PLIF-Operation zur Verbesserung des Gesundheitszustandes, die Patienten sind aber anscheinend nicht in der Lage, ihre neue gebesserte Situation im realistischen Verhältnis einzuschätzen. Gründe dafür könnten beispielsweise sein: im Hintergrund laufende Rentenbegehren, psychische Traumatisierungen durch eine angekündigte große Operation verbunden mit Ängsten, zu große Erwartungshaltungen an die Operation, der Krankenhausaufenthalt an sich, sekundärer Krankheitsgewinn inklusive sozialem Hintergrund sowie individuelle psychische Faktoren (Kaptain et al. 1999, Dvorak et al. 1988a, Dvorak et al. 1988b, Junge et al. 1995, Young et al. 1997, Abbott et al. 2010b, Trief et al. 2000). Außerdem spielen in die psychische Gesundheit auch individuelle, nicht medizinische Faktoren mit hinein, die in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit der Operation stehen müssen. So wurden auf einigen Patientenfragebögen folgende Erklärungen für einen schlechteren psychischen Zustand handschriftlich notiert: eine bevorstehende Prüfungszeit oder der Pflegeaufwand eines dementen Lebenspartners.

Kritisch sehe ich, dass bei dem SF-36 Fragebogen nicht differenziert eruiert wird, ob die Antworten im direkten Kontext mit der PLIF-Operation stehen, denn es wird global der derzeitige psychische und körperliche Gesundheitszustand erhoben. Besser wäre jeweils eine Unterscheidung, ob sich die Angaben als Folgen der Operation ergeben haben oder ob sie vielmehr durch nicht medizinische Faktoren zu erklären sind. Auch vorstellbar sind andere Erkrankungen in Zeiten steigender Anzahl multimorbider Patienten, die die eigentliche Ursache für schlechtere Lebensqualität sein könnten. Desweiteren muss beachtet werden, dass mit diesem Messinstrument nur der derzeitige Gesundheitszustand an einem Zeitpunkt abgefragt wird. Bei den meisten Patienten ändert sich das körperliche und v.a. psychische Wohlbefinden jedoch periodisch, weshalb eine Befragung, die sich nur punktuell auf einen Zeitpunkt bezieht, von

geringerer Aussagekraft ist, verglichen mit Frageformulierungen, die repräsentative Zeitspannen, wie beispielsweise den vergangenen Monat, betrachten.

Bei dem Vergleich meiner PLIF-Gruppe mit der Normbevölkerung (Abb. 32, Abb. 33) ist die Kurve des schlechtesten Gesundheitszustandes den Werten der PLIF-Gruppe zum präoperativen Zeitpunkt zuzuordnen. Damit kann die Rechtfertigung der Operationsindikation belegt werden. Ziel der Operation ist u.a. eine Lebensqualitätssteigerung und Minimierung des Abstands zur Normbevölkerung, was in meiner PLIF-Gruppe erreicht wurde (Abb. 33). Anhand des Kurvenverlaufes in Abb. 33 wird deutlich, dass in der PLIF-Gruppe ein Jahr postoperativ die Differenzen zur Normstichprobe in allen Subskalen geringer ausfallen als zum präoperativen Zeitpunkt. Es wird jedoch ein Jahr postoperativ noch nicht der Gesundheitszustand der Normbevölkerung erreicht, denn dies würde bedeuten, dass sich die Differenzen der Nulllinie annähern müssten. Hier wäre evtl. eine erneute Befragung der PLIF-Patienten nach einem längeren Zeitraum (z.B. fünf Jahre postoperativ) von Nutzen. Dadurch könnte untersucht werden, ob sich die Lebensqualität dieser Gruppe weiterhin der Normbevölkerung annähert bzw. langfristig eine sogar bessere Lebensqualität erreicht wird. Eine frühere Studie kam zu der Schlussfolgerung, dass sich die Lebensqualität bei operierten Patienten mit spinaler Stenose auch noch im vierten bis achten postoperativen Jahr verbessert (Padua et al. 2007).

Meine Korrelationsanalysen bestärken die Annahme, dass ein Zusammenhang zwischen Muskelatrophie und schlechterem klinischen Outcome besteht, da sich eine signifikante positive Korrelation zwischen Muskelvolumen und den SF-36 Sub- und Summenskalen zeigt (Tab. 18). Gegenläufig verhält sich die Beziehung zwischen Fettvolumen und SF-36 Skalen: steigendes Fettvolumen geht wahrscheinlicher signifikant einher mit geringerer Lebensqualität (Tab. 18). Hinsichtlich der ätiologischen Differenzierung der Atrophie, zeigt sich sowohl eine Korrelation des Outcomes mit der indirekten Muskeltraumatisierung anhand einer signifikanten negativen Korrelation von PSA mit körperlicher Summenskala (ksk), psychischer Summenskala (psk) und körperlichen Schmerzen (pain) (Tab. 18) als auch mit der direkten Muskelschädigung: besonders in der Subskala körperliche Schmerzen (pain) besteht eine signifikante negative Korrelation mit den Laborparametern, sodass steigende LDH, CK und Myoglobinwerte im Zusammenhang mit verstärktem Schmerzempfinden stehen könnten (Tab. 22).

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass in meiner PLIF-Gruppe die Atrophie der paraspinalen Muskulatur sowie direkte und indirekte Muskeltraumatisierung das Outcome negativ beeinflussen könnten.

6.3 Vergleich PLIF versus perkutaner Fixateur

6.3.1 Allgemeines

Der aktuelle Trend bei Wirbelsäulenoperationen hin zu immer mehr minimalinvasivem Vorgehen basiert auf der Hypothese, dass Schonung der paraspinalen Muskulatur in ein besseres klinisches Outcome im Vergleich zu konventionellen Herangehensweisen mündet. Die Korrelation zwischen Veränderungen des Musculus multifidus mit Atrophie und schlechterem klinischen Gesundheitszustand nach PLIFs wurde bereits in einer Studie nachgewiesen, in der minimalinvasiver versus konventioneller offener Zugangsweg verglichen wurde (Fan et al. 2010). In dieser Arbeit zeigten sich in der minimalinvasiven Gruppe weniger Muskelatrophie, funktionelle Behinderung und Rückenschmerzen. Bezüglich des Atrophieausmaßes bestätigen auch weitere Studien, dass bei perkutaner Operationsmethode die postoperative Muskelatrophie geringer ausfällt als bei der offenen Operationsmethode (Tsutsumimoto et al. 2009, Li et al. 2007, Kim et al. 2005). Es stellt sich hierbei die Frage, wie die geringere Muskelatrophie bei minimalinvasiven Vorgehensweisen zu erklären ist. Um diesem Aspekt nachzugehen und um gleichzeitig zu untersuchen, ob die These der Schonung von paraspinaler Muskulatur bei minimalinvasivem Vorgehen durch meine Daten unterstützt werden kann, folgen Diskussionen über die direkte sowie indirekte Muskeltraumatisierung zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe.

6.3.2 Direktes Muskeltrauma

Der Gedanke, dass durch minimalinvasives Vorgehen weniger direkte Muskeltraumatisierung erfolgt, sollte durch Vergleich der Laborparameter zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe untersucht werden. Dies wurde durch frühere Studien bereits analysiert, bei denen CK-Werte in der minimalinvasiven Gruppe im postoperativen Verlauf signifikant niedriger ausfielen als bei der konventionellen Operationsmethode (Fan et al. 2010, Kim et al. 2006).

Tab. 8, Tab. 9, Abb. 17, Abb. 18 und Abb. 19 zeigen, dass sich meine Werte der Perkutan-Gruppe im zeitlichen Verlauf ähnlich wie die Werte der PLIF-Gruppe entwickeln. Auffällig ist jedoch, dass in der Perkutan-Gruppe die Laborparameter zu den verschiedenen Zeitpunkten auf stets höherem Niveau liegen. Diese Beobachtungen sind am ehesten auf die unterschiedlichen Indikationsstellungen der beiden Operationen zurückzuführen: Während es sich bei der Perkutan-Gruppe meist um traumatisierende Ereignisse handelt, stehen in der PLIF-Gruppe die degenerativen Wirbelsäulenveränderungen im Vordergrund. In der Perkutan-Gruppe hat folglich

bereits unmittelbar vor Operationsbeginn schon eine Muskeltraumatisierung stattgefunden, welche die erhöhten präoperativen Laborparameter erklärt. Die direkte Muskeltraumatisierung durch die Operation ist auch in der Perkutan-Gruppe anhand der Laborparameter im zeitlichen Verlauf nachvollziehbar durch eine postoperative Erhöhung und zum Entlassungszeitpunkt wieder eine Senkung infolge der einsetzenden Erholung von der Muskelschädigung. Das Niveau der präoperativen Ausgangswerte wird jedoch zur Entlassung noch nicht erreicht (Ausnahme: LDH, die zum Entlassungszeitpunkt im Median geringere Werte erreicht als präoperativ).

Kein signifikanter Unterschied der Laborwerte ist zwischen PLIF und Perkutan-Gruppe bei LDH und CK zum Entlassungszeitpunkt nachweisbar (Tab. 9), was am wahrscheinlichsten auf die zu geringe Werteanzahl in der Perkutan-Gruppe zurückzuführen ist.

Aus meinen Ergebnissen der Laborparameteranalyse kann geschlussfolgert werden, dass direkte Muskeltraumatisierung sowohl während einer PLIF als auch bei Anlage eines perkutanen Fixateurs stattgefunden hat. Um das Ausmaß der direkten Muskelschädigung zwischen PLIF- und Perkutan-Gruppe quantitativ vergleichen zu können, wären weitere Studien mit größeren Patientenzahlen notwendig sowie der Ausschluss aller Patienten mit traumatischen Ereignissen in der unmittelbaren Vorgeschichte, um ein einheitliches präoperatives Ausgangsniveau der Laborparameter zu erhalten.

6.3.3 Indirektes Muskeltrauma

Beim Vergleich der EMG-Parameter als Indikatoren für abgelaufene Denervierung (PSA und gelichtetes Interferenzmuster) sowie Reinnervation (gesteigerte Polyphasierate) zeigen sich in der Perkutan-Gruppe signifikant niedrigere, d.h. physiologischere Scorewerte (Abb. 23, Tab. 12, Tab. 13). Dies lässt schlussfolgern, dass durch die perkutane Operationstechnik eine Schonung des Ramus dorsalis gelingen könnte. Somit wäre die Reduktion der indirekten Muskeltraumatisierung ein wesentlicher Erklärungsansatz für eine geringere Atrophie der paraspinalen Muskulatur bei minimalinvasivem Operationsvorgehen. Entgegen meinen Resultaten gibt eine frühere Studie an, dass es nur kurzfristig, jedoch nicht langfristig, signifikante Unterschiede in den elektromyografischen Ergebnissen zwischen minimalinvasiver und offener operativer Versorgung von thorakolumbalen Frakturen gebe (Li et al. 2007).

6.4 Kritikpunkte

Insgesamt muss bei der Interpretation meiner Daten auf kritische Einschränkungen hingewiesen werden. Rückschlüsse auf die Gesamtpopulation sind ausgehend von meinen untersuchten Patientengruppen aufgrund der kleinen eingeschlossenen Patientenzahl (PLIF 30, perkutaner Fixateur 19) mit Vorsicht vorzunehmen. Korrelationsanalysen sind niemals in der Lage, kausale Zusammenhänge zu belegen. Die Korrelationskoeffizienten sind in meiner Studie stets von geringer Stärke (Tab. 17 bis Tab. 22), was zu der Überlegung führt, dass es weitere Einflussfaktoren wie beispielsweise Body-Maß-Index oder psychosoziale Faktoren geben muss, die in meiner Arbeit nicht untersucht wurden. Dafür wären weitergehende Studien notwendig, meine Arbeit darf nur als Pilotstudie betrachtet werden. Obwohl es sich um signifikante Resultate handelt, dürfen von diesen schwachen Korrelationskoeffizienten nur statistische Aussagen abgeleitet werden.

Ein weiterer Kritikpunkt meiner Daten ist die große Altersspanne in meinem Patientengut (Tab. 1). Die Korrelationsanalyse von EMG, CT-Volumetrie, SF-36 und Fusionsrate mit dem Alter (Tab. 19, Tab. 20) zeigt, dass Alter auf Denervierung, Muskel- und Fettvolumen, Lebensqualität sowie auf die Fusionsrate vermutlich Einfluss hat. Aus Tab. 19 und Tab. 20 lässt sich ableiten, dass mit steigendem Alter signifikant mehr PSA- und Polyphasieraten auftreten. Dass ältere Patienten häufiger elektromyografische Zeichen der Denervierung aufweisen, wurde in vorausgegangenen Arbeiten auch bestätigt (Haig et al. 2002, Tong et al. 2005, Date et al. 1996). Desweiteren könnte aus dieser Korrelationsanalyse interpretiert werden, dass Muskelatrophie und Fettvolumen signifikant zunehmen mit steigendem Alter. Auch diese Erkenntnisse stimmen mit bereits veröffentlichten Studien überein (Grimby und Saltin 1983, Mannion et al. 2000, Hadar et al. 1983). Ein signifikant negativer Zusammenhang besteht in meiner PLIF-Gruppe zwischen körperlicher Gesundheit (körperliche Summenskala-ksk) und höherem Lebensalter. Bei der psychischen Summenskala (psk) zeigt sich im Gegensatz dazu eine Tendenz der Verbesserung mit steigendem Alter. Dies könnte damit zu begründen sein, dass sich Patienten im Laufe ihres Lebens mit den körperlichen Einschränkungen durch eine chronische Erkrankung wie Rückenschmerzen arrangieren können und ihr psychischer Zustand davon weniger beeinflusst wird als es bei jüngeren Patienten, die erst seit kurzer Zeit mit der Erkrankung neu konfrontiert werden, der Fall ist. Identische Verläufe der körperlichen und psychischen Gesundheit (ksk und psk) im Altersgang, d.h. Verschlechterung von ksk und Besserung von psk mit steigendem Alter, zeigt sich in der deutschen Normbevölkerung (Ellert und Kurth 2004). Es scheint mit steigendem Alter in meiner

PLIF-Gruppe signifikant geringere Aussicht auf erfolgreiche Fusion zu geben. Dass die Fusionsrate von jüngeren Patienten höher ist als bei älteren, belegt auch eine Arbeit aus Korea, bei der die Unterschiede zwischen den Altersgruppen jedoch nicht signifikant waren. Es wird in dieser Studie vermutet, dass die mit zunehmendem Alter allgemein schlechtere Knochenqualität eine geringere Fusionsrate bei älteren Patienten bedingt (Jo et al. 2010).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Patientengruppe mit geringerer Altersspanne eine bessere Ausgangsbasis liefern würde und Alter dann weniger als Störfaktor wirken würde.

Auch das Geschlecht scheint im Zusammenhang mit den EMG-Parametern, CT-Volumetrie, SF-36 sowie mit der Fusionsrate zu stehen (Tab. 21). So ergibt sich in meiner Korrelationsanalyse (Tab. 21), dass weibliche Patienten signifikant geringere Polyphasieraten aufweisen, gleiche Tendenzen gelten auch für PSA und Interferenzmuster, jedoch nicht signifikant. In der Literatur konnte ich nur eine vergleichbare Arbeit finden, die das Geschlecht als Einflussfaktor auf elektromyografische Messungen untersuchte, wobei im Gegensatz zu meinem Resultat in dieser Studie herausgearbeitet wurde, dass das Geschlecht keinen Einfluss auf die EMG-Parameter habe (Tomasella et al. 2002). Laut meinen Daten ist das weibliche Geschlecht signifikant prädisponiert für Muskelatrophie und erhöhtes Fettvolumen. Dies ist in der Literatur ein bekanntes Phänomen und weitestgehend mit den postmenopausalen Veränderungen im Sinne von Osteoporose-fördernden Hormonumstellungen zu erklären (Sinaki et al. 1993, Cunha-Henriques et al. 2011, Miyakoshi et al. 2013). Frauen meiner PLIF-Gruppe beklagen laut der Korrelationsanalyse signifikant mehr körperliche Schmerzen (pain) und tendenziell auch schlechtere Lebensqualität in der körperlichen und psychischen Summenskala (ksk und psk). Dies entspricht den Analysen in der deutschen Normbevölkerung, bei denen Männer in beiden Summenskalen höhere Mittelwerte als Frauen aufwiesen (Ellert und Kurth 2004). Dass weibliche Patienten laut meinen Resultaten signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Fusion haben, müsste durch weitere größere Studien belegt werden.

Das Geschlecht lässt sich demzufolge anhand meiner Korrelationsanalyse (Tab. 21) als weiterer Störfaktor auf meine Untersuchungen einschätzen. Bei zukünftigen weiterführenden Studien über die Thematik meiner Arbeit sollte deshalb über eine Unterteilung der Patientengruppen in weibliche und männliche Anteile nachgedacht werden.

Abschließend möchte ich auf die kritische Überlegung eingehen, dass in meiner PLIF-Gruppe sowohl mono- als auch bisegmentale Fusionen zusammengefasst wurden. Man könnte einerseits annehmen, dass die Anzahl der fusionierten Ebenen das Outcome wegen unterschiedlicher Operationszeit und unterschiedlichem Ausmaß der Traumatisierung des Gewebes entsprechend dem operativen Zugangsweg beeinflusst. Damit wäre die Anzahl der Fusionsebenen als weiterer Störfaktor zu sehen. Andererseits bestätigt eine Studie, dass das Fusionslevel keinerlei signifikanten Einfluss auf das Outcome aufweist (Lettice et al. 2005), womit das Vorgehen in meiner Studie bestärkt wird.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Meine Arbeit dient dem Nachweis der postoperativen paraspinalen Funktionsstörung und Muskelatrophie nach offener PLIF und unterstützt die Vermutung, dass diese Atrophie sowohl mit Denervierung aufgrund von Verletzung des Ramus dorsalis als auch mit direkter Traumatisierung der Muskeln durch Zug und Druck während der Operation assoziiert ist.

Außerdem korreliert in meiner Studie die paraspinale Atrophie nach PLIF-Operationen, wenn auch nur schwach, signifikant mit einem schlechteren klinischen Outcome.

Beim Vergleich von offener PLIF mit der minimalinvasiven Operationsmethode geben meine Daten Hinweise, dass einer der wesentlichen ätiologischen Einflussfaktoren für geringere postoperative Muskelatrophie bei minimalinvasivem Vorgehen die reduzierte indirekte Muskeltraumatisierung durch Schonung des Ramus dorsalis sein könnte.

Wegen der limitierten Patientenzahl und vor dem Hintergrund der schwachen Korrelationskoeffizienten kann meine Arbeit nur als Pilotstudie für weiterführende Untersuchungen auf diesem Gebiet dienen. Für den Beweis definitiver kausaler Zusammenhänge sind meine Daten nicht geeignet.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Abbott AD, Tyni-Lenne R, Hedlund R. 2010a. Early rehabilitation targeting cognition, behavior, and motor function after lumbar fusion: a randomized controlled trial. *Spine (Phila Pa 1976)*, 35 (8):848-857.
- Abbott AD, Tyni-Lenne R, Hedlund R. 2010b. The influence of psychological factors on pre-operative levels of pain intensity, disability and health-related quality of life in lumbar spinal fusion surgery patients. *Physiotherapy*, 96 (3):213-221.
- Amrit AN, Anderson MS. 1974. Serum creatine phosphokinase in amyotrophic lateral sclerosis. Correlation with sex, duration, and skeletal muscle biopsy. *Neurology*, 24 (9):834-837.
- Arts MP, Nieborg A, Brand R, Peul WC. 2007. Serum creatine phosphokinase as an indicator of muscle injury after various spinal and nonspinal surgical procedures. *J Neurosurg Spine*, 7 (3):282-286.
- Beaton DE, Hogg-Johnson S, Bombardier C. 1997. Evaluating changes in health status: reliability and responsiveness of five generic health status measures in workers with musculoskeletal disorders. *J Clin Epidemiol*, 50 (1):79-93.
- Bellach B, Ellert U, Radoschewski M. 2000. Der SF-36 im Bundes- Gesundheitsurvey. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, Springer Verlag, (43):210-216.
- Bessman SP, Carpenter CL. 1985. The creatine-creatine phosphate energy shuttle. *Annu Rev Biochem*, 54:831-862.
- Bischoff C, Schulte-Mattler WJ. 2011. *Das EMG- Buch*. 3 Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Bischoff C, Dengler R, Hopf HC. 2008. *EMG- NLG*. 2 Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Bogduk N, Wilson AS, Tynan W. 1982. The human lumbar dorsal rami. *J Anat*, 134 (Pt 2):383-397.
- Bohan A, Peter JB, Bowman RL, Pearson CM. 1977. Computer-assisted analysis of 153 patients with polymyositis and dermatomyositis. *Medicine (Baltimore)*, 56 (4):255-286.
- Bohlmeyer TJ, Wu AH, Perryman MB. 1994. Evaluation of laboratory tests as a guide to diagnosis and therapy of myositis. *Rheum Dis Clin North Am*, 20 (4):845-856.
- Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. 2010. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med*, 48 (6):757-767.
- Braunsfurth A, Kallitzas J. 1975. [Electromyographic studies over the influence of surgical procedures of the vertebral column on muscle function (author's transl)]. *Arch Orthop Unfallchir*, 82 (2):147-155.
- Bridwell KH, Lenke LG, McEnery KW, Baldus C, Blanke K. 1995. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine. Do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects? *Spine (Phila Pa 1976)*, 20 (12):1410-1418.
- Bullinger M. 1995. German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. Soc Sci Med*, 41 (10):1359-1366.
- Bullinger M, Kirchberger I. 1998. SF-36. Fragebogen zum Gesundheitszustand. Handanweisung. Göttingen.
- Burkus JK, Foley K, Haid RW, LeHuec JC. 2001. Surgical Interbody Research Group--radiographic assessment of interbody fusion devices: fusion criteria for anterior lumbar interbody surgery. *Neurosurg Focus*, 10 (4):E11.
- Christensen FB, Laurberg I, Bunger CE. 2003. Importance of the back-caffe concept to rehabilitation after lumbar spinal fusion: a randomized clinical study with a 2-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*, 28 (23):2561-2569.
- Cunha-Henriques S, Costa-Paiva L, Pinto-Neto AM, Fonsechi-Carvesan G, Nanni L, Morais SS. 2011. Postmenopausal women with osteoporosis and musculoskeletal status: a comparative cross-sectional study. *J Clin Med Res*, 3 (4):168-176.
- Curry SC, Chang D, Connor D. 1989. Drug- and toxin-induced rhabdomyolysis. *Ann Emerg Med*, 18 (10):1068-1084.

- Date ES, Mar EY, Bugola MR, Teraoka JK. 1996. The prevalence of lumbar paraspinal spontaneous activity in asymptomatic subjects. *Muscle Nerve*, 19 (3):350-354.
- Donovan WH, Dwyer AP, Bedbrook GM. 1980. Electromyographic activity in paraspinal musculature in patients with idiopathic scoliosis before and after Harrington instrumentation. *Arch Phys Med Rehabil*, 61 (9):413-417.
- Dvorak J, Gauchat MH, Valach L. 1988a. The outcome of surgery for lumbar disc herniation. I. A 4-17 years' follow-up with emphasis on somatic aspects. *Spine (Phila Pa 1976)*, 13 (12):1418-1422.
- Dvorak J, Valach L, Fuhrimann P, Heim E. 1988b. The outcome of surgery for lumbar disc herniation. II. A 4-17 years' follow-up with emphasis on psychosocial aspects. *Spine (Phila Pa 1976)*, 13 (12):1423-1427.
- Eck KR, Lenke LG, Bridwell KH, Gilula LA, Lashgari CJ, Riew KD. 2000. Radiographic assessment of anterior titanium mesh cages. *J Spinal Disord*, 13 (6):501-509; discussion 510.
- Ellert U, Bellach BM. 1999. [The SF-36 in the Federal Health Survey--description of a current normal sample]. *Gesundheitswesen*, 61 Spec No:S184-190.
- Ellert U, Kurth BM. 2004. [Methodological views on the SF-36 summary scores based on the adult German population]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 47 (11):1027-1032.
- Fan S, Hu Z, Zhao F, Zhao X, Huang Y, Fang X. 2010. Multifidus muscle changes and clinical effects of one-level posterior lumbar interbody fusion: minimally invasive procedure versus conventional open approach. *Eur Spine J*, 19 (2):316-324.
- Fauci AS, Haynes BF, Katz P, Wolff SM. 1983. Wegener's granulomatosis: prospective clinical and therapeutic experience with 85 patients for 21 years. *Ann Intern Med*, 98 (1):76-85.
- Fort JG, Griffin R, Tahmouh A, Abruzzo JL. 1994. Muscle involvement in polyarteritis nodosa: report of a patient presenting clinically as polymyositis and review of the literature. *J Rheumatol*, 21 (5):945-948.
- Garton MJ, Isenberg DA. 1997. Clinical features of lupus myositis versus idiopathic myositis: a review of 30 cases. *Br J Rheumatol*, 36 (10):1067-1074.
- Geiringer SR. 2002. *Elektromyographie- Atlas zur präzisen Muskellokalisierung*. 2 Aufl. München: Urban & Fischer.
- Gejo R, Matsui H, Kawaguchi Y, Ishihara H, Tsuji H. 1999. Serial changes in trunk muscle performance after posterior lumbar surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 24 (10):1023-1028.
- Gille O, Jolivet E, Douset V, Degrise C, Obeid I, Vital JM, Skalli W. 2007. Erector spinae muscle changes on magnetic resonance imaging following lumbar surgery through a posterior approach. *Spine (Phila Pa 1976)*, 32 (11):1236-1241.
- Grimby G, Saltin B. 1983. The ageing muscle. *Clin Physiol*, 3 (3):209-218.
- Hadar H, Gadoth N, Heifetz M. 1983. Fatty replacement of lower paraspinal muscles: normal and neuromuscular disorders. *AJR Am J Roentgenol*, 141 (5):895-898.
- Haig AJ, LeBreck DB, Powley SG. 1995. Paraspinal mapping. Quantified needle electromyography of the paraspinal muscles in persons without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 20 (6):715-721.
- Haig AJ, Talley C, Grobler LJ, LeBreck DB. 1993. Paraspinal mapping: quantified needle electromyography in lumbar radiculopathy. *Muscle Nerve*, 16 (5):477-484.
- Haig AJ, Moffroid M, Henry S, Haugh L, Pope M. 1991. A technique for needle localization in paraspinal muscles with cadaveric confirmation. *Muscle Nerve*, 14 (6):521-526.
- Haig AJ, Weiner JB, Tew J, Quint D, Yamakawa K. 2002. The relation among spinal geometry on MRI, paraspinal electromyographic abnormalities, and age in persons referred for electrodiagnostic testing of low back symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27 (17):1918-1925; discussion 1924-1915.
- Hartwig T, Streitparth F, Gross C, Muller M, Perka C, Putzier M, Strube P. 2011. Digital 3-Dimensional Analysis of the Paravertebral Lumbar Muscles After Circumferential Single-level Fusion. *J Spinal Disord Tech*.
- Hayashi N, Tamaki T, Yamada H. 1992. Experimental study of denervated muscle atrophy following severance of posterior rami of the lumbar spinal nerves. *Spine (Phila Pa 1976)*, 17 (11):1361-1367.
- Healey JH, Kagen LJ, Velis KP, Levine DB. 1985. Creatine kinase MB in skeletal muscle and serum of spine-fusion patients. *Clin Orthop Relat Res*, (195):282-288.

- Hemingway H, Stafford M, Stansfeld S, Shipley M, Marmot M. 1997. Is the SF-36 a valid measure of change in population health? Results from the Whitehall II study. *British Medical Journal*, 315 (7118):1273-1279.
- Hirano M, Ott BR, Raps EC, Minetti C, Lennihan L, Libbey NP, Bonilla E, Hays AP. 1992. Acute quadriplegic myopathy: a complication of treatment with steroids, nondepolarizing blocking agents, or both. *Neurology*, 42 (11):2082-2087.
- Hodges P, Holm AK, Hansson T, Holm S. 2006. Rapid atrophy of the lumbar multifidus follows experimental disc or nerve root injury. *Spine (Phila Pa 1976)*, 31 (25):2926-2933.
- Hopf HC, Dengler R, Röder R. 1996. *Elektromyographie Atlas, Praktisches Vorgehen und sichere Befundbewertung*. Stuttgart: Thieme.
- Horowitz Steven H M. 2012. overview of electromyography UpToDate.
- Hyun SJ, Kim YB, Kim YS, Park SW, Nam TK, Hong HJ, Kwon JT. 2007. Postoperative changes in paraspinal muscle volume: comparison between paramedian interfascial and midline approaches for lumbar fusion. *J Korean Med Sci*, 22 (4):646-651.
- Jo DJ, Jun JK, Kim KT, Kim SM. 2010. Lumbar Interbody Fusion Outcomes in Degenerative Lumbar Disease : Comparison of Results between Patients Over and Under 65 Years of Age. *J Korean Neurosurg Soc*, 48 (5):412-418.
- Junge A, Dvorak J, Ahrens S. 1995. Predictors of bad and good outcomes of lumbar disc surgery. A prospective clinical study with recommendations for screening to avoid bad outcomes. *Spine (Phila Pa 1976)*, 20 (4):460-468.
- Juricek M, Rehak L, Horvath J, Tisovsky P. 2010. Quality of life after elective lumbar spinal fusions. *Bratisl Lek Listy*, 111 (5):290-295.
- Kaptain GJ, Shaffrey CI, Alden TD, Young JN, Laws ER, Jr., Whitehill R. 1999. Secondary gain influences the outcome of lumbar but not cervical disc surgery. *Surg Neurol*, 52 (3):217-223; discussion 223-215.
- Kawaguchi Y, Matsui H, Tsuji H. 1994a. Back muscle injury after posterior lumbar spine surgery. Part 2: Histologic and histochemical analyses in humans. *Spine (Phila Pa 1976)*, 19 (22):2598-2602.
- Kawaguchi Y, Matsui H, Tsuji H. 1994b. Back muscle injury after posterior lumbar spine surgery. Part 1: Histologic and histochemical analyses in rats. *Spine (Phila Pa 1976)*, 19 (22):2590-2597.
- Kawaguchi Y, Matsui H, Tsuji H. 1996a. Back muscle injury after posterior lumbar spine surgery. A histologic and enzymatic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 21 (8):941-944.
- Kawaguchi Y, Matsui H, Tsuji H. 1997. Changes in serum creatine phosphokinase MM isoenzyme after lumbar spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 22 (9):1018-1023.
- Kawaguchi Y, Yabuki S, Styf J, Olmarker K, Rydevik B, Matsui H, Tsuji H. 1996b. Back muscle injury after posterior lumbar spine surgery. Topographic evaluation of intramuscular pressure and blood flow in the porcine back muscle during surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 21 (22):2683-2688.
- Kim DY, Lee SH, Chung SK, Lee HY. 2005. Comparison of multifidus muscle atrophy and trunk extension muscle strength: percutaneous versus open pedicle screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 30 (1):123-129.
- Kim K, Isu T, Sugawara A, Matsumoto R, Isobe M. 2008. Comparison of the effect of 3 different approaches to the lumbar spinal canal on postoperative paraspinal muscle damage. *Surg Neurol*, 69 (2):109-113; discussion 113.
- Kim KT, Lee SH, Suk KS, Bae SC. 2006. The quantitative analysis of tissue injury markers after mini-open lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*, 31 (6):712-716.
- Kukowski B. 2001. *Klinische Elektromyographie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Kumbhare D, Parkinson W, Dunlop B. 2008. Validity of serum creatine kinase as a measure of muscle injury produced by lumbar surgery. *J Spinal Disord Tech*, 21 (1):49-54.
- Kurth BM, Ellert U. 2002. The SF-36 questionnaire and its usefulness in population studies: results of the German Health Interview and Examination Survey 1998. *Soz Präventivmed*, 47 (4):266-277.
- Lanham JG, Elkon KB, Pusey CD, Hughes GR. 1984. Systemic vasculitis with asthma and eosinophilia: a clinical approach to the Churg-Strauss syndrome. *Medicine (Baltimore)*, 63 (2):65-81.
- Laxton AW, Perrin RG. 2003. The relations between social support, life stress, and quality of life following spinal decompression surgery. *Spinal Cord*, 41 (10):553-558.

- Lenke LG, Bridwell KH, Jaffe AS. 1994. Increase in creatine kinase MB isoenzyme levels after spinal surgery. *J Spinal Disord*, 7 (1):70-76.
- Lettice JJ, Kula TA, Derby R, Kim BJ, Lee SH, Seo KS. 2005. Does the number of levels affect lumbar fusion outcome? *Spine (Phila Pa 1976)*, 30 (6):675-681.
- Li C, Xu HZ, Wang XY, Ni WF, Chi YL, Huang QS, Lin Y, Mao FM. 2007. [Comparison of the paraspinal muscle change of percutaneous and open pedicle screw fixation in the treatment for thoracolumbar fractures]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 45 (14):972-975.
- Liu X, Wang Y, Wu X, Zheng Y, Jia L, Li J, Zhang K, Wei B. 2010. Impact of surgical approaches on the lumbar multifidus muscle: an experimental study using sheep as models. *J Neurosurg Spine*, 12 (5):570-576.
- Lu WW, Hu Y, Luk KD, Cheung KM, Leong JC. 2002. Paraspinal muscle activities of patients with scoliosis after spine fusion: an electromyographic study. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27 (11):1180-1185.
- Ludin H-P. 1993. *Praktische Elektromyographie*. 4 Aufl. Stuttgart: Enke.
- Lüthi H. 2007. Assessment: SF-36. *Physiopraxis*, 5/07.
- Mannion AF, Kaser L, Weber E, Rhyner A, Dvorak J, Muntener M. 2000. Influence of age and duration of symptoms on fibre type distribution and size of the back muscles in chronic low back pain patients. *Eur Spine J*, 9 (4):273-281.
- Miller M. 2012. Muscle enzymes in the evaluation of neuromuscular diseases UpToDate.
- Miro O, Pedrol E, Casademont J, Garcia-Carrasco M, Sanmarti R, Cebrian M, Grau JM. 1996. Muscle involvement in rheumatoid arthritis: clinicopathological study of 21 symptomatic cases. *Semin Arthritis Rheum*, 25 (6):421-428.
- Miyakoshi N, Hongo M, Mizutani Y, Shimada Y. 2013. Prevalence of sarcopenia in Japanese women with osteopenia and osteoporosis. *J Bone Miner Metab*, 31 (5):556-561.
- Morfeld M, Bullinger M. 2008. The SF-36 Health Survey - Assessment and Documentation of Health Related Quality of Life. *Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin*, 18 (5):250-255.
- Neumeier D. 1981. *Creatine Kinase Isoenzymes*. Berlin/ Heidelberg: Lang H.
- Nielsen PR, Andreassen J, Asmussen M, Tonnesen H. 2008. Costs and quality of life for prehabilitation and early rehabilitation after surgery of the lumbar spine. *BMC Health Serv Res*, 8:209.
- Nielsen PR, Jorgensen LD, Dahl B, Pedersen T, Tonnesen H. 2010. Prehabilitation and early rehabilitation after spinal surgery: randomized clinical trial. *Clin Rehabil*, 24 (2):137-148.
- Padua L, Caliendo P, Padua R, Prezioso V, Aulisa AG, Mastantuoni G, Pazzaglia C, Aulisa L. 2007. Quality of life of patients operated on for lumbar stenosis: a long-term follow-up. *Acta Neurochir (Wien)*, 149 (3):275-278; discussion 278-279.
- Pioch. 2005. *Schmerzdokumentation in der Praxis*.
- Radoschewski M, Bellach BM. 1999. [The SF-36 in the Federal Health Survey--possibilities and requirements for application at the population level]. *Gesundheitswesen*, 61 Spec No:S191-199.
- Rawn J. 1989. *Biochemistry*. Burlington: Neil Patterson Publishers.
- Ren G, Eiskjaer S, Kaspersen J, Christensen FB, Rasmussen S. 2009. Microdialysis of paraspinal muscle in healthy volunteers and patients underwent posterior lumbar fusion surgery. *Eur Spine J*, 18 (11):1604-1609.
- Rosalki SB. 1989. Serum enzymes in disease of skeletal muscle. *Clin Lab Med*, 9 (4):767-781.
- Schiffman M, Brau SA, Henderson R, Gimmestad G. 2003. Bilateral implantation of low-profile interbody fusion cages: subsidence, lordosis, and fusion analysis. *Spine J*, 3 (5):377-387.
- Schnake KJ, Gorler T, Kandziora F. 2013a. [Fusion criteria for cages as vertebral body replacement in thoracolumbar fractures.]. *Unfallchirurg*.
- Schnake KJ, Stavridis SI, Krampe S, Kandziora F. 2013b. Additional anterior plating enhances fusion in anteroposteriorly stabilized thoracolumbar fractures. *Injury*.
- Sihvonen T, Herno A, Paljarvi L, Airaksinen O, Partanen J, Tapaninaho A. 1993. Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postoperative failed back syndrome. *Spine (Phila Pa 1976)*, 18 (5):575-581.
- Sinaki M, Khosla S, Limburg PJ, Rogers JW, Murtaugh PA. 1993. Muscle strength in osteoporotic versus normal women. *Osteoporos Int*, 3 (1):8-12.

- Stevens KJ, Spenciner DB, Griffiths KL, Kim KD, Zwienerberg-Lee M, Alamin T, Bammer R. 2006. Comparison of minimally invasive and conventional open posterolateral lumbar fusion using magnetic resonance imaging and retraction pressure studies. *J Spinal Disord Tech*, 19 (2):77-86.
- Stöhr M. 1998. Atlas der klinischen Elektromyographie und Neurographie. 4 Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Suwa H, Hanakita J, Ohshita N, Gotoh K, Matsuoka N, Morizane A. 2000. Postoperative changes in paraspinal muscle thickness after various lumbar back surgery procedures. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 40 (3):151-154; discussion 154-155.
- Tarlov AR. 1983. Shattuck lecture--the increasing supply of physicians, the changing structure of the health-services system, and the future practice of medicine. *J Miss State Med Assoc*, 24 (9):229-240.
- Tarnanen S, Neva MH, Dekker J, Hakkinen K, Vihtonen K, Pekkanen L, Hakkinen A. 2012. Randomized controlled trial of postoperative exercise rehabilitation program after lumbar spine fusion: study protocol. *BMC Musculoskelet Disord*, 13:123.
- Tiidus PM, Ianuzzo CD. 1983. Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Med Sci Sports Exerc*, 15 (6):461-465.
- Tomasella M, Crielaard JM, Wang FC. 2002. [Dorsal and lumbar paraspinal electromyographic study. Multi-MUP analysis and drawing up normal values in a reference population]. *Neurophysiol Clin*, 32 (2):109-117.
- Tong HC, Haig AJ, Yamakawa KS, Miner JA. 2005. Paraspinal electromyography: age-correlated normative values in asymptomatic subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*, 30 (17):E499-502.
- Trief PM, Grant W, Fredrickson B. 2000. A prospective study of psychological predictors of lumbar surgery outcome. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25 (20):2616-2621.
- Tsutsumimoto T, Shimogata M, Ohta H, Misawa H. 2009. Mini-open versus conventional open posterior lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative spondylolisthesis: comparison of paraspinal muscle damage and slip reduction. *Spine (Phila Pa 1976)*, 34 (18):1923-1928.
- Ware JE, Jr., Sherbourne CD. 1992. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care*, 30 (6):473-483.
- Ware JE, Jr., Gandek B. 1998. Overview of the SF-36 Health Survey and the International Quality of Life Assessment (IQOLA) Project. *J Clin Epidemiol*, 51 (11):903-912.
- Watanabe K, Hosoya T, Shiraishi T, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y. 2005. Lumbar spinous process-splitting laminectomy for lumbar canal stenosis. Technical note. *J Neurosurg Spine*, 3 (5):405-408.
- Wenger NK, Mattson ME, Furberg CD, Elinson J. 1984. Assessment of quality of life in clinical trials of cardiovascular therapies. *Am J Cardiol*, 54 (7):908-913.
- Wolf PL. 1991. Abnormalities in serum enzymes in skeletal muscle diseases. *Am J Clin Pathol*, 95 (3):293-296.
- Wu AH, Perryman MB. 1992. Clinical applications of muscle enzymes and proteins. *Curr Opin Rheumatol*, 4 (6):815-820.
- Wukich DK, Van Dam BE, Graeber GM, Martyak T. 1990. Serum creatine kinase and lactate dehydrogenase changes after anterior approaches to the thoracic and lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*, 15 (3):187-190.
- Young JN, Shaffrey CI, Laws ER, Jr., Lovell LR. 1997. Lumbar disc surgery in a fixed compensation population: a model for influence of secondary gain on surgical outcome. *Surg Neurol*, 48 (6):552-558; discussion 558-559.
- Yousef MA, Vaida S, Somri M, Mogilner J, Lanir A, Tamir A, Shaoul R. 2006. Changes in creatine phosphokinase (CK) concentrations after minor and major surgeries in children. *Br J Anaesth*, 96 (6):786-789.
- Zuckner J. 1994. Drug-related myopathies. *Rheum Dis Clin North Am*, 20 (4):1017-1032.

9 ANHANG

9.1 Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: DARSTELLUNG EINER MONOSEGMENTALEN PLIF AUF DER HÖHE L5 BIS S1	6
ABB. 2: RHYTHMISCHE POSITIVE SCHARFE WELLEN ALS BEISPIEL FÜR PATHOLOGISCHE SPONTANAKTIVITÄT	13
ABB. 3: PHYSIOLOGISCHE MUAPs (MOTOR UNIT ACTION POTENTIALS)	14
ABB. 4: POLYPHASICHE MUAPs (MOTOR UNIT ACTION POTENTIALS)	14
ABB. 5: MÄßIG GELICHTETES INTERFERENZMUSTER (SCORE 2)	15
ABB. 6: STARK GELICHTETES INTERFERENZMUSTER (SCORE 3)	15
ABB. 7: CT 1 JAHR POSTOPERATIV MIT ERFOLGTER VOLUMETRIE DER OBEREN UND UNTEREN SCHICHT	17
ABB. 8: PRÄOPERATIVES CT MIT ERFOLGTER VOLUMETRIE DER OBEREN UND UNTEREN SCHICHT	17
ABB. 9: OBERE SCHICHT IN AXIALER EBENE	18
ABB. 10: UMFAHREN DES UMFANGS DER PARASPINALEN MUSKULATUR	18
ABB. 11: ROI (REGION OF INTEREST) FÜR VOLUMENANALYSE	18
ABB. 12: ERGEBNIS DER VOLUMETRIE (22,9 % FETT, 77,1 % MUSKEL)	19
ABB. 13: ROI (REGION OF INTEREST) MIT DURCHFÜHRTER VOLUMETRIE IN AXIALER SCHICHT	19
ABB. 14: ANALYSE DER PARASPINALEN MUSKULATUR	20
ABB. 15: CK IM ZEITLICHEN VERLAUF	23
ABB. 16: MYOGLOBIN IM ZEITLICHEN VERLAUF	23
ABB. 17: LDH IM ZEITLICHEN VERLAUF: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	25
ABB. 18: CK IM ZEITLICHEN VERLAUF: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	25
ABB. 19: ZEITLICHER VERLAUF MYOGLOBIN: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	26
ABB. 20: PSA IM ZEITLICHEN VERLAUF	27
ABB. 21: INTERFERENZMUSTER IM ZEITLICHEN VERLAUF	28
ABB. 21: INTERFERENZMUSTER IM ZEITLICHEN VERLAUF	28
ABB. 22: POLYPHASIEN IM ZEITLICHEN VERLAUF	28
ABB. 23: EMG-PARAMETER ZUM ZEITPUNKT 1 JAHR POSTOPERATIV: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	29
ABB. 24: ERGEBNISSE DER CT-VOLUMETRIE: FETT- UND MUSKELVOLUMEN PRÄOPERATIV VERSUS 1 JAHR POSTOPERATIV	31
ABB. 25: STARKE MUSKELATROPHIE, ERSATZ DURCH FETT	32
ABB. 26: VOLUMETRIE VON ABB. 25	32
ABB. 27: FUSIONSRATE	32
ABB. 28: SF-36 SUB- UND SUMMENSKALEN: PRÄOPERATIV VERSUS 1 JAHR POSTOPERATIV	35
ABB. 29: KÖRPERLICHE SCHMERZEN (PAIN) IM ZEITLICHEN VERLAUF	35
ABB. 30: KÖRPERLICHE SUMMENSKALA (KSK) IM ZEITLICHEN VERLAUF	36
ABB. 31: PSYCHISCHE SUMMENSKALA (PSK) IM ZEITLICHEN VERLAUF	36
ABB. 32: VERGLEICH SF-36 SCORES ZWISCHEN PLIF-GRUPPE UND NORMBEVÖLKERUNG	37
ABB. 33: DIFFERENZEN SF-36 SCORES ZWISCHEN PLIF-GRUPPE UND GESAMTDEUTSCHER NORMSTICHPROBE ZU DEN ZEITPUNKTEN PRÄOPERATIV UND 1 JAHR POSTOPERATIV	38

9.2 Tabellenverzeichnis

TAB. 1: DESKRIPTIVE STATISTIK DER PLIF- UND PERKUTAN-GRUPPE	5
TAB. 2: DESKRIPTIVE STATISTIK PLIF	6
TAB. 3: ÜBERBLICK ÜBER DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN ZU UNTERSCHIEDLICHEN ZEITPUNKTEN	8
TAB. 4: ZUSAMMENSETZUNG DER BEIDEN SUMMENSKALEN AUS DEN SF-36 SUBSKALEN	10
TAB. 5: SCORES DER EMG-PARAMETER	13
TAB. 6: LABORPARAMETER IM ZEITLICHEN VERLAUF	22
TAB. 7: PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE DER LABORPARAMETER IM ZEITLICHEN VERLAUF	23
TAB. 8: LABORPARAMETER IM ZEITLICHEN VERLAUF IN DER PERKUTAN-GRUPPE	24
TAB. 9: PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE LABORPARAMETER ZWISCHEN PLIF- UND PERKUTAN-GRUPPE	24
TAB. 10: EMG-PARAMETER IM ZEITLICHEN VERLAUF	27
TAB. 11: PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE EMG-PARAMETER IM ZEITLICHEN VERLAUF	29
TAB. 12: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG EMG-PARAMETER 1 JAHR POSTOPERATIV: PLIF- VERSUS PERKUTAN-GRUPPE	30
TAB. 13: PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE EMG-PARAMETER 1 JAHR POSTOPERATIV: PLIF VERSUS PERKUTAN	30
TAB. 14: CT-VOLUMETRIE ERGEBNISSE UND PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE PRÄOPERATIV VERSUS 1 JAHR	31
TAB. 15: SF-36 SUB- UND SUMMENSKALEN IM ZEITLICHEN VERLAUF	33
TAB. 16: PRÜFUNG AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE SF-36 SUB- UND SUMMENSKALEN IM ZEITLICHEN VERLAUF	34
TAB. 17: KORRELATIONSANALYSE EMG VERSUS CT-VOLUMETRIE	39
TAB. 18: KORRELATIONSANALYSE EMG UND CT-VOLUMETRIE VERSUS SF-36	39
TAB. 19: KORRELATIONSANALYSE EMG, CT-VOLUMETRIE UND SF-36 VERSUS ALTER	40
TAB. 20: KORRELATIONSANALYSE ALTER VERSUS FUSIONSRATE	41
TAB. 21: KORRELATIONSANALYSE EMG, CT-VOLUMETRIE, SF-36 UND FUSIONSRATE VERSUS GESCHLECHT	42
TAB. 22: KORRELATIONSANALYSE EMG UND SF-36 VERSUS LABORPARAMETER	43

9.3 SF-36 Fragebogen

Monika Bullinger und Inge Kirchberger

Fragebogen zum Allgemeinen Gesundheitszustand SF 36

Selbstbeurteilungsbogen

Zeitfenster 4 Wochen

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede der (grau unterlegten) Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

	Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Schlecht
1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im allgemeinen beschreiben?	1	2	3	4	5

	Derzeit viel besser	Derzeit etwas besser	Etwa wie vor einem Jahr	Derzeit etwas schlechter	Derzeit viel schlechter
2. <i>Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?</i>	1	2	3	4	5

Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.			
3. <i>Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?</i>	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3.a anstrengende Tätigkeiten , z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben?	1	2	3
3.b mittelschwere Tätigkeiten , z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
3.c Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
3.d mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
3.e einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
3.f sich beugen, knien, bücken	1	2	3
3.g mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
3.h mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.i eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.j sich baden oder anziehen	1	2	3

Hatten Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit</i> irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?	Ja	Nein
4.a Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
4.b Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
4.c Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
4.d Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung	1	2

Hatten Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme</i> irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?	Ja	Nein
5.a Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
5.b Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
5.c Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

	Überhaupt nicht	Etwas	Mäßig	Ziemlich	Sehr
6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

	Keine Schmerzen	Sehr leicht	Leicht	Mäßig	Stark	Sehr stark
7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> ?	1	2	3	4	5	6

	Überhaupt nicht	Ein bißchen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen <i>in den vergangenen 4 Wochen</i> gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
Wie oft waren Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen</i>						
9.a ... voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
9.b ... sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
9.c ... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?	1	2	3	4	5	6
9.d ... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
9.e ... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
9.f ... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
9.g ... erschöpft?	1	2	3	4	5	6
9.h ... glücklich?	1	2	3	4	5	6
9.i ... müde?	1	2	3	4	5	6

	Immer	Meistens	Manchmal	Selten	Nie
10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) Beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

Inwieweit trifft <i>jede</i> der folgenden Aussagen auf Sie zu?	trifft ganz zu	trifft weitgehend zu	weiß nicht	trifft weitgehend nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
11.a Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5
11.b Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
11.c Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	1	2	3	4	5
11.d Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

Vielen Dank.

9.4 Referenzwerte Laborparameter

Referenzwerte Laborparameter	Weiblich	Männlich
LDH [$\mu\text{mol/l}$]	< 4,12	< 4,13
CK [$\mu\text{mol/l}$]	< 2,78	< 3,17
Myoglobin [$\mu\text{g/l}$]	14-66	17-106

Legende: LDH... Laktatdehydrogenase, CK... Creatinkinase

9.5 Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name Christin Hartmann,
geb. 01.01.1989 in Stollberg

Staatsangehörigkeit deutsch

SCHULBILDUNG

1995 - 1999 Grundschole Lugau
1999 - 2005 Gymnasium Oelsnitz/Erzgebirge
2005 - 2007 G.-E.-Lessing-Gymnasium Hohenstein-Ernstthal,
Abschluss: Abitur (Note: sehr gut)

STUDIUM

10/2007 - 11/2013 Studium der Humanmedizin an Friedrich-Schiller-Universität Jena
08/2009 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Note: gut)
11/2013 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Note: gut)

Praktische Erfahrungen im Studium: Famulaturen

03/2010 Asklepios Klinikum Lindau, Innere Medizin
08/2010 Universitätsklinikum Jena, Neurochirurgie
09/2010 Hospitation in Landkreis Mittweida Krankenhaus, Kinder- und
Jugendpsychiatrie
03/2011 Praxis in Gifhorn/Wolfsburg, Kinder- und Jugendmedizin sowie Orthopädie
08/2011 Msambweni District Hospital (Kenia), Rotation durch alle Bereiche des
Krankenhauses

Praktische Erfahrungen im Studium: Praktisches Jahr

1. Tertial: Innere Medizin

08/2012 - 11/2012 Heinrich-Braun-Klinikum Zwickau

2. Tertial: Chirurgie

12/2012 - 01/2013 8 Wochen Zentralklinik Bad Berka, Allgemeine Visceralchirurgie
02/2013 - 03/2013 8 Wochen Sir Charles Gairdner Hospital Perth (Australien),
Nieren- und Lebertransplantationschirurgie

3. Tertial: Neurologie

04/2013 - 07/2013 Sophien- und Hufeland-Klinikum Weimar

Dissertation

08/2010 - 03/2014 Thema

„Korrelation der EMG-, radiologischen und laborchemischen Befunde der paravertebralen Muskulatur mit klinischem Zustand nach Fusions-OP der LWS“

Klinik für Neurochirurgie, Universitätsklinikum Jena,
Betreuung durch Prof. Dr. med. Rolf Kalff/Dr. med. A. Waschke

06/2012 Vortrag

„Denervation im EMG sowie Ausmaß der Atrophie der paraspinalen Muskulatur nach PLIF korrelieren signifikant mit dem klinischen Outcome- eine prospektive klinische Studie an 30 Patienten“

Waschke A, Hartmann C, Kalff R.

63. Jahrestagung der DGNC (deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie) in Leipzig.

02/2014 Publikation

„Denervation and atrophy of paraspinal muscles after open lumbar interbody fusion is associated with clinical outcome-electromyographic and CT-volumetric investigation of 30 patients“

Waschke A, Hartmann C, Walter J, Dünisch P, Wahnschaff F, Kalff R, Ewald C. Acta Neurochirurgica (Wien). Februar 2014.

März 2014

9.6 Danksagung

„Es gibt Dinge, die wachsen nicht auf Bäumen, die lernen wir nicht in Schulen und die gibt es nirgendwo zu kaufen. Es ist die Kunst, die Welt mit dem Herzen zu sehen“ (Grafik Werkstatt Bielefeld). Während der Beschäftigung mit meiner Doktorarbeit konnte ich viele neue Erfahrungen auf dem wissenschaftlichen Gebiet sammeln. Allein mit diesem Handwerkszeug wäre jedoch diese Arbeit nie so entstanden. Auf diesem Weg haben mich viele Menschen begleitet und unterstützt, denen ich das Zustandekommen meiner Dissertation zu großem Anteil zu verdanken habe!

Für die Ermöglichung der Erstellung meiner Dissertation an der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Jena danke ich Herrn Prof. Dr. med. R. Kalff.

Besonders geschätzt habe ich die sehr nette Betreuung durch Herrn Dr. med. A. Waschke. Vielen Dank für unzählige hilfreiche Ratschläge und Korrekturen meiner Arbeit, schnelle Unterstützung bei Problemen, die viel investierte Zeit und die unkomplizierte Art. Danke für die angenehme vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Im Rahmen meiner Doktorarbeit durfte ich das gesamte Team der Elektrophysiologie und der Neurochirurgischen Ambulanz inklusive den Sekretariaten kennen lernen. Durch deren Engagement war die Realisierung meiner Datenerhebung im klinischen Routineablauf möglich. Die freundliche hilfsbereite Atmosphäre hat dazu beigetragen, dass ich mich an meinem Doktoranden-Arbeitsplatz stets wohlfühlt habe.

Desweiteren danke ich Herrn Dr. med. Falko Wahnschaff für die zeitnahe Auswertung der Fusionsraten.

Danke auch an die Assistenzärzte der radiologischen Abteilung, deren Workstation ich für meine CT-Volumetrie nutzen durfte und die mir bei technischen Fragestellungen zur Seite standen.

Bei dem Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation möchte ich mich für die schnelle kompetente Unterstützung bei statistischen Problemen sowie für die gewinnbringenden Beratungen bedanken.

Besonderen Dank verdienen meine lieben Eltern und meine Schwester, die mir während der gesamten Studienzeit stets den Luxus ermöglichten, mich allein auf das Studium und die Doktorarbeit konzentrieren zu können. Ich danke für die kleinen Gesten des täglichen an mich Denkens und viele erholsame Wochenendstunden zu Hause. Ihr habt immer die passenden Worte gefunden, um mich bei Stimmungsschwankungen wieder auf den richtigen Weg zu bringen. Ich danke Tine auch für ihr gründliches Korrekturlesen.

Tobias gilt mein liebster Dank dafür, dass er mir durch die Vorfreude auf unsere gemeinsame Zeit einen Motivationsschub in der letzten Doktorarbeitsphase verliehen hat. Danke für das geduldige Verständnis, die täglichen Anrufe und die gelungenen Überraschungen.

Auch bei all meinen Studienfreundinnen möchte ich mich herzlichst bedanken. Es begann mit der Bereitschaft zur nicht schmerzfreien EMG-Untersuchung für meine Übungszwecke. Viele computertechnische Tipps meiner Freunde waren besonders während der Formatierung goldwert. Außerdem haben mir unser Zusammenhalt sowie die gemeinsamen Erlebnisse Kraft und Ausdauer für so manch schwierigen Tag gegeben.

9.7 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Herr Dr. med. Albrecht Waschke,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 25. 03. 2014