



Fakultät für Medizin der Technischen Universität München
Klinik für Neurochirurgie - Klinikum Bogenhausen, Klinikum Schwabing
Deutsches Skoliosezentrum Bad Wildungen

**Einflussfaktoren auf klinische und radiologische
Ergebnisse bei Patienten mit hochgradiger
adoleszenter idiopathischer Skoliose $\geq 80^\circ$ nach
dorsaler Korrekturspondylodese**

Ann-Kathrin Maria Gerding

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin (Dr. med.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr. Christiano B. Lumenta
2. Prof. Dr. Bernhard Meyer

Die Dissertation wurde am 02.03.2021 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 14.07.2021 angenommen.

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	iii
Symbolverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Operative Korrekturverfahren	3
1.1.1 Ventrales Release und dorsale Instrumentation	3
1.1.2 Dorsale Instrumentation ohne ventrales Release	3
1.1.3 Kombinierte ventrale und dorsale Instrumentation	4
1.1.4 Halo-Extensionsbehandlung	4
1.1.5 Kolumnotomie	5
1.1.6 Dorsales Release	5
1.2 Hochgradige Skoliosen $\geq 80^\circ$	6
2 Material und Methoden	9
2.1 Patientenauswahl	9
2.2 Operative Verfahren	10
2.2.1 Dorsale Korrekturspondylodese (DKS)	10
2.2.2 Beckenspanentnahme	12
2.2.3 Konkavseitige Thorakoplastik (CTP)	13
2.2.4 Ponte Osteotomien (PO)	13
2.2.5 Komplikationen und Revision	14
2.3 Radiologische Datenerhebung	14
2.3.1 SKI und ASKI	15
2.3.2 Messtechnik der radiologischen Parameter	16
2.4 Gruppeneinteilung	30
2.5 Lungenfunktionskapazität	33
2.6 Subjektiver klinischer Verlauf	33
2.7 Statistische Methoden	33
3 Ergebnisse	35
3.1 Studiengruppe	35
3.2 Operative Ergebnisse	35
3.2.1 DKS	37
3.2.2 CTP	38
3.2.3 Ponte Osteotomien	39
3.2.4 Komplikationen	40
3.2.5 Revision	42
3.3 Radiologische Ergebnisse	45
3.3.1 Sagittale Parameter	45

3.3.2	Koronare Parameter	46
3.4	Statistische Gruppenanalysen	55
3.4.1	DKS ± CTP	55
3.4.2	DKS ± PO	57
3.4.3	FU L4-Tilt	59
3.4.4	FU CSVL	60
3.4.5	Mobiler LIV-Tilt	61
3.4.6	Mobiler L4-Tilt	63
3.4.7	Mobiler LIVDA	63
3.4.8	CSVL medial der LIV-Pedikel	66
3.4.9	LIV crossing midline	67
3.5	Entwicklung der Lungenfunktion nach CTP	69
3.6	SRS-24 Ergebnisse	70
4	Diskussion	71
4.1	Radiologischer und klinischer Verlauf	71
4.2	Haupteinflussgrößen auf die thorakale Skoliosekorrektur	76
4.3	Einflussfaktoren auf die Horizontalisierung von L4	77
4.4	Entwicklung der Lungenfunktion nach DKS + CTP	78
4.5	Gruppenunterschiede	80
4.6	Auswirkungen präoperativer radiologischer Charakteristika auf postoperative Ergebnisse	85
4.7	Limitierungen der Studie	87
5	Zusammenfassung	89
	Literaturverzeichnis	105
	Anhang	107
A	Tabellarische Übersichten der Ergebnisse	107
B	SRS-24 Fragebogen	131
	Danksagung	133
	Lebenslauf	135

Abkürzungsverzeichnis

- AIS** Adoleszente idiopathische Skoliose/n
- ASKI** Absoluter Skoliose-Korrektur-Index
- AVR** Apex vertebral rotation
- CI** Confidence interval (Konfidenzintervall)
- CSVL** Central sacral vertical line
- CTP** Concave thoracoplasty (konkavseitige Thorakoplastik)
- Diff.** Differenz
- DKS** Dorsale Korrekturspondylodese
- DVD** Direkte vertebrale Derotation
- Eht.** Einheit
- EV** End vertebra
- Flex.** Flexibilität
- FU** Follow-up
- FVC** Forced vital capacity (Forcierte Vitalkapazität)
- HGT** Halo-gravity traction (Halo-Extensionsbehandlung)
- iTP** Isolierte konvexseitige Thorakoplastik
- J.** Jahre
- Kompl.** Komplikation/en
- Korr.** Korrektur
- L** Lumbalwirbel
- LC** Lumbar curve (Lumbalskoliose)
- LIV** Lowest instrumented vertebra
- LIV-R** Lowest instrumented vertebral rotation
- LIVDA** Lowest instrumented vertebral subjacent disc angle
- LL** Lumballordose
- M** Mittelwert

ns nicht signifikant

p. a. posterior-anterior

periop. perioperativ

persist. persistierend/e/er

Pkt. Punkte

PO Ponte Osteotomie

postop. postoperativ

präop. präoperativ

PS Pedikelschraube/n

Rev. Revision

RHA Rib hump angle

RHHD Rib hump height difference

ROM Range of motion (Bewegungsausmaß)

SD Standard deviation (Standardabweichung)

SEM Standard error of the mean (Standardfehler)

Sg. Segment/e

SHD Shoulder height difference

SKI Skoliose-Korrektur-Index

SPL Sagittal plumb line

SPO Smith-Peterson-Osteotomie

SRS Scoliosis Research Society

SV Stable vertebra

T Thorakalwirbel

TC Thoracal curve (Thorakalskoliose)

TK Thorakalkyphose

TP Konvexseitige Thorakoplastik

trv. transversal

UIV Upper instrumented vertebra

VCR Vertebral column resection (Kolumnotomie)

VDS Ventrale Derotationsspondylodese

vs. versus

WK Wirbelkörper

Symbolverzeichnis

n Anzahl

r Korrelationskoeffizient

p Signifikanzwert

* $p < .05$

** $p < .01$

*** $p < .001$

Δ Unterschied

\ominus kein/e/er, ohne, nicht

$\hat{=}$ entspricht

Abbildungsverzeichnis

2.1	Dorsale Korrekturspondylodese	11
2.2	Berechnung der Implantatdichte	12
2.3	Konkavseitige Thorakoplastik (CTP)	13
2.4	Rib hump angle (RHA)	16
2.5	Rib hump height difference (RHHD) n. Geissele	16
2.6	C7-Sagittal plumb line (C7-SPL)	17
2.7	Thorakalkyphose (TK)	17
2.8	Lumballordose (LL)	18
2.9	Thoracal curve (TC)	18
2.10	Lumbar curve (LC)	19
2.11	Shoulder height difference (SHD)	19
2.12	Central sacral vertical line (CSVL)	20
2.13	LIV-CSVL	20
2.14	LIV-Tilt	21
2.15	UIV-Tilt	21
2.16	T1-Tilt	22
2.17	L4-Tilt	22
2.18	L5-Tilt	23
2.19	LIVDA	23
2.20	TC Bending konvex	24
2.21	LC Bending konvex	24
2.22	LIV-Tilt Bending konvex	25
2.23	L3-Tilt Bending konvex	25
2.24	L4-Tilt Bending konvex	26
2.25	LIVDA Bending konkav	26
2.26	L3-Tilt Bending konkav	27
2.27	L4-Tilt Bending konkav	27
2.28	Apex vertebral rotation (AVR)	28
2.29	Mobiler LIV-Tilt	31
2.30	Mobiler LIVDA	31
2.31	CSVL medial der LIV-Pedikel	32
2.32	LIV crossing midline	32
3.1	Altersverteilung der Studiengruppe	35
3.2	Verteilung des LIV und UIV	37

3.3	Korrelation zwischen Implantatdicke und FU Korrektur der TC und LC	38
3.4	Übersicht über Anzahl und Verteilung der proximalen und distalen CTP-Level	39
3.5	Verteilung der aufgetretenen Komplikationen in der Studiengruppe . .	40
3.6	Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen \pm perioperative Komplikationen	41
3.7	Signifikante radiologische Unterschiede zwischen den Gruppen \pm perioperative Komplikationen	41
3.8	Verteilung der verschiedenen Revisionseingriffe	42
3.9	Signifikante radiologische Unterschiede zwischen den Gruppen \pm Revision	43
3.10	Verlauf der TK und LL	45
3.11	Verlauf der C7-SPL	46
3.12	Verteilung des thorakalen und lumbalen Scheitelwirbels und des jeweiligen präoperativen Rotationsgrades	47
3.13	Verlauf der TC und LC	47
3.14	Positive Korrelationen mit der postoperativen TC Korrektur	48
3.15	Negative Korrelationen mit der postoperativen TC Korrektur	49
3.16	Positive Korrelationen mit der postoperativen LC Korrektur	49
3.17	Negative Korrelationen mit der postoperativen LC Korrektur	49
3.18	Pädiktionsmodell für den postoperativen ASKI	50
3.19	Einfluss von PO und Implantatdicke auf den postoperativen ASKI . .	51
3.20	Verlauf der CSVL	51
3.21	Verlauf des L4-Tilt	52
3.22	Verlauf des LIV-Tilt	52
3.23	Verlauf des LIVDA	53
3.24	Verlauf der RHHD	53
3.25	Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen \pm CTP . . .	56
3.26	Verlauf der TC und LC im Vergleich zwischen den Gruppen \pm CTP . .	56
3.27	Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen \pm PO	57
3.28	Verlauf der TC und LC im Vergleich zwischen den Gruppen \pm PO . . .	58
3.29	Inverse Korrelation zwischen FU L4-Tilt und FU LC Korrektur	59
3.30	Unterschiede bzgl. der LC zwischen den Gruppen FU L4-Tilt \leq und $> 10^\circ$	60
3.31	FU CSVL und Mobiler LIV-Tilt	60
3.32	Verlauf der LC im Vergleich zwischen den Gruppen präöp. Mobiler LIV-Tilt und \odot Mobiler LIV-Tilt	61
3.33	Verlauf der CSVL und des LIVDA im Vergleich zwischen den Gruppen präöp. Mobiler LIV-Tilt und \odot Mobiler LIV-Tilt	62
3.34	Korrelation zwischen präöp. Mobilem LIV-Tilt und FU L4-Tilt	63

3.35	Verlauf der LC im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \oslash Mobiler LIVDA	64
3.36	Verlauf des L4 Tilt im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \oslash Mobiler LIVDA	65
3.37	Verlauf des Abstandes zwischen LIV und CSVL im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \oslash Mobiler LIVDA	65
3.38	Verlauf des LIVDA im Vergleich zwischen den Gruppen präop. CSVL medial der LIV-Pedikel und CSVL \oslash medial der LIV-Pedikel	67
3.39	Verlauf der CSVL im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \oslash crossing midline	68
3.40	Verlauf des LIV-Tilt im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \oslash crossing midline	68
3.41	Verlauf des LIVDA im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \oslash crossing midline	69
3.42	Unterschied und Korrelation zwischen präop. und postop. FVC (%) nach DKS + CTP	69
B.1	SRS-24 Fragebogen	131

Tabellenverzeichnis

1.1	Studien über die operative Therapie von thorakalen Skoliosen $\geq 80^\circ$. . .	8
2.1	Radiologische Parameter: Abkürzungen, Bedeutung, Messtechnik	28
3.1	Charakteristika der Studiengruppe bzgl. der Skoliosedeformität	36
3.2	Übersicht über die operativen Verfahren und Ergebnisse	44
3.3	Übersicht über die radiologischen Ergebnisse	54
A.1	Radiologische Ergebnisse der Gruppen \pm perioperative Komplikationen	108
A.2	Radiologische Ergebnisse der Gruppen \pm Revision	109
A.3	Radiologische Ergebnisse der Gruppen DKS \pm CTP	110
A.4	Radiologische Ergebnisse der Gruppen DKS \pm PO	111
A.5	Radiologische Ergebnisse der Gruppen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ und $> 10^\circ$. .	112
A.6	Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und \emptyset Mobiler LIV-Tilt	113
A.7	Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler L4-Tilt und \emptyset Mobiler L4-Tilt	114
A.8	Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \emptyset Mobiler LIVDA	115
A.9	Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. CSVL medial und CSVL \emptyset medial der LIV-Pedikel	116
A.10	Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. LIV crossing und LIV \emptyset crossing midline.	117
A.11	Signifikante Korrelationen zwischen der Entfernung zwischen SV und LIV und weiteren Parametern	118
A.12	Signifikante Korrelationen zwischen der Implantatdichte und weiteren Parametern	119
A.13	Signifikante Korrelationen zwischen der Hook Ratio und weiteren Para- metern	120
A.14	Signifikante Korrelationen zwischen der Anzahl der CTP-Level und wei- teren Parametern	120
A.15	Signifikante Korrelationen zwischen der TC Korrektur und weiteren Pa- rametern	121
A.16	Signifikante Korrelationen zwischen der LC Korrektur und weiteren Pa- rametern	122

A.17 Signifikante Korrelationen zwischen FU L4-Tilt und weiteren Parametern	123
A.18 Signifikante Korrelationen zwischen der FU CSVL und weiteren Parametern	123
A.19 Signifikante Korrelationen zwischen der prä- und postoperativen FVC (%)-Differenz und weiteren Parametern	124
A.20 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen \pm Komplikationen ($M \pm 1$ SD)	125
A.21 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen \pm Revision ($M \pm 1$ SD)	125
A.22 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen DKS \pm CTP ($M \pm 1$ SD)	126
A.23 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen DKS \pm PO ($M \pm 1$ SD)	126
A.24 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ und $> 10^\circ$ ($M \pm 1$ SD)	127
A.25 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und \odot Mobiler LIV-Tilt ($M \pm 1$ SD)	127
A.26 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler L4-Tilt und \odot Mobiler L4-Tilt ($M \pm 1$ SD)	128
A.27 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \odot Mobiler LIVDA ($M \pm 1$ SD)	128
A.28 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. CSVL medial der LIV-Pedikel und CSVL \odot medial der LIV-Pedikel ($M \pm 1$ SD) . . .	129
A.29 Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \odot crossing midline ($M \pm 1$ SD)	130

1 Einleitung

Die Skoliose (von griechisch: „skolios“ = krumm) ist eine strukturelle Verkrümmung der Wirbelsäule mit einer seitlichen Ausprägung von $\geq 10^\circ$ in der Koronarebene, gemessen nach Cobb (Konieczny, Senyurt und Krauspe 2013) (s. Abb. 2.9). Sie geht mit einer Rotation der Wirbelsäule und Torsion der Wirbel einher und führt dadurch zu einer zusätzlichen pathologischen Veränderung in der Transversal- und Sagittalebene. Etwa 0.2% bis 0.6% der Allgemeinbevölkerung sind von einer Skoliose betroffen (Latalski et al. 2017), Angaben zur Prävalenz variieren in der Literatur aufgrund von verschiedenen Einteilungen und Definitionen der Skoliose (Jada et al. 2017). Die Ursache der Wirbelsäulen- und Rumpffdeformität ist Schwerpunkt der Grundlagenforschung und größtenteils unbekannt, sodass die Skoliose als Ausschlussdiagnose dann als idiopathische Skoliose bezeichnet wird (Weinstein et al. 2008). Sie entwickelt sich spontan, meist mit stärkster Progression in der Pubertät während des Wirbelsäulenwachstums und zeigt eine weiter fortschreitende Tendenz. Abgrenzbar zur idiopathischen Skoliose sind Skoliosen, die durch Syndromerkrankungen entstehen (z. B. Marfan-Syndrom, Neurofibromatose) oder neuromuskuläre und kongenitale Skoliosen.

Folgende Untergruppen werden in Bezug auf das Auftreten der Skoliose in verschiedenen Altersgruppen unterschieden (Konieczny, Senyurt und Krauspe 2013):

- Infantile Skoliose: 0 - 3 Jahre
- Juvenile Skoliose: 4 - 10 Jahre
- Adoleszente Skoliose: 11 - 18 Jahre
- Adulte Skoliose: > 18 Jahre

Bei Kindern und Jugendlichen ist die Skoliose der häufigste Grund für eine Funktionsstörung der Wirbelsäule (Konieczny, Senyurt und Krauspe 2013). Den Hauptanteil der Skoliosen stellt die adoleszente idiopathische Skoliose (AIS) dar (srs.org 2018), auf die sich die vorliegende Arbeit bezieht. Bei etwa 2% bis 3% der Jugendlichen tritt eine AIS auf (Kotwicki et al. 2013).

Die komplexe dreidimensionale Veränderung der Wirbelsäulenstellung bei Skoliosen, und bei thorakalen Formen damit einhergehend auch des Brustkorbes, kann je nach Ausprägung zu verschiedenen Komplikationen führen, wie z. B. zu kardiopulmonalen und neurologischen Komplikationen, sagittaler und koronarer Imbalance, Schmerzen,

Schulter- und Hüftschiefstand (Coe et al. 2006; Kandwal et al. 2017; Kotwicki et al. 2013; Lykissas et al. 2015; Weinstein et al. 2008). Durch die Mitrotation der Rippen über die kostovertebralen und kostotransversalen Gelenke bei thorakalen Skoliosen kann es außerdem zur Ausbildung einer Rippenbuckeldeformität auf der konvexen Seite der Skoliose kommen (Metz-Stavenhagen und Morgenstern 2003), die häufig von den Patienten wegen der kosmetischen Beeinträchtigung als sehr belastend empfunden wird (Lykissas et al. 2015).

Je nach Schweregrad der Skoliose und individuellem Risikoprofil des Patienten in Bezug auf die Progredienz kommen verschiedene konservative oder operative Therapiemöglichkeiten infrage, um die weitere Progredienz der Skoliose und deren Komplikationen zu verhindern sowie eine Korrektur der Wirbelsäulenstellung zu erreichen. Die Indikation richtet sich jeweils nach der Ätiologie der Skoliose, dem Alter des Patienten, der Knochenreife (Risser-Stadium), dem Geschlecht, dem Pubertätsstadium, dem Ausmaß, der Flexibilität und der Lokalisation der Krümmung, der Progressionsgeschwindigkeit der Skoliose und der Begleitsymptomatik. Ab einer Ausprägung von 40° bis 45° besteht in den meisten Fällen die Indikation zur Operation (Luo et al. 2017; Weinstein et al. 2008).

Die operative Therapie hochgradiger und rigider Skoliosen birgt besondere Herausforderungen und Risiken. Komplikationsraten bis 44 % für Operationen bei hochgradigen AIS werden in der Literatur beschrieben (Di Silvestre et al. 2008). In den letzten Jahren wurden sowohl die Operationstechniken als auch die verschiedenen Implantate, die zur Instrumentation in der Skoliosechirurgie eingesetzt werden, weiterentwickelt, um die Ergebnisse zu verbessern. Bisher gibt es in der Literatur keine Übereinstimmung für ein ideales Standardverfahren zur Behandlung von hochgradigen, rigiden Skoliosen. Es kommen verschiedene dorsale, ventrale und kombinierte chirurgische Techniken zum Einsatz. Die Verfahren unterscheiden sich im Ausmaß des knöchernen Releases (Osteotomien), der Instrumentationsdichte unter Einsatz von Haken, Pedikelschrauben (PS) und Stäben und im Risikopotential für die Patienten in Bezug auf neurologische und pulmonale Komplikationen sowie postoperative Infektionen. Eine zufriedenstellende Korrektur der Skoliose und der Rumpfdeformität sowie die Balance in der koronaren und sagittalen Ebene kann bei hochgradigen und rigiden Skoliosen nur erreicht werden, wenn eine ausreichende intraoperative Flexibilität der Wirbelsäule gewährleistet ist. Mehrere Methoden wurden entwickelt, um die Wirbelsäulenmobilität vor dem Eingriff der eigentlichen Korrekturspondylodese zu verbessern und dadurch die Korrektur zu optimieren (El Masry et al. 2007). Nachfolgend werden die gängigen operativen Korrekturverfahren für hochgradige Skoliosen vorgestellt.

1.1 Operative Korrekturverfahren

1.1.1 Ventrales Release und dorsale Instrumentation

Das kombinierte Verfahren mit einem ventralen Release und dorsaler Fusion und Instrumentation wird bei hochgradigen und rigiden Skoliosen häufig angewendet. Das ventrale Release kann sowohl offen operativ als auch thorakoskopisch durchgeführt werden und liefert ähnliche Korrekturergebnisse (Newton et al. 1997; Teixeira da Silva, Barros und Azevedo 2015). Bei diesem Verfahren erfolgt in einem ersten Eingriff nach der Thorakotomie bzw. Thorakoskopie und Rippenresektion von ventral die Resektion des Ligamentum longitudinale anterior und die Entfernung der Bandscheiben der betroffenen Segmente sowie ein Anfrischen der Grund- und Deckplatten der angrenzenden Wirbelkörper. Durch die Exzision der Bandscheiben und des Längsbandes soll die Flexibilität der Wirbelsäule erhöht werden, um die anschließende dorsale Stellungskorrektur zu verbessern. Autologes Knochenmaterial von den zuvor resezierten Rippenanteilen wird genutzt, um die entstandenen intervertebralen Lücken zu füllen. In einem zweiten Eingriff erfolgt dann über den dorsalen Zugang die Korrektur der Wirbelsäulenstellung und die Instrumentation mit Hybridsystemen (Haken und Schrauben) oder mit Pedikelschrauben. Der biomechanische Effekt eines ventralen Releases auf die anschließende dorsale Korrekturspondylodese wurde in der Vergangenheit in mehreren Studien untersucht (Takeuchi et al. 1999; Wollowick et al. 2013; Yao et al. 2012). Nachteil dieses doppelseitigen und zweizeitigen Verfahrens sind höhere Komplikationsraten als bei isolierten ventralen oder dorsalen Eingriffen. In verschiedenen Studien wurden negative Auswirkungen auf die Lungenfunktion beschrieben (Kim et al. 2005; Lenke et al. 2004) und doppelt so hohe Komplikationsraten bzgl. pulmonalen und neurologischen Komplikationen sowie Wundkomplikationen im Vergleich zu den ventralen oder dorsalen Einzelverfahren (Coe et al. 2006).

1.1.2 Dorsale Instrumentation ohne ventrales Release

Die alleinige dorsale Korrekturspondylodese ohne vorheriges ventrales Release erfolgt unter Einsatz von multisegmental platzierten Pedikelschrauben oder Hybridsystemen (Kombination aus Haken und Pedikelschrauben), die über Metallstäbe miteinander verbunden sind. Die Verwendung beider Instrumentationen wurde in mehreren Studien hinsichtlich ihrer Ergebnisse verglichen (Kim et al. 2006; Liljenqvist et al. 2002; Liu und Hai 2014; Storer et al. 2005). Der Trend geht seit einigen Jahren in Richtung des alleinigen Einsatzes von multisegmentalen Pedikelschrauben (Hero, Vengust und Topolovec 2017). Die Korrektur der Wirbelsäulenstellung wird durch konkavseitige Distraktions- und konvexseitige Kompressionsverfahren sowie Derotation und Trans-

lation über die eingesetzten Stäbe erzielt (s. Kapitel 2.2.1). Der Vorteil im Vergleich zum kombinierten Verfahren ist hierbei der einseitige dorsale operative Zugang und dadurch die Vermeidung von Komplikationen, die bei einem Zugang von ventral oder bei einem zweizeitigen Eingriff durch eine zusätzliche Operation resultieren können. Die Weiterentwicklung der in der Skoliosechirurgie zur Verfügung stehenden Instrumentation (z. B. Pedikelschrauben) hat dazu geführt, dass Korrekturergebnisse durch dieses rein dorsale Verfahren optimiert werden konnten und die dorsale Technik alternativ zum ventralen Release auch bei hochgradigen und rigiden Skoliosen angewendet wird. In der Literatur stellt sich seit der Entwicklung dieses Verfahrens die Frage nach der Notwendigkeit eines ventralen Releases bzw. nach Vor- und Nachteilen der jeweiligen Eingriffe (Arlet, Jiang und Quellet 2004; Hempfing et al. 2007; Suk et al. 2007).

1.1.3 Kombinierte ventrale und dorsale Instrumentation

Die kombinierte ventrale und dorsale Instrumentation ist eine weitere Möglichkeit für die operative Therapie hochgradiger Skoliosen. Nach einem ventralen Release wird eine ventrale Derotationsspondylodese (VDS) nach Zielke (Zielke, Stunkat und Beaujean 1976) durchgeführt und anschließend mit einer dorsalen Korrekturspondylodese (DKS) kombiniert, ggf. mit einem zusätzlich zuvor durchgeführten dorsalen Release (s. Kapitel 1.1.6). Dieses Verfahren wird v. a. bei thorakolumbalen Skoliosen mit rigider lumbaler Krümmungskomponente angewendet (Bullmann et al. 2006).

1.1.4 Halo-Extensionsbehandlung

Die Halo-Extensionsbehandlung (im Englischen halo-gravity traction, HGT) ist ein Traktionsverfahren, das prä- bzw. perioperativ eingesetzt wird, um intraoperativ die Skoliosekorrektur zu erleichtern und zu verbessern. Das Verfahren nutzt die Wirkung der Schwerkraft von angebrachten Gewichten, um die Wirbelsäule unter Zug zu setzen und dadurch die Weichteile unter Ausnutzen ihrer viskoelastischen Eigenschaften zu lockern. Dadurch wird die Flexibilität der Wirbelsäule präoperativ gesteigert und das neurologische Risiko reduziert, außerdem kann die präoperative Lungenfunktion durch dieses Verfahren verbessert werden (Koller et al. 2012). Ein Metallring wird unter Vollnarkose oder Lokalanästhesie mit Schrauben in der Tabula externa des Schädels fixiert und anschließend über befestigte Gewichte, die gegen das Körpergewicht des Patienten wirken, eine Extension auf die Wirbelsäule ausgeübt. Das Gewicht wird anschließend sukzessiv gesteigert, bis der erwünschte Effekt erreicht ist. Die Halo-Extensionsbehandlung kommt z. B. nach einem ventralen oder dorsalen Release und vor der anschließenden dorsalen Instrumentation zum Einsatz oder vor einem dorsalen Eingriff zur Vermeidung eines ventralen Releases (Mehrpour et al. 2017).

1.1.5 Kolumnotomie

Die Kolumnotomie, auch vertebral column resection (VCR) im Englischen genannt, ist aufgrund der anspruchsvollen OP-Technik und des neurologischen Komplikationsrisikos höchstgradigen Wirbelsäulendeformitäten vorbehalten und stellt in der Skoliosechirurgie das Verfahren mit der radikalsten Resektion von Knochenanteilen und der höchsten Komplikationsrate dar (Smith et al. 2017). Die Kolumnotomie wurde zum ersten Mal 1922 von MacLennan beschrieben und von Bradford 1987 weiter modifiziert. Bei der Kolumnotomie werden Wirbel, Bögen, Pedikel und Bandscheiben vollständig entfernt, um dadurch die Mobilisierung der Wirbelsäule für die Korrektur der Fehlstellung zu ermöglichen. Der Zugang erfolgt entweder von dorsal als „posterior only VCR“ oder in Kombination mit einem zusätzlichen ventralen Zugang. Vor der eigentlichen Resektion eines oder mehrerer Wirbel werden in den darüber- und darunterliegenden Wirbeln Pedikelschrauben fixiert, über die vorübergehend Stäbe für die Stabilisierung der Wirbelsäule während des Eingriffes und zum Schutz vor Zug oder Kompression des Rückenmarks angebracht werden. Die intervertebralen Lücken werden mit Metallkäfigen und autologem Knochenmaterial, das von der Resektion der Rippen und Wirbelkörperanteile gewonnen wird, gefüllt. Das genaue Operations-Verfahren wird in mehreren Studien detailliert beschrieben (Bradford und Tribus 1997; Lenke et al. 2010; Saifi et al. 2017).

1.1.6 Dorsales Release

Standard-Release

Die Resektion der interspinösen Bänder sowie die Resektion der jeweils unteren Gelenkfacette eines Bewegungssegmentes mit einem Luer, Rongeur oder Hammer und Meißel resultiert in einer Lockerung des Bewegungssegmentes und ist als dorsales Standard-Release im Rahmen einer dorsalen Korrekturspondylodese etabliert. Zu den zusätzlich das Standard-Release erweiternden Release-Techniken gehören die Ponte Osteotomien und die Kostothorakoplastik.

Konkavseitige Thorakoplastik (CTP)

Eine Alternative zum ventralen Release im Rahmen der dorsalen instrumentierten Korrekturspondylodese ist die konkavseitige Thorakoplastik (CTP). Das Verfahren der Rippenosteotomien auf der konkaven Seite der Skoliose wurde erstmals von Flinckum in 1963 beschrieben und später von Mann et al. modifiziert (Flinckum 1963; Mann et al. 1989). Der Eingriff erfolgt von dorsal über die Mittellinie mit der Darstellung der dorsalen Wirbelsäulenanteile. Auf der konkaven Seite werden die Rippen der ausgewählten Segmente subperiostal aus dem Weichteilverbund herausgelöst und es er-

folgen die Osteotomien im Bereich der Kostotransversalgelenke. Die Refixierung der abgetrennten Rippen erfolgt anschließend über dem Distraktionsstab der Korrekturspondylodese (Metz-Stavenhagen und Morgenstern 2003) (s. Kapitel 2.2.3, Abb. 2.3). Die CTP gilt als zuverlässiges und sicheres Verfahren, das als Erweiterung des dorsalen Standard-Releases bei hochgradigen, rigiden Thorakalskoliosen infrage kommt (El Masry et al. 2007). Die Erfahrung zeigt gute und reproduzierbare Ergebnisse, eine suffiziente Skoliosekorrektur und eine gute kosmetische Korrektur der Rumpfdeformität (Metz-Stavenhagen et al. 2008). Der Einfluss der CTP auf die postoperative Entwicklung der Lungenfunktion sowie der Effekt der CTP als Zusatz zur alleinigen dorsalen Korrekturspondylodese wurden u. a. in dieser Arbeit analysiert.

Ponte Osteotomie (PO)

Die multisegmentale Ponte Osteotomie wurde 1987 von Ponte et al. entwickelt (Ponte, Orlando und Siccardi 2018). Sie dient als dorsales knöchernes Release zur Wiederherstellung eines harmonischen sagittalen Profils bei Operationen von rigiden Wirbelsäulendeformitäten, insbesondere bei Scheuermann-Kyphosen. Ursprünglich wurde das Verfahren für die Therapie des Morbus Scheuermann entwickelt und später von Shufflebarger und Clark und Shufflebarger et al. auch für die Therapie der AIS beschrieben (Shufflebarger und Clark 1998; Shufflebarger, Geck und Clark 2004). Mittlerweile werden Ponte Osteotomien vielseitig zur Therapie verschiedener Wirbelsäulendeformitäten eingesetzt (Ponte, Orlando und Siccardi 2018). Der Eingriff beinhaltet die Resektion der oberen und unteren Facettengelenke sowie die Resektion der Laminae und die vollständige Resektion des Ligamentum flavum (Ponte, Orlando und Siccardi 2018). Durch die dorsale Disartikulation mehrerer Wirbel voneinander wird die erforderliche Mobilisierung der Wirbelsäule erleichtert. Über Pedikelschrauben und Stäbe erfolgt anschließend bei hyperkyphotischen Deformitäten eine dorsale Kompression und bei hypokyphotischen Deformitäten eine Distraktion. Insgesamt kann eine Korrektur von bis zu 5° pro beteiligtes Segment erreicht werden (Ferraris et al. 2012) (s. Kapitel 2.2.4).

1.2 Hochgradige Skoliosen $\geq 80^\circ$

In der Literatur gibt es bisher nur wenige Arbeiten mit jeweils geringen Fallzahlen und Daten zu Skoliosen mit einer Ausprägung $\geq 80^\circ$ und deren Therapie (Bullmann et al. 2006; Crostelli et al. 2013; Di Silvestre et al. 2008; Dobbs et al. 2006; Hamzaoglu et al. 2008; Helenius, Mattila und Jalanko 2014; Kandwal et al. 2016; Kuklo et al. 2005; X. Li et al. 2017a; Mehrpour et al. 2017; Sponseller et al. 2008; Suh et al. 2009; Tokunaga et al. 2000; Watanabe et al. 2008; Yamin et al. 2008; Zhang et al. 2011; Zheng et al.

2013). Eine Übersicht über veröffentlichte Arbeiten und deren jeweilige Fallzahlen gibt Tabelle 1.1.

Nach wie vor bleibt die Frage nach dem bestmöglichen Korrekturverfahren von diesen hochgradigen und rigiden Skoliosen bestehen. Das Ziel ist, ein optimales Verhältnis zwischen maximaler Korrektur und minimaler Fusion unter Wiederherstellung einer ausgewogenen Balance des Rumpfes in der Koronar- und Sagittalebene und ein für den Patienten kosmetisch zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen. Einflussfaktoren auf und Prädiktoren für klinische und radiologische postoperative Ergebnisse bei Patienten mit hochgradiger adoleszenter idiopathischer Skoliose $\geq 80^\circ$ nach dorsaler Korrekturspondylodese (DKS) wurden bisher noch nicht an einem repräsentativen Kollektiv objektiviert bzw. nachuntersucht und sind daher das Thema der Dissertation.

Folgende Fragestellungen wurden in der vorliegenden Arbeit bearbeitet:

1. Radiologischer und klinischer Verlauf nach dorsaler Skoliosekorrektur bei Patienten mit adoleszenter idiopathischer Skoliose (AIS) und thorakaler Krümmung $\geq 80^\circ$
2. Haupteinflussgrößen auf die thorakale Skoliosekorrektur
3. Einflussfaktoren auf die Horizontalisierung von L4
4. Entwicklung der Lungenfunktion nach dorsaler Korrekturspondylodese (DKS) und konkavseitiger Thorakoplastik (CTP)
5. Untersuchung von Gruppenunterschieden für Patienten mit folgenden Merkmalen:
 - (a) Follow-up L4-Tilt $\leq 10^\circ$ bzw. $> 10^\circ$
 - (b) Follow-up CSVL ≤ 20 mm bzw. > 20 mm
 - (c) DKS mit bzw. ohne CTP
 - (d) DKS mit bzw. ohne Ponte Osteotomien
6. Auswirkungen folgender präoperativer radiologischer Parameter auf radiologische und klinische postoperative Ergebnisse:
 - (a) Mobiler LIV-Tilt
 - (b) Mobiler L4-Tilt
 - (c) Mobiler LIVDA
 - (d) CSVL medial der LIV-Pedikel
 - (e) LIV crossing midline

Tab. 1.1: Übersicht über bisher veröffentlichte Studien über die operative Therapie von thorakalen Skoliosen mit einem Cobb-Winkel $\geq 80^\circ$

Titel	Autor	Jahr	n
<i>Vertebral Decancellation for Severe Scoliosis</i>	Tokunaga et al.	2000	21
<i>Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curves more than 90 degrees</i>	Kuklo et al.	2004	20
<i>Combined anterior and posterior instrumentation in severe and rigid idiopathic scoliosis</i>	Bullmann et al.	2006	33
<i>Anterior/posterior spinal instrumentation versus posterior instrumentation alone for the treatment of adolescent idiopathic scoliotic curves more than 90 degrees</i>	Dobbs et al.	2006	54
<i>Posterior Only Pedicle Screw Instrumentation With Intraoperative Halo-Femoral Traction in the Surgical Treatment of Severe Scoliosis ($> 100^\circ$)</i>	Hamzaoglu et al.	2008	15
<i>Staged surgical treatment for severe and rigid scoliosis</i>	Yamin et al.	2008	21
<i>Posterior fusion only for thoracic adolescent idiopathic scoliosis of more than 80°: pedicle screws versus hybrid instrumentation</i>	Di Silvestre et al.	2008	52
<i>Comparison of radiographic outcomes for the treatment of scoliotic curves greater than 100 degrees: wires versus hooks versus screws</i>	Watanabe et al.	2008	68
<i>The Use of Traction in the Treatment of Severe Spinal Deformity</i>	Sponseller et al.	2008	53
<i>Posterior multilevel vertebral osteotomy for correction of severe and rigid neuromuscular scoliosis: a preliminary study</i>	Suh et al.	2009	13
<i>Posterior-only surgery with strong halo-femoral traction for the treatment of adolescent idiopathic scoliotic curves more than 100°</i>	Zhang et al.	2011	29
<i>Treatment for Severe Idiopathic Upper Thoracic Scoliosis in Adolescence</i>	Zheng et al.	2013	21
<i>Treatment of severe scoliosis with posterior-only approach arthrodesis and all-pedicle screw instrumentation</i>	Crostelli et al.	2013	25
<i>Morbidity and radiographic outcomes of severe scoliosis of 90° or more: a comparison of hybrid with total pedicle screw instrumentation</i>	Helenius et al.	2014	32
<i>Staged Anterior Release and Posterior Instrumentation in Correction of Severe Rigid Scoliosis (Cobb Angle $> 100^\circ$)</i>	Kandwal et al.	2016	21
<i>Preoperative Halo-Gravity Traction for Severe Thoracic Kyphoscoliosis Patients from Tibet: Radiographic Correction, Pulmonary Function Improvement, Nursing, and Complications</i>	Li et al.	2017	11
<i>Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis</i>	Mehrpour et al.	2017	23

2 Material und Methoden

2.1 Patientenauswahl

Bei der vorliegenden Studie wurden Daten von insgesamt 85 Patienten mit der Hauptdiagnose einer hochgradigen AIS ab 80° retrospektiv erhoben und analysiert. Die Patienten wurden im Zeitraum von 1997 bis 2015 im Deutschen Skoliosezentrum der Werner-Wicker-Klinik in Bad Wildungen mit dem Verfahren der DKS operiert (s. Kapitel 2.2.1). Zusätzlich erhielten 63 Patienten (70%) aufgrund der hochgradigen Skoliose- und ausgeprägten Rumpfdeformität eine CTP (s. Kapitel 2.2.3) und 10 Patienten (11.8%) für die bessere intraoperative Mobilisierung der Wirbelsegmente Ponte Osteotomien (s. Kapitel 2.2.4).

Demographische Standardparameter, wie Alter und Geschlecht, wurden zu Beginn von allen Patienten gesammelt und dokumentiert. Patientenakten, Arztbriefe, OP-Berichte und Röntgenbilder wurden hinsichtlich der Diagnose, der medizinischen Vorgeschichte, des Operationsverlaufes, Komplikationen und des weiteren medizinischen Verlaufes untersucht und dokumentiert.

Folgende Einschlusskriterien für die Studie wurden berücksichtigt:

- Diagnose: Adoleszente idiopathische Skoliose (AIS)
- Ausprägung der Skoliose $\geq 80^\circ$ nach Cobb
- Therapie: Dorsale Korrekturspondylodese (DKS)
- Alter zum Zeitpunkt der Operation ≤ 30 Jahre, > 10 Jahre
- Primäroperation an der Wirbelsäule
- Patienten mit/ohne radiologischem Follow-up ≥ 6 Monate postoperativ
- Patienten mit/ohne dokumentierten Spirometriemessungen
- Patienten mit/ohne zusätzlicher konkavseitiger Thorakoplastik (CTP)
- Patienten mit/ohne zusätzlichen Ponte Osteotomien (PO)

Aus der Studie ausgeschlossen wurden Patienten mit vorausgegangener Halo-Behandlung, mit zusätzlicher VDS oder ventralem Release sowie Patienten mit konvexseitiger Thorakoplastik (TP, Rippenbuckelresektion) innerhalb von 12 Monaten nach durchgeführter DKS oder jeglicher anderer Ätiologie als einer idiopathischen adoleszenten Skoliose (Syndromerkrankungen, kongenitale und neuromuskuläre Skoliosen).

In der vorliegenden Studie wurden alle Patienten mit einer AIS $\geq 80^\circ$ und oben genannten Kriterien inkludiert. Für die Hauptfragestellungen zum Thema Skoliosekorrktur bei adoleszenten Patienten mit idiopathischer Skoliose und thorakaler Krümmung $\geq 80^\circ$ konnten vollständige Datensätze generiert werden, welche einen direkten Vergleich präoperativ zu postoperativ in einer hohen Fallzahl ermöglichen sollten. Da im Weiteren vollständige Datensätze für alle einzelnen untersuchten Variablen nicht bei allen operierten Patienten analysiert werden konnten (z. B. aufgrund der radiologischen Bildqualität oder fehlender Follow-up Röntgenbilder bzw. unvollständigem Spirometrie-Datenbestand), liegen für verschiedenen Subanalysen variierende Gruppengrößen vor. Im Falle eines inkompletten Datensatzes wurde bei der entsprechenden Variable jeweils der analysierte Anteil absolut (n) und/oder prozentual ($n\%$) zur jeweiligen Vergleichsgruppe angegeben. Die wenigen Daten der Literatur zum Studienthema und die wertvollen Informationen, welche aus der vorliegenden Analyse einer großen Patientengruppe mit thorakalen Krümmungen $\geq 80^\circ$ erarbeitet werden können, haben den aufgezeichneten Auswertungsmodus definiert. Nachfolgend wird die Studiengruppe mit allen 85 inkludierten Patienten als Gesamtgruppe bezeichnet, die Patientengruppe, die mit einer DKS und zusätzlich CTP behandelt wurde, als CTP-Gruppe, die Patientengruppe mit zusätzlichen Ponte Osteotomien als PO-Gruppe und die Gruppe, bei der Follow-up Röntgenbilder vorlagen, als FU-Gruppe.

Die Datenerhebung und alle radiologischen Messungen erfolgten durch mich persönlich und wurden von Herrn Professor Dr. med. H. Koller auf Konstanz überprüft. Die schematischen Grafiken in dieser Arbeit wurden zur Veranschaulichung von mir erstellt.

2.2 Operative Verfahren

2.2.1 Dorsale Korrekturspondylodese (DKS)

Alle Patienten dieser Studie wurden mit dem Verfahren der dorsalen Korrekturspondylodese (DKS) operiert (s. Abb. 2.1). Die DKS ist ein verbreitetes und häufig angewandtes Verfahren zur operativen Korrektur von Skoliosen. Die Patienten werden in Bauchlage gelagert, sodass der Eingriff von dorsal erfolgen kann. Nach üblicher Desinfektion und steriler Abdeckung erfolgt der Hautschnitt im Bereich der Dornfortsätze in Höhe der betroffenen Wirbelsegmente. Die Wirbelsäule wird bis zu den kleinen Wirbelgelenken dargestellt. Anschließend erfolgt zunächst konkavseitig das Einsetzen von Pedikelschrauben unter Bildwandlerkontrolle und das Einlegen eines zweidimensional vorgebogenen Distractionsstabes. Unter Wake-up- oder Neuromonitoring-Bedingungen wird eine Derotation und Translation des konkaven Stabes durchgeführt und eine Distraction der konkaven Seite. Ein zweiter vorgebogener Stab wird konvexseitig eingelegt

und eine Kompression im thorakalen Bereich sowie eine Distraction im lumbalen Bereich ausgeübt. Die Derotation und Translation der Wirbel erfolgt über die eingesetzten Stäbe.

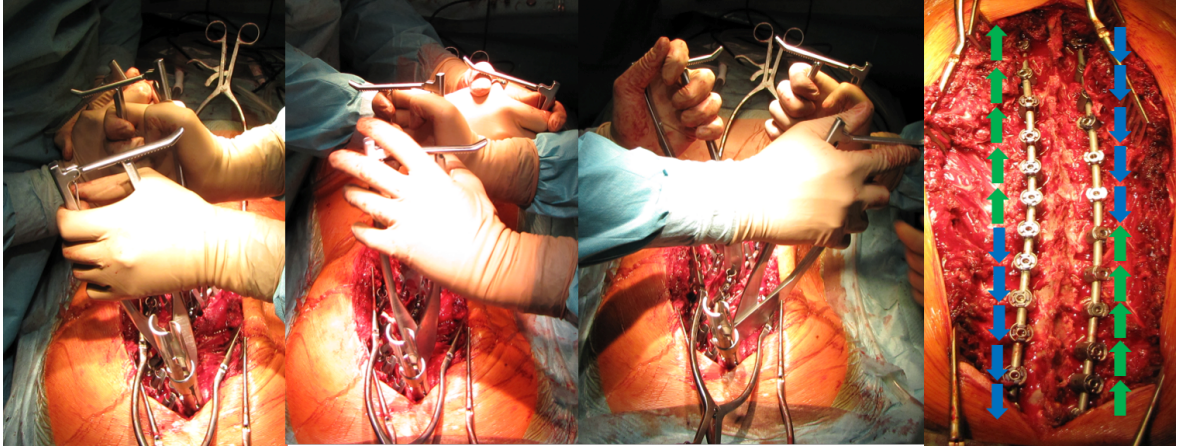


Abb. 2.1: Dorsale Korrekturspondylodese: Stab-Derotation, Translation, Distraction und Kompression

Abschließend erfolgt eine Röntgenkontrolle in zwei Ebenen zur Korrektur- und Lagebeurteilung der Instrumentation. Während der gesamten Operation wird eine mehrfache, ausgiebige Wundspülung durchgeführt. Die Spondylodese (Versteifung der betroffenen Wirbelsäulensegmente) erfolgt unter Dekortikalisierung der dorsalen Wirbelkörperanteile und Auflage des bei der Beckenspanentnahme (s. Kapitel 2.2.2) gewonnenen und zerkleinerten Knochenmaterials (im Studienzeitraum). Der Wundverschluss erfolgt unter Ausleitung zweier subfaszialer Redondrainagen durch Fasziendopplung, fortlaufende Subkutannaht, fortlaufende Intrakutannaht und Anlage eines sterilen Verbandes. Die Anzahl und Lokalisation der fusionierten Wirbelsäulensegmente sowie die verwendete Instrumentation (Pedikelschrauben und/oder Haken, Anzahl der Metallstäbe) wurden anhand der postoperativen Röntgenbilder bestimmt und dokumentiert.

Implantatdichte

Die Implantatdichte der dorsalen Fusion wurde wie folgt berechnet (Bsp. s. Abb. 2.2):

$$\text{Implantatdichte (\%)} = \frac{\text{Anzahl der verwendeten Knochenanker}^1}{\text{maximal mögliche Anzahl von Knochenankern}^2} \times 100$$

¹Pedikelschrauben und/oder Laminahaken

²ausgehend von jeweils zwei Ankern pro Segment im Bereich der fusionierten Strecke

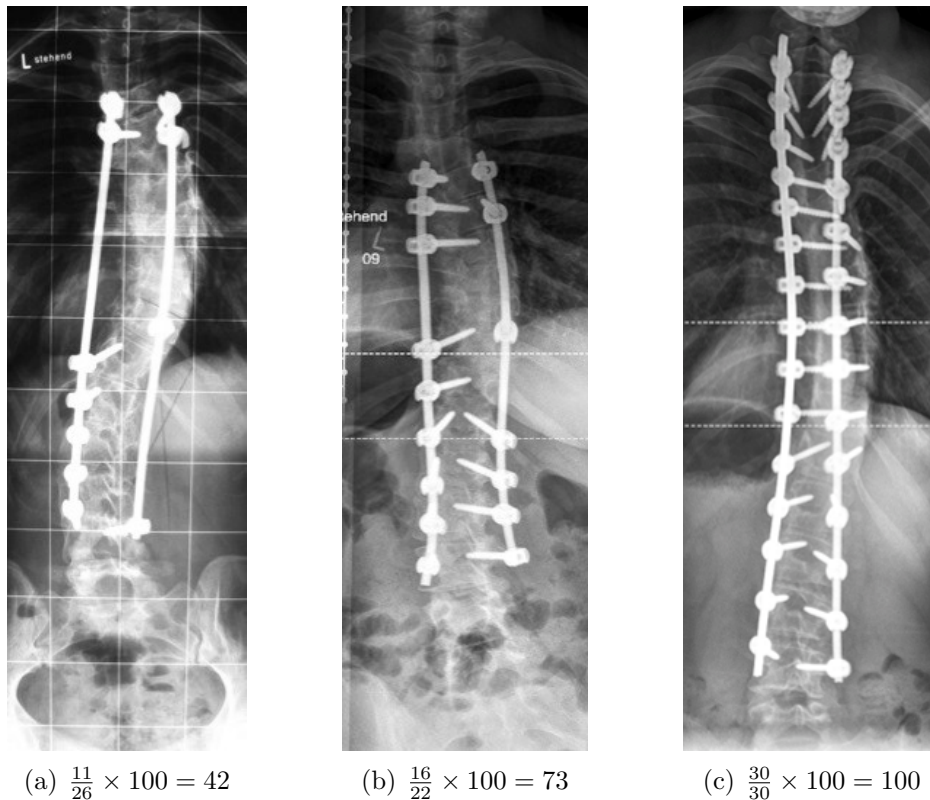


Abb. 2.2: Beispiele für die Berechnung der Implantatdichte (%)

Einsatz von Pedikelschrauben und Laminahaken (sog. Hook Ratio)

Neben der Implantatdichte wurde außerdem die Hook Ratio als Verhältnis der eingesetzten Laminahaken zur Gesamtzahl der Knochenanker berechnet:

$$\text{Hook Ratio (\%)} = \frac{\text{Anzahl der eingesetzten Laminahaken}}{\text{Gesamtanzahl der verwendeten Knochenanker}} \times 100$$

2.2.2 Beckenspanentnahme

Zur Spondylodese bei dem Eingriff der DKS erfolgt in derselben Sitzung im Untersuchungszeitraum die Entnahme von autologem Knochenmaterial aus dem Beckenkamm. Nach der subkutanen epifaszialen Präparation zum hinteren Beckenkamm wird subperiostal die Außenseite des Os ilium in Höhe der Spina iliaca superior und etwas kranial davon dargestellt. Es werden reichlich kortikospongiöse Knochenchips unter Schutz von Hohmann-Hebeln entnommen. Anschließend wird mehrfach gespült und die Spanentnahmestelle mit Spongel tamponiert. Der Wundverschluss erfolgt unter Ausleitung einer subfaszialen Ablaufdrainage durch fortlaufende gedoppelte Fasziennaht mit Refixation der Glutealmuskulatur am Beckenkamm. Die Knochenchips werden anschließend zur hinteren Spondylodese im Bereich der operierten Segmente angelegt (s.o.).

2.2.3 Konkavseitige Thorakoplastik (CTP)

Von den 85 Patienten wurde bei 63 (74.1%) zusätzlich und zeitgleich zur DKS eine CTP durchgeführt. Die CTP ist ein Verfahren, das als dorsales Release bei rigiden Thorakalskoliosen zum Einsatz kommt, um dadurch eine Zunahme der Skoliosekorrektur und zusätzlich einen positiven kosmetischen Effekt auf die Rumpfdeformität zu erzielen. Dabei werden die betroffenen Rippen während des Eingriffs der DKS konkavseitig subperiostal aus dem Weichteilverbund herausgeschält und im Bereich der Kostotransversalgelenke osteotomiert. Anschließend erfolgt die Fixation der Rippen über der Instrumentation der DKS. Die abgelösten Rippen werden über dem Stab unter Kaudalisation und Lateralisation mit resorbierbaren Haltefäden refixiert (s. Abb. 2.3).

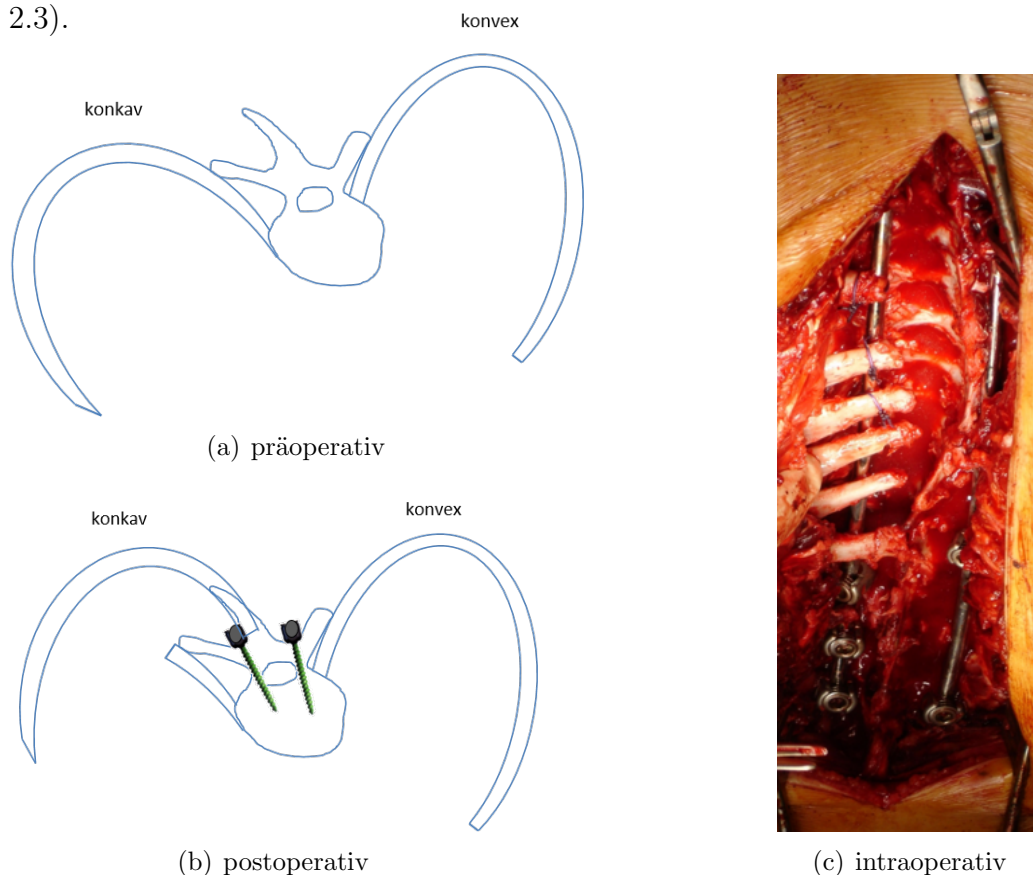


Abb. 2.3: Konkavseitige Thorakoplastik (CTP): Schema (a, b) und Operationssitus (c)

Die Anzahl der mobilisierten Rippen und die jeweils ausgewählten proximalen und distalen CTP-Level wurden dem Operationsbericht oder anderen Arztbriefen entnommen und dokumentiert.

2.2.4 Ponte Osteotomien (PO)

Bei 10 Patienten (11.8%) aus dieser Studie erfolgten zusätzlich zur DKS Ponte Osteotomien. Hierbei werden über mehrere Segmente über den dorsalen Zugang die Facetten-

gelenke, die Laminae, das Ligamentum interspinale und Ligamentum flavum reseziert. Dies steigert die Segmentmobilität gegenüber axialen, sagittalen und koronaren Korrekturkräften. Dadurch wird die Mobilisierung der Wirbelsäule für die anschließende Korrektur verbessert.

2.2.5 Komplikationen und Revision

Komplikationen wurden retrospektiv nach Glassman in die Kategorien „major“ und „minor“ eingeteilt (s. Glassman et al. 2007). Aus den Arztbriefen wurde außerdem entnommen, ob es bis zum Follow-up zur Bildung von Pseudarthrosen oder Infektionen kam.

Als Revisionsoperation wurde jeder weitere ungeplante chirurgische Eingriff bezeichnet, der aufgrund von Komplikationen der Index-Operation durchgeführt werden musste. Wenn der Revisionseingriff > 12 Monate postoperativ durchgeführt wurde, wurden die vor der Revision vorliegenden Röntgenbilder für die FU-Analyse verwendet, sofern sie das FU-Intervall einhielten.

2.3 Radiologische Datenerhebung

Insgesamt wurden 58 radiologische Parameter gemessen und dokumentiert (Abkürzungen und Erläuterungen s. Tab. 2.1). Die Datenerhebung und Messungen der verschiedenen radiologischen Parameter erfolgten an Wirbelsäulenganzaufnahmen im Stehen im p. a.- und lateralen Strahlengang zu den Zeitpunkten präoperativ, postoperativ und zur aktuellsten Follow-up Untersuchung. Zusätzlich erfolgten Messungen zur Berechnung der Wirbelsäulenflexibilität bzw. -rigidität mithilfe von präoperativen Bending-Aufnahmen (in Links- und Rechtsseitneigung). Für die radiologische Beurteilung des Rippenbuckels erfolgten die Messungen an den prä- und postoperativen Sagittalaufnahmen und zusätzlich an Spezialaufnahmen im transversalen Strahlengang.

Die Einteilung der Skoliose erfolgte nach dem Klassifikationssystem von Lenke in die Kurventypen 1 bis 6 (Lokalisation und Ausprägung der Skoliose), „lumbar modifier“ A bis C (Verlauf der central sacral vertical line (CSVL)) und „sagittal modifier“ –, N und + (thorakales sagittales Profil) (s. Lenke et al. 2001). Standardparameter wie die Ausprägung der Thorakalkyphose und Lumballordose sowie die Ausprägung der thorakalen und lumbalen Skoliosekrümmungen in der Koronarebene wurden mit der Cobb-Methode bestimmt (s. Abb. 2.7 bis 2.10). Die jeweiligen Scheitelwirbel der thorakalen und lumbalen Krümmungen sowie der lumbale distale und proximale End Vertebra (EV) (distalster und proximalster Wirbelkörper der lumbalen Skoliosekrümmung) und Stable Vertebra (SV) wurden anhand der präoperativen Röntgenbilder bestimmt und dokumentiert. Als SV wurde der ausgehend von der LC nächstgelegene distale

Wirbelkörper definiert, der von der CSVL interpedikulär durchzogen wird. Die Distanz zwischen distalem EV und SV wurde als dazwischenliegende Wirbelkörperanzahl (WK) gemessen. Die Wirbelkörperrotation verschiedener ausgewählter Wirbel wurde in 5 Grade (0 bis 4) nach der Methode von Nash und Moe eingeteilt (s. Abb. 2.28) (Nash und Moe 1969). Die Beurteilung der sagittalen Ausprägung des Rippenbuckels erfolgte mit der Technik nach Geissele (s. Abb. 2.5) (Geissele et al. 1994).

Die gemessenen Ergebnisse der Skolioseausprägung wurden u. a. für die Berechnung der präoperativen Flexibilität der Wirbelsäule und der postoperativen Korrektur genutzt. Die Berechnung erfolgte standardmäßig wie folgt:

$$\text{Präoperative Flexibilität (\%)} = \frac{\text{Cobb präoperativ} - \text{Cobb bending konvex}}{\text{Cobb präoperativ}} \times 100$$

$$\text{Postoperative Korrektur (\%)} = \frac{\text{Cobb präoperativ} - \text{Cobb postoperativ}}{\text{Cobb präoperativ}} \times 100$$

$$\text{Follow-up Korrektur (\%)} = \frac{\text{Cobb präoperativ} - \text{Cobb FU}}{\text{Cobb präoperativ}} \times 100$$

2.3.1 SKI und ASKI

Außerdem wurde ausgehend vom Skoliose-Korrektur-Index (SKI) (Vora et al. 2007) ein Absoluter Skoliose-Korrektur-Index (ASKI) für die Objektivierung der Korrektur der globalen (thorakalen und lumbalen) Deformität neu definiert. Der SKI skaliert das Korrekturergebnis der thorakalen bzw. lumbalen Skoliose im Verhältnis zur jeweiligen präoperativen Flexibilität der Wirbelsäule und wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Thorakaler SKI (tSKI)} = \frac{\text{thorakale postop. Korrektur (\%)}}{\text{thorakale präop. Flexibilität (\%)}}$$

$$\text{Lumbaler SKI (lSKI)} = \frac{\text{lumbale postop. Korrektur (\%)}}{\text{lumbale präop. Flexibilität (\%)}}$$

Der neu definierte ASKI setzt sich aus tSKI und lSKI zusammen und beschreibt das Korrekturergebnis für die gesamte Wirbelsäule basierend auf der präoperativen Flexibilität:

$$\text{ASKI} = \text{tSKI} + \text{lSKI}$$

Der Einfluss folgender Parameter auf den postoperativen ASKI wurde untersucht und analysiert: Implantatdichte, CTP, Ponte Osteotomien, Anzahl der fusionierten Segmen-

te, präoperative LL, präoperative TK, CVSL, Ausprägung der TC und der LC.

2.3.2 Messtechnik der radiologischen Parameter

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung lagen die Röntgenbilder teilweise bereits in digitalisierter Form, teilweise noch in analoger Form vor. Bei den digital vorliegenden Röntgenaufnahmen erfolgte die Messung der radiologischen Parameter am Computer mit dem DICOM-Softwareprogramm „INFINITT“, die Parameter der analogen Bilder wurden mithilfe des Skolioselineals manuell gemessen.

Nachfolgend sind die verschiedenen radiologischen Parameter aufgeführt und anhand von Grafiken verdeutlicht. Eine Übersicht gibt Tabelle 2.1:

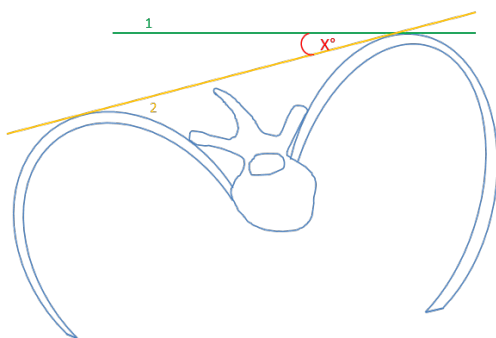


Abb. 2.4: Rib hump angle (RHA): Winkel zwischen horizontaler Hilfslinie (1) und der Tangente an den Rippenscheitelpunkten (2)

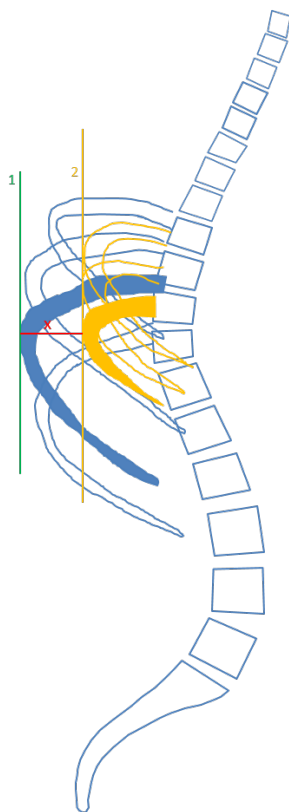


Abb. 2.5: Rib hump height difference (RHHD) n. Geissele: Distanz zwischen den Außenkanten der konvexseitig am weitesten nach dorsal herausragenden Rippe (1) und der dazugehörigen konkavseitigen Rippe (2)

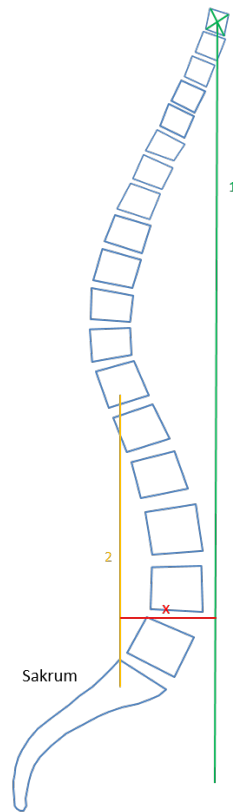


Abb. 2.6: C7-Sagittal plumb line (C7-SPL): sagittale Dysbalance, gemessen als Distanz zwischen dem Lot durch den Mittelpunkt von C7 (1) und der Hinterkante des Sakrums (2)

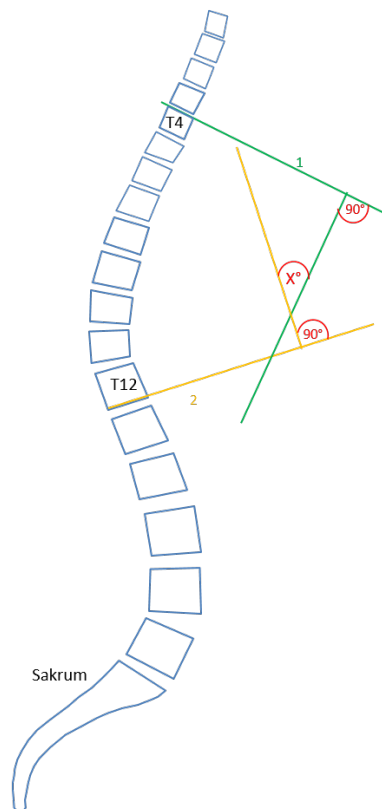


Abb. 2.7: Thorakalkyphose (TK), gemessen als Winkel zwischen der Deckplatte von T4 (1) und der Grundplatte von T12 (2)

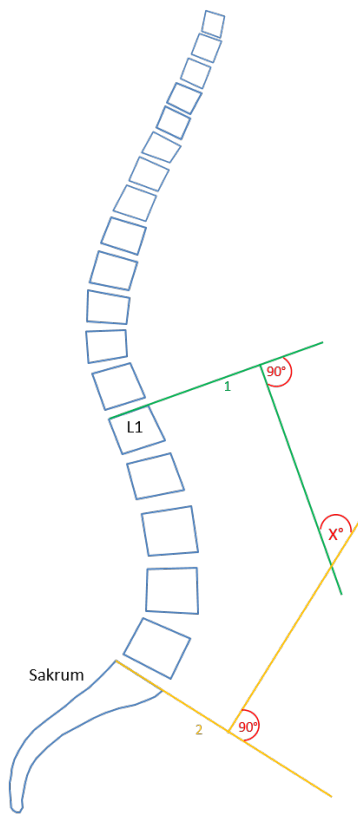


Abb. 2.8: Lumballordose (LL), gemessen als Winkel zwischen der Deckplatte von L1 (1) und der Deckplatte des Sakrums (2)

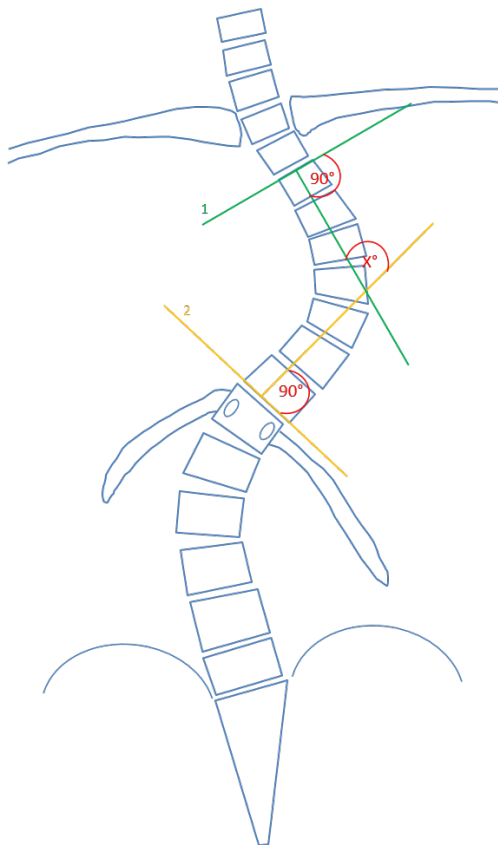


Abb. 2.9: Thoracal curve (TC): Thorakaler Skoliosewinkel nach Cobb, gemessen als Winkel zwischen der Deckplatte des proximalsten (1) und der Grundplatte des distalsten (2) zur thorakalen Skoliosekrümmung gehörenden Wirbelkörpers

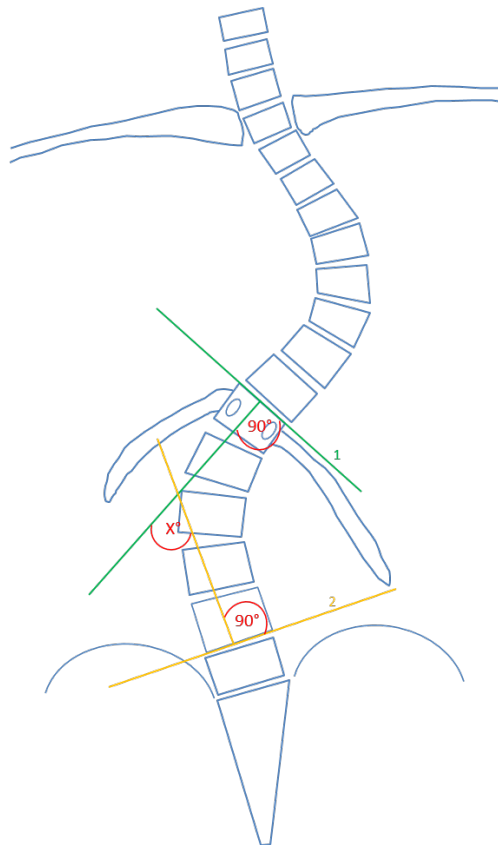


Abb. 2.10: Lumbar curve (LC): Lumbaler Skoliosewinkel nach Cobb, gemessen als Winkel zwischen der Deckplatte des proximalsten (1) und der Grundplatte des distalsten (2) zur lumbalen Skoliosekrümmung gehörenden Wirbelkörpers

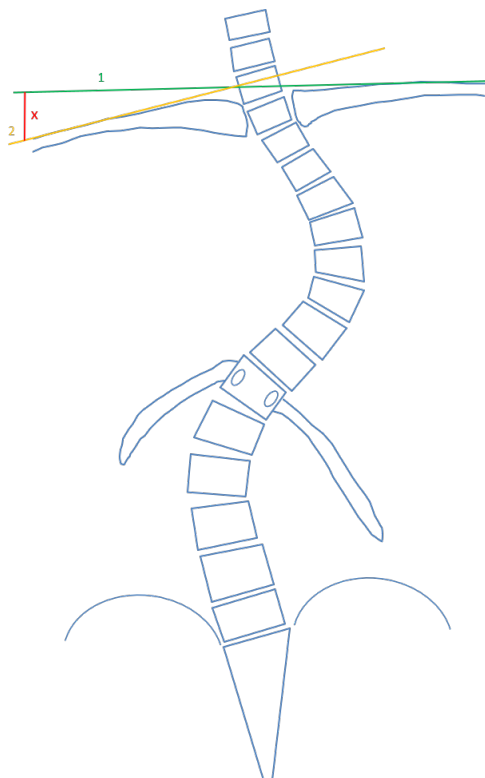


Abb. 2.11: Shoulder height difference (SHD): Schulterschiefstand, gemessen als Distanz zwischen den lateralen Enden der Claviculae (1 und 2)

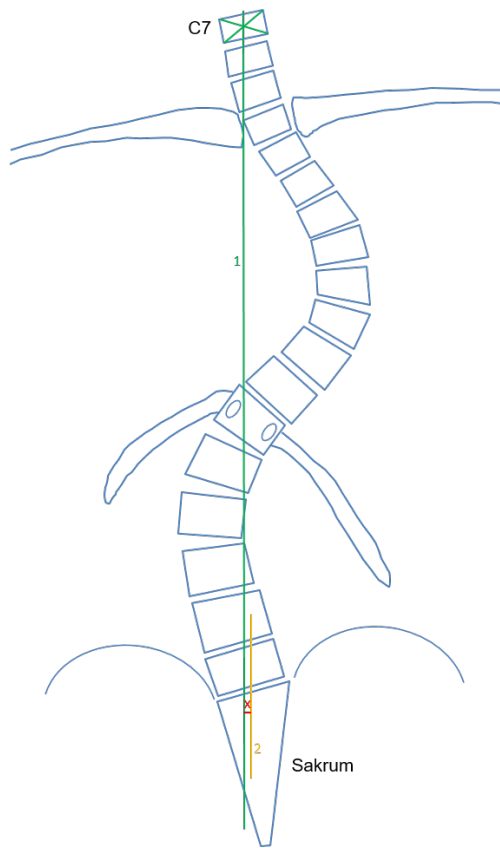


Abb. 2.12: Central sacral vertical line (CSVL): koronare Dysbalance, gemessen als Distanz zwischen dem Lot durch den Mittelpunkt von C7 (1) und der Mitte der Sakrumdeckplatte (2)

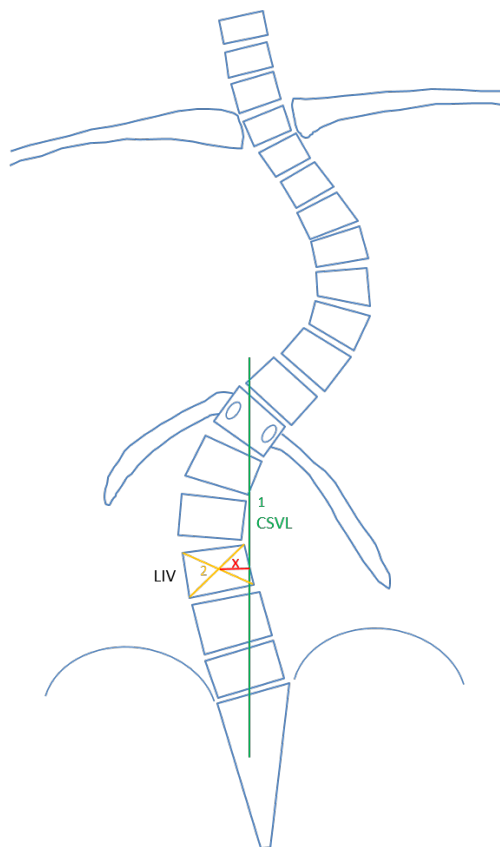


Abb. 2.13: LIV-CSVL: Distanz zwischen dem Mittelpunkt des LIV (lowest instrumented vertebra) (2) und der CSVL (1)

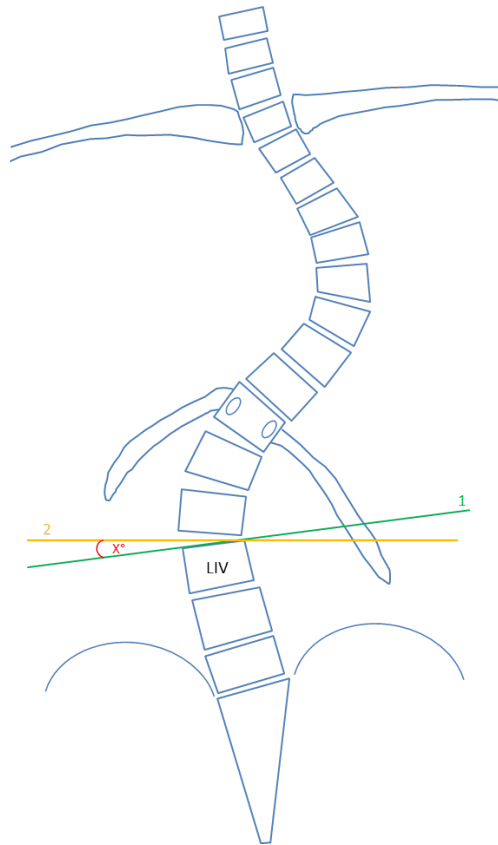


Abb. 2.14: LIV-Tilt: Neigungswinkel des LIV, gemessen als Winkel zwischen Deckplatte des LIV (1) und einer darüberliegenden horizontalen Hilfslinie (2)

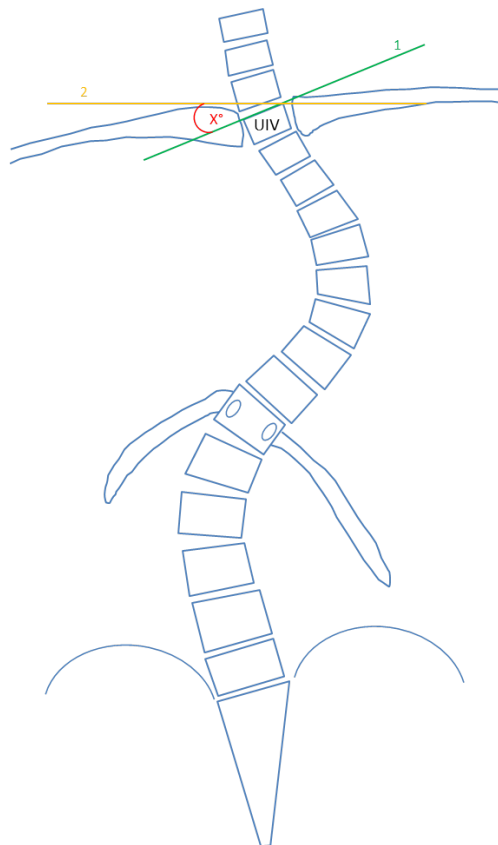


Abb. 2.15: UIV-Tilt: Neigungswinkel des UIV (upper instrumented vertebra) (Messung wie in Abb. 2.14)

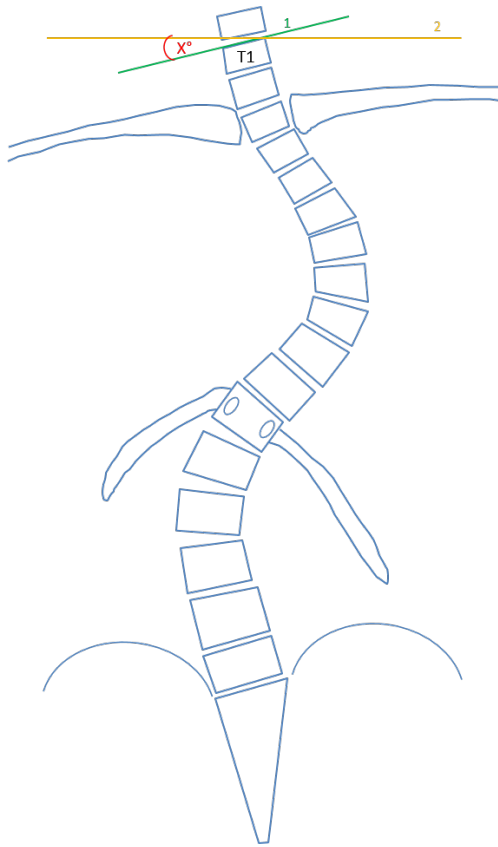


Abb. 2.16: T1-Tilt: Neigungswinkel des Wirbelkörpers T1 (Messung wie in Abb. 2.14)

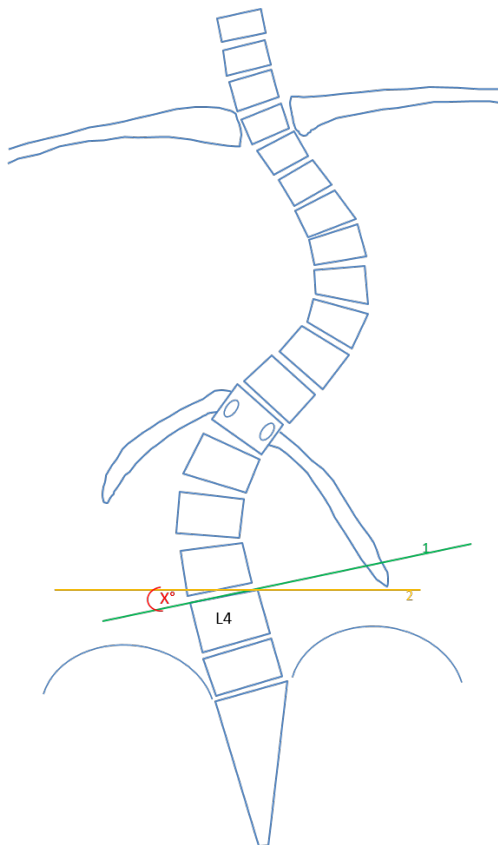


Abb. 2.17: L4-Tilt: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L4 (Messung wie in Abb. 2.14)

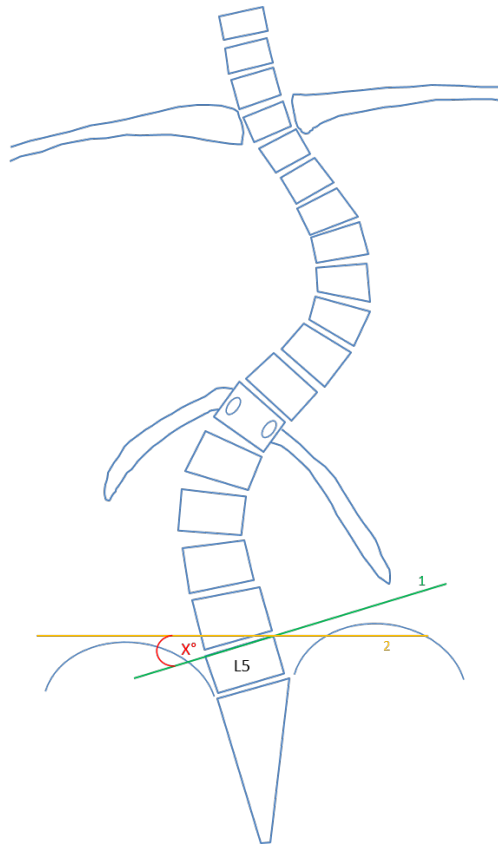


Abb. 2.18: L5-Tilt: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L5 (Messung wie in Abb. 2.14)

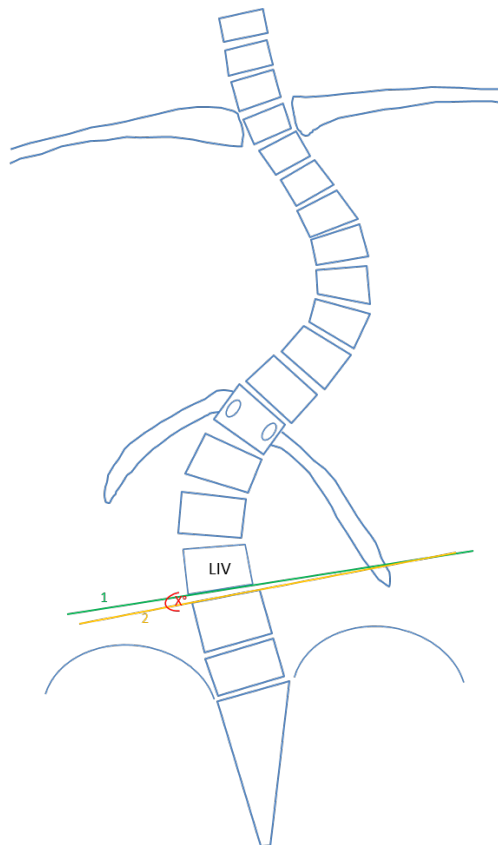


Abb. 2.19: Lowest instrumented vertebral subjacent disc angle (LIVDA): distales Bandscheibenfach des LIV, gemessen als Winkel zwischen der Grundplatte des LIV (1) und der Deckplatte des darunterliegenden Wirbelkörpers (2)

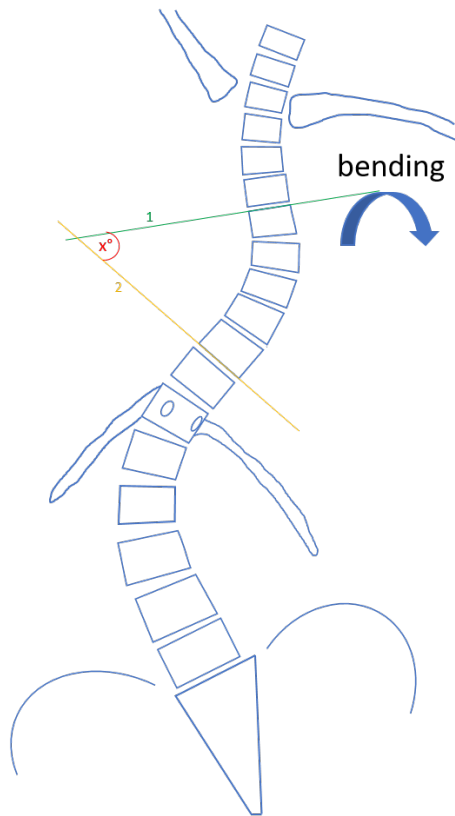


Abb. 2.20: TC Bending konvex: Thorakaler Skoliosewinkel nach Cobb im Bending in Richtung der Konvexität der thorakalen Krümmung (Messung wie in Abb. 2.9)

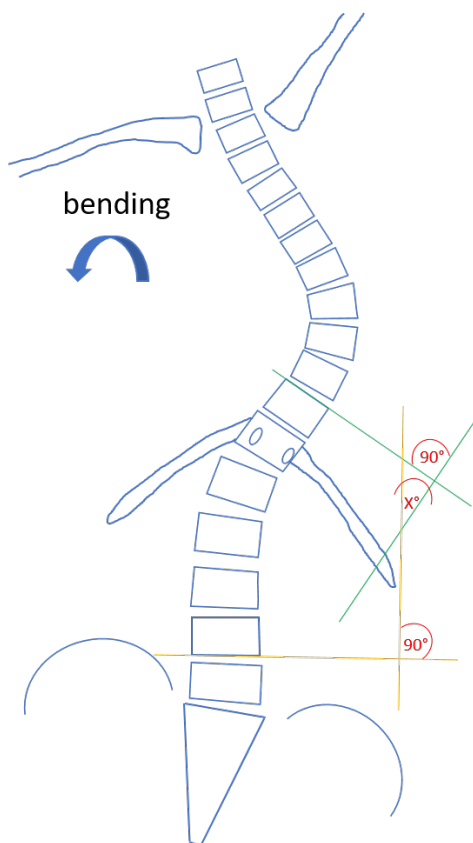


Abb. 2.21: LC Bending konvex: Lumbaler Skoliosewinkel nach Cobb im Bending in Richtung der Konvexität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb. 2.10)

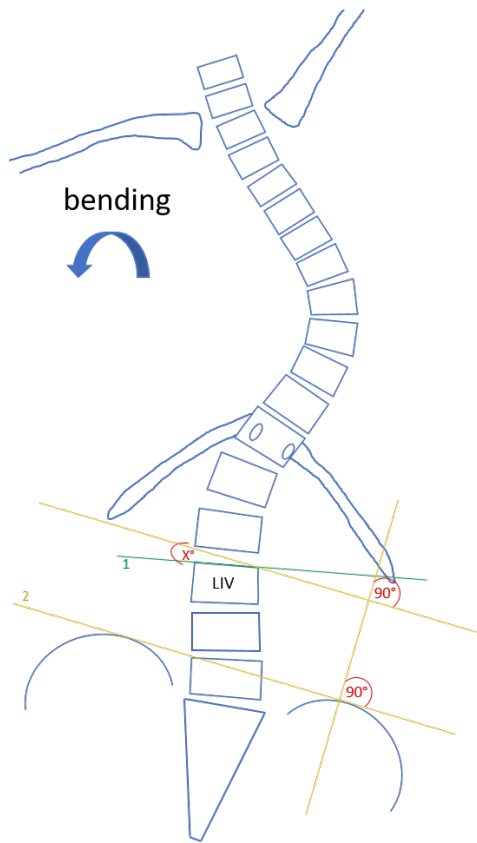


Abb. 2.22: LIV-Tilt Bending konvex: Neigungswinkel des LIV im Bending in Richtung der Konvexität der lumbalen Krümmung, gemessen als Winkel zwischen der Deckplatte des LIV (1) und der Verbindungslinie der Beckenkämme (2)

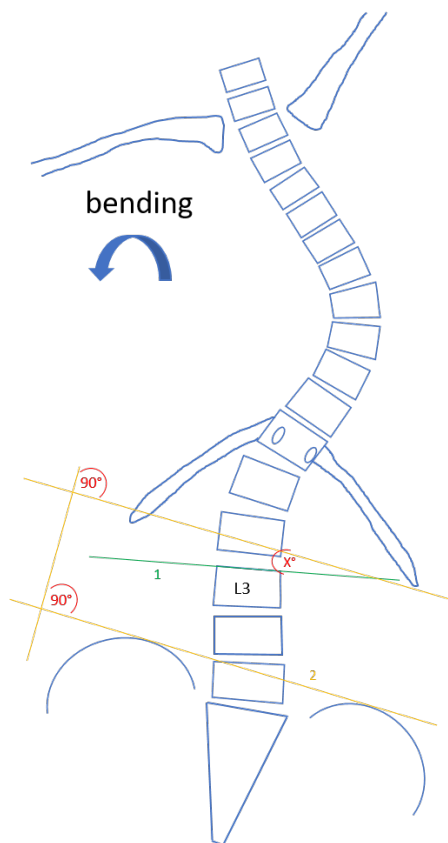


Abb. 2.23: L3-Tilt Bending konvex: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L3 im Bending in Richtung der Konvexität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb.2.22)

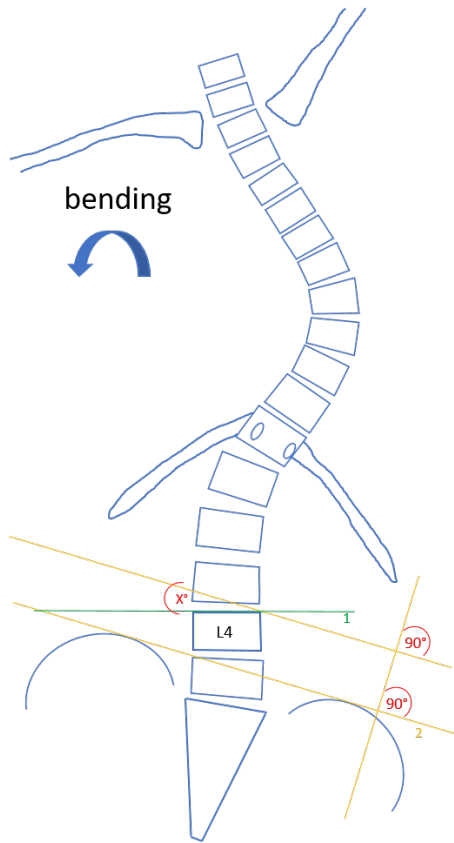


Abb. 2.24: L4-Tilt Bending konvex: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L4 im Bending in Richtung der Konvexität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb.2.22)

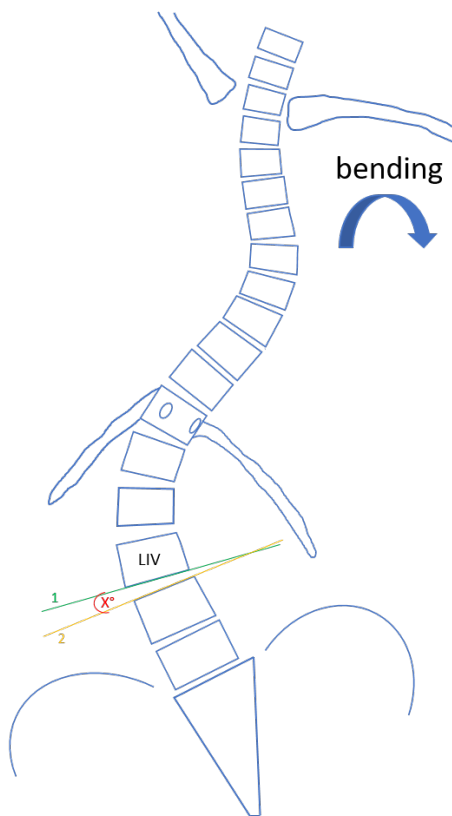


Abb. 2.25: LIVDA Bending konkav: LIV-DA im Bending in Richtung der Konkavität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb.2.19)

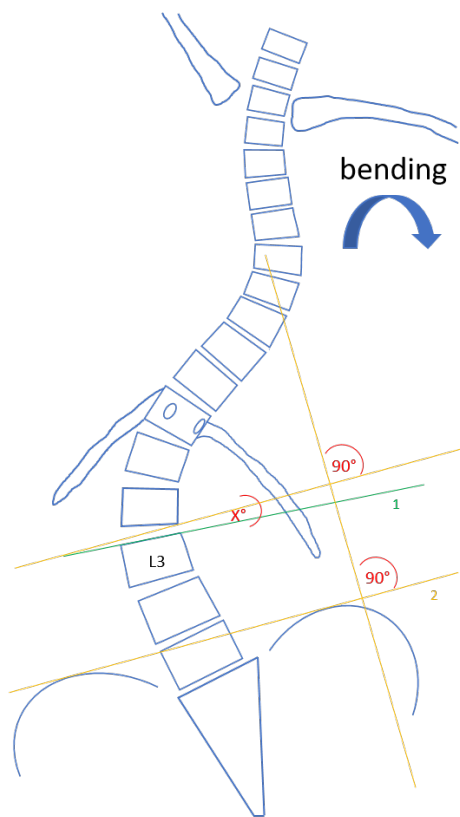


Abb. 2.26: L3-Tilt Bending konkav: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L3 im Bending in Richtung der Konkavität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb.2.22)

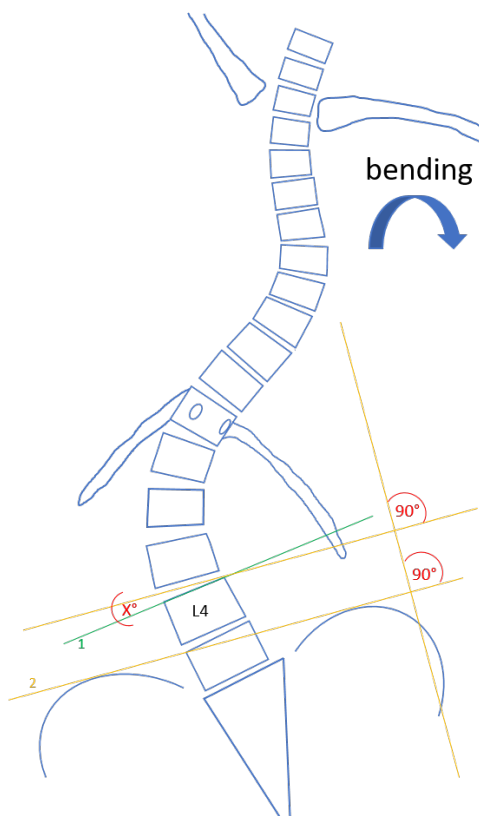


Abb. 2.27: L4-Tilt Bending konkav: Neigungswinkel des Wirbelkörpers L4 im Bending in Richtung der Konkavität der lumbalen Krümmung (Messung wie in Abb.2.22)

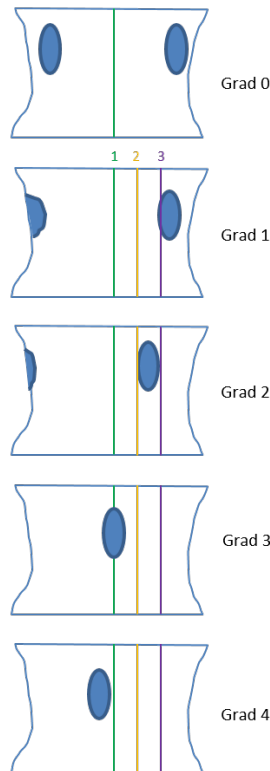


Abb. 2.28: Apex vertebral rotation (AVR): Wirbelkörperrotation des Scheitelwirbels nach Nash & Moe. Zur Bestimmung der Rotation wird der Wirbelkörper mit drei Hilfslinien der Breite nach unterteilt. Betrachtet wird anschließend die Lage der Pedikel im Verhältnis zu den Hilfslinien.

- Grad 0: keine Rotation, beide Pedikel liegen seitlich außerhalb der Hilfslinien
- Grad 1: Ein Pedikel grenzt an Hilfslinie 3, der andere ist etwas nach außen rotiert
- Grad 2: Ein Pedikel liegt zwischen Hilfslinien 2 und 3, der andere ist deutlich nach außen rotiert
- Grad 3: Ein Pedikel liegt auf Hilfslinie 1, der andere ist nicht mehr erkennbar
- Grad 4: Ein Pedikel überschreitet Hilfslinie 1

Tab. 2.1: Abkürzungen, Bedeutung und Messtechnik der radiologischen Parameter

Abk.	Bedeutung	Messtechnik (Einheit)
AVR	Apical vertebral rotation; Rotation des Scheitelwirbels der thorakalen oder lumbalen Skoliosekrümmung	Einteilung in Grad 0 bis 4 nach der Methode von Nash und Moe
C7-SPL	C7-sagittal plumb line; Abweichung der sagittalen Achse	Distanz zwischen dem Lot durch den Mittelpunkt von C7 und der Hinterkante der Sakrumdeckplatte (cm); ein negativer Wert bedeutet Abweichung der C7-SPL nach dorsal in Bezug zur Sakrumhinterkante, ein positiver Wert bedeutet Abweichung nach ventral
CSVL	Central sacral vertical line; Abweichung der koronaren Achse	Distanz zwischen dem Lot durch den Mittelpunkt des Sakrums und dem Lot durch den Mittelpunkt von C7 (cm); ein negativer Wert bedeutet Abweichung des C7-Lots nach links in Bezug zur CSVL, ein positiver Wert bedeutet Abweichung nach rechts

Tab. 2.1: Abkürzungen, Bedeutung und Messtechnik der radiologischen Parameter

Abk.	Bedeutung	Messtechnik (Einheit)
EV	End vertebra; proximalster bzw. distalster zur Skoliosekrümmung zugehöriger Wirbelkörper	
LC	Lumbar curve; Cobb Winkel der lum-balen Skoliosekrümmung	Standardmessung nach Cobb (°)
LIV	Lowest instrumented vertebra; distals-ter instrumentierter Wirbelkörper	
LIVDA	LIV subjacent disc angle; Bandschei-benfach unter dem LIV	Winkel zwischen Grundplatte des LIV und Deckplatte des distal davon liegen-den Wirbelkörpers (°)
LIV-Tilt	Neigung des LIV	Winkel zwischen Deckplatte des LIV und horizontaler Hilfslinie (°)
LL	Lumbar lordosis; Ausprägung der Lum-ballordose	Winkel zwischen Deckplatte von L1 und Deckplatte von S1 (°); ein negativer Wert bedeutet nach ventral geöffneter Winkel ($\hat{=}$ Lordosierung)
RHA	Rib hump angle; transversale Rippen-buckelausprägung	Winkel zwischen der Tangente der am weitesten nach dorsal stehenden Rippe und horizontaler Hilfslinie (°)
RHHD	Rib hump height difference; sagittale Rippenbuckelausprägung	Messung nach Geissele (cm)
SHD	Shoulder height difference; Schulter-schiefstand	Distanz zwischen beiden lateralen En-den der Claviculae (mm); ein negati-ver Wert definiert einen rechtsseitigen Schulterhochstand, ein positiver Wert definiert einen linksseitigen Schulter-hochstand
SV	Stable vertebra; ausgehend von der LC nächstgelegener distaler Wirbelkörper, der von der CSVL interpedikulär durch-zogen wird	
TC	Thoracic curve; Ausprägung der thora-kalen Skoliosekrümmung	Standardmessung nach Cobb (°)

Tab. 2.1: Abkürzungen, Bedeutung und Messtechnik der radiologischen Parameter

Abk.	Bedeutung	Messtechnik (Einheit)
TK	Thoracic kyphosis; Ausprägung der Thorakalkyphose	Winkel zwischen Deckplatte von T4 und Grundplatte von T12 (°); ein negativer Wert bedeutet nach ventral geöffneter Winkel ($\hat{=}$ Lordosierung)
UIV	Upper instrumented vertebra; proximalster instrumentierter Wirbelkörper	
UIV-Tilt	Neigung des UIV	Winkel zwischen der Deckplatte des UIV und horizontaler Hilfslinie (°)

2.4 Gruppeneinteilung

Für die verschiedenen Subanalysen wurden die Patienten in folgende Gruppen eingeteilt und auf signifikante Unterschiede untersucht:

- DKS \pm CTP
- DKS \pm PO
- FU L4-Tilt \leq vs. $> 10^\circ$

Außerdem wurden folgende präoperative radiologische Kriterien definiert und im Gruppenvergleich auf postoperative Auswirkungen untersucht:

1. Mobiler LIV-Tilt: Erreichen oder Überschreitung der Horizontalstellung des LIV durch Seitneigung (Vergleich des präoperativen LIV-Tilt auf Röntgenbildern im p. a.-Strahlengang im Stehen und im Bending; s. Abb. 2.29)
2. Mobiler L4-Tilt: Erreichen oder Überschreitung der Horizontalstellung des L4 durch Seitneigung (Vergleich des präoperativen L4-Tilt auf Röntgenbildern im p. a.-Strahlengang im Stehen und im Bending; vgl. Abb. 2.29)
3. Mobiler LIVDA: Erreichen oder Überschreitung eines neutralen LIVDA durch Seitneigung im Vergleich zur Beckenebene (Vergleich des präoperativen LIVDA auf Röntgenbildern im p. a.-Strahlengang im Stehen und im Bending; s. Abb. 2.30)
4. CSVL medial der LIV-Pedikel: Beurteilung der CSVL in Bezug zu den LIV-Pedikeln (s. Abb. 2.31)

5. LIV crossing midline: Überschreitung der CSVL vom Wirbelkörpermittelpunkt des LIV durch Seitneigung (Vergleich der Lage des LIV in Bezug zur CSVL auf präoperativen Röntgenbildern im p. a.-Strahlengang im Stehen und im Bending; s. Abb. 2.32)

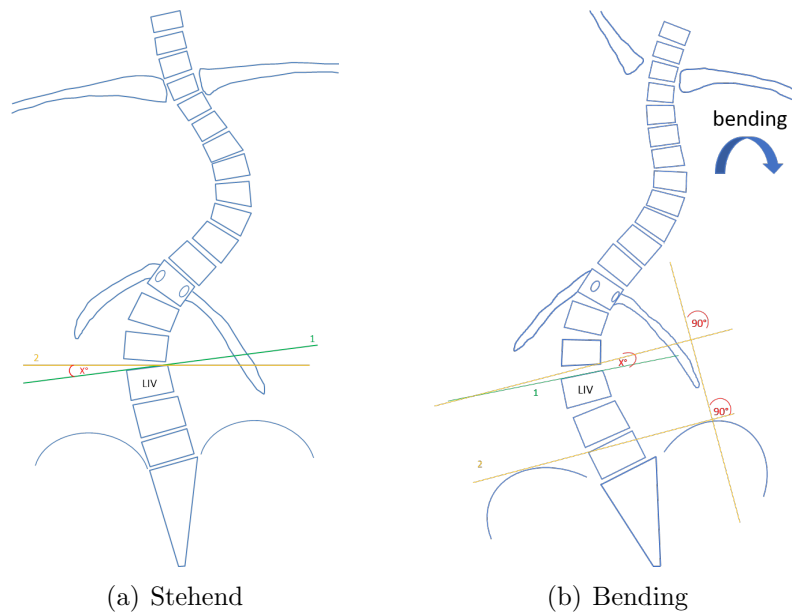


Abb. 2.29: Mobiler LIV-Tilt

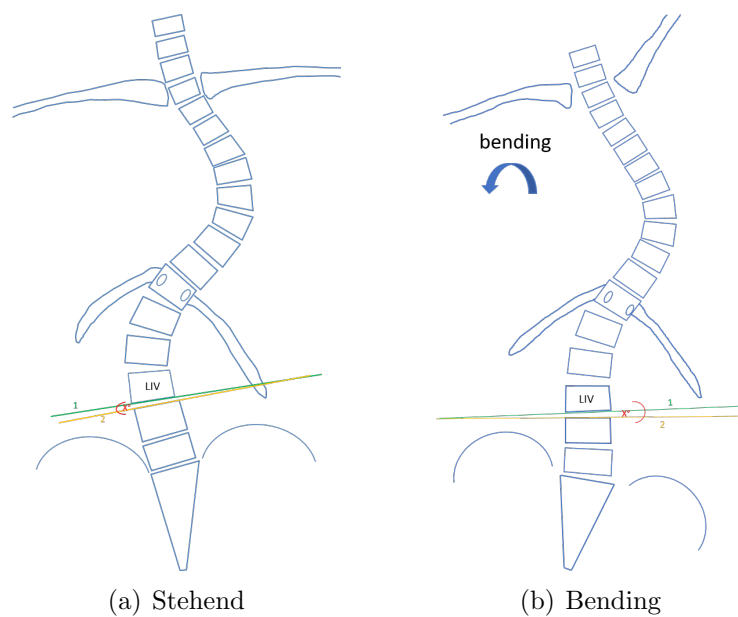


Abb. 2.30: Mobiler LIVDA

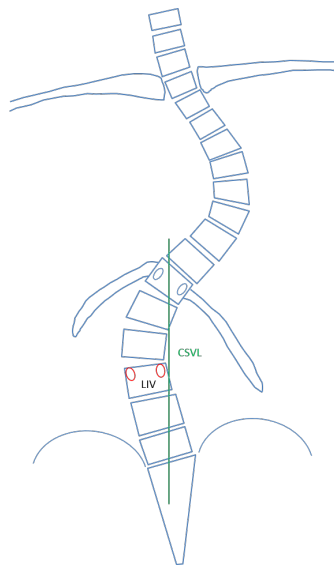


Abb. 2.31: CSVL medial der LIV-Pedikel (in der Abb. nicht zutreffend)

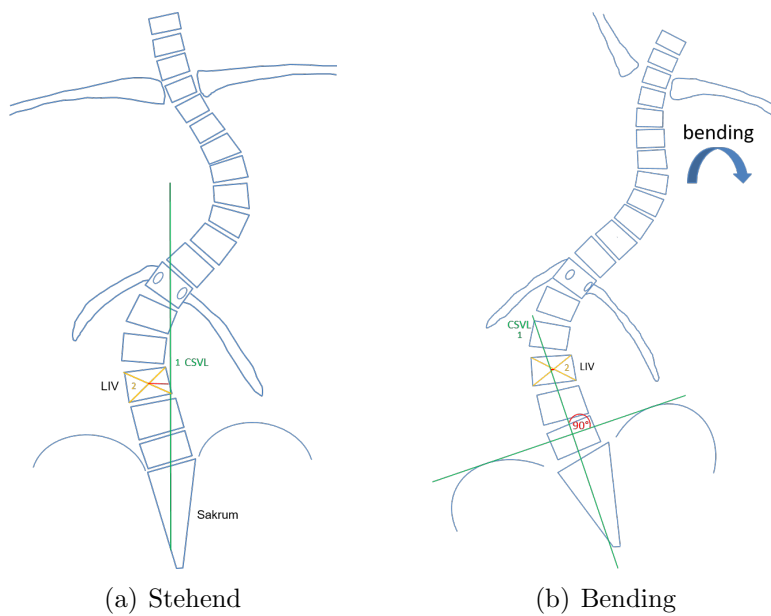


Abb. 2.32: LIV crossing midline

2.5 Lungenfunktionskapazität

Zur Beurteilung der Lungenfunktion wurden prä- und postoperativ durchgeführte Spirometriemessungen miteinander verglichen. Es wurde ein Standard Ultraschall-Spirometer in sitzender Position verwendet (Spiroson, vl.2D, ndd-Medizintechnik, Switzerland). Die Lungenfunktion wurde als Forcierte Vitalkapazität (FVC) definiert, angegeben als prozentualer Anteil des standardmäßig ermittelten altersabhängigen vorhergesagten Wertes (FVC %). Spirometrieuntersuchungen wurden für das Follow-up ab mindestens 6 Monaten postoperativ berücksichtigt, wie empfohlen (Koller et al. 2012).

2.6 Subjektiver klinischer Verlauf

Zur Bestimmung der subjektiven klinischen Ergebnisse der Operation wurden die zum Zeitpunkt des letzten Follow-up an die Patienten ausgeteilten Untersuchungsbögen (ins Deutsche übersetzte SRS-24-Fragebögen, s. Anhang B) standardisiert ausgewertet. Der Fragebogen besteht aus 24 Fragen, die zur Evaluation der operativen Ergebnisse für Skoliosepatienten entwickelt wurden und beinhaltet folgende 7 Unterkategorien, die sich jeweils aus mehreren Einzelfragen zusammensetzen:

- Schmerz
- Selbstbild präoperativ
- Selbstbild postoperativ
- Aktivität auf den Rücken bezogen
- Aktivität generell präoperativ
- Aktivität generell postoperativ
- Zufriedenheit mit dem Eingriff und dem Ergebnis

Mögliche zu erreichende Punktzahlen waren maximal 119 und minimal 0, wobei 119 das beste und 0 das schlechteste Ergebnis darstellen. In der Kategorie „Schmerz“ konnten maximal 35 Punkte, in den Kategorien „Selbstbild präoperativ“, „Selbstbild postoperativ“ und „Aktivität auf den Rücken bezogen“ maximal 15 Punkte, in der Kategorie „Aktivität generell präoperativ“ maximal 14 Punkte, in der Kategorie „Aktivität generell postoperativ“ maximal 10 Punkte und in der Kategorie „Zufriedenheit mit dem Eingriff und dem Ergebnis“ maximal 15 Punkte erreicht werden.

2.7 Statistische Methoden

Alle radiologischen Parameter wurden von mir persönlich gemessen. Die Datenkonsistenz der Messungen wurde überprüft und die Daten auf Ausreißer untersucht. Mithilfe

von Quantil-Plots und dem Kolmogorov-Smirnov-Test wurden die Daten auf Normalität getestet.

Die deskriptive Statistik umfasst den Mittelwert (M) \pm den Standardfehler des Mittelwerts (SEM) bzw. die Standardabweichung (SD), die Anzahl (n) sowie den Signifikanzwert (p) und Korrelationskoeffizienten (r). In den dargestellten Säulen-Diagrammen werden die jeweiligen Mittelwerte präsentiert, bei der graphischen Darstellung von zeitlichen Verläufen einzelner Parameter zusätzlich das 95 %-Konfidenzintervall (CI).

Anhand der erhobenen radiologischen und nicht-radiologischen Daten wurden diskrete und kontinuierliche Parameter bestimmt, die innerhalb und zwischen den einzelnen Studiengruppen analysiert wurden. Signifikante Unterschiede und Korrelationen wurden mithilfe des t-Tests für unabhängige bzw. verbundene Stichproben bestimmt. Ein Signifikanzwert $p \leq .05$ wurde dabei als statistisch signifikant angesehen. Für die Messung der Effektstärke der jeweiligen Korrelationen wurde Pearsons's Korrelationskoeffizient (r) berechnet. Die Beurteilung der Effektstärke wurde wie folgt definiert:

- $|r| \leq 0.29$ schwache Korrelation
- $|r| = 0.3 - 0.59$ moderate Korrelation
- $|r| = 0.6 - 0.69$ starke Korrelation
- $|r| \geq 0.7$ sehr starke Korrelation

Für die Analyse von Kontingenztabellen wurden der Chi-Quadrat Test und der Exakte Fisher-Test angewendet.

Um Beziehungen zwischen verschiedenen Eingangs- und Ausgangsvariablen zu identifizieren, wurde außerdem ein verallgemeinertes Regressionsmodell mit einem schrittweisen Vorwärtsselektionsalgorithmus erstellt. Das Bestimmtheitsmaß und mehrere Korrelationskoeffizienten wurden berechnet, um die Leistung des Modells zu beurteilen. Ein zweiseitiger p -Wert $< .05$ wurde als statistisch signifikant angesehen.

Alle statistischen Analysen in diesem Bericht wurden mithilfe von STATISTICA 12 (Hill, T. & Lewicki, P. Statistics: Methods and Applications. StatSoft, Tulsa, OK), NCSS (NCSS 10, NCSS, LLC. Kaysville, UT) und MATHEMATICA 7 (Wolfram Research, Inc., Mathematica, Version 7.0, Champaign, IL) sowie GraphPad Prism 5 durchgeführt. Die Diagramme wurden mit dem Programm GraphPad Prism 5 erstellt.

3 Ergebnisse

3.1 Studiengruppe

85 Patienten erfüllten die allgemeinen Einschlusskriterien der Studie, davon waren 68 Patienten weiblich (80%) und 17 männlich (20%). Das mittlere Alter aller Patienten zum Zeitpunkt der Operation betrug 16.2 Jahre (12 - 28 Jahre, Altersverteilung s. Abb. 3.1). Für die Gesamtgruppe lagen sowohl prä- also auch postoperativ alle erforderlichen radiologischen Aufnahmen für die Datenerhebung vor, für 68 Patienten (80%) gab es zusätzlich radiologische Follow-up Untersuchungen, die für weitere Analysen genutzt wurden. Das zeitliche Intervall zwischen dem Eingriff und der zuletzt durchgeführten radiologischen Follow-up Untersuchung betrug 36.5 Monate (6 - 144), dabei hatten 59 Patienten (86.8% der FU-Gruppe) ein FU-Intervall von ≥ 12 Monaten. In Tab. 3.1 sind die Hauptcharakteristika der Studiengruppe bzgl. der Skoliosedeformität zusammengefasst.

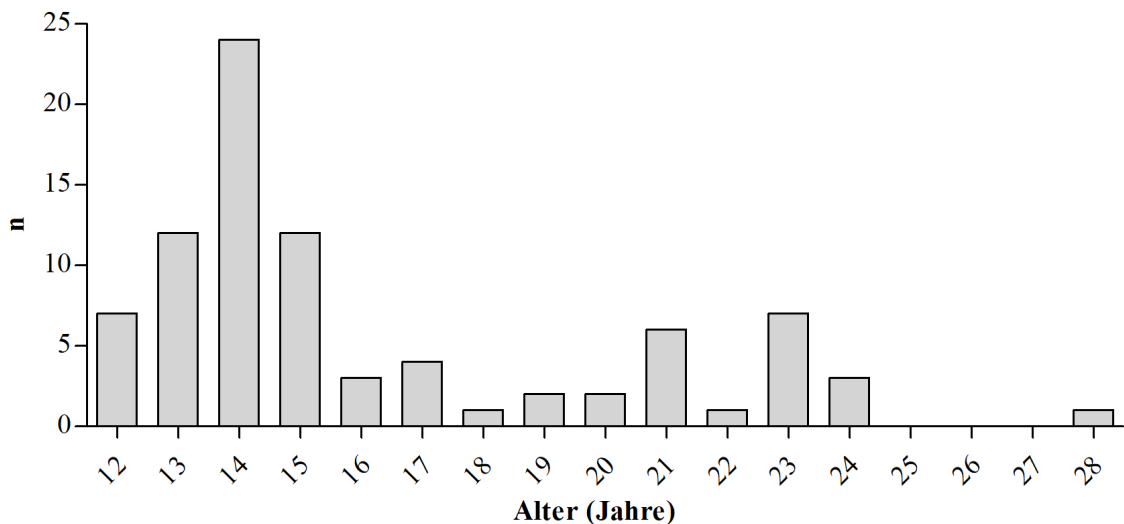


Abb. 3.1: Altersverteilung der Studiengruppe

3.2 Operative Ergebnisse

Eine Übersicht über die operativen Verfahren und Ergebnisse gibt Tab. 3.2.

Tab. 3.1: Charakteristika der Studiengruppe bzgl. der Skoliosedeformität

Charakteristikum	Verteilung des Parameters	<i>n</i>	<i>n</i> (%)
Einteilung der Skoliosekrümmung ¹	1 (MT)	10	11.8
	2 (DT)	23	27.1
	3 (DM)	20	23.5
	4 (TM)	32	37.8
Lumbar spine modifier ¹	A	21	24.7
	B	19	22.4
	C	45	52.9
Sagittal spine modifier ¹	+	35	41.2
	N	47	55.3
	–	3	3.5
Apex TC	T7	13	15.3
	T8	47	55.3
	T9	22	25.9
	T10	3	3.5
TC AVR	2	41	48.2
	3	40	47.06
	4	2	2.35
Apex LC	L1	8	9.41
	L2	57	67.1
	L3	20	23.5
LC AVR	0	4	4.7
	1	24	28.2
	2	52	61.2
	3	5	5.9
SV	L2	9	10.6
	L3	16	18.8
	L4	13	15.3
	L5	41	48.2
	S1	5	5.9

MT = Main Thoracic, DT = Double Thoracic, DM = Double Major, TM = Triple Major, ¹nach Lenke

3.2.1 DKS

Bei dem Eingriff der DKS wurden 11.6 ± 0.1 (9 - 14) Segmente fusioniert. Dabei wurden 13.3 ± 0.6 (5 - 28) Knochenanker (Laminahaken, Pedikelschrauben) eingesetzt. Bei 80 Patienten (94.1 %) wurden 2 Stäbe verwendet, bei einem Patienten wurde 1 Stab und bei 4 Patienten wurden 3 Stäbe eingesetzt. Als LIV wurden die Segmente L1 bis L5 gewählt, bei ca. der Hälfte der Patienten (51.8 %) wurde bis L3 fusioniert, bei keinem Patienten erfolgte eine Fusion bis zum Sakrum. Der UIV lag zwischen T2 und T5, am häufigsten (51.8 %) wurde ab T4 fusioniert. (s. Abb. 3.2). Bei 18 Patienten war der LIV identisch mit dem SV, am häufigsten (40 %) lag der LIV ein Segment weiter cranial des SV, bei 2 Patienten befand sich der LIV ein Segment weiter caudal des SV. Korrelationen zwischen der Distanz SV-LIV und weiteren Parametern zeigt Tab. A.11 (Anhang A). Die deutlichste Korrelation bestand zwischen SV-LIV und dem präoperativen bzw. FU Abstand zwischen LIV und CSVL (präop. $r = .59$, $p < .001$; FU $r = .56$, $p < .001$).

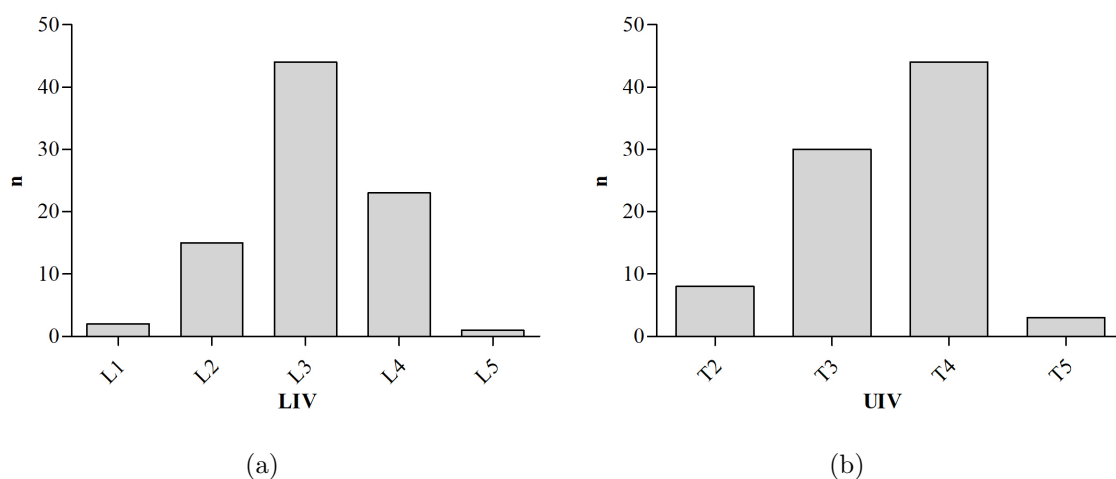


Abb. 3.2: Verteilung des LIV (a) und UIV (b)

Implantatdichte

Die Implantatdichte der Gesamtgruppe betrug $53.0 \% \pm 2.4 \%$ (19.2 - 100 %). Bei 19 Patienten (22.4 %) lag die Implantatdichte $> 80 \%$. Signifikant positive Korrelationen der Implantatdichte bestanden mit der postoperativen Korrektur der TC und LC (TC $r = .49$, $p < .001$; LC $r = .48$, $p < .001$) (s. Kapitel 3.3.2, Abb. 3.14 und 3.16) sowie der FU Korrektur der TC und LC (TC $r = .63$, $p < .001$; LC $r = .32$, $p = .008$) (s. Abb. 3.3) und der postoperativen RHHD ($r = .39$, $p = .022$). Die Implantatdichte korrelierte signifikant negativ mit der postoperativen Ausprägung der TC und LC (TC $r = -.48$, $p < .001$; LC $r = -.33$, $p = .002$) und der FU TC ($r = -.60$, $p < .001$). Tab. A.12 (Anhang A) fasst die signifikanten Korrelationen zwischen der Implantatdichte und weiteren Parametern zusammen.

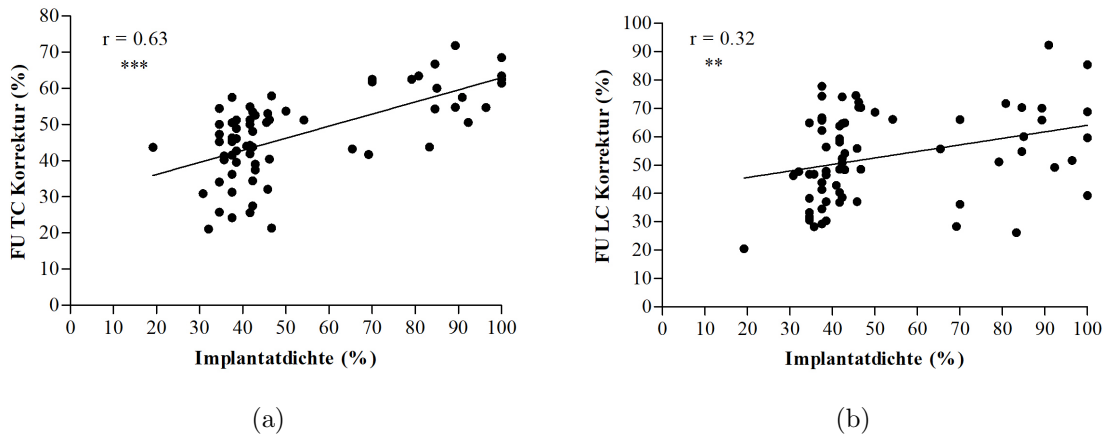


Abb. 3.3: Korrelation zwischen der Implantatdichte und der FU Korrektur der TC (a) und LC (b)

Hook Ratio

Die Hook Ratio betrug $19.4\% \pm 2.1\%$ (0 - 55.6%), bei 34 Patienten wurden nur Pedikelschrauben ohne Laminahaken als Knochenanker benutzt. Die Hook Ratio korrelierte signifikant negativ mit der postoperativen CSVL ($r = -.24$, $p = .035$), dem postoperativen und FU UIV-Tilt (postop. $r = -.29$, $p = .007$; FU $r = -.30$, $p = .014$), der FU LIV-CSVL ($r = -.25$, $p = .038$), der postoperativen SHD ($r = -.27$, $p = .043$) sowie der postoperativen RHHD ($r = -.39$, $p = .023$). Eine signifikant positive Korrelation bestand mit dem postoperativen und FU T1-Tilt (postop. $r = .39$, $p < .001$; FU $r = .27$, $p = .029$). Die signifikanten Korrelationen zwischen Hook Ratio und weiteren Parametern werden in Tab. A.13 (Anhang A) zusammengefasst, für die Unterschiede bzgl. der Komplikationsraten in Abhängigkeit von der Hook Ratio s. Kapitel 3.2.4.

3.2.2 CTP

Von den insgesamt 85 Patienten erhielten 63 Patienten (74.1%) zusätzlich zur DKS eine CTP. Während dieses Eingriffs wurden 7.0 ± 0.1 (5 - 9) Rippen mobilisiert. Am häufigsten wurde dabei als proximales CTP-Level das thorakale Segment T6 und als distales CTP-Level das thorakale Segment T12 gewählt (s. Abb. 3.4). Die Anzahl der mobilisierten CTP-Level korrelierte signifikant negativ mit der FU Korrektur der TC und LC (TC $r = -.35$, $p = .016$; LC $r = -.31$, $p = .030$) sowie mit der FU SHD ($r = -.60$, $p = .007$). Eine signifikant positive Korrelation bestand mit der FU TC ($r = .30$, $p = .041$) und dem postoperativen LIVDA ($r = .29$, $p = .030$). Die signifikanten Korrelationen zwischen der Anzahl der CTP-Level und weiteren Parametern fasst Tab. A.14 zusammen (Anhang A). Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen der CTP- und der Vergleichsgruppe bzgl. der Komplikations- und Revisionsrate ($p > .05$). Für die statistische Analyse bezüglich der Gruppenunterschiede DKS \pm CTP s. Kapitel

3.4.1.

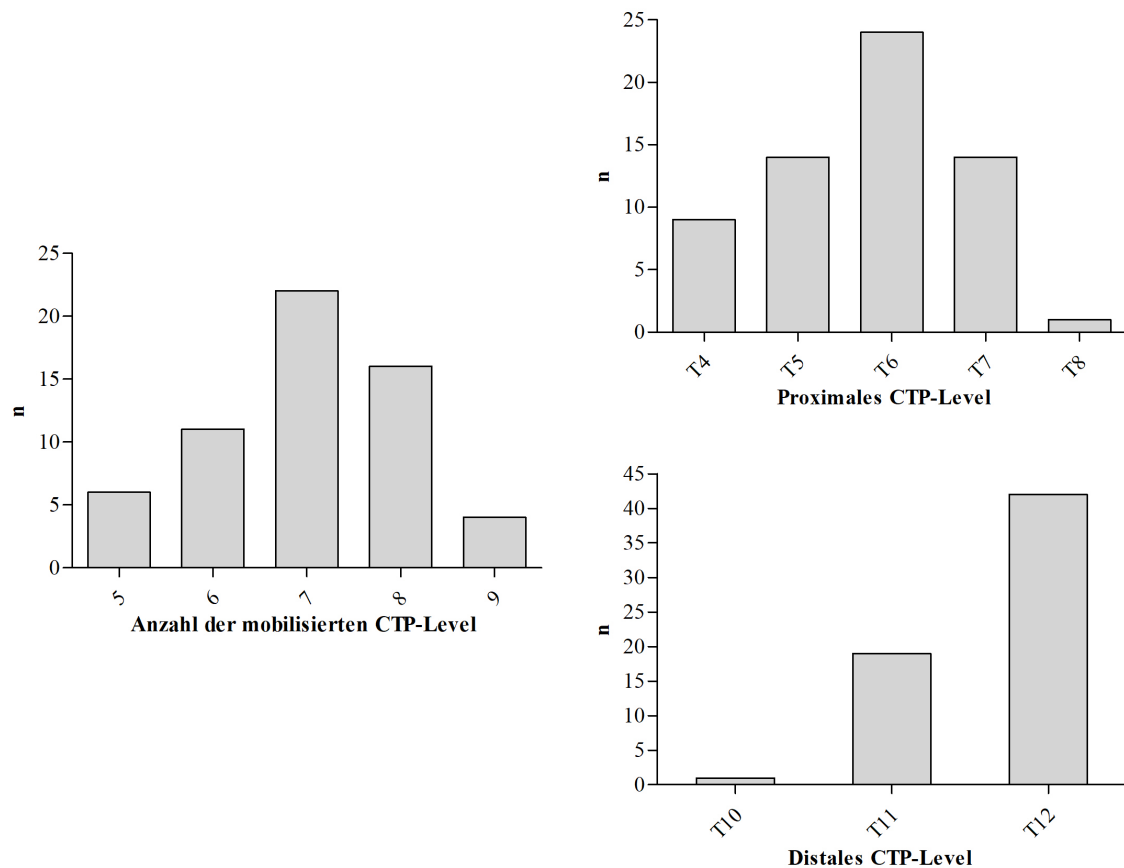


Abb. 3.4: Übersicht über die Anzahl und die Verteilung der proximalen und distalen CTP-Level

3.2.3 Ponte Osteotomien

Bei 10 Patienten (11.8%) erfolgten während des Eingriffs der DKS zur Verbesserung der intraoperativen Flexibilität und Mobilisierung der Wirbelsäule Ponte Osteotomien. Die zusätzlich zur DKS durchgeführten Ponte Osteotomien hatten keine signifikanten Auswirkungen auf perioperativen Komplikationen oder nachfolgende Revisionsoperationen ($p > .05$). Für die statistische Analyse bezüglich der Gruppenunterschiede DKS \pm PO s. Kapitel 3.4.2.

3.2.4 Komplikationen

Bei 17 Patienten (20.0 %) traten perioperative Komplikationen auf, davon fielen 13 Komplikationen (76.5 %) in die Kategorie „major“ und 4 Komplikationen (23.5 %) in die Kategorie „minor“ (Einteilung nach Glassman, s. Glassman et al. 2007), Abb. 3.5 zeigt die Verteilung der aufgetretenen Komplikationen in der Studiengruppe. Die Fusionsstrecke der DKS war in der Gruppe mit aufgetretenen perioperativen Komplikationen signifikant länger als in der Vergleichsgruppe ohne Komplikationen (12.06 Sg. \pm 0.94 Sg.SD; 11.45 Sg. \pm 1.08 Sg.SD, $p = .025$), die Hook Ratio war signifikant höher (27.9 % \pm 19.3 %SD; 17.1 % \pm 18.6 %SD, $p = .043$) (s. Abb. 3.6). Präoperativ hatte diese Gruppe eine signifikant größere Ausprägung der TK (46.2° \pm 3.1°; 32.7° \pm 1.6°; $p < .001$) und einen signifikant größeren L4-Tilt (16.8° \pm 1.5°; 13.3° \pm 0.8°; $p = .046$) (s. Abb. 3.7) sowie postoperativ signifikant größere thorakale und lumbale Restkrümmungen (postop. TC 51.8° \pm 2.7°; 42.2° \pm 1.4°; $p = .002$; postop. LC 28.7° \pm 2.5°; 22.4° \pm 1.3°; $p = .027$; FU TC 55.9° \pm 2.8°; 43.7° \pm 1.5°; $p < .001$). Die postoperative und FU TC Korrektur war in der Gruppe mit aufgetretenen Komplikationen jeweils signifikant geringer (postop. 44.0 % \pm 14.0 %SD; 51.9 % \pm 12.3 %SD; $p = .039$, FU 38.8 % \pm 11.6 %SD; 49.6 % \pm 10.5 %SD; $p = .003$). Tab. A.1 und A.20 fassen die Ergebnisse und signifikanten Gruppenunterschiede zusammen.

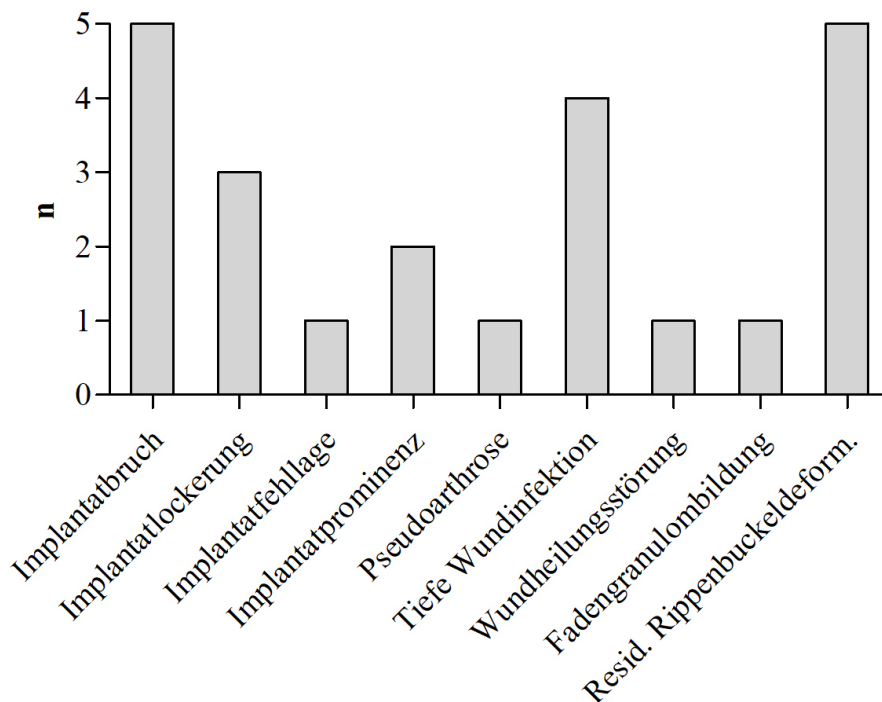


Abb. 3.5: Verteilung der aufgetretenen Komplikationen in der Studiengruppe

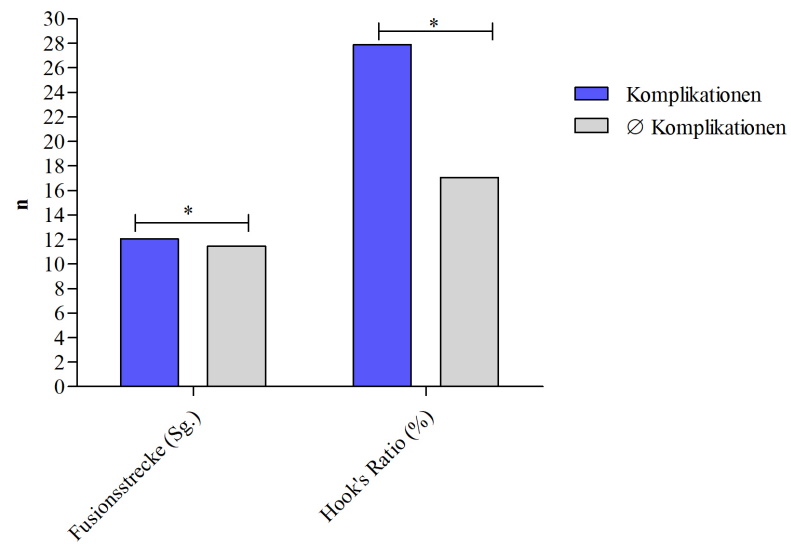


Abb. 3.6: Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen \pm perioperative Komplikationen

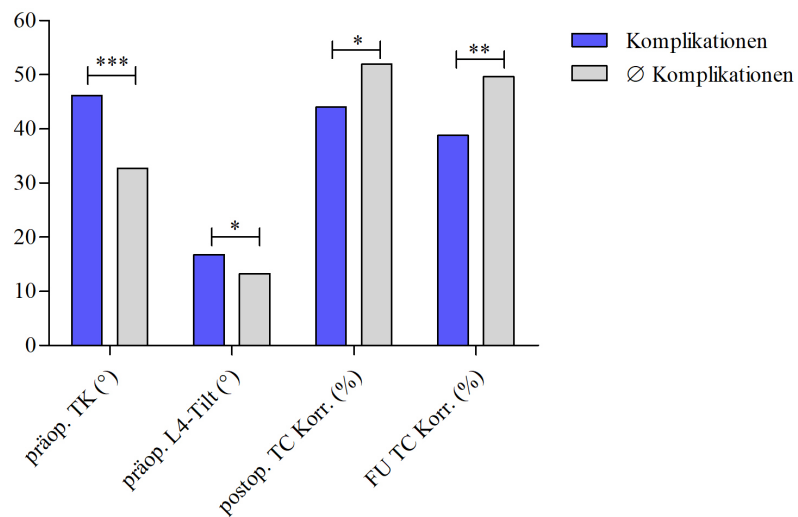


Abb. 3.7: Signifikante radiologische Unterschiede zwischen den Gruppen \pm perioperative Komplikationen

3.2.5 Revision

Bei 14 Patienten (16.5 %) bestand im weiteren Verlauf die Indikation eines Revisionseingriffs, Abb. 3.8 zeigt die Verteilung der jeweiligen Revisionen. Die Fusionsstrecke war in der Revisionsgruppe signifikant länger (12.13 Sg. \pm 0.83 Sg._{SD}; 11.46 Sg. \pm 1.09 Sg._{SD}; $p = .012$). Die präoperative LL war in dieser Gruppe signifikant stärker ausgeprägt ($-65.7^\circ \pm 3.4^\circ$; $-57.4^\circ \pm 1.6^\circ$; $p = .027$) und zu allen gemessenen Zeitpunkten bestand eine signifikant größere TK (präop. $52.7^\circ \pm 3.2^\circ$; $31.9^\circ \pm 1.5^\circ$; $p < .001$, postop. $34.4^\circ \pm 3.2^\circ$; $25.7^\circ \pm 1.5^\circ$; $p = .017$, FU $39.1^\circ \pm 3.4^\circ$; $28.3^\circ \pm 1.6^\circ$; $p = .004$). Die TC der Revisionsgruppe war im präoperativen konvexen Bending signifikant größer ($77.9^\circ \pm 14.9^\circ_{SD}$; $68.3^\circ \pm 13.2^\circ_{SD}$; $p = .031$) und die Flexibilität signifikant geringer ($15.6\% \pm 10.5\%_{SD}$; $22.1\% \pm 11.6\%_{SD}$; $p = .043$). Postoperativ und im FU blieb eine signifikant größere thorakale Restkrümmung bestehen (postop. $54.0^\circ \pm 2.9^\circ$; $42.2^\circ \pm 1.3^\circ$; $p < .001$, FU $57.6^\circ \pm 3.0^\circ$; $44.0^\circ \pm 1.4^\circ$; $p < .001$), die jeweiligen Korrekturen der TC waren in der Revisionsgruppe signifikant geringer (postop. $41.8\% \pm 14.3\%_{SD}$; $52.1\% \pm 12.1\%_{SD}$; $p = .018$, FU $36.9\% \pm 11.8\%_{SD}$; $49.5\% \pm 10.3\%_{SD}$; $p = .003$) (s. Abb. 3.9). Der LIV lag in der Revisionsgruppe signifikant näher zur CSVL ($8.5\text{ mm} \pm 2.6\text{ mm}$; $15.1\text{ mm} \pm 1.2\text{ mm}$; $p = .020$). Die Ergebnisse der Gruppen \pm Revision und signifikante Unterschiede werden in Tab. A.2 und A.21 zusammengefasst.

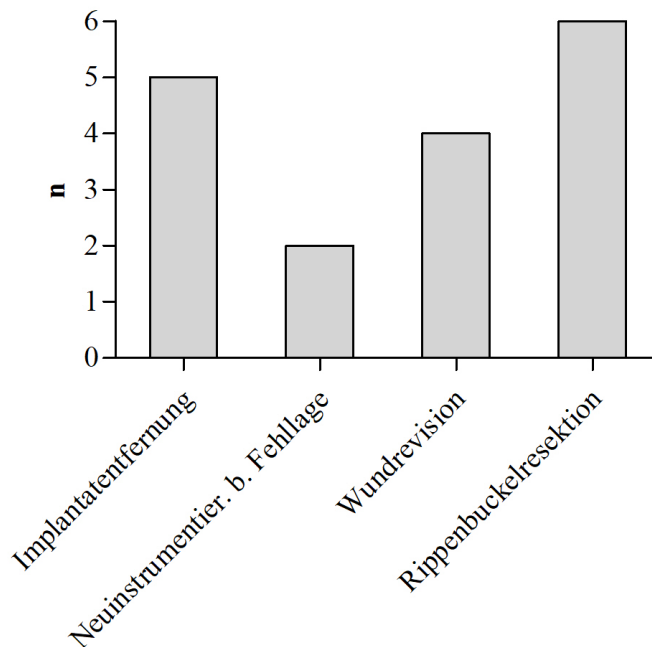


Abb. 3.8: Verteilung der verschiedenen Revisionseingriffe

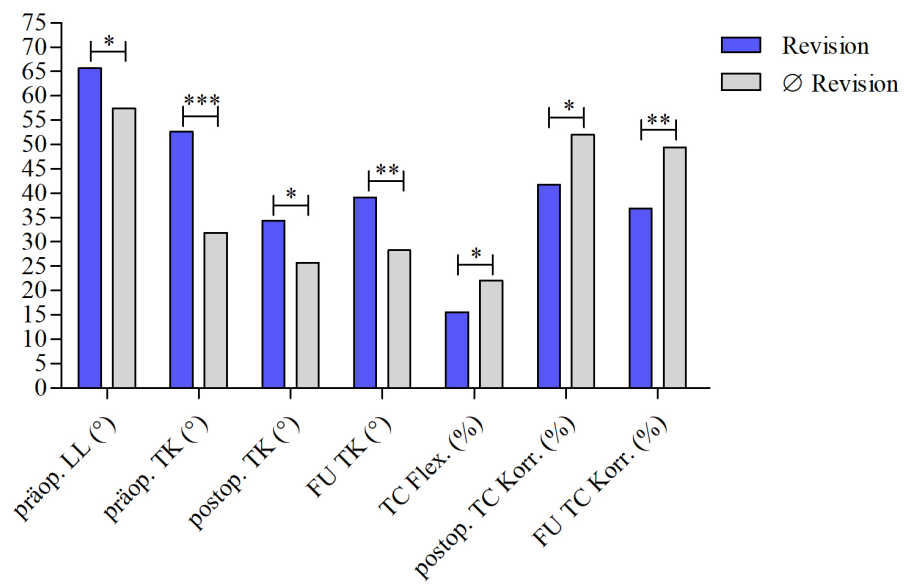


Abb. 3.9: Signifikante radiologische Unterschiede zwischen den Gruppen ± Revision

Tab. 3.2: Übersicht über die operativen Verfahren und Ergebnisse

Charakteristikum	Verteilung des Parameters	n	n(%)
Operationsverfahren	DKS + CTP	63	74.12
	DKS ohne CTP	22	25.9
	+ PO	10	11.8
LIV	L1	2	2.4
	L2	15	17.7
	L3	44	51.8
	L4	23	27.1
	L5	1	1.2
UIV	T2	8	9.4
	T3	30	35.3
	T4	44	51.8
	T5	3	3.5
Anzahl der eingesetzten Stäbe	1	1	1.2
	2	80	94.1
	3	4	4.7
postoperative Komplikationen ¹	major	13	15.3
	minor	4	4.7
Revisionseingriff	–	14	16.5

¹nach Glassman

3.3 Radiologische Ergebnisse

Alle gemessenen radiologischen Ergebnisse zu den Zeitpunkten präoperativ, postoperativ und im FU sind in Tab. 3.3 zusammengefasst.

3.3.1 Sagittale Parameter

TK und LL

Die TK der Studiengruppe betrug präoperativ $35.5^\circ \pm 1.8^\circ$ ($-3 - 77^\circ$), reduzierte sich postoperativ signifikant auf $27.3^\circ \pm 1.3^\circ$ ($1 - 59^\circ$; $p < .001$), und stellte sich im FU mit einer nicht signifikanten Erhöhung der TK auf $30.8^\circ \pm 1.4^\circ$ ($10 - 60^\circ$) ein. Der Unterschied zwischen präoperativer und FU TK blieb signifikant ($p = .038$). Die LL reduzierte sich von präoperativ $-58.9^\circ \pm 1.6^\circ$ zunächst signifikant auf postoperativ $-51.2^\circ \pm 1.3^\circ$ ($p < .001$) und nahm im Verlauf bis zum FU wieder signifikant auf $-57.8^\circ \pm 1.5^\circ$ zu ($p = .001$). Der Unterschied zwischen präoperativer und FU LL war nicht signifikant ($p > .05$). Den zeitlichen Verlauf der TK und LL zeigt Abb. 3.10.

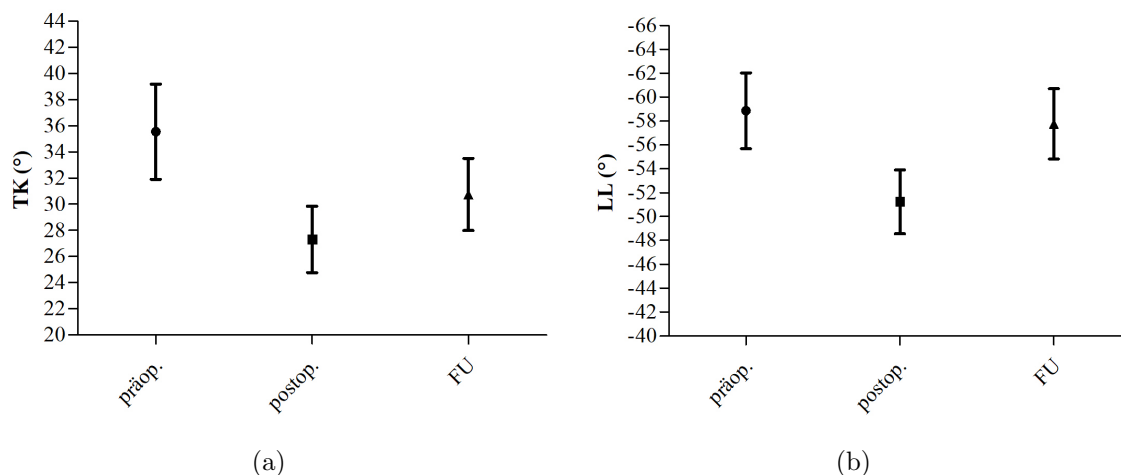


Abb. 3.10: Verlauf der TK (a) und LL (b)

C7-SPL

Die C7-SPL nahm postoperativ zunächst nicht signifikant zu ($13.0 \text{ mm} \pm 2.5 \text{ mm}$; $20.1 \text{ mm} \pm 3.6 \text{ mm}$; $p > .05$) und verringerte sich anschließend im FU mit einem signifikanten Unterschied zum präoperativen Wert ($5.1 \text{ mm} \pm 2.5 \text{ mm}$; $p = .027$) (s. Abb. 3.11).

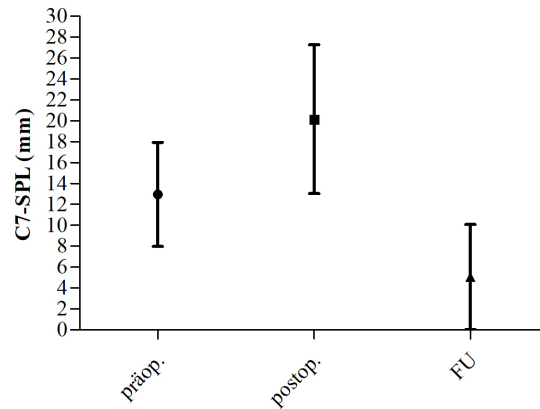


Abb. 3.11: Verlauf der C7-SPL

3.3.2 Koronare Parameter

TC und LC

Der Scheitelwirbel der thorakalen Krümmung befand sich in der Studiengruppe zwischen T7 und T10, am häufigsten bei T8 (55.3%). Die Rotation des thorakalen Scheitelwirbels betrug 2.5 ± 0.1 Grad nach Nash und Moe. Der lumbale Scheitelwirbel lag zwischen L1 und L3, am häufigsten bei L2 (67.1%) und war um 1.7 ± 0.1 Grad rotiert (s. Abb. 3.12).

Korrektur

Die TC betrug präoperativ $88.1^\circ \pm 0.9^\circ$ (80 - 114°), korrigierte sich im konvexen Bending auf $70.0^\circ \pm 1.5^\circ$ (39.00 - 110°), postoperativ auf $44.3^\circ \pm 1.5^\circ$ (18 - 100°) und im FU auf $47.1^\circ \pm 1.6^\circ$ (24 - 90°). Die Reduktion der Skoliosekrümmung war sowohl präoperativ zu postoperativ als auch präoperativ zu FU jeweils hoch signifikant ($p < .001$), die Korrekturen lagen bei $50.2\% \pm 1.4\%$ (postop.) und $47.1\% \pm 1.4\%$ (FU). Der Korrekturverlust zwischen postoperativer und FU TC war nicht signifikant ($p > .05$). Die Flexibilität der thorakalen Wirbelsäule lag präoperativ bei $21.0\% \pm 1.3\%$. Die LC korrigierte sich im konvexen Bending von $53.8^\circ \pm 1.30$ (31 - 85°) auf $28.4^\circ \pm 1.6^\circ$ (0.00 - 69.0°) und verbesserte sich postoperativ auf $23.8^\circ \pm 1.1^\circ$ (0.0 - 46.0°). Sie blieb mit einem nicht signifikanten Korrekturverlust im FU mit $25.4^\circ \pm 1.2^\circ$ (3 - 58°) stabil. Die Korrekturen von präoperativ zu postoperativ und präoperativ zu FU waren hoch signifikant ($p < .001$). Die Flexibilität der LC betrug präoperativ $49.6\% \pm 2.1\%$. Die postoperative Korrektur lag bei $55.9\% \pm 1.8\%$ und präoperativ zu FU bei $53.1\% \pm 1.9\%$. Den Verlauf der TC und LC der Studiengruppe zeigt Abb. 3.13.

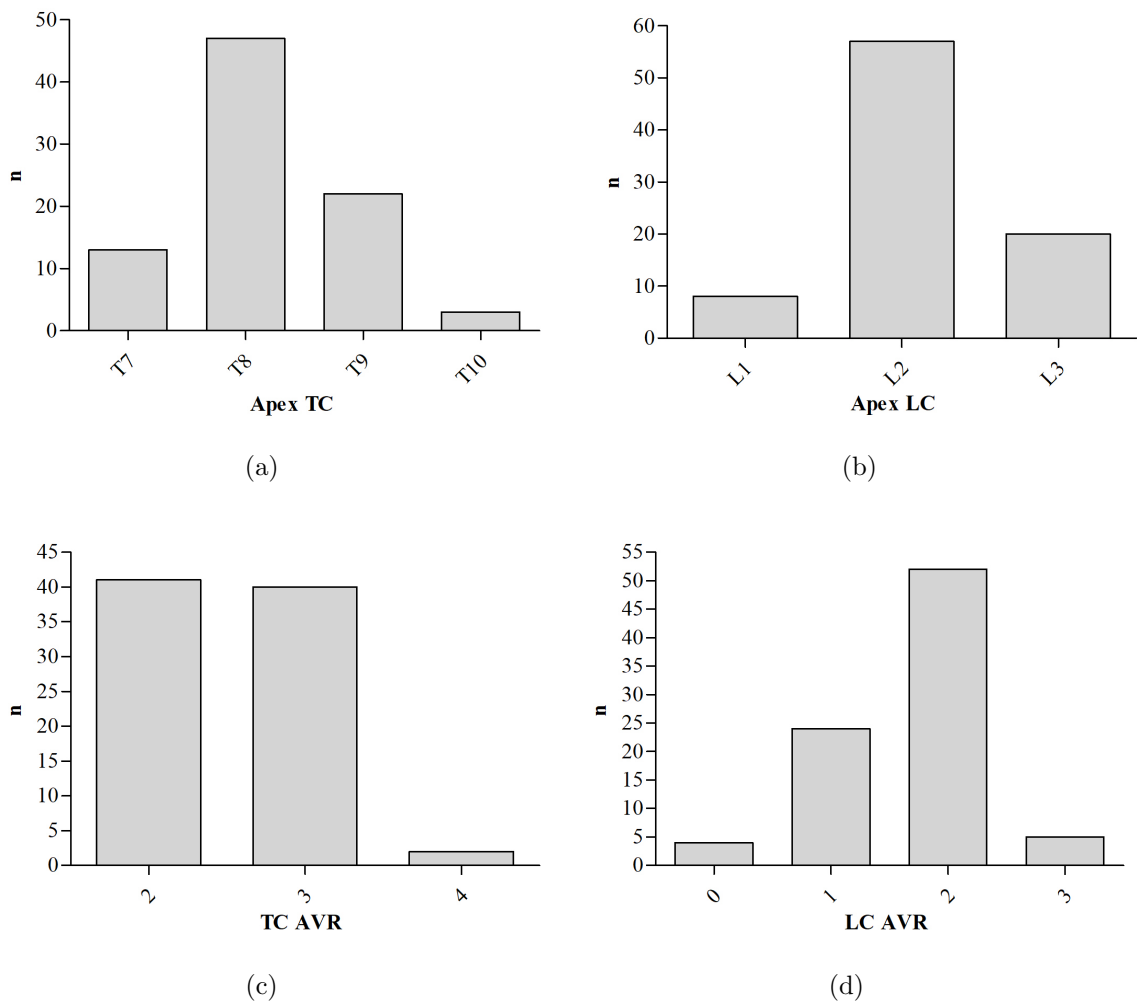


Abb. 3.12: Verteilung des thorakalen und lumbalen Scheitelwirbels (a, b) und des jeweiligen präoperativen Rotationsgrades (c, d)

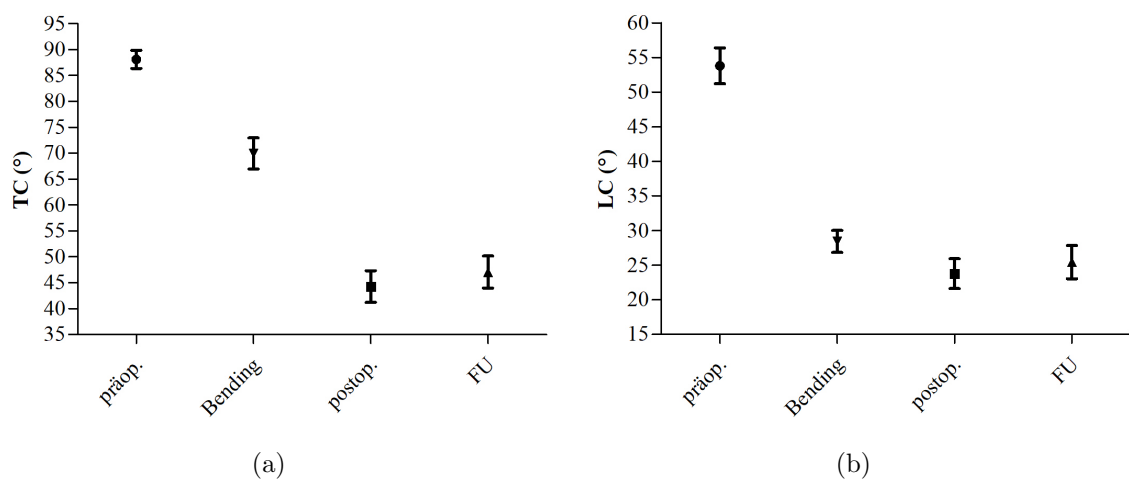


Abb. 3.13: Verlauf der TC (a) und LC (b)

Die statistische Analyse zeigte, dass die direkte postoperative Korrektur der TC signifikant positiv mit der präoperativen Flexibilität der TC ($r = .55$, $p < .001$) und der Implantatdichte ($r = .49$, $p < .001$) korrelierte (s. Abb. 3.14). Eine signifikante negative Korrelation bestand v. a. mit der thorakalen Restkrümmung im konvexen Bending ($r = -.60$, $p < .001$) und der präoperativen Ausprägung der TC ($r = -.42$, $p < .001$) (s. Abb. 3.15). Außerdem korrelierte die postoperative Korrektur der TC negativ mit dem präoperativen Alter ($r = -.33$, $p = .002$), der Länge der Fusionsstrecke ($r = -.22$, $p = .039$) und der präoperativen TK ($r = -.29$, $p = .007$). Eine Übersicht über die signifikanten Korrelationen zwischen der postoperativen TC Korrektur und weiteren Parametern gibt Tab. A.15 (Anhang A). Die postoperative Korrektur der LC zeigte ebenfalls eine signifikante positive Korrelation mit der Implantatdichte ($r = .48$, $p < .001$) sowie der präoperativen LC Flexibilität ($r = .45$, $p < .001$) (s. Abb. 3.16) und der TC Flexibilität ($r = .38$, $p < .001$), der präoperativen CSVL ($r = .27$, $p = .017$) und dem präoperativen LIV-Tilt ($r = .31$, $p = .004$). Signifikant negativ korrelierte die LC Korrektur am stärksten mit den präoperativen Restkrümmungen der LC im Bending und TC im Bending (LC $r = -.30$, $p = .005$; TC $r = -.46$, $p < .001$) und der präoperativen TC ($r = -.39$, $p < .001$) (s. Abb. 3.17), zusätzlich mit dem präoperativen Alter ($r = -.30$, $p = .006$). Die negative Korrelation zwischen präoperativer Ausprägung der LC und postoperativer Korrektur war nicht signifikant. Eine Übersicht der signifikanten Korrelationen zwischen der postoperativen LC Korrektur und weiteren Parametern gibt Tab. A.16 (Anhang A).

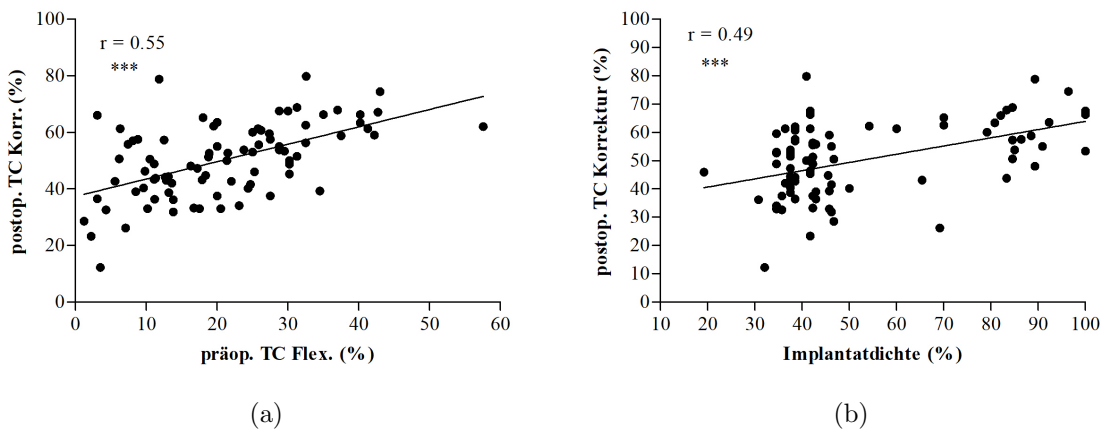


Abb. 3.14: Positive Korrelationen mit der postoperativen TC Korrektur

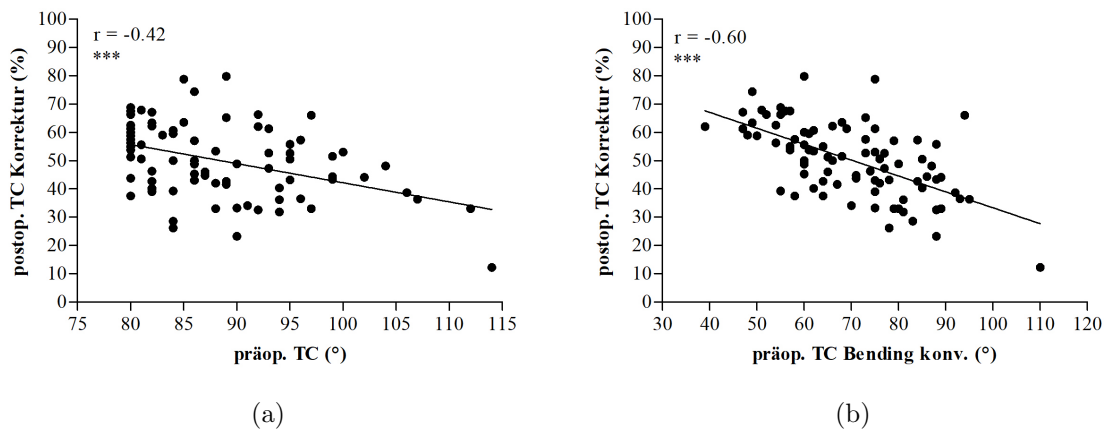


Abb. 3.15: Negative Korrelationen mit der postoperativen TC Korrektur

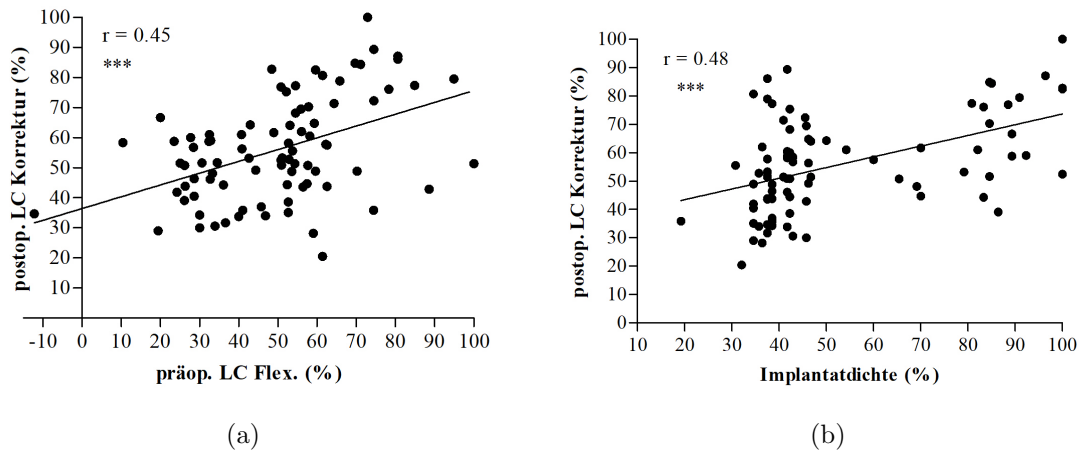


Abb. 3.16: Positive Korrelationen mit der postoperativen LC Korrektur

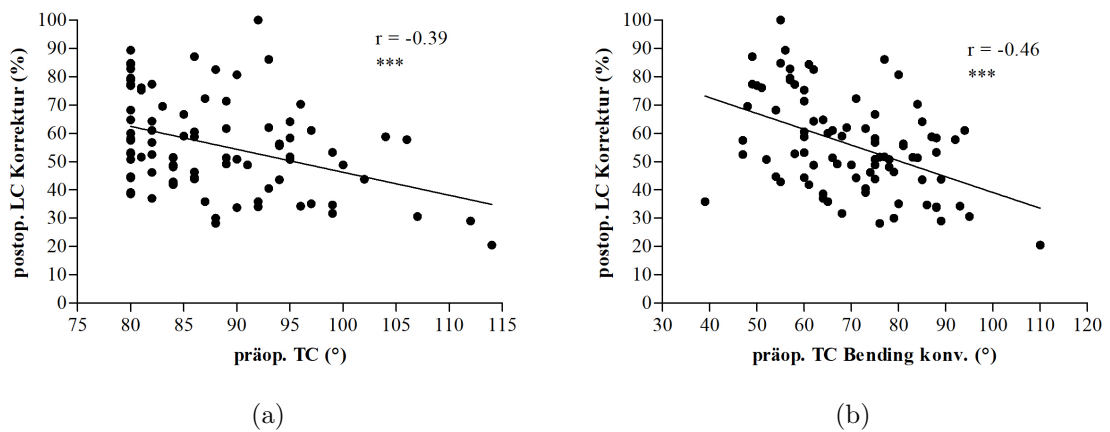


Abb. 3.17: Negative Korrelationen mit der postoperativen LC Korrektur

ASKI

Der postoperative tSKI betrug 3.7 ± 0.4 (1.1 - 24), der lSKI lag bei 1.2 ± 0.1 (-2.80 - 5.60). Insgesamt ergab sich daraus ein unmittelbar postoperativer ASKI von 4.9 ± 0.4 (0.60 - 26.10). Die größte Korrelation mit dem Korrekturergebnis der globalen Deformität im Sinne des ASKI (absoluter Skoliose-Korrektur-Index) hatte von den untersuchten Parametern in der univariaten Analyse das Ausmaß der präoperativen TK ($r = .36, p < .001$) und der LC ($r = .41, p < .001$). Für die Prädiktion des postoperativen ASKI konnte ein signifikantes multivariates Modell entwickelt werden, das die beiden Parameter präoperative TK und LC beinhaltet (s. Abb. 3.18). Die Prädiktionsgenauigkeit liegt bei $R = 0.6, p < .001$ und ist somit sehr hoch.

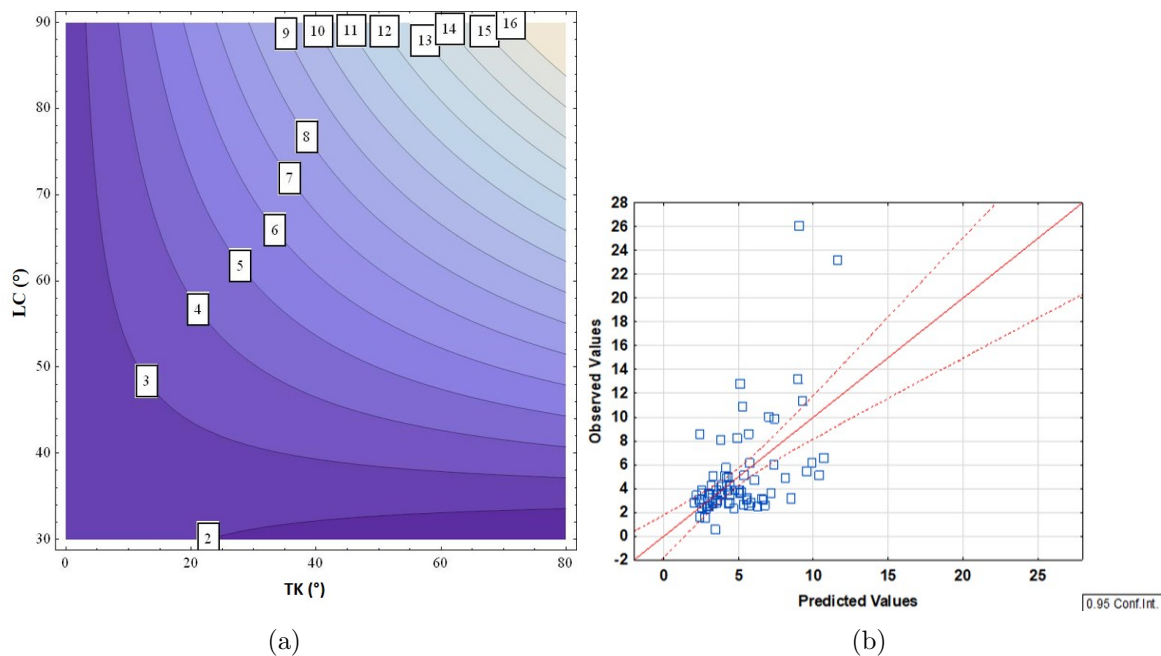


Abb. 3.18: Prädiktionsmodell für den postoperativen ASKI. (a): Einfluss von präoperativer TK und präoperativer LC auf den ASKI (Ganze Zahlen in Kästchen sowie farblich abgestufte Flächen). (b): Prediction-Plot und Darstellung zwischen Predicted (vorhergesagter Wert) und observed (tatsächlicher Wert). ASKI gemäß dem statistischen Modell. Angabe von Mittelwert (rote durchgezogene Linie) und 95 % Konfidenzintervall (rote gepunktete Linie).

Einen signifikanten operativen Einfluss auf den postoperativen ASKI hatten zudem zusätzlich durchgeführte Ponte Osteotomien ($6.9 \pm 1.9; 4.6 \pm 0.4; p = .048$). Dieser Einfluss wurde durch die Kombination einer Implantatdichte $> 80\%$ in Verbindung mit zusätzlich durchgeführten Ponte Osteotomien weiter gesteigert ($7.4 \pm 2.4; 4.6 \pm 0.4; p = .031$). Der Eingriff einer CTP hatte keinen signifikanten Einfluss auf den postoperativen ASKI (s. Abb. 3.19).

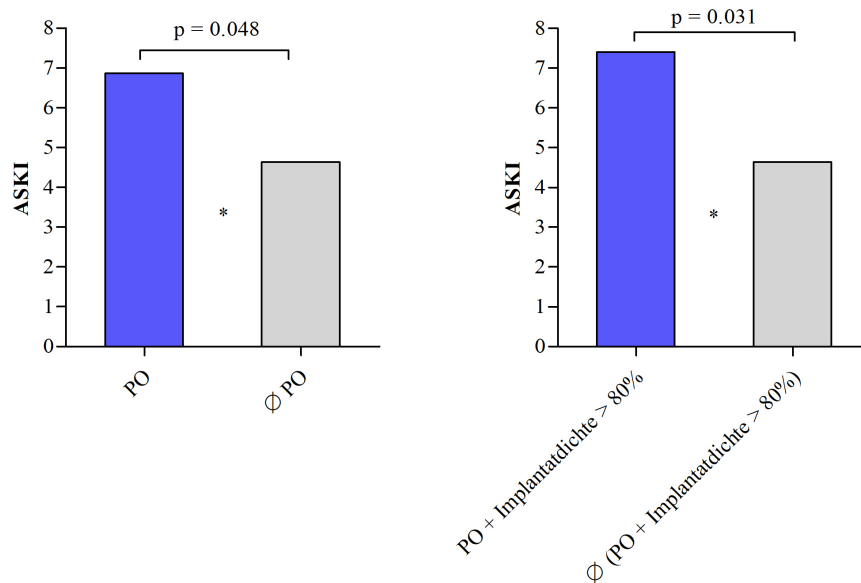


Abb. 3.19: Einfluss von Ponte Osteotomien und Implantatdichte auf den postoperativen ASKI

CSVL

Die CSVL vergrößerte sich von präoperativ $16.2 \text{ mm} \pm 1.3 \text{ mm}$ auf postoperativ $19.9 \text{ mm} \pm 1.7 \text{ mm}$ (ns) und zeigte im FU anschließend eine signifikante Verbesserung auf $12.0 \text{ mm} \pm 1.3 \text{ mm}$ ($p = .024$) (s. Abb. 3.20).

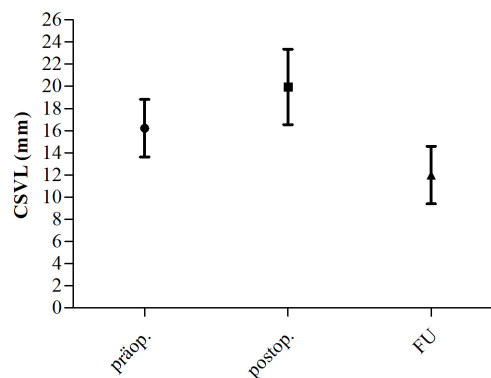


Abb. 3.20: Verlauf der CSVL

L4-Tilt

Der L4-Tilt lag präoperativ bei $14.0^\circ \pm 0.9^\circ$ und verbesserte sich postoperativ signifikant auf $6.8^\circ \pm 0.5^\circ$ ($p < .001$). Im FU blieb die signifikante Verbesserung mit $7.8^\circ \pm 0.6^\circ$ bestehen ($p < .001$) (s. Abb. 3.21). Für die statistischen Analysen und Gruppenunterschiede bzgl. des FU L4-Tilt s. Kapitel 3.4.3.

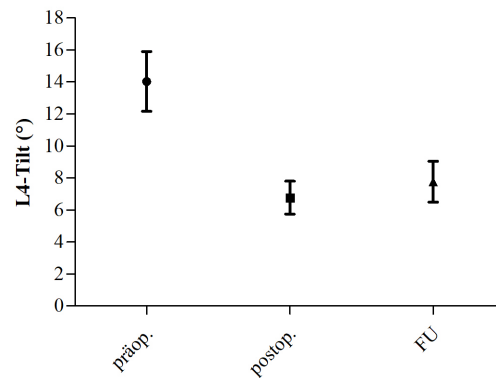


Abb. 3.21: Verlauf des L4-Tilt

LIV-Tilt

Der LIV-Tilt verbesserte sich von präoperativ $19.6^\circ \pm 1.0^\circ$ auf postoperativ $7.7^\circ \pm 0.5^\circ$ ($p < .001$) und blieb im FU mit $8.3^\circ \pm 0.6^\circ$ mit einer signifikanten Differenz im Vergleich zum präoperativen LIV-Tilt stabil ($p < .001$) (s. Abb. 3.22). Die Analysen und Gruppenunterschiede bzgl. des Mobilien LIV-Tilts werden in Kapitel 3.4.5 dargestellt.

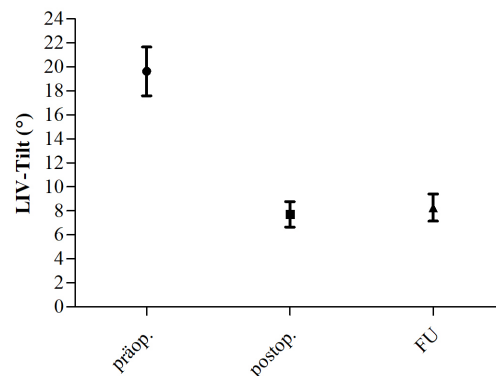


Abb. 3.22: Verlauf des LIV-Tilt

LIVDA

Der präoperative LIVDA betrug $7.9^\circ \pm 0.5^\circ$ und reduzierte sich im Verlauf signifikant auf $4.6^\circ \pm 0.4^\circ$ (postop., $p < .001$) bzw. $4.0^\circ \pm 0.4^\circ$ (FU, $p < .001$) (s. Abb. 3.23). Die statistische Auswertung bzgl. des Mobilien LIVDA folgt in Kapitel 3.4.7.

Rippenbuckel (RHHD)

Die RHHD wurde von präoperativ $40.5 \text{ mm} \pm 1.7 \text{ mm}$ signifikant auf postoperativ $28.3 \text{ mm} \pm 2.0 \text{ mm}$ und im FU weiter auf $22.5 \text{ mm} \pm 3.4 \text{ mm}$ verbessert ($p < .001$) (s. Abb. 3.24). Die Verbesserung zwischen präoperativem und FU RHHD korrelierte dabei mit der an-

gegebenen Zufriedenheit in der Auswertung des SRS-24-Fragebogens ($r = -.83$, $p = .041$, $n = 6$).

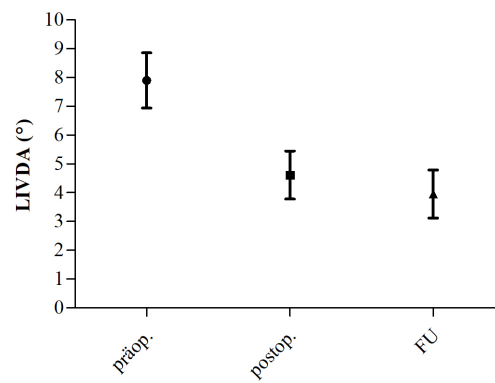


Abb. 3.23: Verlauf des LIVDA

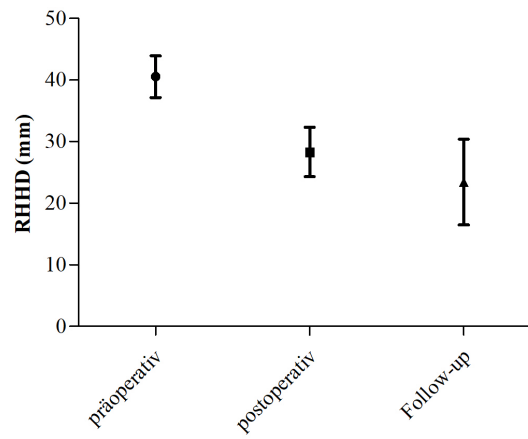


Abb. 3.24: Verlauf der RHHD

Tab. 3.3: Übersicht über die radiologischen Ergebnisse

Radiologischer Parameter (Eht.)	präop.	n	postop.	n	FU	n	p Δ präop. zu postop.	p Δ präop. zu FU	p Δ postop zu FU
trv.									
RHA (°)	14.6 ± 0.7	59	–	–	10.5 ± 3.2	8	–	–	–
sagittal									
RHHD (mm)	40.5 ± 1.7	69	28.3 ± 2.0	34	22.5 ± 3.4	16	< .001	< .001	ns
C7-SPL (mm)	13.0 ± 2.5	79	20.1 ± 3.6	80	5.0 ± 2.5	65	ns	.027	< .001
TK (°)	35.5 ± 1.8	85	27.3 ± 1.3	84	30.8 ± 1.4	68	< .001	.038	ns
LL (°)	-58.9 ± 1.6	83	-51.2 ± 1.3	85	-57.8 ± 1.5	68	< .001	ns	.001
koronar									
SHD (mm)	11.4 ± 1.1	53	13.9 ± 1.5	58	10.0 ± 1.2	29	ns	ns	.042
GSVL (mm)	16.2 ± 1.3	80	19.9 ± 1.7	79	12.0 ± 1.3	65	ns	.024	< .001
TC (°)	88.1 ± 0.9	85	44.3 ± 1.5	85	47.1 ± 1.6	68	< .001	< .001	ns
TC Bend. konv. (°)	70.0 ± 1.5	85	–	–	–	–	–	–	–
TC Flexibilität (%)	21.0 ± 1.3	85	–	–	–	–	–	–	–
TC Korrektur (%)	–	–	50.2 ± 1.4	85	47.1 ± 1.4	68	–	–	–
TC AVR	2.5 ± 0.1	83	–	–	–	–	–	–	–
LC (°)	53.8 ± 1.3	85	23.8 ± 1.1	85	25.4 ± 1.2	68	< .001	< .001	ns
LC Bend. konv. (°)	28.4 ± 1.6	85	–	–	–	–	–	–	–
LC Flexibilität (%)	49.9 ± 2.1	85	–	–	–	–	–	–	–
LC Korrektur (%)	–	–	55.9 ± 1.8	85	53.1 ± 1.9	68	–	–	–
LC AVR	1.7 ± 0.1	85	–	–	–	–	–	–	–
LIV-Tilt (°)	19.6 ± 1.0	85	7.7 ± 0.5	84	8.3 ± 0.6	68	< .001	< .001	ns
LIV-Tilt Bend. (°)	13.4 ± 0.9	85	–	–	–	–	–	–	–
LIV AVR	1.2 ± 0.1	85	–	–	–	–	–	–	–
LIV-GSVL (mm)	16.9 ± 1.2	84	14.9 ± 0.9	84	13.8 ± 1.1	67	ns	ns	ns
L4-Tilt (°)	14.0 ± 0.9	85	6.8 ± 0.5	84	7.8 ± 0.6	67	< .001	< .001	ns
L4-Tilt Bend. konv. (°)	14.4 ± 0.8	85	–	–	–	–	–	–	–
L4-Tilt Bend. konk. (°)	7.2 ± 0.6	83	–	–	–	–	–	–	–
L3-Tilt Bend. konv. (°)	13.9 ± 0.9	85	–	–	–	–	–	–	–
L3-Tilt Bend. konk. (°)	14.3 ± 1.0	83	–	–	–	–	–	–	–
L5-Tilt (°)	10.4 ± 0.8	84	6.7 ± 0.5	81	7.2 ± 0.5	67	–	–	–
LIVDA (°)	7.9 ± 0.5	84	4.6 ± 0.4	82	4.0 ± 0.4	67	< .001	< .001	ns
LIVDA Bend. konk. (°)	7.3 ± 0.5	84	–	–	–	–	–	–	–
UIV-Tilt (°)	27.4 ± 1.1	85	13.6 ± 0.8	84	14.3 ± 0.8	68	< .001	< .001	ns
T1-Tilt (°)	7.5 ± 0.7	83	7.4 ± 0.5	82	7.6 ± 0.6	64	ns	ns	ns

3.4 Statistische Gruppenanalysen

Im Anhang A sind die Ergebnisse der einzelnen Gruppenanalysen tabellarisch zusammengefasst.

3.4.1 DKS \pm CTP

Die CTP-Gruppe war insgesamt älter im Vergleich zur Gruppe ohne CTP (16.6 J. \pm 4.1 J._{SD}; 15.0 J. \pm 2.8 J._{SD}; $p = .036$). Bezüglich der operativen Ergebnisse war die Implantatdichte der CTP-Gruppe signifikant geringer (42.2% \pm 19.7%_{SD}; 83.8% \pm 15.0%_{SD}; $p < .001$) und die Hook Ratio signifikant größer (25.4% \pm 18.0%_{SD}, 2.0% \pm 9.5%_{SD}; $p < .001$). In der CTP-Gruppe wurden im Vergleich zur Gruppe ohne CTP zudem signifikant weniger Ponte Osteotomien durchgeführt ($p < .001$). Aus der CTP-Gruppe wurden 3.2% zusätzlich mit Ponte Osteotomien versorgt, aus der Gruppe ohne CTP erhielten 36.4% Ponte Osteotomien (s. Abb. 3.25). Die CTP-Gruppe hatte präoperativ eine signifikant geringere sagittale Imbalance (C7-SPL) (10.5 mm \pm 3.4 mm; 19.4 mm \pm 5.6 mm; $p = .004$) sowie im konvexen Bending eine signifikant größere thorakale Restkrümmung (72.6° \pm 13.5°_{SD}; 62.5° \pm 12.5°_{SD}; $p = .003$) und eine geringere Flexibilität (18.9% \pm 10.7%_{SD}; 26.8% \pm 12.4%_{SD}; $p = .013$). Die TC war postoperativ und im FU in der CTP-Gruppe signifikant stärker ausgeprägt (postop. 47.8° \pm 1.4°; 34.3° \pm 2.3°; $p < .001$; FU 50.2° \pm 1.4°; 35.4° \pm 2.5°; $p < .001$), die postoperative und FU TC Korrekturen waren jeweils signifikant geringer (postop. 46.9% \pm 12.0%_{SD}; 59.9% \pm 10.9%_{SD}; $p < .001$, FU 43.4% \pm 9.8%_{SD}; 58.0% \pm 9.9%_{SD}; $p < .001$) (s. Abb. 3.26). Die LC blieb postoperativ in der CTP-Gruppe ebenfalls signifikant größer als in der Vergleichsgruppe (25.7° \pm 1.3°; 18.2° \pm 2.3°; $p = .005$) und die postoperative LC Korrektur signifikant geringer (52.0% \pm 15.0%_{SD}; 67.0% \pm 17.8%_{SD}; $p = .001$). Die FU LC Korrektur der CTP-Gruppe war vergleichsweise geringer, jedoch ohne signifikanten Unterschied (51.3% \pm 14.7%_{SD}; 58.8% \pm 18.2%_{SD}; $p > .05$) (s. Abb. 3.26). In der CTP-Gruppe bestand eine signifikant bessere Korrektur der LIV-CSVL im FU (-4.9 mm \pm 8.5 mm_{SD}; 1.0 mm \pm 7.5 mm_{SD}; $p = .013$). Die präoperative RHHD war in der CTP-Gruppe signifikant kleiner (37.8 mm \pm 1.8 mm; 47.7 mm \pm 2.9 mm; $p = .004$), postoperativ und im FU bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Der RHA war präoperativ signifikant größer (15.5° \pm 5.7°_{SD}; 12.2° \pm 4.2°_{SD}; $p = .022$). Die Ergebnisse und signifikanten Unterschieden der beiden Gruppen werden in Tab. A.3 und A.22 zusammengefasst (s. Anhang A).

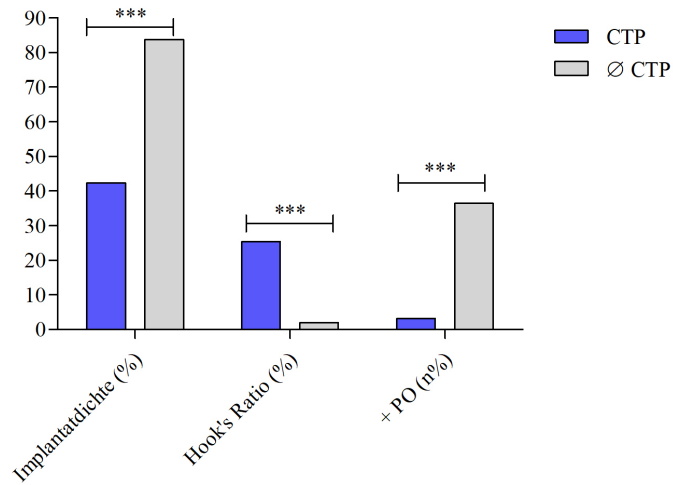
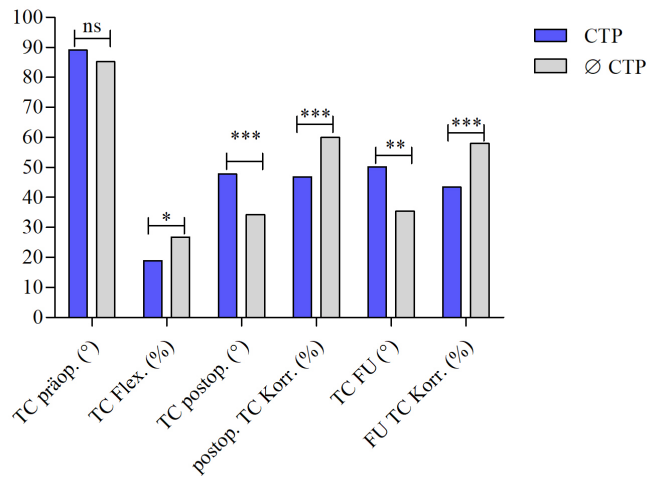
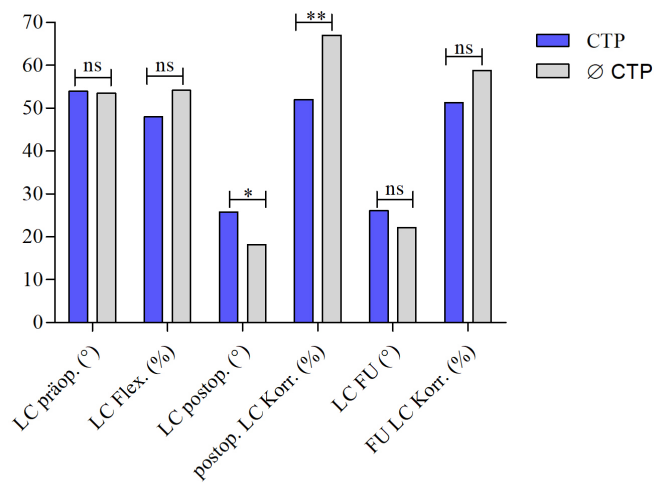


Abb. 3.25: Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen ± CTP



(a)



(b)

Abb. 3.26: Verlauf der TC (a) und LC (b) im Vergleich zwischen den Gruppen ± CTP

3.4.2 DKS ± PO

Die PO-Gruppe hatte im Vergleich zur Gruppe ohne PO eine signifikant höhere Implantatdichte ($86.7\% \pm 11.9\%_{SD}$; $48.5\% \pm 18.7\%_{SD}$; $p < .001$) und einen signifikanten Unterschied bzgl. der eingesetzten Knochenanker mit ausschließlich Pedikelschrauben in der PO-Gruppe (Hook Ratio $0.0\% \pm 0.0\%_{SD}$; $21.9\% \pm 18.9\%_{SD}$; $p < .001$) (s. Abb. 3.27). Präoperativ war die Ausprägung der LC in der PO-Gruppe signifikant größer ($61.9^\circ \pm 3.4^\circ$; $52.7^\circ \pm 1.2^\circ$; $p = .011$), postoperativ und im FU gab es keine signifikanten Unterschiede der LC zwischen den Gruppen. Die postoperative LC Korrektur war signifikant besser als in der Vergleichsgruppe ($68.8\% \pm 13.9\%_{SD}$; $54.2\% \pm 16.7\%_{SD}$; $p = .010$). Die FU TC war in der PO-Gruppe signifikant kleiner ($38.1^\circ \pm 3.9^\circ$; $47.7^\circ \pm 1.4^\circ$; $p = .021$) bei zuvor keinem bestehenden signifikanten Unterschied der präoperativen TC. Die FU TC Korrektur war signifikant besser als in der Vergleichsgruppe ohne PO ($57.1\% \pm 10.0\%_{SD}$; $45.6\% \pm 11.2\%_{SD}$; $p = .008$) (s. Abb. 3.28). Die präoperative Ausprägung des L4-Tilt war in der PO-Gruppe signifikant größer ($21.5^\circ \pm 2.0^\circ$; $13.0^\circ \pm 0.7^\circ$; $p < .001$) und zeigte eine signifikant bessere postoperative und FU Korrektur (postop. $-12.5^\circ \pm 4.7^\circ_{SD}$; $-6.5^\circ \pm 7.0^\circ_{SD}$; $p = .003$, FU $-10.9^\circ \pm 5.0^\circ_{SD}$; $-5.8^\circ \pm 7.3^\circ_{SD}$; $p = .021$). In der PO-Gruppe war die postoperative koronare Imbalance (CSVL) signifikant größer ($33.8\text{ mm} \pm 3.9\text{ mm}$; $17.8\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$; $p < .001$), im FU bestand kein signifikanter Unterschied der CSVL zwischen den beiden Gruppen. Die sagittale Rippenbuckelausprägung (RHHD) war in der PO-Gruppe postoperativ signifikant größer als in der Vergleichsgruppe ($53.6\text{ mm} \pm 12.6\text{ mm}_{SD}$; $28.1\text{ mm} \pm 2.2\text{ mm}_{SD}$; $p = .049$). Es gab keine Komplikationen bzw. nachfolgende Revisionseingriffe in der PO-Gruppe. Die Ergebnisse der Gruppen ± PO und signifikante Unterschiede werden in Tab. A.4 und A.23 zusammengefasst (s. Anhang A).

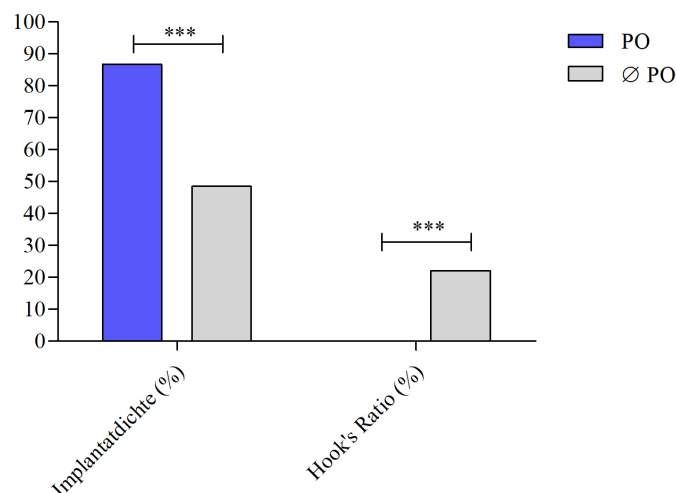
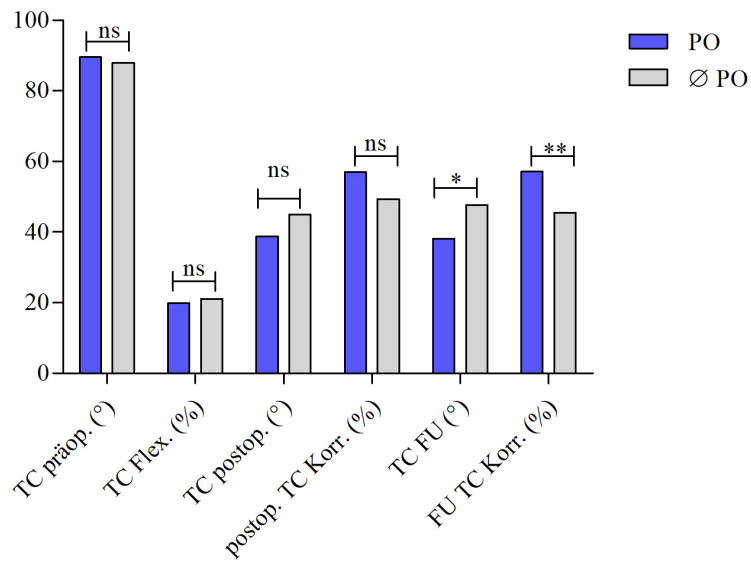
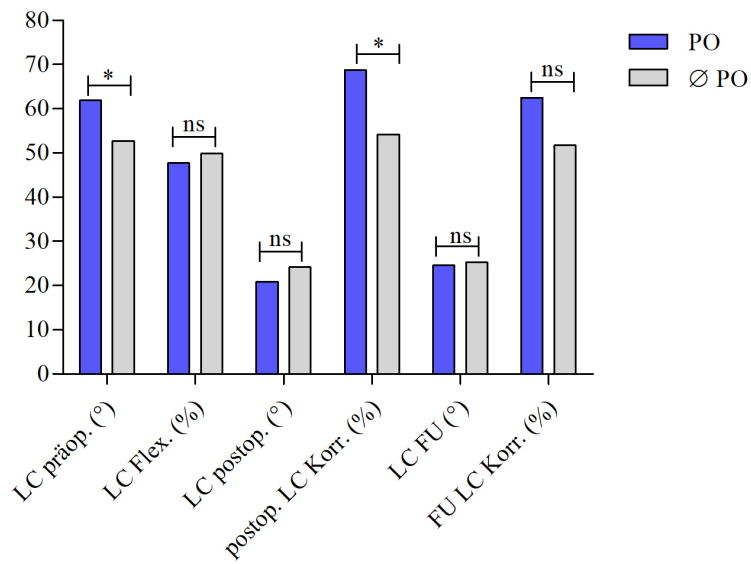


Abb. 3.27: Signifikante operative Unterschiede zwischen den Gruppen ± PO



(a)



(b)

Abb. 3.28: Verlauf der TC (a) und LC (b) im Vergleich zwischen den Gruppen ± PO

3.4.3 FU L4-Tilt

Für 67 Patienten (98.5% der FU-Gruppe) konnte der Parameter L4-Tilt im Follow-up bestimmt werden. Davon lagen 48 Patienten (71.6%) im Bereich von $\leq 10^\circ$ und 19 Patienten (28.4%) $> 10^\circ$. Die Reduktion des FU L4-Tilts korrelierte am stärksten mit der FU LC Korrektur ($r = -.31$, $p = .010$) (s. Abb. 3.29). Die Distanz zwischen SV und LIV war in der L4-Tilt $\leq 10^\circ$ Gruppe signifikant geringer ($1.0 \text{ WK} \pm 0.8 \text{ WK}_{\text{SD}}$; $1.6 \text{ WK} \pm 0.7 \text{ WK}_{\text{SD}}$; $p = .002$), ebenso die präoperative Rotation des LIV ($1.1 \pm 0.6_{\text{SD}}$; $1.5 \pm 0.5_{\text{SD}}$; $p = .014$). In der Gruppe mit einem FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ war die FU LC signifikant kleiner ($22.5^\circ \pm 1.5^\circ$; $32.3^\circ \pm 2.4^\circ$; $p < .001$), die postoperative und FU LC Korrekturen waren jeweils signifikant besser (postop. $58.7\% \pm 16.6\%_{\text{SD}}$; $49.0\% \pm 15.5\%_{\text{SD}}$; $p = .030$; FU $57.0\% \pm 14.9\%_{\text{SD}}$; $43.6\% \pm 14.7\%_{\text{SD}}$; $p = .002$) (s. Abb. 3.30). Die Korrektur von präoperativem zu FU LIVDA war in der Gruppe L4-Tilt $\leq 10^\circ$ ebenfalls signifikant besser als in der Vergleichsgruppe ($-4.6^\circ \pm 4.4^\circ_{\text{SD}}$; $-1.8^\circ \pm 3.8^\circ_{\text{SD}}$; $p = .015$). Die allgemeine postoperative Verschlechterung der koronaren Imbalance (CSVL) in der Gesamtgruppe blieb in der Gruppe mit einem FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ vergleichsweise signifikant geringer ($0.5 \text{ mm} \pm 19.7 \text{ mmsd}$; $12.8 \text{ mm} \pm 14.8 \text{ mmsd}$; $p = .013$), die CSVL war postoperativ in der L4-Tilt $\leq 10^\circ$ Gruppe signifikant kleiner ($17.4 \text{ mm} \pm 1.8 \text{ mm}$; $28.3 \text{ mm} \pm 3.0 \text{ mm}$; $p = .002$). Signifikant geringere Werte für die Gruppe L4-Tilt $\leq 10^\circ$ ergaben sich außerdem für alle gemessenen Zeitpunkte für die Parameter L4-Tilt (präop. $12.1^\circ \pm 0.8^\circ$; $19.9^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$; postop. $4.8^\circ \pm 0.8^\circ$; $11.9^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$; FU $5.0^\circ \pm 0.8^\circ$; $14.6^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$) und für den Abstand zwischen LIV und CSVL (präop. $14.6 \text{ mm} \pm 1.2 \text{ mm}$; $23.9 \text{ mm} \pm 1.9 \text{ mm}$; $p < .001$; postop. $11.8 \text{ mm} \pm 1.2 \text{ mm}$; $21.2 \text{ mm} \pm 1.9 \text{ mm}$; $p < .001$; FU $10.9 \text{ mm} \pm 1.2 \text{ mm}$; $21.8 \text{ mm} \pm 1.9 \text{ mm}$; $p < .001$). Im FU war die LL signifikant stärker ausgeprägt als in der Vergleichsgruppe mit einem FU L4-Tilt $> 10^\circ$ ($-60.1^\circ \pm 1.8^\circ$; $-51.6^\circ \pm 2.9^\circ$; $p = .014$). Die Ergebnisse der beiden Gruppen, signifikante Unterschiede und Korrelationen des FU L4-Tilts werden in Tab. A.5, A.24 und A.17 zusammengefasst (s. Anhang A). Für die Korrelation zwischen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ und präoperativem Mobilem LIV-Tilt s. Kapitel 3.4.5.

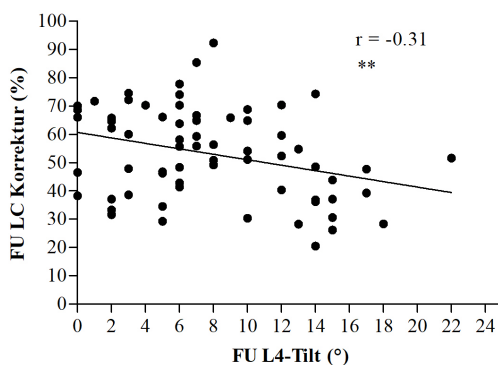


Abb. 3.29: Inverse Korrelation zwischen FU L4-Tilt und FU LC Korrektur

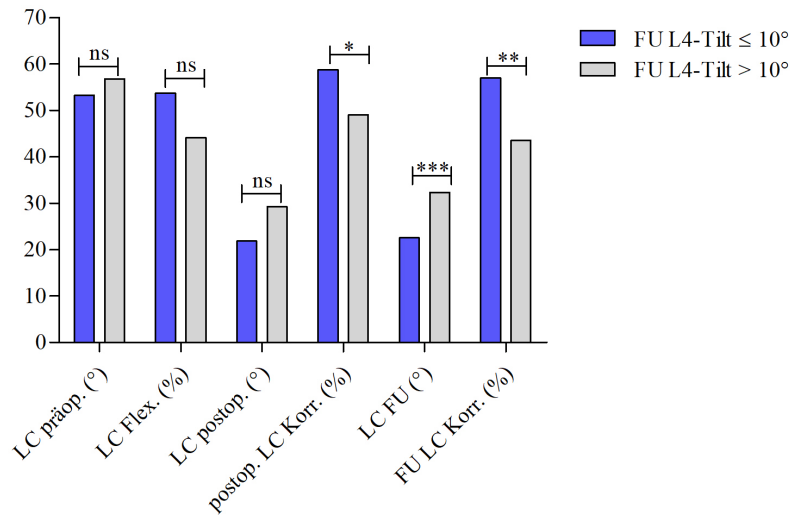


Abb. 3.30: Unterschiede bzgl. der LC zwischen den Gruppen FU L4-Tilt ≤ und > 10°

3.4.4 FU CSVL

Der Parameter CSVL konnte im Follow-up für 65 Patienten (95.6 % der FU-Gruppe) bestimmt werden. Bei 53 Patienten (81.5 %) lag der Wert im Bereich ≤ 20 mm und bei 12 Patienten (18.5 %) > 20 mm. Die FU CSVL korrelierte signifikant positiv mit der präoperativen CSVL ($r = .34$, $p = .008$), dem Abstand zwischen SV und LIV ($r = .26$, $p = .035$), der LIV AVR ($r = .33$, $p = .007$), dem präoperativen RHA ($r = .34$, $p = .021$), dem präoperativen L4-Tilt ($r = .26$, $p = .036$) und der präoperativen LIV-CSVL ($r = .30$, $p = .016$) (s. Tab. A.18, Anhang A). Die Gruppen FU CSVL ≤ 20 mm bzw. > 20 mm unterschieden sich signifikant bzgl. des Kriteriums präoperativer Mobiler LIV-Tilt. 90.9 % der Patienten, die im FU eine CSVL > 20 mm, und damit eine bleibende koronare Imbalance, hatten, hatten präoperativ keinen Mobilen LIV-Tilt (s. Abb. 3.31 und Kapitel 3.4.5).

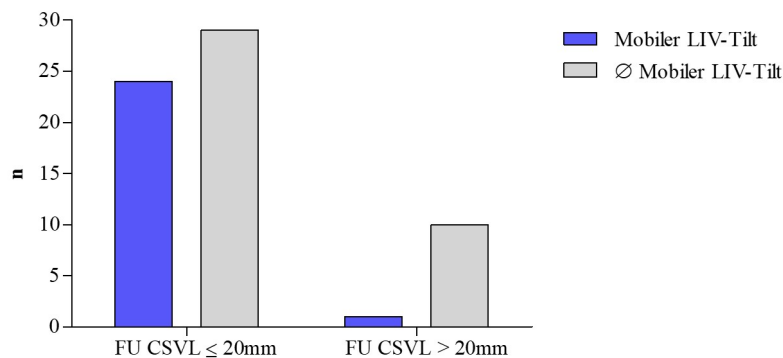


Abb. 3.31: FU CSVL und Mobiler LIV-Tilt

3.4.5 Mobiler LIV-Tilt

Bei allen Patienten konnte präoperativ der Parameter LIV-Tilt in der Standard p. a.-Aufnahme im Stehen und in der Bending-Aufnahme bestimmt werden und damit eine Einteilung in Mobiler LIV-Tilt und \emptyset Mobiler LIV-Tilt erfolgen. Bei 31 Patienten (36.5%) lag präoperativ ein Mobiler LIV-Tilt vor (s. Abb. 2.29). In der Mobiler LIV-Tilt Gruppe bestand operativ eine signifikant geringere Implantatdichte ($45.9\% \pm 18.3\%_{SD}$; $57.0\% \pm 22.8\%_{SD}$; $p = .016$) und der Abstand zwischen SV und LIV war in dieser Gruppe signifikant geringer ($0.7\text{WK} \pm 0.9\text{WK}_{SD}$; $1.4\text{WK} \pm 0.8\text{WK}_{SD}$; $p < .001$). Die präoperative LC war mit einem Unterschied von 10° in der Mobiler LIV-Tilt Gruppe signifikant kleiner ($47.0^\circ \pm 1.8^\circ$; $57.7^\circ \pm 1.40^\circ$; $p < .001$) und behielt die signifikante Differenz im konvexen Bending bei ($20.1^\circ \pm 9.9^\circ_{SD}$; $33.2^\circ \pm 14.9^\circ_{SD}$; $p < .001$), die präoperative LC Flexibilität war signifikant besser ($58.3\% \pm 18.6\%_{SD}$; $44.6\% \pm 18.6\%_{SD}$; $p = .002$) (s. Abb. 3.32).

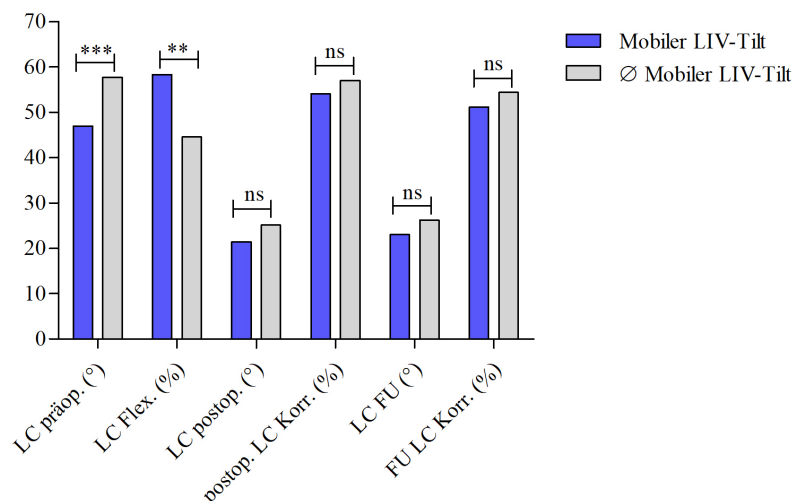
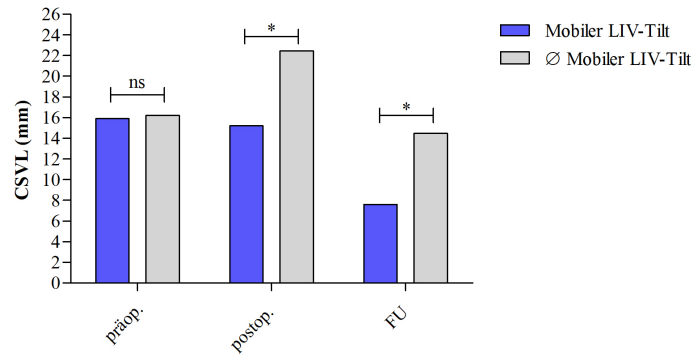


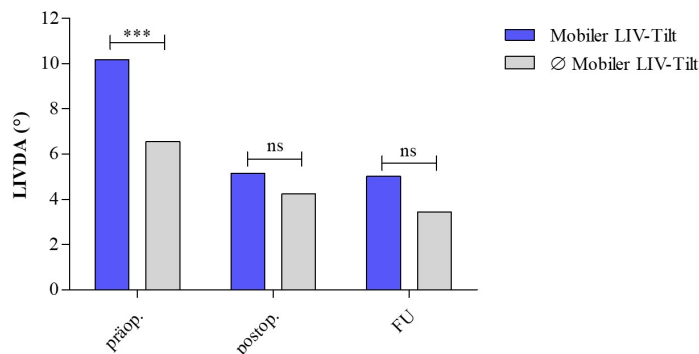
Abb. 3.32: Verlauf der LC im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und \emptyset Mobiler LIV-Tilt

Die Parameter L4-Tilt und LIV-CSVL waren zu allen Zeitpunkten signifikant kleiner (L4-Tilt präop. $6.7^\circ \pm 1.0^\circ$; $18.3^\circ \pm 0.7^\circ$; $p < .001$; postop. $4.5^\circ \pm 1.0^\circ$; $8.1^\circ \pm 0.7^\circ$; $p = .005$; FU $4.7^\circ \pm 1.0^\circ$; $9.4^\circ \pm 0.8^\circ$; $p < .001$; LIV-CSVL präop. $8.4\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$; $21.7\text{ mm} \pm 1.1\text{ mm}$; $p < .001$; postop. $11.2\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$; $17.1\text{ mm} \pm 1.1\text{ mm}$; $p = .002$; FU $9.4\text{ mm} \pm 1.6\text{ mm}$; $16.5\text{ mm} \pm 1.2\text{ mm}$; $p < .001$). Postoperativ und im FU war die koronare Imbalance (CSVL) in der Mobiler LIV-Tilt Gruppe signifikant kleiner (postop. $15.2\text{ mm} \pm 2.3\text{ mm}$; $22.4\text{ mm} \pm 1.8\text{ mm}$; $p = .014$; FU $7.6\text{ mm} \pm 2.5\text{ mm}$; $14.5\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$; $p = .032$). Die Reduktion von präoperativer zu FU CSVL war in der Mobiler LIV-Tilt Gruppe signifikant besser ($-9.3^\circ \pm 12.6^\circ_{SD}$; $-0.9^\circ \pm 11.6^\circ_{SD}$; $p = .011$) (s. Abb. 3.33 (a)). Eine postoperative Verbesserung der CSVL war in der Gruppe der Patienten mit einem mobilen LIV-Tilt daher ausgeprägter vorhanden. Der präoperative LIVDA war in der Mobiler

LIV-Tilt Gruppe signifikant größer ($10.2^\circ \pm 0.7^\circ$; $6.5^\circ \pm 0.52$; $p < .001$), die postoperative und FU Korrekturen des LIVDA waren signifikant besser (postop. $-5.0^\circ \pm 5.1^\circ$ SD; $-2.4^\circ \pm 4.7^\circ$ SD; $p = .024$, FU $-5.4^\circ \pm 4.1^\circ$ SD; $-2.8^\circ \pm 4.4^\circ$ SD; $p = .017$), sodass zu diesen Zeitpunkten kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen mehr bestand (s. Abb. 3.33 (b)).



(a)



(b)

Abb. 3.33: Verlauf der CSVL (a) und des LIVDA (b) im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und Ø Mobiler LIV-Tilt

Der T1-Tilt war im FU signifikant kleiner ($5.8^\circ \pm 1.1^\circ$; $8.7^\circ \pm 0.9^\circ$; $p = .038$) und die präoperative transversale Rippenbuckelausprägung (RHA) signifikant größer ($16.4^\circ \pm 5.0^\circ$ SD; $13.5^\circ \pm 5.6^\circ$ SD; $p = .043$). Es bestand eine signifikante Korrelation zwischen Mobilem LIV-Tilt und FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ ($p = .003$). Bei 67 Patienten konnten beide Merkmale bestimmt werden, 26 Patienten aus dieser Gruppe wiesen präoperativ einen Mobilen LIV-Tilt auf, davon hatten 24 Patienten (92.3%) im FU einen L4-Tilt $\leq 10^\circ$. Von den 41 Patienten, die das Kriterium Mobiler LIV-Tilt nicht erfüllten, hatten 24 Patienten (58.5%) einen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ (s. Abb. 3.34). Eine weitere signifikante Korrelation bestand zwischen Mobilem LIV-Tilt und FU CSVL ≤ 20 mm ($p = .025$). 96% derjenigen Patienten, die präoperativ einen Mobilen LIV-Tilt hatten, hatten im FU eine CSVL ≤ 20 mm, nur ein Patient mit einem präoperativen Mobilen LIV-Tilt zeigte im FU eine CSVL > 20 mm. Im Gegensatz dazu hatten 25.6% aus der Gruppe, die präoperativ kei-

nen Mobilern LIV-Tilt hatten, eine bleibende koronare Imbalance > 20 mm (s. Kapitel 3.4.4). Die Ergebnisse und signifikanten Unterschiede der Gruppen Mobiler LIV-Tilt und \emptyset Mobiler LIV-Tilt werden in Tab. A.6 und A.25 zusammengefasst (s. Anhang A).

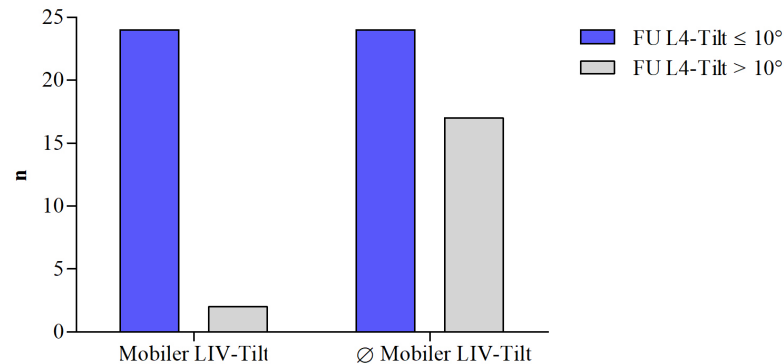


Abb. 3.34: Korrelation zwischen präop. Mobilem LIV-Tilt und FU L4-Tilt

3.4.6 Mobiler L4-Tilt

Bei 83 Patienten (97.6%) konnte präoperativ der Parameter L4-Tilt in der Standard p. a.-Aufnahme im Stehen und in der Bending-Aufnahme bestimmt werden. 21 Patienten (25.3%) hatten präoperativ einen Mobilern L4-Tilt (vgl. Abb. 2.29). Die koronare Imbalance (CSVL) war präoperativ in dieser Gruppe signifikant geringer als in der Vergleichsgruppe ($8.3 \text{ mm} \pm 2.8 \text{ mm}$; $18.9 \text{ mm} \pm 1.63$; $p = .001$), ebenso der präoperative LIV-Tilt ($16.8^\circ \pm 1.4^\circ$; $21.1^\circ \pm 0.8^\circ$; $p = .010$) und der präoperative L4-Tilt in der Standard- und konkaven Bendingaufnahme ($8.8^\circ \pm 1.4^\circ$; $15.9^\circ \pm 0.8^\circ$; $p < .001$; $4.2^\circ \pm 4.13\text{SD}$; $8.2^\circ \pm 5.0\text{SD}$; $p = .001$). Der Abstand zwischen dem LIV und der CSVL war präoperativ ebenfalls signifikant geringer ($13.2 \text{ mm} \pm 2.0 \text{ mm}$; $18.1 \text{ mm} \pm 1.2 \text{ mm}$; $p = .043$). Ein präoperativer Mobiler L4-Tilt hatte keine signifikanten positiven Auswirkungen auf die radiologischen postoperativen bzw. FU Parameter. Die Ergebnisse und signifikanten Unterschiede der Gruppen Mobiler L4-Tilt und \emptyset Mobiler L4-Tilt werden in Tab. A.7 und A.26 zusammengefasst (s. Anhang A).

3.4.7 Mobiler LIVDA

Bei 84 Patienten (98.8%) war die Bestimmung des präoperativen LIVDA in der Standard p. a.-Aufnahme und in der Bending-Aufnahme möglich. Bei 15 Patienten (17.9%) lag ein Mobiler LIVDA vor (s. Abb. 2.30). In der Mobiler LIVDA Gruppe wurden signifikant mehr Segmente fusioniert ($12.1 \pm 1.0\text{SD}$; $11.4 \pm 1.0\text{SD}$; $p = .028$). Der präoperative LIVDA war signifikant kleiner ($5.0^\circ \pm 1.0^\circ$; $8.5^\circ \pm 0.5^\circ$; $p = .002$), im weiteren Verlauf

bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bzgl. der Ausprägung des LIVDA. Postoperativ unterschieden sich beide Gruppen signifikant in der C7-SPL, mit weniger Abweichung der sagittalen Achse in der Mobiler LIVDA Gruppe ($5.4 \text{ mm} \pm 7.0 \text{ mm}$; $22.4 \text{ mm} \pm 3.1 \text{ mm}$; $p = .029$) und im UIV-Tilt ($17.5^\circ \pm 2.19$; $12.7^\circ \pm 1.0^\circ$; $p = .046$). Die LC war präoperativ signifikant größer ($63.4^\circ \pm 2.8^\circ$; $51.7^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$), ebenso im konvexen Bending ($39.1^\circ \pm 12.4^\circ \text{SD}$; $26.0^\circ \pm 14.0^\circ \text{SD}$; $p = .002$). Die LC Flexibilität war in der Mobiler LIVDA Gruppe signifikant geringer ($38.3\% \pm 19.1\% \text{SD}$; $52.2\% \pm 18.9\% \text{SD}$; $p = .022$), die FU LC Korrektur war signifikant besser ($60.8\% \pm 9.5\% \text{SD}$; $51.7^\circ \pm 16.6^\circ \text{SD}$; $p = .019$) (s. Abb. 3.35). Der präoperative L4-Tilt war sowohl in der Standard- als auch in der konvexen Bendingaufnahme in der Mobiler LIVDA Gruppe signifikant größer ($21.6^\circ \pm 1.7^\circ$; $12.6^\circ \pm 0.8^\circ$; $p < .001$; $21.6^\circ \pm 3.5^\circ \text{SD}$; $12.9^\circ \pm 7.0^\circ \text{SD}$; $p < .001$) und passte sich im Verlauf durch eine signifikant stärkere Korrektur der Vergleichsgruppe an (postop. $-14.6^\circ \pm 4.8^\circ \text{SD}$; $-5.8^\circ \pm 6.5^\circ \text{SD}$; $p < .001$, FU $-13.1^\circ \pm 5.2^\circ \text{SD}$; $-5.2^\circ \pm 6.8^\circ \text{SD}$; $p < .001$) (s. Abb. 3.36). Der präoperative Abstand des LIV zur CSVL war in der Mobiler LIVDA Gruppe ebenfalls signifikant größer ($23.3 \text{ mm} \pm 2.5 \text{ mm}$; $15.6 \text{ mm} \pm 1.1 \text{ mm}$; $p = .005$), dieser wurde postoperativ und im FU in signifikant größerem Ausmaß als in der Vergleichsgruppe reduziert (postop. $-9.0 \text{ mm} \pm 6.0 \text{ mmsd}$; $-0.4 \text{ mm} \pm 9.6 \text{ mmsd}$; $p < .001$, FU $-8.9 \text{ mm} \pm 5.2 \text{ mmsd}$; $-2.3 \text{ mm} \pm 8.7 \text{ mmsd}$; $p = .004$), sodass der Unterschied zwischen den Gruppen aufgehoben wurde (s. Abb. 3.37). Ergebnisse der Gruppen Mobiler LIVDA und \emptyset Mobiler LIVDA sowie signifikante Unterschiede werden in Tab. A.8 und A.27 zusammengefasst (s. Anhang A).

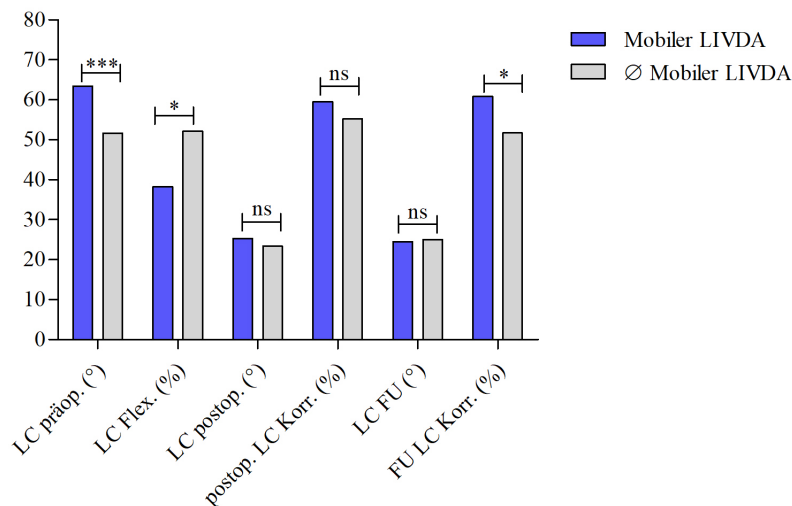


Abb. 3.35: Verlauf der LC im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \emptyset Mobiler LIVDA

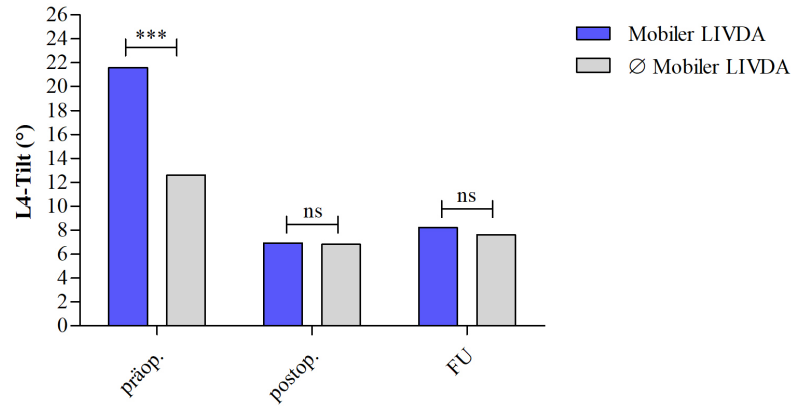


Abb. 3.36: Verlauf des L4 Tilt im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und ∅ Mobiler LIVDA

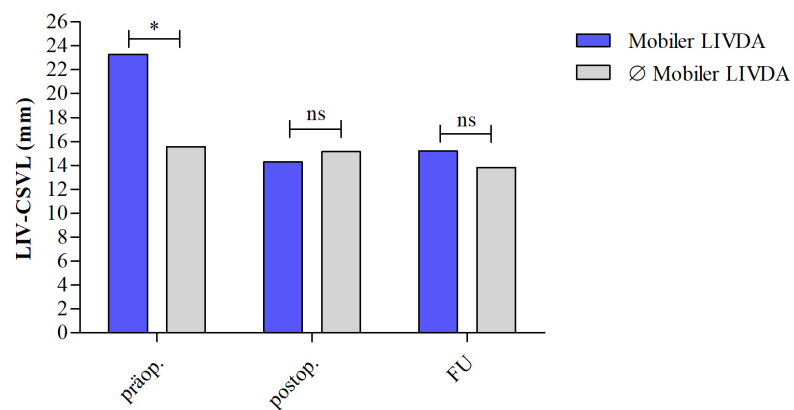


Abb. 3.37: Verlauf des Abstandes zwischen LIV und CSVL im Vergleich zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und ∅ Mobiler LIVDA

3.4.8 CSVL medial der LIV-Pedikel

Bei 84 Patienten (98.8 %) konnte präoperativ die CSVL in Bezug zu den LIV-Pedikeln bestimmt werden. Bei 26 Patienten (31.0 %) lag die CSVL präoperativ medial der LIV-Pedikel. In dieser Gruppe wurden signifikant weniger Segmente fusioniert ($11.2 \pm 1.2_{SD}$; $11.8 \pm 1.0_{SD}$; $p = .041$). Die Distanz zwischen dem SV und LIV war signifikant geringer ($0.5 \pm 1.1_{SD}$; $1.4 \pm 0.6_{SD}$; $p < .001$). Die Abweichung der koronaren Achse (CSVL) war zu allen Zeitpunkten in dieser Gruppe signifikant geringer (präop. $11.1 \text{ mm} \pm 2.5 \text{ mm}$; $18.4 \text{ mm} \pm 1.7 \text{ mm}$; $p = .015$, postop. $15.2 \text{ mm} \pm 2.4 \text{ mm}$; $22.2 \text{ mm} \pm 1.7 \text{ mm}$; $p = .020$, FU $6.0 \text{ mm} \pm 3.0 \text{ mm}$; $14.1 \text{ mm} \pm 1.8 \text{ mm}$; $p = .023$), ebenso der Abstand zwischen CSVL und LIV (präop. $4.2 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$; $22.5 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$; $p < .001$; postop. $11.2 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$; $16.5 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$; $p = .004$; FU $9.3 \text{ mm} \pm 1.7 \text{ mm}$; $15.9 \text{ mm} \pm 1.1 \text{ mm}$; $p < .001$). Die sagittale Achsenabweichung (C7-SPL) war postoperativ signifikant geringer als in der Vergleichsgruppe ($10.0 \text{ mm} \pm 5.1 \text{ mm}$; $25.2 \text{ mm} \pm 3.4 \text{ mm}$; $p = .014$). Die TC war präoperativ signifikant größer ($92.3^\circ \pm 2.3^\circ$; $86.3^\circ \pm 1.5^\circ$; $p = .031$), postoperativ und im FU bestand kein signifikanter Unterschied bzgl. der TC zwischen den beiden Gruppen. Die präoperative LC war in der Standard- und konvexen Bendingaufnahme signifikant kleiner (präop. $47.8^\circ \pm 2.1^\circ$; $56.4^\circ \pm 1.4^\circ$; $p < .001$, Bending $22.6^\circ \pm 9.6^\circ_{SD}$; $30.9^\circ \pm 15.9^\circ_{SD}$; $p = .004$). Der L4-Tilt war präoperativ und im konvexen Bending signifikant kleiner (präop. $7.7^\circ \pm 1.2^\circ$; $16.9^\circ \pm 0.8^\circ$; $p < .001$, Bending $10.2^\circ \pm 5.9^\circ_{SD}$; $16.3^\circ \pm 7.2^\circ_{SD}$; $p < .001$). Der LIVDA war sowohl prä- als auch postoperativ signifikant größer in der Gruppe mit einer präoperativen CSVL medial der LIV-Pedikel (präop. $11.4^\circ \pm 0.7^\circ$; $6.3^\circ \pm 0.5^\circ$; $p < .001$, postop. $6.1^\circ \pm 0.7^\circ$; $3.8^\circ \pm 0.5^\circ$; $p = .007$), wurde aber im Verlauf in signifikant größerem Ausmaß reduziert, sodass im FU kein Gruppenunterschied mehr bestand (postop. $-5.3^\circ \pm 4.0^\circ_{SD}$; $-2.6^\circ \pm 5.2^\circ_{SD}$; $p = .012$, FU $-6.0^\circ \pm 4.3^\circ_{SD}$; $-3.0^\circ \pm 4.3^\circ_{SD}$; $p = .018$) (s. Abb. 3.38). Der Rippenbuckel war präoperativ sowohl sagittal (RHHD) als auch transversal (RHA) signifikant stärker ausgeprägt (RHHD $46.3 \text{ mm} \pm 2.7 \text{ mm}$; $39.1 \text{ mm} \pm 1.8 \text{ mm}$; $p = .029$; RHA $16.8^\circ \pm 3.9^\circ_{SD}$; $13.1^\circ \pm 5.6^\circ_{SD}$; $p = .006$). Die Ergebnisse der Gruppen CSVL medial und \odot medial der LIV-Pedikel und signifikante Unterschiede werden in Tab. A.9 und A.28 zusammengefasst (s. Anhang A).

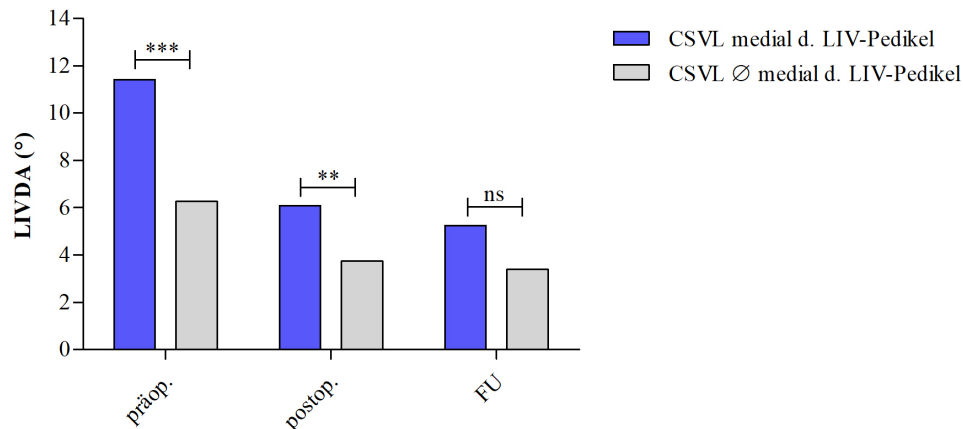


Abb. 3.38: Verlauf des LIVDA im Vergleich zwischen den Gruppen präop. CSVL medial der LIV-Pedikel und CSVL ∅ medial der LIV-Pedikel

3.4.9 LIV crossing midline

Bei 84 Patienten (98.8 %) konnte präoperativ der LIV in der Standard p. a.-Aufnahme im Stehen und in der Bending-Aufnahme bestimmt werden. 27 Patienten (32.1 %) erfüllten dabei das Kriterium LIV crossing midline in der Bendingaufnahme (s. Abb. 2.32). In dieser Gruppe wurden signifikant weniger Segmente fusioniert ($10.9 \pm 1.2\text{SD}$; $11.9 \pm 0.8\text{SD}$; $p < .001$) und der Abstand zwischen SV und LIV war signifikant geringer ($0.7\text{WK} \pm 1.0\text{WKSD}$; $1.4\text{WK} \pm 0.8\text{WKSD}$; $p = .002$). In der LIV crossing midline Gruppe war die LC zu allen Zeitpunkten signifikant kleiner als in der Vergleichsgruppe (präop. $43.8^\circ \pm 1.8^\circ$; $58.6^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$, postop. $18.2^\circ \pm 1.8^\circ$; $26.4^\circ \pm 1.2^\circ$; $p < .001$, FU $17.8^\circ \pm 2.0^\circ$; $28.5^\circ \pm 1.3^\circ$; $p < .001$). Die präoperative LC Flexibilität und die FU LC Korrektur waren jeweils signifikant besser als in der Vergleichsgruppe (Flex. $63.7\% \pm 17.2\%SD$; $43.0\% \pm 17.3\%SD$; $p < .001$; Korr. $60.1^\circ \pm 16.5^\circSD$; $50.4^\circ \pm 15.0^\circSD$; $p = .033$). Die CSVL nahm in der LIV crossing midline Gruppe im Verlauf kontinuierlich ab, wohingegen sie in der Vergleichsgruppe postoperativ zunächst zunahm und hier eine signifikant größere koronare Imbalance zeigte ($12.3\text{mm} \pm 2.4\text{mm}$; $23.7\text{mm} \pm 1.7\text{mm}$; $p < .001$). Die Reduktion der koronaren Imbalance (CSVL) war sowohl präoperativ zu postoperativ als auch präoperativ zu FU in der LIV crossing midline Gruppe signifikant besser (postop. $-5.5\text{mm} \pm 20.9\text{mmsd}$; $8.2\text{mm} \pm 15.0\text{mmsd}$; $p = .006$, FU $-10.6\text{mm} \pm 13.0\text{mmsd}$; $-1.9\text{mm} \pm 11.5\text{mmsd}$; $p = .019$) (s. Abb. 3.39). Der Abstand zwischen LIV und CSVL war zu allen Zeitpunkten signifikant kleiner (präop. $7.8\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$; $21.2\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$; $p < .001$, postop. $8.7\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$; $17.9\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$; $p < .001$, FU $5.8\text{mm} \pm 1.7\text{mm}$; $17.4\text{mm} \pm 1.1\text{mm}$; $p < .001$). Eine signifikant bessere Korrektur in der LIV crossing midline Gruppe ergab sich außerdem für den LIV-Tilt (postop. $-14.9^\circ \pm 6.9^\circSD$; $-10.8^\circ \pm 8.6^\circSD$; $p = .021$, FU $-15.0^\circ \pm 6.6^\circSD$; $-9.5^\circ \pm 8.1^\circSD$; $p = .006$) (s. Abb. 3.40) und den LIVDA (postop. $-5.9^\circ \pm 4.0^\circSD$; $-2.2^\circ \pm 5.1^\circSD$; $p = .001$, FU

$-7.1^\circ \pm 3.7^\circ_{SD}$; $-2.5^\circ \pm 4.0^\circ_{SD}$; $p < .001$) (s. Abb. 3.41). LIVDA und LIV-Tilt waren beide präoperativ in der LIV crossing midline Gruppe signifikant größer (LIVDA $11.1^\circ \pm 0.7^\circ$; $6.5^\circ \pm 0.5^\circ$; $p < .001$, LIV-Tilt $24.4^\circ \pm 1.2^\circ$; $17.6^\circ \pm 0.9^\circ$; $p < .001$) und zeigten postoperativ sowie im FU keinen signifikanten Unterschied mehr. Der L4-Tilt war sowohl präoperativ als auch im FU signifikant kleiner (präop. $8.6^\circ \pm 1.2^\circ$; $16.7^\circ \pm 0.8^\circ$; $p < .001$, FU $5.2^\circ \pm 1.3^\circ$; $8.8^\circ \pm 0.9^\circ$; $p = .025$). Die Ergebnisse der Gruppen LIV crossing und LIV \emptyset crossing midline sowie signifikante Unterschiede werden in Tab. A.10 und A.29 dargestellt (s. Anhang A).

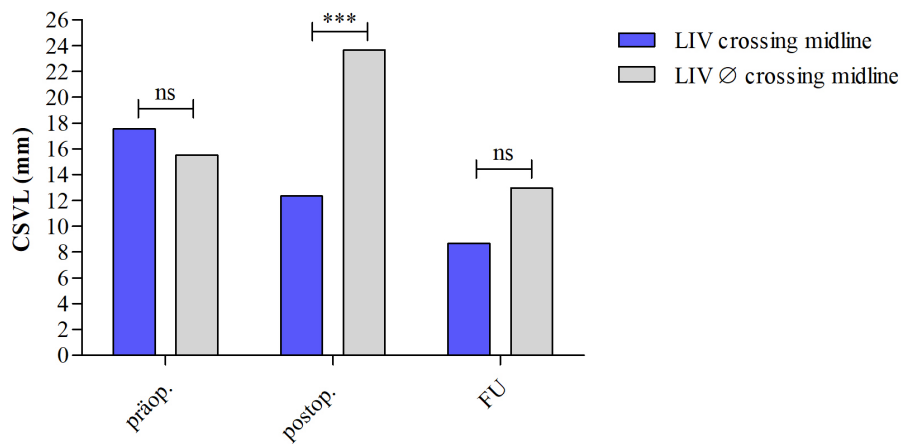


Abb. 3.39: Verlauf der CSVL im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \emptyset crossing midline

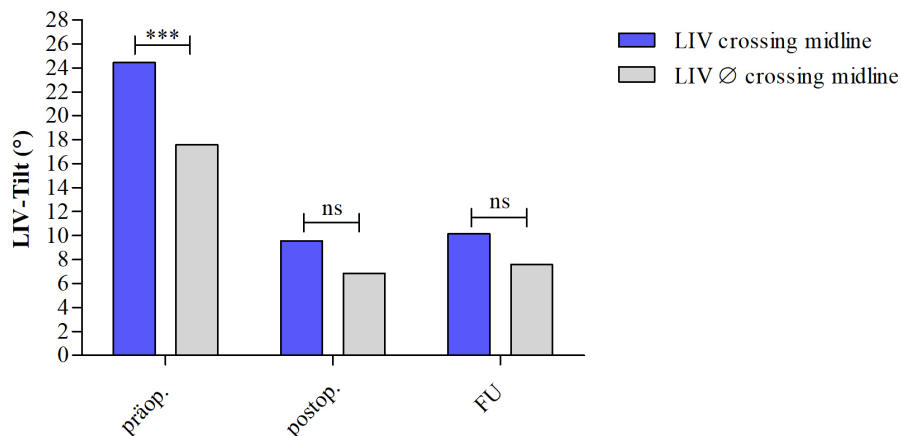


Abb. 3.40: Verlauf des LIV-Tilt im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \emptyset crossing midline

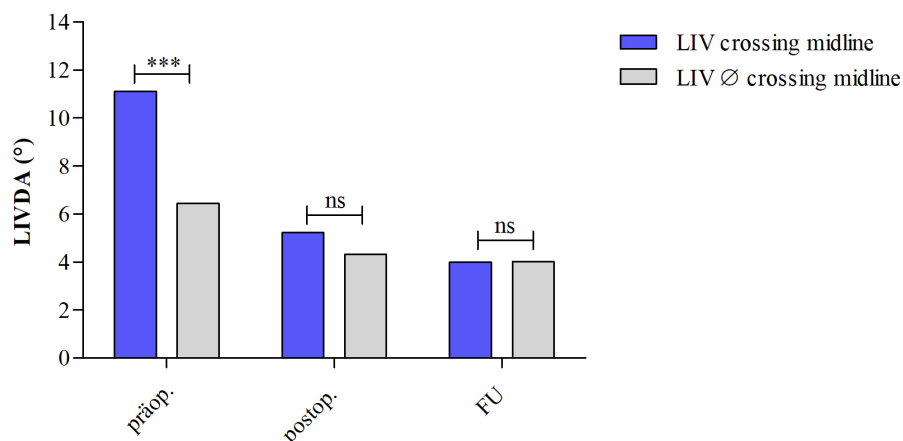


Abb. 3.41: Verlauf des LIVDA im Vergleich zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV ∅ crossing midline

3.5 Entwicklung der Lungenfunktion nach CTP

Von 27 Patienten aus der CTP-Gruppe (42.9%) lagen sowohl prä- als auch postoperative Spirometrieergebnisse vor. Das zeitliche Intervall zwischen präoperativer und zuletzt durchgeführter Spirometriemessung lag bei 29 Monaten (6 - 147 Monate). Die FVC betrug präoperativ $66.0\% \pm 3.3\%$ und postoperativ $59.4\% \pm 2.1\%$, der Unterschied war nicht signifikant ($p > .05$). Bei 19 Patienten aus dieser Gruppe (70.4%) verschlechterte sich die FVC (%) um absolut $12.6\% \pm 2.1\%$, bei 8 Patienten (29.6%) erfolgte eine Verbesserung um absolut $7.5\% \pm 1.6\%$. Die FU FVC (%) korrelierte stark mit der präoperativen FVC (%) ($r = .70$, $p < .001$) (Verlauf und Korrelation s. Abb. 3.42). Signifikante Korrelationen zwischen der prä- und postoperativen FVC (%) -Differenz und weiteren Variablen fasst Tab. A.19 zusammen (s. Anhang A).

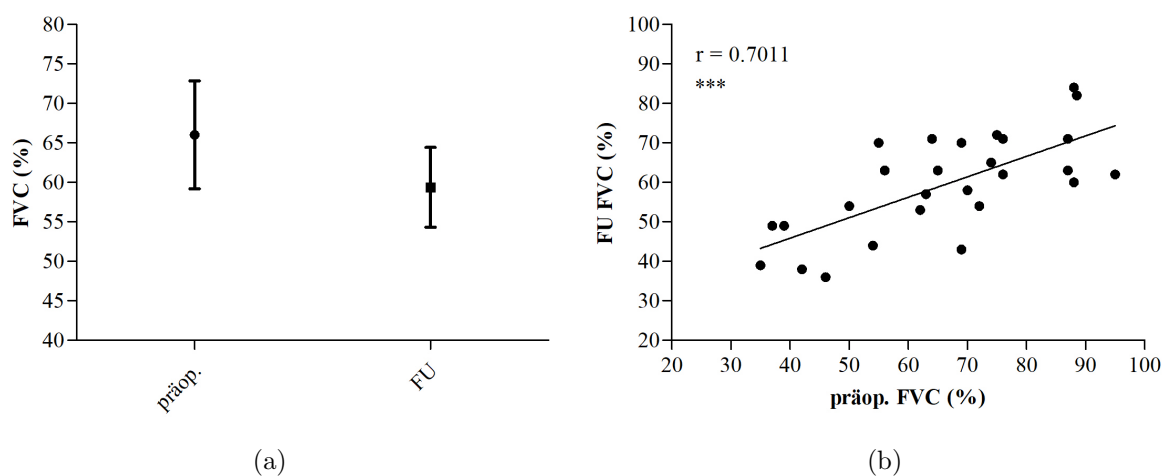


Abb. 3.42: Unterschied (a) und Korrelation (b) zwischen präop. und postop. FVC (%) nach DKS + CTP

3.6 SRS-24 Ergebnisse

Von den ausgehändigten SRS-24 Fragebögen wurden 36 beantwortet und zurückgeschickt, davon konnten 25 Fragebögen vollständig ausgewertet werden (11 Fragebögen waren unvollständig und konnten in der Gesamtpunktwertung nicht berücksichtigt werden, wurden aber in den jeweiligen Unterkategorien gewertet). Klinische Ergebnisse auf Grundlage der ausgewerteten Fragebögen waren 94.4 ± 11.3 Gesamtpunkte (71-112). Die Gesamtpunktzahl korrelierte signifikant negativ mit dem Alter zum Zeitpunkt des FU ($r = -.57$; $p = .009$) und mit dem präoperativen RHA ($r = -.65$; $p = .007$). Die Ergebnisse der Unterkategorien waren wie folgt: Schmerz: 27.7 Pkt. \pm 6.2 Pkt. ($n = 31$); Selbstbild präoperativ: 10.6 Pkt. \pm 2.2 Pkt. ($n = 32$); Selbstbild postoperativ: 10.8 Pkt. \pm 2.0 Pkt. ($n = 30$); Aktivität bzgl. des Rückens: 12.2 Pkt. \pm 1.4 Pkt. ($n = 30$); allgemeine Aktivität präoperativ: 12.6 Pkt. \pm 2.0 Pkt. ($n = 29$); allgemeine Aktivität postoperativ: 6.1 Pkt. \pm 2.6 Pkt. ($n = 31$); Zufriedenheit mit dem Eingriff: 12.8 Pkt. \pm 2.2 Pkt. ($n = 32$).

4 Diskussion

Hochgradige Skoliosen sind aufgrund ihrer Rigidität und ihres komplexen dreidimensionalen Einflusses auf den gesamten Thorax schwierig zu operieren. Es gibt in der Literatur nur wenige Studien über die Therapie von Skoliosen mit einer Ausprägung $\geq 80^\circ$, diese beinhalten geringe bis mittelgroße Fallzahlen ($n = 30.1; 11 - 68$) und häufig heterogene Patientengruppen bzgl. der Ätiologie der Skoliose (Helenius, Mattila und Jalanko 2014; Kandwal et al. 2016; Mehrpour et al. 2017; Tokunaga et al. 2000; Watanabe et al. 2008; Yamin et al. 2008; Zang et al. 2017). Ein Vergleich der Studien untereinander ist deshalb schwierig und Aussagen über radiologische und klinische Korrekturergebnisse sowie präoperative und operative Einflüsse darauf sind nur eingeschränkt möglich. Ziel der Arbeit war, die bisherige Datenlage zur Therapie von hochgradigen Skoliosen $\geq 80^\circ$ mit der in diesem Bereich bisher größten und einer bzgl. der Ätiologie homogenen Studiengruppe zu verbessern und mögliche Einflüsse relevanter radiologischer und klinischer Parameter auf die Korrekturergebnisse zu untersuchen.

4.1 Radiologischer und klinischer Verlauf

Der radiologische und klinische Verlauf von moderaten adoleszenten idiopathischen Skoliosen nach unterschiedlichen operativen Eingriffen wurde in der Vergangenheit in zahlreichen Studien untersucht (Bodman et al. 2017; De la Garza Ramos et al. 2016; Hurford et al. 2006; Lonner et al. 2009; Mimura et al. 2017; Na et al. 2008; Ohrt-Nissen et al. 2017). Im Gegensatz dazu gibt es bisher wenige Daten bzgl. des postoperativen Verlaufs von hochgradigen Skoliosen $> 80^\circ$. Das ventrale Release mit anschließender dorsaler Fusion war und ist ein gängiges Verfahren zur Korrektur dieser Skoliosen (Bridwell 1999; Kandwal et al. 2017; Lenke 2003; Niemeyer et al. 2000; Wagner, Lehman und Lenke 2015). Nachteile eines zusätzlichen ventralen Eingriffs sind jedoch das größere operative Trauma, ein größerer Blutverlust, eine längere Operationszeit und Krankenhausaufenthaltsdauer des Patienten, höhere Komplikationsraten sowie der negative Einfluss auf die Lungenfunktion im Vergleich zu dorsalen Korrekturen ohne ventrales Release (Coe et al. 2006; Kim et al. 2005; Zhang et al. 2011). Als Alternative ist in den letzten Jahren durch die Entwicklung verbesserter chirurgischer Korrekturtechniken und den vermehrten Einsatz von thorakalen Pedikelschrauben die dorsale Fusion ohne vorheriges ventrales Release auch bei hochgradigen Skoliosen in den Fokus gerückt und wird hinsichtlich der Korrekturergebnisse diskutiert (Cheng et al. 2017; Dobbs et al. 2006; Kuklo et al. 2005; Luhmann et al. 2005; Suk et al. 2007; Wagner, Lehman und Lenke 2015; Watanabe et al. 2008; Zhang et al. 2011).

In der Studiengruppe der vorliegenden Arbeit konnte die koronare thorakale Ausprägung der Skoliose durch die dorsale Korrekturspondylodese postoperativ auf die Hälfte reduziert werden und zeigte im weiteren Verlauf nur einen geringen Korrekturverlust bis zum FU (Korrekturrate 50.2 %; FU 47.1 %). Lumbal fand eine postoperative Korrektur von 55.9 % statt (FU 53.1 %). Diese Ergebnisse reihen sich im mittleren Bereich der bisher veröffentlichten Korrekturergebnisse von Patienten mit hochgradigen idiopathischen Skiosen $\geq 80^\circ$ nach dorsalem Eingriff ein. In der Literatur werden Korrekturraten der Hauptkrümmung von 44 % (Dobbs et al. 2006) bis 71 % (Zheng et al. 2013) genannt (durchschnittlich 52 %). Die Studien, in denen bei den Patienten zusätzlich ein ventrales Release durchgeführt wurde, zeigen einen ähnlichen Bereich der Korrekturergebnisse von 44 % (Dobbs et al. 2006) bis 68 % Kuklo et al. 2005 (durchschnittlich 57 %). Die Ergebnisse der bisherigen Studien und die operativen Ergebnisse in dieser Arbeit zeigen vergleichbar gute koronare Korrekturen von hochgradigen adoleszenten idiopathischen Skiosen durch die dorsale Fusion und Instrumentation ohne ventrales Release wie das kombinierte Verfahren mit ventralem Release.

Neben der Korrektur der lateralen Wirbelsäulenverkrümmung spielt die Herstellung der koronaren und sagittalen Balance eine wichtige Rolle in der Therapie von Skiosen (Aaro und Ohlund 1984; Ferraris et al. 2012; Ilharreborde 2018; Ishikawa et al. 2015; Koller et al. 2016; Sucato et al. 2008). In der Studiengruppe kam es direkt postoperativ vorübergehend zu einer geringfügigen, nicht signifikanten Verschlechterung der C7-SPL und CSVL, beide Parameter konnten jedoch im Verlauf insgesamt signifikant verbessert werden und zeigten durchwegs gute Ergebnisse im FU (CSVL präop. 16.2 mm, FU 12.0 mm; C7-SPL präop. 13.0 mm, FU 5.1 mm).

Ein weiterer Aspekt, der in der Skiosechirurgie beachtet werden muss, ist der Einfluss operativer Eingriffe der Wirbelsäule auf die TK (Sucato et al. 2008; Suk et al. 1999). Eine Reduktion der TK nach der operativen Korrektur von Skiosen wurde in der Vergangenheit in mehreren Studien beschrieben und in Zusammenhang mit der Verwendung von thorakalen Pedikelschrauben diskutiert (Clements et al. 2009; Vora et al. 2007). Im Gegensatz dazu zeigten Suk et al. in einer früheren Studie eine Verbesserung der TK - d. h. eine Steigerung der Kyphose bei Lordoskiosen - durch den Einsatz von Pedikelschrauben (Suk et al. 1999), sodass diesbezüglich Uneinigkeit besteht. Eine thorakale Hypokyphose kann zu Einschränkungen der Lungenfunktion und durch dekompensierende Mechanismen im lumbalen Bereich zu Bandscheibendegenerationen führen (Aaro und Ohlund 1984; Bernstein et al. 2014; Harding et al. 2008; Yaszay et al. 2017) und sollte daher vermieden werden. In der Studiengruppe dieser Arbeit reduzierte sich die TK nach der DKS im Vergleich zum präoperativen Wert (präop. 35.6° ; postop. 27.3°), verbesserte sich im Verlauf jedoch wieder und blieb mit 30.8° im FU in einem guten physiologischen Bereich. Ein Einfluss der Hook Ratio auf die postoperative TK konnte dabei nicht festgestellt werden, allerdings war die postoperative TK-Reduktion

in den Gruppen, in denen perioperative Komplikationen auftraten bzw. Revisionseingriffe folgten, jeweils signifikant stärker als in den jeweiligen Vergleichsgruppen (Kompl.: -15.7° vs. -6.4° ; Rev.: -18.3° vs. -6.3°), sodass die TK-Reduktion einen Risikofaktor für perioperative Komplikationen darstellen kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in beiden Gruppen präoperativ deutlich größere Ausprägungen der TK vorlagen als in den Vergleichsgruppen (Kompl.: 46.2° vs. 32.7° ; Rev.: 52.7° vs. 31.9°).

Abgesehen von den radiologischen Parametern hat für die Patienten mit hochgradigen Skoliosen und zusätzlicher Rippenbuckeldeformität v. a. die Korrektur der kosmetischen Beeinträchtigung eine relevante Bedeutung und stellt für sie ein Hauptziel eines operativen Eingriffs dar (Koller et al. 2017; Lykissas et al. 2015; Suk et al. 2008). Die konvexe Thorakoplastik (TP) ist ein konventionelles Verfahren, das zur Reduktion des Rippenbuckels bei Skoliosepatienten angewendet wird (Geissele et al. 1994; Lenke et al. 1995; Min, Waelchli und Hahn 2005). Als Komplikation dieser Operation werden v. a. negative Auswirkungen auf die durch die Skoliosedeformität meist ohnehin schon eingeschränkte Lungenfunktion diskutiert (Dreimann et al. 2014; Gregg et al. 2010; Newton et al. 2007). Durch die Technik der direkten vertebralen Derotation (DVD) und den etablierten Einsatz von Pedikelschrauben mit dem Effekt der lateralen Translation konnte neben der Krümmung der Skoliose auch die Korrektur des Rippenbuckels in den letzten Jahren verbessert werden (Hwang et al. 2012; Suk et al. 2008), sodass seither die Indikation der TP als zusätzlicher Eingriff zur DVD reevaluiert wird (Hwang et al. 2012; Samdani et al. 2012). Einige Autoren sehen in dem kombinierten Verfahren mit DVD und TP die beste Möglichkeit zur effektiven Reduktion des Rippenbuckels bei Skoliosepatienten (Rushton und Grevitt 2014; Samdani et al. 2012; Suk et al. 2008). Suk et al. erzielten durch das kombinierte Verfahren mit DVD und TP eine hohe Korrekturrate von 72 % (gemessen mit dem Skoliometer), allerdings fehlte in deren Studie eine Vergleichsgruppe mit DVD und ohne TP. Hwang et al. zeigten in ihrer Studie eine Korrekturrate des Rippenbuckels von 54 % durch die Durchführung der DVD ohne zusätzliche TP (Hwang et al. 2012), ähnliche Ergebnisse beschrieben Samdani et al. in ihrer Studie (50 % Korrektur durch DVD) (Samdani et al. 2012). In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der DKS mit und ohne CTP (Patienten mit TP wurden ausgeschlossen) auf die Rippenbuckeldeformität (definiert als RHHD) untersucht. Insgesamt konnte eine deutliche Reduktion und ein gutes sagittales Rumpfprofil erreicht werden (präop. 40.6 mm, FU 22.5 mm). Durch die unterschiedlichen präoperativen Charakteristika der Vergleichsgruppen (Alter, präop. RHHD, Implantatdichte, Hook Ratio, Flexibilität, präop. TC) konnte der zusätzliche Einfluss der CTP auf die Ausprägung des Rippenbuckels statistisch jedoch nicht quantifiziert werden, hierfür sind weitere Studien mit homogenen Vergleichsgruppen abzuwarten. Für eine sehr kleine Patientengruppe ($n = 6$), für die sowohl die radiologischen Daten bzgl. des Rippenbuckels erhoben werden konnten als auch SRS-24-Daten vorlagen, konnte eine starke Korre-

lation zwischen der Reduktion der RHHd und der Zufriedenheit mit dem operativen Ergebnis beobachtet werden ($r = -.83$). Dies spiegelt die Bedeutung der kosmetischen Korrektur für klinische Ergebnisse wider.

Die SRS-24 Evaluation ergab mit einer Gesamtpunktzahl von 94.4 Punkten zum Zeitpunkt des FU und 12.8 Punkten in der Unterkategorie „Zufriedenheit“, unter Berücksichtigung der unvollständigen Teilnehmerzahl, gute klinische Ergebnisse nach dem operativen Eingriff. Eine signifikante Korrelation zwischen der radiologischen Korrektur der Skoliose und den klinischen Ergebnissen konnte nicht festgestellt werden, dies spiegelt Ergebnisse aus vergangenen Studien wider (Bridwell et al. 2007; Danielsson 2007).

Insgesamt erzielte die DKS in der Studiengruppe dieser Arbeit gute radiologische und klinische Ergebnisse bei Patienten mit AIS $\geq 80^\circ$. Sie ist, wie bereits in einigen Studien beschrieben, ein geeignetes Verfahren für die Korrektur hochgradiger und rigider Skoliosen, bei der die erwähnten Risiken eines zusätzlichen ventralen Eingriffs vermieden werden können und sollte deshalb als Alternative in Erwägung gezogen werden (Arlet, Jiang und Quellet 2004; Cheng et al. 2017; Crostelli et al. 2013; Dobbs et al. 2006; Luhmann et al. 2005; Zhang et al. 2011).

Hook Ratio

Ein weiterer Ansatzpunkt bisheriger Diskussionen in der Skoliosechirurgie ist die Verwendung von PS-Systemen im Vergleich zu Laminahaken bzw. Hybrid-Systemen. Die Vorteile von Pedikelschrauben gegenüber Haken wurden in mehreren Studien beschrieben und beinhalten eine bessere dreidimensionale Korrektur der Skoliose durch eine stärkere Fixierung im Wirbelkörper, weniger Korrekturverlust im zeitlichen Verlauf sowie geringere Komplikationsraten (Clements et al. 2009; Crostelli et al. 2013; Gaines 2000; Kim et al. 2006; Luo et al. 2017; Ohrt-Nissen et al. 2017; Suk et al. 1995; Yilmaz et al. 2012). Auch bei hochgradigen Skoliosen wurde der Einsatz von Pedikelschrauben untersucht und als sichere Methode beschrieben (Kuklo et al. 2005; X. Li et al. 2017b).

Von den Studien zur Therapie hochgradiger Skoliosen $\geq 80^\circ$ befassten sich drei primär mit dem Vergleich zwischen PS- und Hybridsystemen (Di Silvestre et al. 2008; Helenius, Mattila und Jalanko 2014; Watanabe et al. 2008). Ebenso wie in Studien zu moderaten Skoliosen konnten auch hier bessere Korrekturergebnisse mit weniger Korrekturverlust durch PS-Systeme ohne Einsatz von Laminahaken erzielt werden. Die Untersuchung bzgl. der Komplikationsraten im Vergleich zwischen den Instrumentations-Systemen lieferten in diesen Studien unterschiedliche Ergebnisse. Helenius et al. verglichen 15 Patienten mit Hybridsystem mit 17 Patienten mit PS-System und zeigten mehr Komplikationen in der Hybrid-Gruppe im Vergleich zur PS-Gruppe (40 % vs. 29 %; ns) (Helenius, Mattila und Jalanko 2014). Studienergebnisse von Di Silvestre

et al. zeigten im Vergleich zwischen Hybrid- und Pedikelschrauben-Systemen in der Therapie von Skoliosen $\geq 80^\circ$ weniger Komplikationen in der Hybrid-Gruppe (25.9 % vs. 44.0 %), jedoch mehr indizierte Revisionseingriffe (11.1 % vs. 4.0 %) (Di Silvestre et al. 2008). In der Studie von Watanabe et al. konnte kein signifikanter Unterschied bzgl. der Komplikationsraten zwischen PS- und Hybrid-Systemen festgestellt werden (Watanabe et al. 2008). In die Studiengruppe der vorliegenden Arbeit wurden sowohl Patienten mit der Versorgung durch Hybrid- als auch PS-Systemen inkludiert und anschließend die Hook Ratio als kontinuierlicher Parameter analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass eine steigende Hook Ratio einen negativen Einfluss auf die Komplikationsrate der Studiengruppe hatte. Die Gruppe, in der perioperative Komplikationen auftraten, wies eine 10 % höhere Hook Ratio auf als die Vergleichsgruppe ohne Komplikationen ($p = .043$). Ebenso war die Hook Ratio in der Revisionsgruppe deutlich höher (27.8 % vs. 17.5 %; ns). Diese Ergebnisse unterstützen den allgemeinen Trend zum Einsatz von PS-Systemen in der Korrektur hochgradiger Skoliosen.

Fusionslänge

Die optimale Länge der Fusionsstrecke in der operativen Versorgung von Skoliosen und die Bestimmung des LIV wurden und werden nach wie vor kontrovers diskutiert (Ding et al. 2014; Erickson und Baulesh 2011; Marks et al. 2015; Rizkallah et al. 2017; Trobisch et al. 2013). Studien haben gezeigt, dass eine längere Fusionsstrecke im lumbalen Bereich zu mehr Einschränkungen der postoperativen Wirbelsäulenmobilität und -funktion, vermehrten Rückenschmerzen und degenerativen Bandscheibenveränderungen führen kann (Cochran, Irstam und Nachemson 1983; Danielsson et al. 2001; Fan et al. 2016; Hayes et al. 1988; Wilk et al. 2006). Im Gegensatz dazu beschrieben Zang et al. in ihrer Studie, in der sie Risikofaktoren für ein distales „adding-on“ (Progredienz der Skoliosekrümmung distal der Fusion) bei hochgradigen Skoliosen untersuchten, eine signifikant kürzere Fusionslänge bei derjenigen Patientengruppe, bei der es im Verlauf zu einem distalen adding-on kam (Zang et al. 2017). Die Silvestre et al. beschrieben in ihrer Studie hingegen ein aufgetretenes adding-on-Phänomen in der Hybrid-Gruppe, die im Vergleich zur PS-Gruppe eine längere Fusionsstrecke aufwies (Di Silvestre et al. 2008).

In der statistischen Analyse der vorliegenden Arbeit wurde neben der Hook Ratio die Länge der Fusionsstrecke als operativer Einflussfaktor auf perioperative Komplikationen ermittelt. Die Studiengruppe, bei der im Verlauf Komplikationen auftraten, sowie die Revisionsgruppe, wiesen eine signifikant längere Fusion auf als die jeweiligen Vergleichsgruppen. Außerdem bestand eine geringe inverse Korrelation zwischen der Fusionslänge und der TC Korrektur im FU ($r = -.22$; $p = .04$). Beides spricht dafür, dass Patienten, welche aufgrund ihrer schweren Krümmung eine längere Fusionsstre-

cke erforderlich machen, einem erhöhten Risiko für das Eintreten von Komplikationen ausgesetzt sind.

4.2 Haupteinflussgrößen auf die thorakale Skoliosekorrektur

Als positiv korrelierende Haupteinflussgrößen auf die postoperative thorakale Skoliosekorrektur konnten in der Studiengruppe als präoperativer Parameter die Flexibilität der Wirbelsäule ($r = .55$) sowie als operativer Parameter die Implantatdichte ($r = .49$) ermittelt werden. Negativ wurde die postoperative thorakale Korrekturrate v. a. von der präoperativen Ausprägung der TC ($r = -.42$) und der Restkrümmung der TC im konvexen Bending ($r = -.60$) sowie dem Patientenalter ($r = -.33$) beeinflusst.

Implantatdichte

Die optimale Implantatdichte in der operativen Therapie von Skoliosen wurde in der Vergangenheit in mehreren Studien untersucht und ist immer noch Gegenstand aktueller Diskussionen. Insgesamt ging der Trend im Verlauf der letzten Jahre zum Einsatz einer höheren Implantatdichte, um eine bessere dreidimensionale Skoliosekorrektur zu erzielen (Clements et al. 2009; Yang et al. 2011). In einigen Studien konnte wie in dieser Arbeit eine positive Korrelation zwischen der Implantatdichte und der koronaren Korrekturrate festgestellt werden (Chen et al. 2013; Clements et al. 2009; Ketenci et al. 2016; Larson et al. 2014). Ketenci et al. zeigten zusätzlich eine signifikant bessere Korrektur der AVR durch eine höhere Implantatdichte mit fortlaufend eingesetzten Pedikelschrauben und bessere klinische Ergebnisse im SAQ (spinal appearance questionnaire) (Ketenci et al. 2016). Im Gegensatz dazu konnten andere Studien die Korrelation zwischen Implantatdichte und Korrekturrate nicht bestätigen und beschrieben ähnlich gute Korrekturen der Skoliose im Vergleich zwischen Patientengruppen mit hoher bzw. niedriger Implantatdichte mit dem Nachteil von höheren Material- und Operationskosten bei dem Einsatz einer höheren Implantatdichte (Bharucha et al. 2013; M. Li et al. 2009; Quan und Gibson 2010). Chen et al. differenzierten in einer Studie über die Korrektur von Lenke 5 AIS zwischen dem Einfluss der Implantatdichte auf die prozentuale postoperative Korrekturrate und dem Einfluss auf den SKI unter Eliminierung des Einflusses der Flexibilität auf die Korrektur. Sie beobachteten dabei eine positive signifikante Korrelation zwischen der Implantatdichte und der koronaren Korrekturrate ($r = .43$), ohne jedoch eine signifikante Korrelation zwischen der Implantatdichte und dem SKI zu zeigen und schlussfolgerten daraus, dass die unterschiedliche Flexibilität der Wirbelsäule primär verantwortlich für die unterschiedlichen Ergebnisse ist (Chen et al. 2013). In der Studiengruppe der vorliegenden Arbeit korrelierte die Im-

plantatdichte schwach mit der präoperativen Flexibilität ($r = .23$; $p = .034$), was diese Feststellung bekräftigt. Um Auswirkungen der Implantatdichte in der Skoliotherapie zu untersuchen, sollten die jeweiligen Vergleichsgruppen dementsprechend eine ähnliche Flexibilität aufweisen.

ASKI

Der ASKI wurde in dieser Arbeit definiert und analysiert, um eine Aussage zur globalen Skoliosekorrektur (thorakal und lumbal) basierend auf der präoperativen Flexibilität bei hochgradigen Skoliosen treffen und objektivieren zu können. Dabei waren die Haupteinflussfaktoren auf den direkten postoperativen ASKI zum einen die präoperativen Ausprägungen der TK ($r = .36$) und der LC ($r = .41$), für die ein signifikantes Prädiktionsmodell entwickelt werden konnte (s. Abb. 3.18), und zum anderen die Durchführung von Ponte Osteotomien, v. a. in Verbindung mit einer Implantatdichte von $> 80\%$.

Der ASKI kann in zukünftigen Studien als Parameter verwendet werden, um Korrekturergebnisse der globalen Skoliosedeformität unter Berücksichtigung der präoperativen Flexibilität zu vergleichen. Die Patientengruppen sollten für zukünftige Fall- und Studienvergleiche bzgl. der präoperativen Flexibilität, der präoperativen TK, der Anzahl durchgeführter Ponte Osteotomien, der Implantatdichte und der chirurgischen Korrekturtechnik homogen sein, um deren jeweiligen Einfluss auf die Korrektur zu eliminieren.

4.3 Einflussfaktoren auf die Horizontalisierung von L4

Studien haben gezeigt, dass eine gesteigerte Neigung der distalen lumbalen Wirbelkörper zu degenerativen Veränderungen der darunterliegenden Bandscheiben, zu vermehrten Schmerzen und zu einem Beckenschiefstand führen kann (Cho et al. 2017; Nohara et al. 2015; Schwab et al. 2002). Nohara et al. beschrieben einen signifikanten Einfluss des L4-Tilts auf die Entwicklung von postoperativen degenerativen Bandscheibenveränderungen im Bereich der distalen nicht-fusionierten Wirbelsegmente. Sowohl präoperativ als auch im FU hatte die Patientengruppe in deren Studie, bei der es im Verlauf zu degenerativen Bandscheibenveränderungen kam, einen größeren L4-Tilt (Nohara et al. 2015). In anderen Studien zeigten Schwab et al. eine signifikante positive Korrelation zwischen einem L4-Tilt und anhand der Visuellen Analogskala (VAS) dokumentierten Schmerzen ($r = .38$) (Schwab et al. 2002) sowie Cho et al. eine Korrelation zwischen L4-Tilt und einem Beckenschiefstand ($r = .31$) (Cho et al. 2017). Das Dilemma zwischen dem Ziel einer möglichst kurzen Fusionsstrecke der Wirbelsäule, um

dadurch mobile Wirbelsegmente zu erhalten und dem Ziel einer möglichst guten Reduktion der Neigungswinkel von L3 bzw. L4 durch eine dementsprechend längere Fusion bis L4 oder darunter wird von Akazawa et al. beschrieben (Akazawa et al. 2017). Eine möglichst horizontale postoperative Ausrichtung des L4 Wirbelkörpers ist aufgrund der genannten Risiken und Komplikationen relevant in der Therapie der AIS und wurde bzgl. potenzieller Einflussfaktoren in der vorliegenden Arbeit analysiert. Der L4-Tilt konnte in der Studiengruppe durch die DKS deutlich verbessert und auf etwa die Hälfte reduziert werden (präop. 14.0°; FU 7.8°). Dabei korrelierte die Ausprägung des FU L4-Tilts stark mit der prä- und postoperativen Ausprägung des L4-Tilts ($r = .53$; $r = .73$) sowie der FU LC ($r = .41$) und der Korrekturrate der LC im FU ($r = -.31$). Beeinflusst wurde der FU L4-Tilt außerdem von der Distanz zwischen dem LIV und der CSVL (postop. LIV-CSVL $r = .43$, FU LIV-CSVL $r = .60$). Diese radiologischen Parameter können dazu dienen, den langfristigen Verlauf des L4-Tilt besser abzuschätzen und die Horizontalisierung von L4 mit dem Fokus auf die genannten Einflussfaktoren zu verbessern.

Neben dem Einfluss auf den postoperativen Verlauf des L4-Tilts konnte die Ausprägung des präoperativen L4-Tilts außerdem auch als Risikofaktor für perioperative Komplikationen ermittelt werden. Die Studiengruppe, in der Komplikationen auftraten, hatte präoperativ einen signifikant größeren L4-Tilt als die Vergleichsgruppe. Der L4-Tilt kann auf präoperativen Röntgenaufnahmen schnell und einfach bestimmt werden und als Parameter zur Risikostratifikation bzgl. perioperativer Komplikationen herangezogen werden.

4.4 Entwicklung der Lungenfunktion nach DKS + CTP

Wegen des Einflusses der Skoliose auf die Anatomie des Brustkorbes und auf die Lungenfunktion (Weinstein et al. 2008) wurden in der Vergangenheit zahlreiche Studien über die Entwicklung der Lungenfunktion nach verschiedenen Operationen bei Patienten mit moderaten Skoliosen durchgeführt. In den Publikationen werden sowohl Verbesserungen der Lungenfunktion nach einem operativen Eingriff (Kinnear und Johnston 1993; Pehrsson, Danielsson und Nachemson 2001; Vedantam et al. 2000) als auch keine signifikanten Veränderungen (Gitelman et al. 2011; Jeans et al. 2017; Vedantam et al. 2000) sowie Reduktionen der Lungenfunktion (Gitelman et al. 2011; Vedantam et al. 2000) beschrieben, sodass der Einfluss verschiedener Skolioseoperationen auf die postoperative Lungenfunktion nach wie vor kontrovers diskutiert wird.

Zur Entwicklung der Lungenfunktion nach der Operation von hochgradigen Skoliosen $\geq 80^\circ$ gibt es bisher kaum Daten. In einer Studie von Dobbs et al. wurde der

Effekt auf die Lungenfunktion nach der operativen Korrektur von Skoliosen $> 90^\circ$ im Vergleich zwischen einem kombinierten ventro-dorsalen und einem alleinigen dorsalen Eingriff untersucht. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen. Insgesamt kam es zu einer Verschlechterung der FVC % von präoperativ 74 % auf 68.5 %. In der separaten Analyse der beiden Subgruppen konnte festgestellt werden, dass die Gruppe, die mit einem kombinierten ventro-dorsalen Eingriff versorgt wurde, allein verantwortlich für die signifikante Reduktion der Lungenfunktion war. In dieser Gruppe reduzierte sich die FVC % von 75 % auf 64 % ($p = .04$), wohingegen es in der Vergleichsgruppe mit einem alleinigen dorsalen Eingriff zu keinem signifikanten Unterschied der FVC % kam (Dobbs et al. 2006). Diese Ergebnisse unterstützen Studienergebnisse von Lenke et al. und Kim et al., die zuvor den negativen Einfluss auf die Lungenfunktion von einem ventralen operativen Zugang in der Therapie moderater Skoliosen im Vergleich zu einem alleinigen dorsalen Operationszugang festgestellt haben (Kim et al. 2005; Lenke et al. 2004).

Weitere Studien bzgl. der Entwicklung der Lungenfunktion nach der Therapie hochgradiger Skoliosen bezogen sich auf den Einfluss der HGT auf die Lungenfunktion. In einer Studie von Koller et al. wurde der Einsatz der HGT bei 45 Patienten mit hochgradigen Skoliosen ($M = 106.1^\circ$) oder Kyphoskoliosen u. a. mit Fokus auf die Lungenfunktion (FVC %) untersucht und zeigte eine Zunahme von 7 % nach HGT und vor der folgenden operativen Skoliosekorrektur (Koller et al. 2012). Mehrpour et al. untersuchten in einer Gruppe mit 23 Patienten mit hochgradigen und rigiden Skoliosen (Cobb $> 90^\circ$; Flexibilität $< 25\%$) die Entwicklung der Lungenfunktion nach präoperativer HGT und anschließender dorsaler Fusion. Die FVC verbesserte sich in dieser Studiengruppe von präoperativ 41 % auf 45.7 % (ns) nach einem Jahr FU (Mehrpour et al. 2017). Eine Studie von Li et al. untersuchte 11 Patienten hinsichtlich der Lungenfunktion nach HGT bei Patienten mit hochgradiger Skoliose $> 80^\circ$ und konnte ebenfalls eine Verbesserung der FVC(%) nach HGT feststellen (60.9 % vs. 67.7 %; $p = .014$) (X. Li et al. 2017a).

Der Unterschied zwischen der prä- und postoperativen Lungenfunktion (FVC %) nach DKS und CTP wurde bisher noch nicht an einem repräsentativen Patientenkollektiv mit hochgradiger AIS $\geq 80^\circ$ untersucht und war Teil dieser Arbeit. Ein operativer Eingriff mit Intervention am Brustkorb wird mit negativen Auswirkungen auf die Lungenfunktion in Verbindung gebracht (Gitelman et al. 2011; Kim et al. 2005; Vedantam et al. 2000). In Hinblick auf die CTP in der Therapie von Skoliosen konnte dies aufgrund der mangelnden Datenlage bisher noch nicht objektiviert werden. Eine prospektive Studie von Saleh et al. untersuchte den Effekt der CTP auf die postoperative Lungenfunktion von Patienten mit einer idiopathischen Skoliose $> 70^\circ$ nach DKS und beschrieb eine signifikante postoperative Zunahme der absoluten FVC (2.8 l vs. 3.0 l, $p = .028$) (Saleh et al. 2010). Die FVC % wurde in dieser Studie jedoch nicht analysiert und limitiert daher die Aussagekraft dieser Ergebnisse, da die FVC % den entscheidenden

den Vergleichsparameter in der Lungenfunktionsdiagnostik darstellt (Dreimann et al. 2014). In der bereits erwähnten HGT-Studie von Koller et al. (Koller et al. 2012) wurde eine Subgruppe mit 18 Patienten untersucht, die zusätzlich zur DKS mit der CTP versorgt wurde. Dabei wurde in dieser Gruppe eine Reduktion der FVC % von 5-10 % beobachtet, allerdings konnte der Einfluss der CTP in der statistischen Analyse nicht quantifiziert werden. In einer weiteren Studie von Koller et al. (Koller et al. 2017) wurde ebenfalls eine CTP-Subgruppe in Hinblick auf die FVC % analysiert und zeigte eine signifikante inverse Korrelation zwischen der Anzahl der CTP-Level und der FVC % ($r = -.72$) sowie im weiteren Verlauf nach einer isolierten Thorakoplastik (iTTP) eine größere Reduktion der FVC % als die Vergleichsgruppe ohne vorherige CTP (15.6 % vs. 5.8 %, $p = .046$).

In der vorliegenden Studie wurde der Verlauf von prä- zu postoperativer FVC % in der CTP-Gruppe untersucht, um den Einfluss der CTP in der Therapie hochgradiger Skoliosen auf die Lungenfunktion zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigten einen ähnlichen Trend wie in der HGT-Studie von Koller et al. mit einer Reduktion der FVC % von ca. 7 % nach dem operativen Eingriff der DKS mit CTP (FVC % präop. 66.0%; postop. 59.4 %), allerdings auch hier ohne statistische Signifikanz ($p > .05$). Die postoperative Verbesserung der FVC %, die bei 8 Patienten aus der CTP-Gruppe beobachtet wurde, resultierte vermutlich aus der Korrektur der hochgradigen TC durch die DKS, die mit einer Verbesserung der Lungenfunktion einhergehen kann (Kim et al. 2007; Newton et al. 2007). Ein negativer Effekt der CTP auf die Lungenfunktion konnte dadurch möglicherweise in einigen Fällen überdeckt bzw. amelioriert werden.

Die Ergebnisse weisen auf das Risiko einer zusätzlichen Einschränkung der Lungenfunktion bei Patienten mit hochgradiger AIS durch den Eingriff der CTP hin, was in der OP-Planung berücksichtigt werden sollte.

Die starke Korrelation zwischen prä- und postoperativer Lungenfunktion ($r = .70$) in dieser Studie und in vorherigen Studien (Koller et al. 2017; Koller et al. 2012; Newton et al. 2007) unterstreicht die wichtige Bedeutung der Durchführung von präoperativen Untersuchungen der Lungenfunktion bei Patienten mit hochgradiger Skoliose zur OP-Planung und Risikostratifikation bzgl. der postoperativen Lungenfunktion und pulmonalen Komplikationen.

4.5 Gruppenunterschiede

In der vorliegenden Arbeit wurden aus der Gesamtstudiengruppe zusätzlich verschiedene Subgruppen mit spezifischen operativen bzw. postoperativen Merkmalen gebildet und separat analysiert, um signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen und relevante Einflussfaktoren auf postoperative Ergebnisse zu ermitteln.

Follow-up L4-Tilt $\leq 10^\circ$ vs. $> 10^\circ$

Wegen der bereits erwähnten Risiken und Komplikationen, die durch eine Neigung des L4 Wirbelkörpers entstehen können, bestand ein Teil dieser Arbeit darin, präoperative und operative Unterschiede zu analysieren, die zwischen den Patientengruppen mit einem FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ vs. $> 10^\circ$ vorlagen, um Ergebnisse bzgl. des L4-Tilts zukünftig besser beeinflussen bzw. vorhersagen zu können. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand in der direkten postoperativen koronaren Balance. Während die Gruppe, die später im FU einen L4-Tilt $\leq 10^\circ$ hatte, kaum eine Veränderung zwischen prä- und postoperativer CSVL aufwies, verdoppelte sich die CSVL postoperativ bei der Vergleichsgruppe mit einem FU L4-Tilt $> 10^\circ$ und hatte damit eine signifikant stärker ausgeprägte postoperative koronare Imbalance. Die direkte postoperative Einstellung der CSVL scheint damit einen Einfluss auf den langfristigen L4-Tilt zu haben et vice versa. Ein weiterer signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigte sich in der FU LL. In der FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ -Gruppe war die LL präoperativ und im FU fast identisch (präop. -60.9° ; FU -60.1°), wohingegen sich die LL in der FU L4-Tilt $> 10^\circ$ -Gruppe im postoperativen Verlauf reduziert darstellte (präop. -55.5° ; FU -51.6°) und im FU eine signifikant geringere Lordosierung aufwies als die Vergleichsgruppe. Die operative Einstellung der LL kann somit ebenfalls als wichtiges Element für das Erreichen eines L4-Tilts $\leq 10^\circ$ diskutiert werden. Der Einfluss von LIV-CSVL auf den FU L4-Tilt wurde in Kapitel 4.3 bereits erwähnt. Auffällig war im direkten Vergleich der beiden FU L4-Tilt-Gruppen ein signifikanter, fast doppelt so großer Abstand zwischen LIV und CSVL in der FU L4-Tilt $> 10^\circ$ -Gruppe, sowohl direkt postoperativ als auch im FU. Ein großer Abstand zwischen LIV und CSVL wirkte sich in der Studiengruppe daher negativ auf den FU L4-Tilt aus und sollte vermieden werden.

DKS \pm CTP

Die CTP kann als Alternative zum ventralen Release bei hochgradigen und rigiden Skoliosen eingesetzt werden und wurde in vergangenen Studien als sichere und effiziente Methode beschrieben, um eine gute Korrektur zu erreichen (Bakhshi, Sadat und Meyghani 2008; El Masry et al. 2007; Hempfing et al. 2007; Metz-Stavenhagen et al. 2008). Als einer der Hauptrisikofaktoren der CTP werden pulmonale Komplikationen genannt (Bakhshi, Sadat und Meyghani 2008), wobei Studien diesbezüglich unterschiedliche Ergebnisse beschrieben (El Masry et al. 2007; Mann et al. 1989; Metz-Stavenhagen et al. 2008). Insgesamt wurde der Einsatz der CTP bisher wesentlich seltener untersucht als das ventrale Releaseverfahren. Trotz der bereits früh von Flinckum beschriebenen operativen Technik der CTP (Flinckum 1963) sind genaue Indikationen zum Einsatz und Angaben zu assoziierten Morbiditäten der CTP deshalb noch nicht ausreichend geklärt

(El Masry et al. 2007).

In einer experimentellen Kadaverstudie von Halsall et al. wurde der Einfluss von Rippenresektionen auf die Flexibilität der Wirbelsäule untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass Rippenresektionen auf der konkaven Seite der Skoliose zu einer signifikanten Steigerung der Flexibilität führen und damit zu einer Verbesserung in der Skoliostherapie beitragen können (Halsall et al. 1983). Mann et al. untersuchten in ihrer Studie ebenfalls den Effekt der CTP auf die Flexibilität der Wirbelsäule bei thorakalen Skoliosen und verglichen die postoperative Korrekturrate zwischen zwei Patientengruppen mit und ohne CTP. Dabei konnten bei Patienten mit rigiden Skoliosen (Flex. < 35 %) durch den Einsatz der CTP genauso gute Korrekturergebnisse erreicht werden wie in der Patientengruppe mit flexiblen Skoliosen (Flex. \geq 35 %), die ohne CTP behandelt wurde (60 % vs. 57 %). Der wesentliche Unterschied bestand in der prozentualen postoperativen Korrektur im Verhältnis zur präoperativen spontanen Korrektur im konvexen Bending, die in der CTP-Gruppe 56 % und in der Vergleichsgruppe 12 % betrug. Als Nachteile der CTP wurden hier eine längere Operationszeit, größerer Blutverlust und eine längere Krankenhausaufenthaltsdauer sowie eine höhere pulmonale Morbidität beschrieben (Mann et al. 1989). Im Gegensatz dazu konnten Metz-Stavenhagen et al. in ihrer Studie keine höhere pulmonale Morbidität feststellen. Sie beschrieben eine Korrekturrate von 68 % und sehr gute kosmetische Ergebnisse mit einer Reduktion des Rippenbuckels von 3 cm (Metz-Stavenhagen et al. 2008). In einer prospektiven Studie untersuchten El Masry et al. bei 78 Patienten mit hochgradigen Skoliosen $\geq 70^\circ$ die Effektivität einer modifizierten Technik der konkaven Rippenosteotomien in der Therapie der AIS. Die koronare Korrekturrate betrug ebenfalls 68 %, mit einer pulmonalen Komplikationsrate von 11.5 % (El Masry et al. 2007).

In der vorliegenden Arbeit wurden die radiologischen und klinischen Ergebnisse in einer separaten Analyse zwischen der CTP-Gruppe und der Gruppe ohne CTP verglichen, um den Einsatz der CTP bei Patienten mit hochgradiger AIS zu untersuchen. Die CTP-Gruppe zeigte dabei in der Analyse signifikant geringere Ergebnisse für die koronare Korrektur der TC und LC als in der Vergleichsgruppe, allerdings unterschieden sich beide Gruppen signifikant hinsichtlich des Alters (älter in der CTP-Gruppe), der präoperativen Flexibilität (weniger flexibel in der CTP-Gruppe) und der Implantatdichte (geringere Implantatdichte in der CTP-Gruppe). Diese Faktoren korrelierten jeweils selbst mit dem postoperativen Korrekturergebnis, sodass ein direkter Vergleich zwischen den beiden Gruppen schwierig ist und die CTP nicht als unabhängiger negativer Einflussfaktor auf die Korrekturergebnisse betrachtet werden kann. Klinische Ergebnisse auf der Basis der SRS-24-Auswertung zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen, ebenso wie die Komplikations- und Revisionsraten. Weder in der CTP- noch in der Vergleichsgruppe traten pulmonale Komplikationen auf, sodass eine höhere pulmonale Morbidität durch den Einsatz der CTP hier, wie auch

bereits in der Studie von Metz-Stavenhagen et al. (Metz-Stavenhagen et al. 2008), nicht bestätigt werden konnte.

DKS ± PO

Ponte Osteotomien können als zusätzliches dorsales Verfahren bei thorakalen Wirbelsäulendeformitäten eingesetzt werden, um die operative Korrektur durch eine bessere dreidimensionale Flexibilität zu erleichtern und zu verbessern (Ponte, Orlando und Siccardi 2018). In einer Kadaverstudie von Sangiorgio et al. wurde der biomechanische Effekt von Ponte Osteotomien auf die Beweglichkeit der Wirbelsäule (ROM, range of motion) getestet und gezeigt, dass die PO zu einer Steigerung der Flexion, Extension und axialen Rotation führt (Sangiorgio et al. 2013). Obwohl die Technik der PO im Rahmen der DKS für die Korrektur von thorakalen Skoliosen weit verbreitet ist, gibt es nur wenige gut dokumentierte Daten und Ergebnisse diesbezüglich in der Literatur (Shah et al. 2013). In einigen Studien wird die PO fälschlicherweise mit der Smith-Peterson-Osteotomie (SPO) gleichgesetzt oder als Bezeichnung für unvollständige Resektionen verwendet (Ponte, Orlando und Siccardi 2018; Sangiorgio et al. 2013), sodass Ergebnisse, die zum Einsatz von Ponte Osteotomien publiziert wurden, teilweise kritisch betrachtet werden müssen. Eindeutige Indikationskriterien für den Einsatz von Ponte Osteotomien in der Therapie von Skoliosen gibt es bisher nicht und müssen jeweils individuell an den Patienten angepasst werden (Samdani et al. 2015; Sangiorgio et al. 2013; Shah et al. 2013). Als Charakteristika zur Orientierung werden in Studien eine präoperative TC $> 50^\circ$, eine präoperative Flexibilität von $< 50^\circ$ bzw. $< 45^\circ$ und eine thorakale Hypokyphose $< 20^\circ$ oder Hyperkyphose $> 40^\circ$ genannt (Samdani et al. 2015; Shah et al. 2013).

Um den Effekt von Ponte Osteotomien in der Therapie hochgradiger Skoliosen in Verbindung mit der DKS zu untersuchen, wurden in der vorliegenden Studie die radiologischen und klinischen Ergebnisse einer Subgruppe mit 10 Patienten analysiert, bei der zusätzlich zur DKS Ponte Osteotomien durchgeführt wurden und mit denjenigen Patienten aus der Studiengruppe verglichen, die ohne PO therapiert wurden. Der positive Einfluss der Ponte Osteotomien auf den postoperativen ASKI wurde in Kapitel 4.2 bereits beschrieben. Die Ergebnisse zeigten außerdem signifikant bessere koronare Korrekturen der postoperativen LC (68.8 % vs. 54.2 %) und der TC im FU (57.1 % vs. 45.6 %) in der PO-Gruppe, wobei diese Gruppe gleichzeitig eine signifikant höhere Implantatdichte aufwies und dieser zusätzliche operative Einfluss auf die verbesserte Korrektur berücksichtigt werden muss. In der Studie von Samdani et al. hatten alle untersuchten Patienten ($n = 191$, davon 125 mit PO, 66 mit Facettektomie der unteren Facette) eine Implantatdichte $> 80^\circ$, waren also hinsichtlich dieses Parameters homogen, und zeigten in der PO-Gruppe ebenfalls signifikant bessere koronare

Korrekturen (67.1 % vs. 61.8 %) sowie eine bessere Wiederherstellung der thorakalen Kyphose und prozentuale Rippenbuckelkorrektur (Samdani et al. 2015). Auch in einer Studie von Shah et al., in der 87 AIS Patienten untersucht wurden, die mit PO und DKS therapiert wurden, konnten sehr gute koronare Korrekturen erreicht werden (TC Korr. 63.9 %, LC Korr. 65.1 %), eine Vergleichsgruppe ohne PO gab es jedoch nicht (Shah et al. 2013).

Neben den besseren Korrekturen der TC und LC zeigte sich in der vorliegenden Studie außerdem eine signifikant stärkere Reduktion des L4-Tilts im postoperativen Verlauf der PO-Gruppe sowie bessere klinische Ergebnisse in der Evaluation des SRS-24-Fragebogens im Bereich „Selbstbild postoperativ“ mit einer signifikant höheren Punktzahl (mit allerdings nur 4 Patienten in der PO-Gruppe, die in dieser Kategorie gewertet werden konnten). In den restlichen Unterkategorien des SRS-24-Fragebogens und in der Gesamtpunktzahl bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, was die Ergebnisse von Samdani et al. widerspiegelt, die ebenfalls in der Auswertung des SRS-22-Fragebogens keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen feststellen konnten (Samdani et al. 2015). Unterschiede in der Komplikations- oder Revisionsrate konnten zwischen den beiden Gruppen in der vorliegenden Studie nicht festgestellt werden, in der PO-Gruppe gab es keine Komplikationen oder Indikationen für Revisionseingriffe. In der Studie von Samdani et al. waren die Operationszeit und Krankenhausaufenthaltsdauer ähnlich lang in beiden Gruppen (Samdani et al. 2015). Im Gegensatz dazu beschrieben Halanski und Cassidy in ihrer Studie über den routinemäßigen Einsatz der PO bei idiopathischen thorakalen Skoliosen einen höheren Blutverlust und eine längere Operationsdauer in der PO-Gruppe und keine signifikanten Unterschiede der koronaren und sagittalen Korrektur (84 % vs. 83 %). Allerdings unterschieden sich die Vergleichsgruppen hinsichtlich der präoperativen Ausprägung der TC (59° vs. 52°, $p = .04$) und der Flexibilität (33 % vs. 41 %, ns) und das FU-Intervall war mit 6 Wochen bis 4 Monate verhältnismäßig kurz (Halanski und Cassidy 2013). Die Autoren erwähnen trotz ihrer Beobachtungen den nützlichen Effekt, den Ponte Osteotomien bei sehr rigiden oder hyperkyphotischen Deformitäten haben können.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse dieser Studie, unter Berücksichtigung der kleinen PO-Gruppe, und die Ergebnisse vergangener Studien dafür, dass die PO für Patienten mit rigider AIS eine gute und sichere Möglichkeit zur operativen Therapie im Rahmen der DKS darstellt und gute radiologische Korrekturergebnisse erzielen kann. Weitere prospektive Studien bzgl. der PO mit entsprechenden Kontrollgruppen sollten v. a. in Hinblick auf klinische Ergebnisse durchgeführt werden, um den Einfluss darauf genauer zu untersuchen und Indikationskriterien für den Einsatz von Ponte Osteotomien in der Therapie von hochgradigen und rigiden AIS zu konkretisieren.

4.6 Auswirkungen präoperativer radiologischer Charakteristika auf postoperative Ergebnisse

Es ist oft schwierig, genaue Vorhersagen bezüglich der postoperativen Korrektur von hochgradigen Skoliosen machen zu können. Die Patienten weisen unterschiedliche Eigenschaften bzgl. ihrer Wirbelsäulendeformität auf, die die Ergebnisse beeinflussen. Um neben präoperativen Einflussfaktoren wie der Ausprägung und der Flexibilität der Skoliose (Koller et al. 2016) weitere potenzielle Prädiktionsparameter für postoperative Ergebnisse zu bestimmen, wurden in der vorliegenden Arbeit verschiedene präoperative radiologische Charakteristika definiert und auf postoperative Auswirkungen untersucht. Die Subanalysen der verschiedenen Parameter fanden jeweils im Vergleich zwischen den Patienten mit und ohne dem festgelegten präoperativen radiologischen Merkmal statt.

Mobiler LIV-Tilt

Besondere Erkenntnisse in der vorliegenden Untersuchung sind aus dem Vergleich zwischen den Patienten mit bzw. ohne einem präoperativen mobilen LIV-Tilt (s. Abb. 2.29) entstanden. Hier zeigten die Ergebnisse der statistischen Analyse v. a. eine Auswirkung auf die koronare Balance bzw. eine strenge Interaktion. Die beiden Gruppen unterschieden sich präoperativ nicht in der CSVL (15.9 mm vs. 16.2 mm), zeigten aber im weiteren Verlauf signifikante Korrekturunterschiede. Während die Patientengruppe ohne mobilen LIV-Tilt direkt postoperativ eine Verschlechterung der CSVL zeigte (22.4 mm) und im weiteren Verlauf die präoperative koronare Imbalance im FU beibehielt (14.5 mm), konnte sie in der Patientengruppe mit mobilem LIV-Tilt auf die Hälfte reduziert werden (7.6 mm) und zeigte auch direkt postoperativ keine Dekompensation, sondern eine minimale Reduktion (15.2 mm). Aus der Gruppe mit einem mobilen LIV-Tilt erreichten außerdem 92.3 % der Patienten im FU einen L4-Tilt $\leq 10^\circ$.

Mobiler L4-Tilt

Im Vergleich zu den Ergebnissen des mobilen LIV-Tilts zeigte die Analyse des mobilen L4-Tilts gegensätzliche Ergebnisse bzgl. des Einflusses auf die CSVL. In der Gruppe mit einem mobilen L4-Tilt fand im präoperativen zu FU Vergleich eine minimale Verschlechterung der koronaren Imbalance (1.6 mm) statt, wohingegen in der Vergleichsgruppe ohne mobilen L4-Tilt eine Reduktion von -6.3 mm beobachtet wurde. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Gruppen sich bereits präoperativ in der CSVL deutlich unterschieden (8.4 mm vs. 18.9 mm).

Mobiler LIVDA

Ein präoperativer mobiler LIVDA (s. Abb. 2.30) hatte mehrere positive Auswirkungen auf postoperative radiologische Ergebnisse. Trotz einer signifikant größeren Ausprägung der präoperativen LC in der Gruppe mit einem mobilen LIVDA (63.4° vs. 51.7°) und einer signifikant geringeren Flexibilität der LC (38.3% vs. 52.2%) zeigten sich keine Unterschiede in der Ausprägung der postoperativen bzw. FU LC, sodass insgesamt eine bessere Korrektur der LC in der Gruppe mit einem mobilen LIVDA erreicht wurde (FU 60.8% vs. 51.7%). Weitere positive Einflüsse hatte das Merkmal eines mobilen LIVDA auf die postoperative Einstellung des L4-Tilt und auf die Distanz zwischen LIV und CSVL, die sich durch jeweils signifikant bessere Reduktionen dieser Parameter zeigten.

CSVL medial der LIV-Pedikel

In der Gruppe, in der die CSVL präoperativ medial zwischen den LIV-Pedikeln lag (vgl. Abb. 2.31), konnte sowohl präoperativ zu postoperativ als auch präoperativ zu FU eine etwa doppelt so hohe Korrektur des LIVDA erzielt werden als in der Vergleichsgruppe, in der sich die CSVL außerhalb der LIV-Pedikel befand (postop. -5.4° vs. -2.6° ; FU -6.0° vs. -3.0°). Außerdem zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der direkten postoperativen sagittalen Balance zwischen den Gruppen. In der Gruppe mit einer CSVL medial der LIV-Pedikel reduzierte sich bereits postoperativ die C7-SPL geringfügig, wohingegen es in der Vergleichsgruppe zu einer Dekompensation mit Verdopplung der C7-SPL kam und diese erst im Verlauf eine Reduktion im FU zeigte. Die präoperative Lage der CSVL in Bezug zum LIV hat also auch Auswirkungen auf die postoperative sagittale Ausrichtung der Wirbelsäule.

LIV crossing midline

Die Subanalyse zwischen den Gruppen LIV crossing midline und \odot crossing midline (s. Abb. 2.32) zeigte eine signifikant bessere Korrektur der LC im FU in der Gruppe mit LIV crossing midline (60.2% vs. 50.4%), allerdings wies diese Gruppe auch eine deutlich bessere präoperative Flexibilität der LC auf, die für die bessere Korrektur berücksichtigt werden muss. Signifikant besser war in dieser Gruppe auch die postoperative koronare Balance, v. a. unmittelbar postoperativ wurde in der LIV crossing midline-Gruppe bereits eine Reduktion der CSVL beobachtet, während es in der Vergleichsgruppe zu einer deutlichen Verschlechterung der koronaren Ausrichtung der Wirbelsäule kam und diese erst im FU verbessert werden konnte. Ebenso zeigte sich eine signifikant stärker ausgeprägte Korrektur des LIVDA und LIV-Tilt bei denjenigen Patienten mit LIV crossing midline. Ein präoperativ mobilerer LIV, im Sinne des hier definierten LIV crossing midline, führte demnach bei den oben genannten Parametern

zu vergleichsweise besseren postoperativen Korrekturen.

Insgesamt zeigten die definierten Charakteristika Mobiler LIV-Tilt, Mobiler LIVDA, CSVL medial der LIV-Pedikel und LIV crossing midline in den Gruppenanalysen dieser Studie positive Einflüsse auf verschiedene postoperative Parameter (CSVL, L4-Tilt, LC Korrektur, LIVDA, LIV-CSVL). Die Ergebnisse sprechen dafür, den LIV in der Therapie hochgradiger Skoliosen so auszuwählen, dass die genannten Kriterien zutreffen, um postoperative Ergebnisse zu verbessern.

Prospektive Studien, in denen die genannten Kriterien zur Wahl des LIV bei Patienten mit hochgradigen AIS berücksichtigt und analysiert werden, müssen abgewartet werden, um die Anwendbarkeit dieser Ergebnisse zu prüfen und für die OP-Planung zu validieren.

4.7 Limitierungen der Studie

Die vorliegende Studie unterliegt wie jede andere retrospektive Auswertung gewissen Limitierungen, die berücksichtigt werden müssen. Dazu zählen die retrospektive Durchführung der Studie und die Variabilität der chirurgischen Technik durch verschiedene Operateure. Aufgrund von einzelnen, qualitativ bedingt nicht auswertbaren oder teilweise fehlenden radiologischen Parametern (z. B. unvollständige Darstellung der Schultern im Röntgenbild) und Spirometrieaufzeichnungen sowie unvollständig ausgefüllten SRS-24-Fragebögen waren einige Subgruppen für die statistische Analyse relativ kleiner als das Gesamtkollektiv. Mit einer Gesamtstudiengruppe von 85 inkludierten Patienten und vollständigen Daten bzgl. der Hauptfragestellungen ist diese Studie jedoch die bisher größte, die über die Therapie hochgradiger Skoliosen $\geq 80^\circ$ durchgeführt wurde und berichtet daher über wichtige Ergebnisse zur Erweiterung der publizierten Daten sowie für zukünftige Vergleichsstudien. Eine weitere Limitierung der Arbeit ist der relativ niedrig angesetzte Grenzwert von 6 Monaten für das FU-Intervall der radiologischen und klinischen Daten. Ein FU-Intervall von < 12 Monaten traf dabei allerdings nur für 9 Patienten zu, insgesamt zeigte die Studiengruppe mit einem Durchschnitt von 36.5 Monaten verhältnismäßig lange FU-Intervalle. Ferner sind klinische und radiologische Veränderungen nach einem FU-Intervall von ≥ 6 Monaten selten, wie weitere Nachuntersuchungen bzw. Studien belegen konnten (Hwang et al. 2013; Koller et al. 2014).

5 Zusammenfassung

Hochgradige adoleszente idiopathische Skoliosen (AIS) mit einer Ausprägung von $\geq 80^\circ$ sind selten und mit verschiedenen Komplikationen, wie kardiopulmonalen und neurologischen Komplikationen, sagittaler und koronarer Imbalance, Schmerzen sowie kosmetischen Beeinträchtigungen verbunden, sodass i. d. R. die Indikation zur operativen Therapie besteht. Die Hauptziele sind dabei, eine weitere Progredienz der Skoliose zu verhindern, die dreidimensionale Wirbelsäulenfehlstellung zu korrigieren, die Lungenfunktion zu verbessern und die genannten Komplikationen zu vermeiden sowie ein für den Patienten zufriedenstellendes kosmetisches Ergebnis zu erreichen. Verschiedene operative Techniken und Materialien wurden in der Vergangenheit entwickelt, um die Korrekturmöglichkeiten in der Skoliosechirurgie zu optimieren, allerdings gibt es bisher nur wenige Studien mit jeweils geringen Fallzahlen über die Therapie und den postoperativen radiologischen und klinischen Verlauf bei sehr hochgradigen Skoliosen mit einer Ausprägung von $\geq 80^\circ$.

Das Ziel dieser Arbeit war es deshalb, die Datenlage zu diesem Thema zu erweitern und Einflussfaktoren auf postoperative klinische und radiologische Ergebnisse in dieser Patientengruppe zu untersuchen, um die operative Planung zu erleichtern, Korrekturergebnisse positiv beeinflussen zu können und die Patientenberatung durch genauere Vorhersagen zu verbessern.

Bei insgesamt 85 Patienten mit AIS $\geq 80^\circ$, die im Zeitraum von 1997 bis 2015 im Wirbelsäulenzentrum Bad Wildungen mit dem Verfahren der dorsalen Korrekturspondylodese (DKS) therapiert wurden, wurden für die Analyse retrospektiv Daten erhoben und Messungen von verschiedenen radiologischen Parametern auf präoperativen, postoperativen und Follow-up Röntgenaufnahmen durchgeführt. Eingeschlossen wurden Patienten, die entweder mit der DKS allein oder zusätzlich mit einer konkavseitigen Thorakoplastik (CTP) oder mit Ponte Osteotomien (PO) im Sinne eines erweiterten dorsalen Releases therapiert wurden. Patienten mit vorausgegangener Halo-Behandlung, ventralem Release, ventraler Derotationsspondylodese oder konvexseitiger Thorakoplastik wurden aus der Studie exkludiert. Die Messungen der radiologischen Parameter erfolgten an Wirbelsäulenganzaufnahmen im Stehen im p. a.- und lateralen Strahlengang sowie in Links- und Rechtsseitneigung (Bending). Für spezielle Subanalysen erfolgten Gruppeneinteilungen der Patienten hinsichtlich verschiedener binärer Charakteristika (\pm CTP, \pm PO, FU L4-Tilt \leq vs. $> 10^\circ$, präop. Mobiler LIV-Tilt/Mobiler L4-Tilt/Mobiler LIVDA/CSVL medial der LIV-Pedikel/LIV crossing midline). Als neuer Parameter zur Objektivierung von Korrekturergebnissen unter Berücksichtigung der präoperativen Flexibilität wurde der absolute Skoliose-Korrektur-Index (ASKI) als

Summe des thorakalen SKI und lumbalen SKI definiert und analysiert. Die Entwicklung der Lungenfunktion in der CTP-Gruppe wurde anhand von prä- und postoperativen Werten der FVC % beurteilt. Die Evaluation der klinischen Ergebnisse erfolgte mit der deutschen Version des SRS-24-Fragebogens.

Das durchschnittliche Alter der Patienten dieser Studie betrug 16 Jahre, 68 Patienten waren weiblich und 17 männlich. Das Follow-up Intervall für die radiologischen und klinischen Nachuntersuchungen lag bei 36.5 Monaten und für die Spirometriemessungen in der CTP-Gruppe bei 29 Monaten. Aus der Gesamtgruppe wurde bei 63 Patienten zusätzlich zur DKS eine CTP durchgeführt, 10 Patienten erhielten zum dorsalen Release Ponte Osteotomien. Die Komplikationsrate lag bei 20 % in der Gesamtgruppe, wobei in der Gruppe, in der Komplikationen auftraten, eine signifikant längere Fusionsstrecke und höhere Hook Ratio beobachtet wurde und präoperativ ein größerer L4-Tilt und eine größere TK vorlagen. Die TK reduzierte sich in der Studiengruppe von 35.5° auf 30.8° im FU. Die sagittale Balance (C7-SPL) nahm unmittelbar postoperativ von 13 mm auf 20.1 mm zu und im weiteren Verlauf auf 5.1 mm ab. Ähnlich verhielt sich die koronare Balance (CSVL), die erst von 16.2 mm postoperativ auf 19.9 mm zu- und im FU auf 12 mm insgesamt abnahm. Die TC verbesserte sich von 88.1° unmittelbar postoperativ auf 44.3° (Korrektur 50 %) und betrug im FU 47.1°. Die präoperative thorakale Flexibilität lag bei 21 %. Die LC wurde von 53.8° auf 23.8° korrigiert (56 %) und blieb im FU bei 25.4°. Die Flexibilität der LC betrug 50 %. Haupteinflussfaktoren auf die unmittelbare TC-Korrektur waren die präoperative Ausprägung der TC, die Flexibilität der TC bzw. Restkrümmung im Bending und die Implantatdichte. Die postoperative LC-Korrektur korrelierte am stärksten mit der Flexibilität der LC und der Implantatdichte sowie invers mit der präoperativen Ausprägung der TC. Der neu definierte ASKI betrug 4.9 (tSKI 3.7, lSKI 1.2) und zeigte die stärksten Korrelationen mit der präoperativen TK und der präoperativen LC sowie mit durchgeführten Ponte Osteotomien in Kombination mit einer Implantatdichte von > 80 %. Für die Prädiktion des postoperativen ASKI konnte ein signifikantes Modell entwickelt werden, das die präoperativen Parameter TK und LC beinhaltet. Der L4-Tilt verbesserte sich von 14° auf 6.8° postoperativ und auf 7.8° im FU, wobei das FU-Ergebnis stark von dem präoperativen und unmittelbar postoperativen L4-Tilt und der LC-Korrektur abhängig war und außerdem mit der Distanz zwischen dem LIV und der CSVL zusammenhing. Der LIV-Tilt betrug präoperativ 19.6° und wurde auf 7.7° postoperativ und 8.3° im FU korrigiert. Der LIVDA zeigte eine kontinuierliche Reduktion von 7.9° auf 4.6° (postop.) und 4° (FU). Die RHHD als radiologischer Parameter des Rippenbuckels zeigte eine Verbesserung von 40.5 mm auf 28.3 mm (postop.) und im Verlauf weiter auf 22.5 mm (FU), die sich in der Kategorie „Zufriedenheit“ in der SRS-24-Auswertung zeigte. Im Gegensatz dazu konnte keine signifikante Korrelation zwischen den radiologischen Korrekturergebnissen und den klinischen SRS-24-Ergebnissen beobachtet werden. Die Gesamtpunktzahl

in der SRS-24-Evaluation betrug 94.4/119 Punkte, mit 12.8/15 Punkten im Bereich „Zufriedenheit mit dem Eingriff“. Bei der Analyse des postoperativen Verlaufs der Lungenfunktion in der CTP-Gruppe fiel eine Reduktion der FVC % von 66 % auf 59 % auf, dabei bestand eine starke Korrelation zwischen prä- und postoperativer FVC %. In der CTP-Gruppe wurde außerdem eine geringere Korrekturrate der TC und LC erfasst, die jedoch aufgrund von signifikanten Unterschieden in präoperativen Merkmalen statistisch nicht quantifiziert werden konnte. In der PO-Gruppe wurden neben dem positiven Einfluss auf den ASKI bessere Korrekturen der TC und LC als in der Vergleichsgruppe beobachtet sowie eine größere Reduktion des L4-Tilts und bessere klinische Ergebnisse in der SRS-24-Kategorie „Selbstbild postoperativ“ erreicht. Bei der Untersuchung der verschiedenen definierten präoperativen Charakteristika wurden in den Gruppen mit einem mobilen LIV-Tilt/mobilen LIVDA/CSVL medial der LIV-Pedikel bzw. LIV crossing midline jeweils positive Einflüsse auf postoperative Ergebnisse (CSVL, L4-Tilt, LC Korrektur, LIVDA, LIV-CSVL) festgestellt. Das spricht dafür, dass diese Kriterien zukünftig bei der Wahl des LIV in der OP-Planung berücksichtigt werden können, um postoperative Ergebnisse zu verbessern.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen gute radiologische und klinische postoperative Verläufe bei Patienten mit $\text{AIS} \geq 80^\circ$ nach DKS. Es wurden verschiedene präoperative und operative Einflussfaktoren und Kriterien ermittelt, die in der OP-Planung helfen können, postoperative Ergebnisse zu verbessern. Bei dem Einsatz der CTP als erweitertes dorsales Release sollte das Risiko einer postoperativen Reduktion der FVC % beachtet werden.

Es konnten wichtige Daten von einer in diesem Bereich großen Patientengruppe erhoben werden, die für zukünftige Fall- und Studienvergleiche genutzt werden können. Der neu definierte ASKI kann dabei als Parameter für die Objektivierung von Korrekturergebnissen unter Berücksichtigung der präoperativen Flexibilität der Wirbelsäule verwendet werden.

Literaturverzeichnis

- Aaro, S. und Ohlund, C. (März 1984). "Scoliosis and Pulmonary Function". In: *Spine* 9.2, S. 220–222.
- Akazawa, T., Kotani, T., Sakuma, T., Minami, S., Orita, S., Inage, K., Fujimoto, K., Shiga, Y., Torii, Y., Umehara, T., Iinuma, M., Kuroya, S., Niki, H., Ohtori, S. und Takahashi, K. (Aug. 2017). "Modic Changes and Disc Degeneration of Non-Fused Segments 27 to 45 Years After Harrington Instrumentation for Adolescent Idiopathic Scoliosis: Comparison to Healthy Controls". In: *Spine* 1.2, S. 72–77.
- Arlet, V., Jiang, L. und Quellet, J. (Dez. 2004). "Is there a need for anterior release for 70–90° thoracic curves in adolescent scoliosis?" In: *Eur Spine J* 13.8, S. 740–745.
- Bakhshi, H., Sadat, S. M. M. und Meyghani, Z. (Jan. 2008). "Pulmonary Complications of Concave Rib Osteotomies in Scoliotic Patients". In: *Tanaffos* 7.4, S. 24–26.
- Bernstein, P., Hentschel, S., Platzek, I., Huhne, S., Ettrich, U., Hartmann, A. und Seifert, J. (Juni 2014). "Thoracal flat back is a risk factor for lumbar disc degeneration after scoliosis surgery". In: *Spine J* 14.6, S. 925–932.
- Bharucha, N. J., Lonner, B. S., Auerbach, J. D., Kean, K. E. und Trobisch, P. D. (Apr. 2013). "Low-density versus high-density thoracic pedicle screw constructs in adolescent idiopathic scoliosis: do more screws lead to a better outcome?" In: *Spine* 13.4, S. 375–381.
- Bodman, C. de, Miyajiri, F., Borner, B., Zambelli, P. Y., Racloz, G. und Dayer, R. (Dez. 2017). "Minimally invasive surgery for adolescent idiopathic scoliosis: correction of deformity and peri-operative morbidity in 70 consecutive patients". In: *Bone Joint J* 99-B.12, S. 1651–1657.
- Bradford, D. S. und Tribus, C. B. (Juli 1997). "Vertebral column resection for the treatment of rigid coronal decompensation". In: *Spine* 22.14, S. 1590–1599.
- Bridwell, K. H. (Dez. 1999). "Surgical treatment of idiopathic adolescent scoliosis". In: *Spine* 24.24, S. 2607–2616.
- Bridwell, K. H., Anderson, P. A., Boden, S. D., Vaccaro, A. R. und Wang, J. C. (2007). "What's new in spine surgery". In: *J Bone Joint Surg* 89.7, S. 1654–1663.
- Bullmann, V., Halm, H. F., Schulte, T., Lerner, T., Weber, T. P. und Liljenqvist, U. R. (Apr. 2006). "Combined anterior and posterior instrumentation in severe and rigid idiopathic scoliosis". In: *Eur Spine J* 15.4, S. 440–448.
- Chen, J., Yang, C., Ran, B., Wang, Y., Wang, C., Zhu, X., Bai, Y. und Li, M. (Juli 2013). "Correction of Lenke 5 adolescent idiopathic scoliosis using pedicle screw instrumentation: does implant density influence the correction?" In: *Spine* 38.15, E946–951.

- Cheng, M. F., Ma, H. L., Lin, H. H., Chou, P. H., Wang, S. T., Liu, C. L. und Chang, M. C. (Sep. 2017). “Anterior release may not be necessary for idiopathic scoliosis with a large curve of more than 75° and a flexibility of less than 25”. In: *Spine J*, Epub ahead of print, Zugriff: 28.01.2018.
- Cho, J. H., Lee, C. S., Joo, Y. S., Park, J., Hwang, C. J. und Lee, D. H. (März 2017). “Association between Sacral Slanting and Adjacent Structures in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis”. In: *Clin Orthop Surg* 9.1, S. 57–62.
- Clements, D. H., Betz, R. R., Newton, P. O., Rohmiller, M., Marks, M. C. und Bastrom, T. (Sep. 2009). “Correlation of scoliosis curve correction with the number and type of fixation anchors”. In: *Spine* 34.20, S. 2147–2150.
- Cochran, T., Irstam, L. und Nachemson, A. (Sep. 1983). “Long-term anatomic and functional changes in patients with adolescent idiopathic scoliosis treated by Harrington rod fusion”. In: *Spine* 8.6, S. 576–584.
- Coe, J. D., Arlet, V., Donaldson, W., Berven, S., Hanson, D. S, Mudiya, R., Perra, J. H. und Shaffrey, C. I. (Feb. 2006). “Complications in Spinal Fusion for Adolescent Idiopathic Scoliosis in the New Millennium. A Report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee”. In: *Spine* 31.3, S. 345–349.
- Crostelli, M., Mazza, O., Mariani, M. und Mascello, D. (Nov. 2013). “Treatment of severe scoliosis with posterior-only approach arthrodesis and all-pedicle screw instrumentation”. In: *Eur Spine J* 22 Suppl 6, S. 808–814.
- Danielsson, A. J. (2007). “What Impact Does Spinal Deformity Correction for Adolescent Idiopathic Scoliosis Make on Quality of Life?” In: *Spine* 32.19S, S. 101–108.
- Danielsson, A. J., Cederlund, C. G., Ekholm, S. und Nachemson, A. L. (März 2001). “The prevalence of disc aging and back pain after fusion extending into the lower lumbar spine. A matched MR study twenty-five years after surgery for adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Acta Radiol* 42.2, S. 187–197.
- De la Garza Ramos, R., Goodwin, C. R., Abu-Bonsrah, N., Jain, A., Miller, E. K., Huang, N., Kebaish, K. M., Sponseller, P. D. und Sciubba, D. M. (Dez. 2016). “Patient and operative factors associated with complications following adolescent idiopathic scoliosis surgery: an analysis of 36,335 patients from the Nationwide Inpatient Sample”. In: *J Neurosurg Pediatr* 25.6, S. 730–736.
- Di Silvestre, M., Bakaloudis, G., Lolli, F., Vommaro, F., Martikos, K. und Parisini, P. (Okt. 2008). “Posterior fusion only for thoracic adolescent idiopathic scoliosis of more than 80 degrees: pedicle screws versus hybrid instrumentation”. In: *Eur Spine J* 17.10, S. 1336–1349.
- Ding, R., Liang, J., Qiu, G., Shen, J. und Li, Z. (Juli 2014). “Evaluation of quality of life in adolescent idiopathic scoliosis with different distal fusion level: a comparison of L3 versus L4”. In: *J Spinal Disord Tech* 27.5, E155–161.

- Dobbs, M. B., Lenke, L. G., Kim, Y. J., Luhmann, S. J. und Bridwell, K. H. (Sep. 2006). “Anterior/posterior spinal instrumentation versus posterior instrumentation alone for the treatment of adolescent idiopathic scoliotic curves more than 90 degrees”. In: *Spine* 31.20, S. 2386–2391.
- Dreimann, M., Hoffmann, M., Kossow, K., Hitzl, W., Meier, O. und Koller, H. (Nov. 2014). “Scoliosis and chest cage deformity measures predicting impairments in pulmonary function: a cross-sectional study of 492 patients with scoliosis to improve the early identification of patients at risk”. In: *Spine* 39.24, S. 2024–2033.
- El Masry, M. A., Saleh, A. M., McWilliams, A. B., Tsiridis, E., Salah, H. und El Hawary, Y. K. (Okt. 2007). “Concave rib osteotomy: a modified technique revisited”. In: *Eur Spine J* 16.10, S. 1600–1603.
- Erickson, M. A. und Baulesh, D. M. (2011). “Lowest instrumented vertebra selection in AIS”. In: *J Pediatr Orthop* 31.1 Suppl, S. 69–76.
- Fan, H., Wang, Q., Huang, Z., Sui, W., Yang, J., Deng, Y. und Yang, J. (Mai 2016). “Comparison of Functional Outcome and Quality of Life in Patients With Idiopathic Scoliosis Treated by Spinal Fusion”. In: *Medicine (Baltimore)* 95.19, e3289.
- Ferraris, L., Koller, H., Meier, O. und Hempfing, A. (Dez. 2012). “Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulen Chirurgie”. In: *Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis* 1.12, S. 502–508.
- Flinchum, D. (Dez. 1963). “Ribresection in the treatment of scoliosis”. In: *South Med J* 56, S. 1378–1380.
- Gaines, R. W. (Okt. 2000). “The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders”. In: *J Bone Joint Surg Am* 82.10, S. 1458–76.
- Geissele, A. E., Ogilvie, J. W., Cohen, M. und Bradford, D. S. (Juli 1994). “Thoracoplasty for the treatment of rib prominence in thoracic scoliosis”. In: *Spine* 19.14, S. 1636–1642.
- Gitelman, Y., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Auerbach, J. D. und Sides, B. A. (Sep. 2011). “Pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis relative to the surgical procedure: a 10-year follow-up analysis”. In: *Spine* 36.20, S. 1665–1672.
- Glassman, S. D., Hamill, C. L., Bridwell, K. H., Schwab, F. J., Dimar, J. R. und Lowe, T. G. (Nov. 2007). “The impact of perioperative complications on clinical outcome in adult deformity surgery”. In: *Spine* 32.24, S. 2764–2770.
- Greggi, T., Bakaloudis, G., Fusaro, I., Di Silvestre, M., Lolli, F., Martikos, K., Vommaro, F., Barbanti-Brodano, G., Cioni, A. und Giacomini, S. (Dez. 2010). “Pulmonary function after thoracoplasty in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Spinal Disord Tech* 23.8, e63–69.
- Halanski, M. A. und Cassidy, J. A. (Juli 2013). “Do multilevel Ponte osteotomies in thoracic idiopathic scoliosis surgery improve curve correction and restore thoracic kyphosis?” In: *J Spinal Disord Tech* 26.5, S. 252–255.

- Halsall, A. P., James, D. F., Kostuik, J. P. und Fernie, G. R. (1983). “An experimental evaluation of spinal flexibility with respect to scoliosis surgery”. In: *Spine* 8.5, S. 482–488.
- Hamzaoglu, A., Ozturk, C., Aydogan, M., Tezer, M., Aksu, N. und Bruno, M. B. (Apr. 2008). “Posterior only pedicle screw instrumentation with intraoperative halo-femoral traction in the surgical treatment of severe scoliosis (>100 degrees)”. In: *Spine* 33.9, S. 979–983.
- Harding, I., Charosky, S., Vialle, R. und Chopin, D. (Feb. 2008). “Lumbar disc degeneration below a long arthrodesis (performed for scoliosis in adults) to L4 or L5”. eng. In: *Eur Spine J* 17.2, S. 250–254.
- Hayes, M. A., Tompkins, S. F., Herndon, W. A., Gruel, C. R., Kopta, J. A. und Howard, T. C. (Okt. 1988). “Clinical and radiological evaluation of lumbosacral motion below fusion levels in idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 13.10, S. 1161–1167.
- Helenius, I., Mattila, M. und Jalanko, T. (Aug. 2014). “Morbidity and radiographic outcomes of severe scoliosis of 90° or more: a comparison of hybrid with total pedicle screw instrumentation”. In: *J Child Orthop* 8.4, S. 345–352.
- Hempfling, A., Ferraris, L., Koller, H., Rump, J. und Metz-Stavenhagen, P. (Apr. 2007). “Is anterior release effective to increase flexibility in idiopathic thoracic scoliosis? Assessment by traction films”. In: *Eur Spine J* 16.4, S. 515–520.
- Hero, N., Vengust, R. und Topolovec, M. (Juni 2017). “Comparative Analysis of Combined (First Anterior, Then Posterior) Versus Only Posterior Approach for Treating Severe Scoliosis: A Mean Follow Up of 8.5 Years”. In: *Spine* 42.11, S. 831–837.
- Hurford, R. K., Lenke, L. G., Lee, S. S., Cheng, I., Sides, B. und Bridwell, K. H. (Sep. 2006). “Prospective radiographic and clinical outcomes of dual-rod instrumented anterior spinal fusion in adolescent idiopathic scoliosis: comparison with single-rod constructs”. In: *Spine* 31.20, S. 2322–2328.
- Hwang, S. W., Samdani, A. F., Lonner, B., Miyajni, F., Stanton, P., Marks, M. C., Bastrom, T., Newton, P. O., Betz, R. R. und Cahill, P. J. (Jan. 2012). “Impact of direct vertebral body derotation on rib prominence: are preoperative factors predictive of changes in rib prominence?” In: *Spine* 37.2, E86–89.
- Hwang, S. W., Samdani, A. F., Marks, M., Bastrom, T., Garg, H., Lonner, B., Bennett, J. T., Pahys, J., Shah, S., Miyajni, F., Shufflebarger, H., Newton, P. und Betz, R. (Juni 2013). “Five-year clinical and radiographic outcomes using pedicle screw only constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Eur Spine J* 22.6, S. 1292–1299.
- Ilharreborde, B. (Jan. 2018). “Sagittal balance and idiopathic scoliosis: does final sagittal alignment influence outcomes, degeneration rate or failure rate?” In: *Eur Spine J*.

- Ishikawa, M., Cao, K., Pang, L., Watanabe, K., Yagi, M., Hosogane, N., Machida, M., Shiono, Y., Nishiyama, M., Fukui, Y. und Matsumoto, M. (Jan. 2015). “Postoperative behavior of thoracolumbar/lumbar curve and coronal balance after posterior thoracic fusion for Lenke 1C and 2C adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Orthop Sci* 20.1, S. 31–37.
- Jada, A., Mackel, C. E., Hwang, S. W., Samdani, A. F., Stephen, J. H., Bennett, J. T. und Baaj, A. A. (Okt. 2017). “Evaluation and management of adolescent idiopathic scoliosis: a review”. In: *Neurosurg Focus* 43.4, E2.
- Jeans, K. A., Lovejoy, J. F., Karol, L. A. und McClung, A. M. (Nov. 2017). “How Is Pulmonary Function and Exercise Tolerance Affected in Patients With AIS Who Have Undergone Spinal Fusion?” In: *Spine Deform* 5.6, S. 416–423.
- Kandwal, P., Goswami, A., Vijayaraghavan, G., Subhash, K. R., Jaryal, A., Upendra, B. N. und Jayaswal, A. (Juli 2016). “Staged Anterior Release and Posterior Instrumentation in Correction of Severe Rigid Scoliosis (Cobb Angle >100 Degrees)”. In: *Spine Deform* 4.4, S. 296–303.
- Kandwal, P., Vijayaraghavan, G. P., Nagaraja, U. B. und Jayaswal, A. (Juni 2017). “Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies”. In: *Asian Spine J* 11.3, S. 494–503.
- Ketenci, I. E., Yanik, H. S., Demiroz, S., Ulusoy, A. und Erdem, S. (Jan. 2016). “Three-Dimensional Correction in Patients With Lenke 1 Adolescent Idiopathic Scoliosis: Comparison of Consecutive Versus Interval Pedicle Screw Instrumentation”. In: *Spine* 41.2, S. 134–138.
- Kim, Y. J., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Cheh, G., Whorton, J. und Sides, B. (2007). “Prospective Pulmonary Function Comparison Following Posterior Segmental Spinal Instrumentation and Fusion of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Is There a Relationship Between Major Thoracic Curve Correction and Pulmonary Function Test Improvement?” In: *Spine* 32.24, S. 2685–2693.
- Kim, Y. J., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Kim, K. L. und Steger-May, K. (Juli 2005). “Pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis relative to the surgical procedure”. In: *J Bone Joint Surg Am* 87.7, S. 1534–1541.
- Kim, Y. J., Lenke, L. G., Kim, J., Bridwell, K. H., Cho, S. K., Cheh, G. und Sides, B. (Feb. 2006). “Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 31.3, S. 291–298.
- Kinnear, W. J. und Johnston, I. D. (Sep. 1993). “Does Harrington instrumentation improve pulmonary function in adolescents with idiopathic scoliosis? A meta-analysis”. In: *Spine* 18.11, S. 1556–1559.
- Koller, H., Meier, O., Albrecht, H., Schmidt, R., Zenner, J. und Hitzl, W. (Juni 2014). “Selective thoracic fusion in AIS curves: the definition of target outcomes improves

- the prediction of spontaneous lumbar curve correction (SLCC)”. In: *Eur Spine J* 23.6, S. 1263–1281.
- Koller, H., Pfanz, C., Meier, O., Hitzl, W., Mayer, M., Bullmann, V. und Schulte, T. L. (Feb. 2016). “Factors influencing radiographic and clinical outcomes in adult scoliosis surgery: a study of 448 European patients”. In: *Eur Spine J* 25.2, S. 532–548.
- Koller, H., Schulte, T. L., Meier, O., Koller, J., Bullmann, V., Hitzl, W., Mayer, M., Lange, T. und Schmücker, J. (Juni 2017). “The influence of isolated thoracoplasty on the evolution of pulmonary function after treatment of severe thoracic scoliosis”. In: *Eur Spine J* 26.6, S. 1765–1774.
- Koller, H., Zenner, J., Gajic, V., Meier, O., Ferraris, L. und Hitzl, W. (März 2012). “The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: a clinical study and narrative review of the literature”. In: *Eur Spine J* 21.3, S. 514–529.
- Konieczny, M. R., Senyurt, H. und Krauspe, R. (Feb. 2013). “Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Child Orthop* 7.1, S. 3–9.
- Kotwicki, T., Chowanska, J., Kinel, E., Czaprowski, D., Tomaszewski, M. und Janusz, P. (2013). “Optimal management of idiopathic scoliosis in adolescence”. In: *Adolesc Health Med Ther* 4, S. 59–73.
- Kuklo, T. R., Lenke, L. G., O’Brien, M. F., Lehman, R. A., Polly, D. W. und Schroeder, T. M. (Jan. 2005). “Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curves more than 90 degrees”. In: *Spine* 30.2, S. 222–226.
- Larson, A. N., Polly, D. W., Diamond, B., Ledonio, C., Richards, B. S., Emans, J. B., Sucato, D. J., Johnston, C. E., Aubin, C. E., Dolan, L. A., Emans, J. B., Erickson, M. A., Hresko, M. T., Johnston, C. E., Lenke, L. G., Lonner, B. S., Labelle, H., Marks, M. C., Newton, P. O., Polly, D. W., Richards, B. S., Sanders, J. O., Shah, S. A., Sucato, D. J., Sponseller, P. D. und Weinstein, S. L. (Apr. 2014). “Does higher anchor density result in increased curve correction and improved clinical outcomes in adolescent idiopathic scoliosis?” In: *Spine* 39.7, S. 571–578.
- Latalski, M., Danielewicz-Bromberek, A., Fatyga, M., Latalaska, M., Kröber, M. und Zwolak, P. (Juli 2017). “Current insights into the aetiology of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 137.10, S. 1327–1333.
- Lenke, L. G. (Aug. 2003). “Anterior endoscopic discectomy and fusion for adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 28.15 Suppl, S. 36–43.
- Lenke, L. G., Betz, R. R., Harms, J., Bridwell, K. H., Clements, D. H., Lowe, T. G. und Blanke, K. (Aug. 2001). “Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis”. In: *J Bone Joint Surg Am* 83-A.8, S. 1169–1181.

- Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Blanke, K. und Baldus, C. (Juni 1995). "Analysis of pulmonary function and chest cage dimension changes after thoracoplasty in idiopathic scoliosis". In: *Spine* 20.12, S. 1343–1350.
- Lenke, L. G., Newton, P. O., Marks, M. C., Blanke, K. M., Sides, B., Kim, Y. J. und Bridwell, K. H. (Sep. 2004). "Prospective pulmonary function comparison of open versus endoscopic anterior fusion combined with posterior fusion in adolescent idiopathic scoliosis". In: *Spine* 29.18, S. 2055–2060.
- Lenke, L. G., Sides, B. A., Koester, L. A., Hensley, M. und Blanke, K. M. (März 2010). "Vertebral column resection for the treatment of severe spinal deformity". In: *Clin Orthop Relat Res* 468.3, S. 687–699.
- Li, M., Shen, Y., Fang, X., Ni, J., Gu, S., Zhu, X. und Zhang, Z. (Juni 2009). "Coronal and sagittal plane correction in patients with Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis: a comparison of consecutive versus interval pedicle screw placement". In: *J Spinal Disord Tech* 22.4, S. 251–256.
- Li, X., Zeng, L., Li, X., Chen, X. und Ke, C. (Aug. 2017a). "Preoperative Halo-Gravity Traction for Severe Thoracic Kyphoscoliosis Patients from Tibet: Radiographic Correction, Pulmonary Function Improvement, Nursing, and Complications". In: *Med Sci Monit* 23, S. 4021–4027.
- Li, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Zhao, C. und Liu, K. (2017b). "Clinical Application of a Drill Guide Template for Pedicle Screw Placement in Severe Scoliosis". In: *Acta Ortop Bras* 25.2, S. 67–70.
- Liljenqvist, U., Lepsien, U., Hackenberg, L., Niemeyer, T. und Halm, H. (Aug. 2002). "Comparative analysis of pedicle screw and hook instrumentation in posterior correction and fusion of idiopathic thoracic scoliosis". In: *Eur Spine J* 11.4, S. 336–343.
- Liu, T. und Hai, Y. (Juli 2014). "Sagittal plane analysis of selective posterior thoracic spinal fusion in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison study of all pedicle screw and hybrid instrumentation". In: *J Spinal Disord Tech* 27.5, S. 277–282.
- Lonner, B. S., Auerbach, J. D., Estreicher, M., Milby, A. H. und Kean, K. E. (Feb. 2009). "Video-assisted thoracoscopic spinal fusion compared with posterior spinal fusion with thoracic pedicle screws for thoracic adolescent idiopathic scoliosis". In: *J Bone Joint Surg Am* 91.2, S. 398–408.
- Luhmann, S. J., Lenke, L. G., Kim, Y. J., Bridwell, K. H. und Schootman, M. (Sep. 2005). "Thoracic adolescent idiopathic scoliosis curves between 70 degrees and 100 degrees: is anterior release necessary?" In: *Spine* 30.18, S. 2061–2067.
- Luo, M., Li, N., Shen, M. und Xia, L. (Juli 2017). "Pedicle screw versus hybrid instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis with emphasis on complications and reoperations". In: *Medicine (Baltimore)* 96.27, e7337.

- Lykissas, M. G., Sharma, V., V Jain, V. und Crawford, A. H. (Mai 2015). “Assessment of rib hump deformity correction in adolescent idiopathic scoliosis with or without costoplasty using the double rib contour sign”. In: *J Spinal Disord Tech* 28.4, S. 134–139.
- Mann, D. C., Nash, C. L., Wilham, M. R. und Brown, R. H. (Mai 1989). “Evaluation of the role of concave rib osteotomies in the correction of thoracic scoliosis”. In: *Spine* 14.5, S. 491–495.
- Marks, M. C., Bastrom, T. P., Petcharaporn, M., Shah, S. A., Betz, R. R., Samdani, A., Lonner, B., Miyanji, F. und Newton, P. O. (Nov. 2015). “The Effect of Time and Fusion Length on Motion of the Unfused Lumbar Segments in Adolescent Idiopathic Scoliosis”. In: *Spine Deform* 3.6, S. 549–553.
- Mehrpour, S., Sorbi, R., Rezaei, R. und Mazda, K. (Apr. 2017). “Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis”. In: *Arch Orthop Trauma Surg* 137.4, S. 457–463.
- Metz-Stavenhagen, P., Hildebrand, R., Hempfing, A., Ferraris, L., Meier, O. und Krebs, S. (2008). “Concave Thoracoplasty (CTP) and Posterior Instrumentation for Correction of Rigid Thoracic Scoliosis: Results at five to seven Years”. In: *Orthopaedic Proceedings* 90-B.Supp 3, S. 441.
- Metz-Stavenhagen, P. und Morgenstern, W. (2003). “Concave Thoracoplasty for Stiff Thoracic Scoliosis”. In: *Surgical Techniques for the Spine*. Hrsg. von Hafer, T. R. und Merola, A. A. New York: Thieme Medical Publishers. Kap. 26, S. 128–130.
- Mimura, T., Takahashi, J., Ikegami, S., Kuraishi, S., Shimizu, M., Futatsugi, T., Uehara, M., Oba, H., Koseki, M. und Kato, H. (Sep. 2017). “Can surgery for adolescent idiopathic scoliosis of less than 50 degrees of main thoracic curve achieve good results?” In: *J Orthop Sci* 23.1, S. 14–19.
- Min, K., Waelchli, B. und Hahn, F. (Okt. 2005). “Primary thoracoplasty and pedicle screw instrumentation in thoracic idiopathic scoliosis”. In: *Eur Spine J* 14.8, S. 777–782.
- Na, K. H., Harms, J., Ha, K. Y. und Choi, N. Y. (Dez. 2008). “Axial plane lumbar responses after anterior selective thoracic fusion for main thoracic adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Asian Spine J* 2.2, S. 81–89.
- Nash, C. L. und Moe, J. H. (März 1969). “A study of vertebral rotation”. In: *J Bone Joint Surg Am* 51.2, S. 223–229.
- Newton, P. O., Perry, A., Bastrom, T. P., Lenke, L. G., Betz, R. R., Clements, D. und D’Andrea, L. (Aug. 2007). “Predictors of change in postoperative pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis: a prospective study of 254 patients”. In: *Spine* 32.17, S. 1875–1882.
- Newton, P. O., Wenger, D. R., Mubarak, S. J. und Meyer, R. S. (Juni 1997). “Anterior release and fusion in pediatric spinal deformity. A comparison of early outcome and

- cost of thoracoscopic and open thoracotomy approaches”. In: *Spine* 22.12, S. 1398–1406.
- Niemeyer, T., Freeman, B. J., Grevitt, M. P. und Webb, J. K. (Dez. 2000). “Anterior thoracoscopic surgery followed by posterior instrumentation and fusion in spinal deformity”. In: *Eur Spine J* 9.6, S. 499–504.
- Nohara, A., Kawakami, N., Seki, K., Tsuji, T., Ohara, T., Saito, T. und Kawakami, K. (Sep. 2015). “The Effects of Spinal Fusion on Lumbar Disc Degeneration in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Minimum 10-Year Follow-Up”. In: *Spine Deform* 3.5, S. 462–468.
- Ohrn-Nissen, S., Hallager, D. W., Karbo, T., Gehrchen, M. und Dahl, B. (Nov. 2017). “Radiographic and Functional Outcome in Adolescent Idiopathic Scoliosis Operated With Hook/Hybrid Versus All-Pedicle Screw Instrumentation—A Retrospective Study in 149 Patients”. In: *Spine Deform* 5.6, S. 401–408.
- Pehrsson, K., Danielsson, A. J. und Nachemson, A. (Mai 2001). “Pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis: a 25 year follow up after surgery or start of brace treatment”. In: *Thorax* 56.5, S. 388–393.
- Ponte, A., Orlando, G. und Siccardi, G. L. (Jan. 2018). “The True Ponte Osteotomy: By the One Who Developed It”. In: *Spine Deform* 6.1, S. 2–11.
- Quan, G. M. und Gibson, M. J. (März 2010). “Correction of main thoracic adolescent idiopathic scoliosis using pedicle screw instrumentation: does higher implant density improve correction?” In: *Spine* 35.5, S. 562–567.
- Rizkallah, M., Sebaaly, A., Kharrat, K. und Kreichati, G. (Dez. 2017). “Selecting the Lowest Instrumented Vertebra in Adolescent Idiopathic Scoliosis: Comparison of the Lenke, Suk, and Dubousset Criteria”. In: *Orthop Traumatol Surg Res*, Epub ahead of print, Zugriff: 29.01.2018.
- Rushton, P. R. und Grevitt, M. P. (Juni 2014). “Do vertebral derotation techniques offer better outcomes compared to traditional methods in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis?” In: *Eur Spine J* 23.6, S. 1166–1176.
- Saifi, C., Laratta, J. L., Petridis, P., Shillingford, J. N., Lehman, R. A. und Lenke, L. G. (Mai 2017). “Vertebral Column Resection for Rigid Spinal Deformity”. In: *Global Spine J* 7.3, S. 280–290.
- Saleh, A. M., El Masry, M. A., West, R. M., Tsiridis, E. und El Hawary, Y. K. (Okt. 2010). “Improved pulmonary function after concave rib resection and posterior instrumentation for idiopathic scoliosis”. In: *Acta Orthop Belg* 76.5, S. 681–3.
- Samdani, A. F., Bennett, J. T., Singla, A. R., Marks, M. C., Pahys, J. M., Lonner, B. S., Miyanji, F., Shah, S. A., Shufflebarger, H. L., Newton, P. O., Asghar, J., Betz, R. R. und Cahill, P. J. (2015). “Do Ponte Osteotomies Enhance Correction in Adolescent Idiopathic Scoliosis? An Analysis of 191 Lenke 1A and 1B Curves”. In: *Spine Deform* 3.5, S. 483–488.

- Samdani, A. F., Hwang, S. W., Miyanji, F., Lonner, B., Marks, M. C., Sponseller, P. D., Newton, P. O., Cahill, P. J., Shufflebarger, H. L. und Betz, R. R. (Juni 2012). “Direct vertebral body derotation, thoracoplasty, or both: which is better with respect to inclinometer and scoliosis research society-22 scores?” In: *Spine* 37.14, E849–853.
- Sangiorgio, S. N., Borkowski, S. L., Bowen, R. E., Scaduto, A. A., Frost, N. L. und Ebramzadeh, E. (2013). “Quantification of Increase in Three-dimensional Spine Flexibility Following Sequential Ponte Osteotomies in a Cadaveric Model”. In: *Spine Deform* 1.3, S. 171–178.
- Schwab, F. J., Smith, V. A., Biserni, M., Gamez, L., Farcy, J. P. und Pagala, M. (Feb. 2002). “Adult scoliosis: a quantitative radiographic and clinical analysis”. In: *Spine* 27.4, S. 387–392.
- Shah, S. A., Dhawale, A. A., Oda, J. E., Yorgova, P., Neiss, G. I., Holmes, L. und Gabos, P. G. (2013). “Ponte Osteotomies With Pedicle Screw Instrumentation in the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis”. In: *Spine Deform* 1.3, S. 196–204.
- Shufflebarger, H. L. und Clark, C. E. (Apr. 1998). “Effect of wide posterior release on correction in adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Pediatr Orthop B* 7.2, S. 117–123.
- Shufflebarger, H. L., Geck, M. J. und Clark, C. E. (Feb. 2004). “The posterior approach for lumbar and thoracolumbar adolescent idiopathic scoliosis: posterior shortening and pedicle screws”. In: *Spine* 29.3, S. 269–276.
- Smith, J. S., Shaffrey, C. I., Klineberg, E., Lafage, V., Schwab, F., Lafage, R., Kim, H. J., Hostin, R., Mundis, G. M., Gupta, M., Liabaud, B., Scheer, J. K., Diebo, B. G., Protosaltis, T. S., Kelly, M. P., Deviren, V., Hart, R., Burton, D., Bess, S. und Ames, C. P. (Okt. 2017). “Complication rates associated with 3-column osteotomy in 82 adult spinal deformity patients: retrospective review of a prospectively collected multicenter consecutive series with 2-year follow-up”. In: *J Neurosurg Spine* 27.4, S. 444–457.
- Sponseller, P. D., Takenaga, R. K., Newton, P., Boachie, O., Flynn, J., Letko, L., Betz, R., Bridwell, K., Gupta, M., Marks, M. und Bastrom, T. (Okt. 2008). “The use of traction in the treatment of severe spinal deformity”. In: *Spine* 33.21, S. 2305–2309.
- srs.org (29. Jan. 2018). *Adolescent Idiopathic Scoliosis*. URL: <http://www.srs.org/patients-and-families/conditions-and-treatments/parents/scoliosis/adolescent-idiopathic-scoliosis>.
- Storer, S. K., Vitale, M. G., Hyman, J. E., Lee, F. Y., Choe, J. C. und Roye, D. P. (2005). “Correction of adolescent idiopathic scoliosis using thoracic pedicle screw fixation versus hook constructs”. In: *J Pediatr Orthop* 25.4, S. 415–419.
- Sucato, D. J., Agrawal, S., O’Brien, M. F., Lowe, T. G., Richards, S. B. und Lenke, L. (Nov. 2008). “Restoration of thoracic kyphosis after operative treatment of adole-

- scent idiopathic scoliosis: a multicenter comparison of three surgical approaches”. In: *Spine* 33.24, S. 2630–2636.
- Suh, S. W., Modi, H. N., Yang, J., Song, H. R. und Jang, K. M. (Mai 2009). “Posterior multilevel vertebral osteotomy for correction of severe and rigid neuromuscular scoliosis: a preliminary study”. In: *Spine* 34.12, S. 1315–1320.
- Suk, S. I., Kim, J. H., Cho, K. J., Kim, S. S., Lee, J. J. und Han, Y. T. (Sep. 2007). “Is anterior release necessary in severe scoliosis treated by posterior segmental pedicle screw fixation?” In: *Eur Spine J* 16.9, S. 1359–1365.
- Suk, S. I., Kim, J. H., Kim, S. S., Lee, J. J. und Han, Y. T. (Mai 2008). “Thoracoplasty in thoracic adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 33.10, S. 1061–1067.
- Suk, S. I., Kim, W. J., Kim, J. H. und Lee, S. M. (Dez. 1999). “Restoration of thoracic kyphosis in the hypokyphotic spine: a comparison between multiple-hook and segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Spinal Disord* 12.6, S. 489–495.
- Suk, S. I., Lee, C. K., Kim, W. J., Chung, Y. J. und Park, Y. B. (Juni 1995). “Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 20.12, S. 1399–1405.
- Takeuchi, T., Abumi, K., Shono, Y., Oda, I. und Kaneda, K. (Juli 1999). “Biomechanical role of the intervertebral disc and costovertebral joint in stability of the thoracic spine. A canine model study”. In: *Spine* 24.14, S. 1414–1420.
- Teixeira da Silva, L. E., Barros, A. G. de und Azevedo, G. B. de (Juli 2015). “Management of severe and rigid idiopathic scoliosis”. In: *Eur J Orthop Surg Traumatol* 25 Suppl 1, S. 7–12.
- Tokunaga, M., Minami, S., Kitahara, H., Isobe, K., Nakata, Y. und Moriya, H. (Feb. 2000). “Vertebral decancellation for severe scoliosis”. In: *Spine* 25.4, S. 469–474.
- Trobisch, P. D., Ducoffe, A. R., Lonner, B. S. und Errico, T. J. (Sep. 2013). “Choosing fusion levels in adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Am Acad Orthop Surg* 21.9, S. 519–528.
- Vedantam, R., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Haas, J. und Linville, D. A. (Jan. 2000). “A prospective evaluation of pulmonary function in patients with adolescent idiopathic scoliosis relative to the surgical approach used for spinal arthrodesis”. In: *Spine* 25.1, S. 82–90.
- Vora, V., Crawford, A., Babekhir, N., Boachie-Adjei, O., Lenke, L., Peskin, M., Charles, G. und Kim, Y. (Aug. 2007). “A pedicle screw construct gives an enhanced posterior correction of adolescent idiopathic scoliosis when compared with other constructs: myth or reality”. In: *Spine* 32.17, S. 1869–1874.
- Wagner, S. C., Lehman, R. A. und Lenke, L. G. (2015). “Surgical management of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Seminars in Spine Surgery* 27.1, S. 33–38.

- Watanabe, K., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Kim, Y. J., Watanabe, K., Kim, Y. W., Kim, Y. B., Hensley, M. und Stobbs, G. (Mai 2008). “Comparison of radiographic outcomes for the treatment of scoliotic curves greater than 100 degrees: wires versus hooks versus screws”. In: *Spine* 33.10, S. 1084–1092.
- Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Cheng, J. C., Danielsson, A. und Morcuende, J. A. (Mai 2008). “Adolescent idiopathic scoliosis”. In: *Lancet* 371.9623, S. 1527–1537.
- Wilk, B., Karol, L. A., Johnston, C. E., Colby, S. und Haideri, N. (Feb. 2006). “The effect of scoliosis fusion on spinal motion: a comparison of fused and nonfused patients with idiopathic scoliosis”. In: *Spine* 31.3, S. 309–314.
- Wollowick, A. L., Farrelly, E. E., Meyers, K., Grossman, S., Amaral, T. D., Wright, T. und Sarwahi, V. (Aug. 2013). “Anterior release generates more thoracic rotation than posterior osteotomy: a biomechanical study of human cadaver spines”. In: *Spine* 38.18, S. 1540–1545.
- Yamin, S., Li, L., Xing, W., Tianjun, G. und Yupeng, Z. (Juli 2008). “Staged surgical treatment for severe and rigid scoliosis”. In: *J Orthop Surg Res* 3.26.
- Yang, S., Jones-Quaidoo, S. M., Eager, M., Griffin, J. W., Reddi, V., Novicoff, W., Shilt, J., Bersusky, E., Defino, H., Ouellet, J. und Arlet, V. (Juli 2011). “Right adolescent idiopathic thoracic curve (Lenke 1 A and B): does cost of instrumentation and implant density improve radiographic and cosmetic parameters?” In: *Eur Spine J* 20.7, S. 1039–1047.
- Yao, X., Blount, T. J., Suzuki, N., Brown, L. K., Walt, C. J. van der, Baldini, T., Lindley, E. M., Patel, V. V. und Burger, E. L. (Apr. 2012). “A biomechanical study on the effects of rib head release on thoracic spinal motion”. In: *Eur Spine J* 21.4, S. 606–612.
- Yaszay, B., Bastrom, T. P., Bartley, C. E., Parent, S. und Newton, P. O. (Juni 2017). “The effects of the three-dimensional deformity of adolescent idiopathic scoliosis on pulmonary function”. In: *Eur Spine J* 26.6, S. 1658–1664.
- Yilmaz, G., Borkhuu, B., Dhawale, A. A., Oto, M., Littleton, A. G., Mason, D. E., Gabos, P. G. und Shah, S. A. (2012). “Comparative analysis of hook, hybrid, and pedicle screw instrumentation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis”. In: *J Pediatr Orthop* 32.5, S. 490–499.
- Zang, L., Hai, Y., Yuan, S., Su, Q., Yang, J., Guan, L., Kang, N., Meng, X., Liu, Y. und Fan, N. (Feb. 2017). “Distal Adding-on and Risk Factors in Severe and Rigid Scoliosis”. In: *Spine* 42.3, S. 160–168.
- Zhang, H. Q., Wang, Y. X., Guo, C. F., Tang, M. X., Chen, L. Q., Liu, S. H., Wang, Y. F. und Chen, J. (Juli 2011). “Posterior-only surgery with strong halo-femoral traction for the treatment of adolescent idiopathic scoliotic curves more than 100°”. In: *Int Orthop* 35.7, S. 1037–1042.

Zheng, C. K., Kan, W. S., Li, P., Zhao, Z. G. und Li, K. (Apr. 2013). “Treatment for severe idiopathic upper thoracic scoliosis in adolescence”. In: *J Spinal Disord Tech* 26.2, S. 107–111.

Zielke, K., Stunkat, R. und Beaujean, F. (Aug. 1976). “Ventrals Derotationsspondylodese”. In: *Arch Orthop Unfallchir* 85.3, S. 257–277.

Anhang

A Tabellarische Übersichten der Ergebnisse

Tab. A.1: Radiologische Ergebnisse der Gruppen ± perioperative Komplikationen

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	+ Kompl.	○ Kompl.	<i>p</i>	+ Kompl.	○ Kompl.	<i>p</i>	+ Kompl.	○ Kompl.	<i>p</i>
C7-SPL (mm)	16.7±6.1	11.7±3.3	ns	17.5±6.2	20.7±3.2	ns	11.0±6.4	3.9±3.6	ns
LL (°)	-62.6±3.1	-57.9±1.6	ns	-52.7±3.1	-50.8±1.6	ns	-59.9±3.2	-56.5±1.7	ns
TK (°)	46.2±3.1	32.7±1.6	< .001	30.5±3.1	26.4±1.6	ns	35.6±3.2	28.7±1.7	ns
CSVL (mm)	19.4±8.2	15.6±4.4	ns	18.9±8.6	20.8±4.3	ns	17.9±8.8	10.8±4.7	ns
UIV-Tilt (°)	25.2±1.9	28.0±1.0	ns	13.2±2.0	13.7±1.0	ns	13.6±2.0	14.8±1.1	ns
T1-Tilt (°)	7.3±1.3	7.6±0.7	ns	8.5±1.4	7.2±0.7	ns	7.8±1.4	7.5±0.8	ns
TC (°)	91.4±2.7	87.2±1.4	ns	51.8±2.7	42.2±1.4	.002	55.9±2.8	43.7±1.5	< .001
LC (°)	57.2±2.5	52.9±1.3	ns	28.7±2.5	22.4±1.3	.027	28.6±2.6	24.1±1.4	ns
LIV-Tilt (°)	20.4±1.6	19.4±0.8	ns	8.8±1.7	7.4±0.8	ns	8.6±1.7	8.4±0.9	ns
L4-Tilt (°)	16.8±1.5	13.3±0.8	.046	8.0±1.6	6.5±0.8	ns	7.6±1.6	7.7±0.9	ns
LIVDA (°)	7.9±1.0	7.9±0.5	ns	5.4±1.0	4.4±0.5	ns	3.5±1.0	4.2±0.5	ns
LIV-CSVL (mm)	19.6±2.2	16.2±1.1	ns	14.8±2.2	14.9±1.1	ns	11.5±2.3	14.7±1.2	ns
SHD (mm)	9.7±3.0	11.7±1.4	ns	11.4±2.5	14.8±1.4	ns	10.5±3.0	9.6±2.0	ns
RHHD (mm)	40.6±3.9	40.6±1.8	ns	28.4±5.3	29.3±2.5	ns	21.4±9.1	27.3±3.5	ns

Tab. A.2: Radiologische Ergebnisse der Gruppen \pm Revision

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	+ Revision	\ominus Revision	<i>p</i>	+ Revision	\ominus Revision	<i>p</i>	+ Revision	\ominus Revision	<i>p</i>
C7-SPL (mm)	17.6 \pm 6.7	11.7 \pm 3.2	ns	16.3 \pm 6.9	20.7 \pm 3.2	ns	3.4 \pm 7.1	6.3 \pm 3.5	ns
LL (°)	-65.7 \pm 3.4	-57.4 \pm 1.6	.027	-53.1 \pm 3.4	-50.8 \pm 1.6	ns	-61.8 \pm 3.5	-56.2 \pm 1.7	ns
TK (°)	52.7 \pm 3.2	31.9 \pm 1.5	< .001	34.4 \pm 3.2	25.7 \pm 1.5	.017	39.1 \pm 3.4	28.3 \pm 1.6	.004
CSVL (mm)	18.3 \pm 3.3	15.6 \pm 1.6	ns	18.6 \pm 3.5	20.0 \pm 1.6	ns	18.6 \pm 3.6	10.3 \pm 1.7	.043
UIV-Tilt (°)	24.5 \pm 2.1	28.0 \pm 1.0	ns	14.0 \pm 2.2	13.5 \pm 1.0	ns	13.7 \pm 2.2	14.7 \pm 1.1	ns
T1-Tilt (°)	6.5 \pm 1.4	7.8 \pm 0.7	ns	8.1 \pm 1.5	7.3 \pm 0.7	ns	7.9 \pm 1.6	7.5 \pm 0.8	ns
TC (°)	91.9 \pm 2.9	87.3 \pm 1.3	ns	54.0 \pm 2.9	42.2 \pm 1.3	< .001	57.6 \pm 3.0	44.0 \pm 1.4	< .001
LC (°)	55.7 \pm 2.8	53.4 \pm 1.3	ns	27.9 \pm 2.8	22.9 \pm 1.3	ns	27.0 \pm 2.9	24.7 \pm 1.4	ns
LIV-Tilt (°)	20.3 \pm 1.8	19.5 \pm 0.8	ns	9.0 \pm 1.8	7.4 \pm 0.8	ns	8.4 \pm 1.9	8.4 \pm 0.9	ns
L4-Tilt (°)	15.9 \pm 1.7	13.6 \pm 0.8	ns	7.3 \pm 1.7	6.7 \pm 0.8	ns	6.4 \pm 1.8	7.9 \pm 0.8	ns
LIVDA (°)	8.8 \pm 1.1	7.7 \pm 0.5	ns	5.7 \pm 1.1	4.4 \pm 0.5	ns	3.7 \pm 1.1	4.1 \pm 0.5	ns
LIV-CSVL (mm)	16.9 \pm 2.4	16.9 \pm 1.1	ns	12.2 \pm 2.5	15.5 \pm 1.1	ns	8.5 \pm 2.6	15.1 \pm 1.2	.020
SHD (mm)	9.6 \pm 3.0	11.6 \pm 1.4	ns	16.0 \pm 2.6	13.5 \pm 1.4	ns	9.5 \pm 3.5	10.1 \pm 1.9	ns
RHHD (mm)	41.3 \pm 4.2	40.5 \pm 1.7	ns	28.8 \pm 5.8	29.2 \pm 2.4	ns	26.7 \pm 12.3	26.5 \pm 3.4	ns

Tab. A.3: Radiologische Ergebnisse der Gruppen DKS ± CTP

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	+ CTP	∅ CTP	<i>p</i>	+ CTP	∅ CTP	<i>p</i>	+ CTP	∅ CTP	<i>p</i>
C7-SPL (mm)	10.5 ± 3.4	19.4 ± 5.6	.004	17.8 ± 3.3	25.8 ± 5.5	ns	4.8 ± 3.6	8.2 ± 6.3	ns
LL (°)	-60.1 ± 1.7	-55.6 ± 2.8	ns	-51.6 ± 1.6	-50.0 ± 2.8	ns	-57.8 ± 1.8	-55.4 ± 3.0	ns
TK (°)	36.0 ± 1.7	34.2 ± 2.9	ns	27.3 ± 1.7	27.1 ± 2.9	ns	30.4 ± 1.8	29.6 ± 3.1	ns
CSVL (mm)	15.2 ± 1.6	18.7 ± 2.8	ns	18.5 ± 1.7	23.3 ± 2.8	ns	11.7 ± 1.8	12.4 ± 3.1	ns
UIV-Tilt (°)	27.1 ± 1.1	28.3 ± 1.8	ns	13.0 ± 1.1	15.1 ± 1.8	ns	14.7 ± 1.1	14.1 ± 1.9	ns
T1-Tilt (°)	7.8 ± 0.7	6.9 ± 1.2	ns	8.0 ± 0.7	6.0 ± 1.2	ns	8.0 ± 0.8	6.5 ± 1.4	ns
TC (°)	89.1 ± 1.4	85.2 ± 2.3	ns	47.8 ± 1.4	34.3 ± 2.3	< .001	50.2 ± 1.4	35.4 ± 2.5	< .001
LC (°)	53.9 ± 1.3	53.5 ± 2.3	ns	25.7 ± 1.3	18.2 ± 2.3	.005	26.1 ± 1.4	22.1 ± 2.4	ns
LIV-Tilt (°)	18.8 ± 0.9	22.0 ± 1.4	ns	8.0 ± 0.9	6.8 ± 1.4	ns	8.2 ± 0.9	9.0 ± 1.6	ns
L4-Tilt (°)	13.4 ± 0.8	15.7 ± 1.4	ns	6.5 ± 0.8	7.6 ± 1.4	ns	7.1 ± 0.9	9.4 ± 1.5	ns
LIVDA (°)	7.6 ± 0.5	8.8 ± 0.8	ns	4.8 ± 0.5	4.0 ± 0.9	ns	3.7 ± 0.6	4.9 ± 0.9	ns
LIV-CSVL (mm)	17.2 ± 1.2	16.2 ± 2.0	ns	14.5 ± 1.2	16.3 ± 2.0	ns	13.0 ± 1.3	17.0 ± 2.2	ns
SHD (mm)	10.6 ± 1.4	13.9 ± 2.6	ns	13.8 ± 1.4	14.7 ± 2.4	ns	9.6 ± 1.9	11.0 ± 3.7	ns
RHHD (mm)	37.8 ± 1.8	47.7 ± 2.9	.004	27.8 ± 2.3	35.0 ± 6.2	ns	25.1 ± 3.3	28.6 ± 12.4	ns

Tab. A.4: Radiologische Ergebnisse der Gruppen DKS ± PO (ne = not estimable)

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	+ PO	∅ PO	p	+ PO	∅ PO	p	+ PO	∅ PO	p
C7-SPL (mm)	8.7 ± 8.1	13.5 ± 3.1	ns	28.9 ± 8.1	18.7 ± 3.1	ns	13.3 ± 9.0	4.6 ± 3.4	ns
LL (°)	-57.6 ± 4.2	-59.1 ± 1.5	ns	-51.6 ± 4.2	-51.2 ± 1.5	ns	-57.3 ± 4.3	-57.2 ± 1.6	ns
TK (°)	40.6 ± 4.3	34.9 ± 1.6	ns	35.2 ± 4.3	26.2 ± 1.6	ns	34.4 ± 4.4	29.6 ± 1.7	ns
CSVL (mm)	20.9 ± 3.9	15.5 ± 1.5	ns	33.8 ± 3.9	17.8 ± 1.5	< .001	15.2 ± 4.1	11.4 ± 1.6	ns
UIV-Tilt (°)	29.3 ± 2.6	27.1 ± 0.9	ns	18.0 ± 2.6	13.0 ± 1.0	ns	16.6 ± 2.7	14.3 ± 1.0	ns
T1-Tilt (°)	7.0 ± 1.8	7.6 ± 0.7	ns	6.9 ± 1.8	7.5 ± 0.7	ns	7.0 ± 2.0	7.7 ± 0.8	ns
TC (°)	89.5 ± 3.7	87.9 ± 1.4	ns	38.7 ± 3.7	45.0 ± 1.4	ns	38.1 ± 3.9	47.7 ± 1.4	.021
LC (°)	61.9 ± 3.4	52.7 ± 1.2	.011	20.9 ± 3.4	24.2 ± 1.2	ns	24.6 ± 3.5	25.2 ± 1.3	ns
LIV-Tilt (°)	23.2 ± 2.2	19.1 ± 0.8	ns	8.2 ± 2.2	7.6 ± 0.8	ns	8.4 ± 2.2	8.4 ± 0.9	ns
L4-Tilt (°)	21.5 ± 2.0	13.0 ± 0.7	< .001	9.0 ± 2.0	6.5 ± 0.7	ns	10.5 ± 2.1	7.3 ± 0.8	ns
LIVDA (°)	7.0 ± 1.2	8.0 ± 0.5	ns	4.20 ± 1.25	4.6 ± 0.5	ns	4.8 ± 1.3	3.9 ± 0.5	ns
LIV-CSVL (mm)	20.1 ± 3.0	16.5 ± 1.1	ns	15.8 ± 3.0	14.8 ± 1.1	ns	16.4 ± 3.1	13.6 ± 1.2	ns
SHD (mm)	12.9 ± 5.3	11.2 ± 1.3	ns	13.8 ± 3.5	14.1 ± 1.3	ns	14.1 ± 6.5	9.6 ± 1.8	ns
RHHD (mm)	46.1 ± 4.3	39.8 ± 1.7	ns	53.6 ± 12.6	28.1 ± 2.2	.049	ne	25.7 ± 3.2	ne

Tab. A.5: Radiologische Ergebnisse der Gruppen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ und $> 10^\circ$

Parameter (Eht.)	Präoperativ		<i>p</i>	Postoperativ		<i>p</i>	FU		<i>p</i>
	FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$	$> 10^\circ$		FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$	$> 10^\circ$		FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$	$> 10^\circ$	
C7-SPL (mm)	10.9 ± 3.6	11.6 ± 5.6	ns	17.0 ± 3.5	18.2 ± 5.6	ns	6.0 ± 3.5	1.1 ± 5.6	ns
LL (°)	-60.9 ± 1.8	-55.5 ± 2.9	ns	-52.9 ± 1.8	-49.0 ± 2.9	ns	-60.1 ± 1.8	-51.6 ± 2.9	.014
TK (°)	36.7 ± 2.0	33.0 ± 3.1	ns	27.9 ± 2.0	28.7 ± 3.2	ns	31.1 ± 2.0	28.6 ± 3.1	ns
CSVL (mm)	16.7 ± 1.8	14.5 ± 2.8	ns	17.4 ± 1.8	28.3 ± 3.0	.002	11.0 ± 1.8	13.5 ± 2.9	ns
UIV-Tilt (°)	26.6 ± 1.2	25.4 ± 1.9	ns	14.3 ± 1.2	13.6 ± 1.9	ns	14.6 ± 1.2	13.8 ± 1.9	ns
T1-Tilt (°)	7.1 ± 0.8	9.0 ± 1.3	ns	7.6 ± 0.8	8.1 ± 1.3	ns	7.0 ± 0.8	8.8 ± 1.3	ns
TC (°)	88.9 ± 1.7	87.1 ± 2.7	ns	44.1 ± 1.7	48.6 ± 2.7	ns	46.5 ± 1.7	47.5 ± 2.7	ns
LC (°)	53.2 ± 1.5	56.8 ± 1.5	ns	21.8 ± 1.5	29.3 ± 2.4	ns	22.5 ± 1.5	32.3 ± 2.4	<.001
LIV-Tilt (°)	19.3 ± 0.9	19.0 ± 1.5	ns	7.2 ± 0.9	9.1 ± 1.5	ns	7.4 ± 0.9	10.5 ± 1.5	ns
L4-Tilt (°)	12.1 ± 0.8	19.89 ± 1.19	<.001	4.8 ± 0.8	11.9 ± 1.2	<.001	5.0 ± 0.8	14.6 ± 1.2	<.001
LIVDA (°)	8.3 ± 0.6	6.4 ± 0.9	ns	4.4 ± 0.6	4.5 ± 0.9	ns	3.7 ± 0.6	4.5 ± 0.9	ns
LIV-CSVL (mm)	14.6 ± 1.2	23.9 ± 1.9	<.001	11.8 ± 1.2	21.2 ± 1.9	<.001	10.9 ± 1.2	21.8 ± 1.9	<.001
SHD (mm)	10.3 ± 1.8	13.3 ± 2.5	ns	14.3 ± 1.6	13.9 ± 2.8	ns	9.4 ± 2.1	10.4 ± 3.9	ns
RHHD (mm)	39.2 ± 2.2	36.8 ± 3.1	ns	31.2 ± 2.8	26.1 ± 4.7	ns	30.4 ± 3.8	19.2 ± 5.4	ns

Tab. A.6: Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und \odot Mobiler LIV-Tilt

Parameter (Eht.)	Präoperativ				Postoperativ				FU		
	präop.		präop.		präop.		präop.		Mobiler LIV-Tilt	Mobiler LIV-Tilt	p
	Mobiler LIV-Tilt	\odot Mobiler LIV-Tilt	Mobiler LIV-Tilt	\odot Mobiler LIV-Tilt	Mobiler LIV-Tilt	\odot Mobiler LIV-Tilt	Mobiler LIV-Tilt	\odot Mobiler LIV-Tilt			
C7-SPL (mm)	13.3 ± 4.9	12.6 ± 3.6	19.5 ± 4.8	20.2 ± 3.6	7.2 ± 5.1	4.7 ± 4.0	ns	ns	ns	ns	
LL (°)	-59.8 ± 2.4	-58.4 ± 1.8	-49.5 ± 2.4	-52.2 ± 1.8	-58.3 ± 2.5	-56.5 ± 1.9	ns	ns	ns	ns	
TK (°)	33.0 ± 2.5	37.0 ± 1.9	24.8 ± 2.5	28.6 ± 1.9	27.4 ± 2.6	31.8 ± 2.0	ns	ns	ns	ns	
CSVL (mm)	15.9 ± 2.3	16.2 ± 1.8	15.2 ± 2.3	22.4 ± 1.8	7.6 ± 2.5	14.5 ± 2.0	ns	.014	.032	.032	
UIV-Tilt (°)	27.8 ± 1.5	27.1 ± 1.1	12.7 ± 1.5	14.1 ± 1.1	14.2 ± 1.6	14.8 ± 1.2	ns	ns	ns	ns	
T1-Tilt (°)	6.7 ± 1.0	8.0 ± 0.8	6.4 ± 1.0	8.0 ± 0.8	5.8 ± 1.1	8.7 ± 0.9	ns	ns	.038	.038	
TC (°)	89.1 ± 2.1	87.6 ± 1.6	44.5 ± 2.1	44.1 ± 1.6	48.1 ± 2.2	45.5 ± 1.7	ns	ns	ns	ns	
LC (°)	47.0 ± 1.8	57.7 ± 1.4	21.4 ± 1.8	25.1 ± 1.4	23.0 ± 1.9	26.2 ± 1.5	< .001	ns	ns	ns	
LIV-Tilt (°)	19.6 ± 1.2	19.6 ± 0.9	7.5 ± 1.2	7.8 ± 0.9	8.7 ± 1.3	8.3 ± 1.0	ns	ns	ns	ns	
L4-Tilt (°)	6.7 ± 1.0	18.3 ± 0.7	4.5 ± 1.0	8.1 ± 0.7	4.7 ± 1.0	9.4 ± 0.8	< .001	.005	< .001	< .001	
LIVDA (°)	10.2 ± 0.7	6.5 ± 0.5	5.2 ± 0.7	4.2 ± 0.5	5.0 ± 0.7	3.4 ± 0.6	< .001	ns	ns	ns	
LIV-CSVL (mm)	8.4 ± 1.5	21.7 ± 1.1	11.2 ± 1.5	17.1 ± 1.1	9.4 ± 1.6	16.5 ± 1.2	< .001	.002	< .001	< .001	
SHD (mm)	11.5 ± 2.0	11.2 ± 1.6	13.6 ± 2.0	14.3 ± 1.5	11.7 ± 3.1	9.1 ± 2.0	ns	ns	ns	ns	
RHHD (mm)	41.3 ± 2.8	40.2 ± 2.0	32.7 ± 3.2	26.1 ± 3.0	30.4 ± 6.2	24.8 ± 3.8	ns	ns	ns	ns	

Tab. A.7: Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler L4-Tilt und \odot Mobiler L4-Tilt

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	präop.			präop.			präop.		
	Mobiler L4-Tilt	\odot Mobiler L4-Tilt	<i>p</i>	Mobiler L4-Tilt	\odot Mobiler L4-Tilt	<i>p</i>	Mobiler L4-Tilt	\odot Mobiler L4-Tilt	<i>p</i>
C7-SPL (mm)	13.3±5.8	13.1±3.4	ns	24.8±6.1	19.4±3.3	ns	-0.8±6.6	8.0±3.7	ns
LL (°)	-59.8±2.9	-58.6±1.7	ns	-52.0±2.9	-50.9±1.7	ns	-60.7±3.1	-56.1±1.8	ns
TK (°)	35.3±3.0	35.5±1.8	ns	27.4±3.0	27.0±1.8	ns	31.5±3.3	29.8±1.9	ns
GSVL (mm)	8.3±2.8	18.9±1.6	.001	17.2±3.1	20.8±1.6	ns	11.5±3.3	11.8±1.8	ns
UIV-Tilt (°)	27.8±1.8	27.1±1.1	ns	14.1±1.9	13.5±1.1	ns	16.0±2.0	14.0±1.1	ns
T1-Tilt (°)	6.2±1.2	8.1±0.7	ns	8.3±1.3	7.3±0.7	ns	7.7±1.5	7.8±0.8	ns
TC (°)	88.4±2.6	88.3±1.5	ns	44.7±2.6	44.5±1.5	ns	45.6±2.8	47.1±1.6	ns
LC (°)	50.2±2.4	55.0±1.4	ns	22.5±2.4	24.3±1.4	ns	22.9±2.6	26.0±1.5	ns
LIV-Tilt (°)	16.8±1.4	21.1±0.8	.010	5.6±1.5	8.4±0.8	ns	7.6±1.6	8.8±0.9	ns
L4-Tilt (°)	8.8±1.4	15.9±0.8	<.001	4.8±1.4	7.4±0.8	ns	5.5±1.5	8.4±0.9	ns
LIVDA (°)	7.6±0.9	8.1±0.5	ns	4.8±0.9	4.4±0.5	ns	3.2±1.0	4.3±0.6	ns
LIV-GSVL (mm)	13.2±2.0	18.1±1.2	.043	13.5±2.1	15.4±1.2	ns	12.7±2.2	14.1±1.3	ns
SHD (mm)	9.8±2.5	12.2±1.4	ns	15.0±2.4	13.6±1.4	ns	11.4±3.7	9.5±1.9	ns
RHHD (mm)	41.4±3.1	41.0±1.8	ns	29.5±3.5	28.1±2.5	ns	23.1±9.5	26.9±2.9	ns

Tab. A.8: Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \emptyset Mobiler LIVDA

Parameter (Eht.)	Präoperativ			Postoperativ			FU		
	präop.		<i>p</i>	präop.		<i>p</i>	präop.		<i>p</i>
	Mobiler LIVDA	\emptyset Mobiler LIVDA		Mobiler LIVDA	\emptyset Mobiler LIVDA		Mobiler LIVDA	\emptyset Mobiler LIVDA	
C7-SPL (mm)	11.9 ± 6.8	12.6 ± 3.2	ns	5.4 ± 7.0	22.4 ± 3.1	.029	8.3 ± 7.6	4.7 ± 3.5	ns
LL (°)	-55.9 ± 3.5	-59.3 ± 1.6	ns	-55.4 ± 3.5	-50.3 ± 1.6	ns	-58.3 ± 3.8	-56.9 ± 1.7	ns
TK (°)	37.8 ± 3.6	34.8 ± 1.6	ns	28.5 ± 3.6	26.8 ± 1.6	ns	34.4 ± 3.9	29.0 ± 1.7	ns
CSVL (mm)	17.9 ± 3.5	15.7 ± 1.6	ns	21.5 ± 3.7	19.3 ± 1.6	ns	10.9 ± 3.9	11.8 ± 1.8	ns
UIV-Tilt (°)	31.2 ± 2.2	26.7 ± 1.0	ns	17.5 ± 2.2	12.7 ± 1.0	.046	17.6 ± 2.4	14.0 ± 1.1	ns
T1-Tilt (°)	9.1 ± 1.5	7.3 ± 0.7	ns	7.9 ± 1.6	7.4 ± 0.7	ns	5.7 ± 1.8	7.8 ± 0.8	ns
TC (°)	88.0 ± 3.2	88.2 ± 1.4	ns	42.5 ± 3.2	44.4 ± 1.4	ns	43.8 ± 3.4	46.6 ± 1.5	ns
LC (°)	63.4 ± 2.8	51.7 ± 1.2	< .001	25.3 ± 2.8	23.3 ± 1.2	ns	24.5 ± 3.0	25.0 ± 1.3	ns
LIV-Tilt (°)	22.0 ± 1.8	19.2 ± 0.8	ns	6.4 ± 1.8	7.9 ± 0.8	ns	7.2 ± 2.0	8.7 ± 0.9	ns
L4-Tilt (°)	21.6 ± 1.7	12.6 ± 0.8	< .001	6.9 ± 1.7	6.8 ± 0.8	ns	8.2 ± 1.8	7.6 ± 0.8	ns
LIVDA (°)	5.0 ± 1.0	8.5 ± 0.5	.002	4.4 ± 1.1	4.6 ± 0.5	ns	2.0 ± 1.1	4.4 ± 0.5	ns
LIV-CSVL (mm)	23.3 ± 2.5	15.6 ± 1.1	.005	14.3 ± 2.5	15.2 ± 1.1	ns	15.2 ± 2.7	13.8 ± 1.2	ns
SHD (mm)	12.7 ± 4.1	11.3 ± 1.3	ns	11.0 ± 2.8	14.7 ± 1.4	ns	10.7 ± 3.2	9.9 ± 2.1	ns
RHHD (mm)	40.1 ± 4.2	40.8 ± 1.7	ns	32.8 ± 9.0	29.0 ± 2.3	ns	15.0 ± 13.4	27.3 ± 3.4	ns

Tab. A.9: Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. CSVL medial und CSVL \odot medial der LIV-Pedikel

Parameter (Eht.)	Präoperativ				Postoperativ				FU	
	präop. CSVL		präop. CSVL		präop. CSVL		präop. CSVL			
	medial d. LIV-Pedikel	\odot medial d. LIV-Pedikel	<i>p</i>	medial d. LIV-Pedikel	\odot medial d. LIV-Pedikel	<i>p</i>	medial d. LIV-Pedikel	\odot medial d. LIV-Pedikel	<i>p</i>	
C7-SPL (mm)	11.9 \pm 5.1	13.4 \pm 3.4	ns	10.0 \pm 5.1	25.2 \pm 3.4	.014	2.6 \pm 5.9	7.5 \pm 3.7	ns	
LL (°)	-58.8 \pm 2.6	-59.0 \pm 1.7	ns	-50.4 \pm 2.6	-51.5 \pm 1.7	ns	-58.5 \pm 2.9	-56.8 \pm 1.8	ns	
TK (°)	34.0 \pm 2.7	36.1 \pm 1.8	ns	23.2 \pm 2.7	29.0 \pm 1.8	ns	27.5 \pm 3.0	31.4 \pm 1.9	ns	
CSVL (mm)	11.1 \pm 2.5	18.4 \pm 1.7	.015	15.2 \pm 2.4	22.2 \pm 1.7	.020	6.0 \pm 3.0	14.1 \pm 1.8	.023	
UIV-Tilt (°)	29.2 \pm 1.6	26.6 \pm 1.1	ns	14.4 \pm 1.6	13.3 \pm 1.1	ns	14.8 \pm 1.9	14.4 \pm 1.2	ns	
TI-Tilt (°)	8.1 \pm 1.1	7.3 \pm 0.7	ns	7.4 \pm 1.1	7.5 \pm 0.8	ns	8.0 \pm 1.4	7.6 \pm 0.8	ns	
TC (°)	92.3 \pm 2.3	86.3 \pm 1.5	.031	47.7 \pm 2.3	43.0 \pm 1.5	ns	50.7 \pm 2.5	44.8 \pm 1.6	ns	
LC (°)	47.8 \pm 2.1	56.4 \pm 1.4	<.001	22.9 \pm 2.1	24.2 \pm 1.4	ns	23.3 \pm 2.3	26.1 \pm 1.5	ns	
LIV-Tilt (°)	20.5 \pm 1.3	19.6 \pm 0.9	ns	7.8 \pm 1.3	7.6 \pm 0.9	ns	9.4 \pm 1.5	8.2 \pm 0.9	ns	
L4-Tilt (°)	7.7 \pm 1.2	16.9 \pm 0.8	<.001	5.1 \pm 1.2	7.5 \pm 0.8	ns	6.2 \pm 1.3	8.5 \pm 0.8	ns	
LIVDA (°)	11.4 \pm 0.7	6.3 \pm 0.5	<.001	6.1 \pm 0.7	3.8 \pm 0.5	.007	5.2 \pm 0.8	3.4 \pm 0.5	ns	
LIV-CSVL (mm)	4.2 \pm 1.5	22.5 \pm 1.0	<.001	11.2 \pm 1.5	16.5 \pm 1.0	.004	9.3 \pm 1.7	15.9 \pm 1.1	<.001	
SHD (mm)	11.6 \pm 2.3	11.5 \pm 1.5	ns	12.6 \pm 2.3	14.9 \pm 1.4	ns	12.2 \pm 3.2	9.1 \pm 2.0	ns	
RHHD (mm)	46.3 \pm 2.7	39.1 \pm 1.8	.029	31.9 \pm 3.3	27.1 \pm 2.4	ns	24.7 \pm 6.9	26.2 \pm 3.0	ns	

Tab. A.10: Radiologische Ergebnisse der Gruppen präop. LIV crossing und LIV \otimes crossing midline.

Parameter (Eht.)	Präoperativ				Postoperativ				FU		
	präop. LIV		präop. LIV		präop. LIV		präop. LIV		crossing midline	\otimes crossing midline	<i>p</i>
	crossing	midline	crossing	midline	crossing	midline	crossing	midline			
C7-SPL (mm)	17.2 ± 5.2	10.9 ± 3.5	19.4 ± 5.1	20.6 ± 3.5	6.1 ± 5.9	5.3 ± 3.8	ns	ns			ns
LL (°)	-58.1 ± 2.6	-59.2 ± 1.8	-49.1 ± 2.5	-52.2 ± 1.8	-60.3 ± 2.8	-56.0 ± 1.8	ns	ns			ns
TK (°)	33.1 ± 2.6	36.7 ± 1.8	23.0 ± 2.6	29.2 ± 1.8	29.3 ± 2.9	30.7 ± 1.9	ns	ns			ns
CSVL (mm)	17.6 ± 2.4	15.5 ± 1.7	12.3 ± 2.4	23.7 ± 1.7	8.7 ± 2.9	13.0 ± 1.8	ns	<.001			ns
UIV-Tilt (°)	28.4 ± 1.6	26.7 ± 1.1	13.5 ± 1.6	13.6 ± 1.1	15.2 ± 1.8	14.2 ± 1.2	ns	ns			ns
T1-Tilt (°)	8.0 ± 0.1	7.4 ± 0.1	7.5 ± 0.1	7.5 ± 0.1	7.8 ± 0.2	7.7 ± 0.1	.023	ns			ns
TC (°)	89.9 ± 2.3	87.4 ± 1.6	45.4 ± 2.3	44.0 ± 1.6	47.0 ± 2.5	46.5 ± 1.6	ns	ns			ns
LC (°)	43.8 ± 1.8	58.6 ± 1.2	18.2 ± 1.8	26.4 ± 1.2	17.8 ± 2.0	28.5 ± 1.3	<.001	<.001			<.001
LIV-Tilt (°)	24.4 ± 1.2	17.6 ± 0.9	9.6 ± 1.2	6.8 ± 0.9	10.1 ± 1.4	7.6 ± 0.9	<.001	ns			ns
L4-Tilt (°)	8.6 ± 1.2	16.7 ± 0.8	5.0 ± 1.2	7.6 ± 0.8	5.2 ± 1.3	8.8 ± 0.9	<.001	ns			.025
LIVDA (°)	11.1 ± 0.7	6.5 ± 0.5	5.2 ± 0.7	4.3 ± 0.5	4.0 ± 0.8	4.0 ± 0.5	<.001	ns			ns
LIV-CSVL (mm)	7.8 ± 1.5	21.2 ± 1.0	8.7 ± 1.5	17.9 ± 1.0	5.8 ± 1.7	17.4 ± 1.1	<.001	<.001			<.001
SHD (mm)	11.3 ± 2.0	11.4 ± 1.6	16.1 ± 2.3	12.7 ± 1.4	11.0 ± 3.2	9.4 ± 2.0	ns	ns			ns
RHHD (mm)	41.9 ± 3.0	39.8 ± 1.9	30.4 ± 3.4	28.2 ± 3.0	31.1 ± 12.6	25.9 ± 3.4	ns	ns			ns

Tab. A.11: Signifikante Korrelationen zwischen der Entfernung zwischen SV und LIV und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
Distanz SV-LIV	Δ präop. vs. postop. FVC (%)	.007	-.49	29
	LIV-Tilt Bending konvex	< .001	.40	85
	L4-Tilt Bending konvex	.003	.31	85
	präop. LL	.043	.22	83
	FU LL	.021	.28	68
	FU CSVL	.035	.26	65
	präop. TC	< .001	-.39	85
	präop. L4-Tilt	.002	.33	85
	postop. L4-Tilt	.008	.29	84
	FU L4-Tilt	.014	.30	67
	präop. LIVDA	.001	-.35	84
	präop. LIV-CSVL	< .001	.59	84
	postop. LIV-CSVL	< .001	.40	84
	FU LIV-CSVL	< .001	.56	67
	Δ präop. vs. FU CSVL	.045	.26	62
	Δ präop. vs. FU LIVDA	< .001	.45	67
	Δ präop. vs. postop. LIV-CSVL	.002	-.34	83
	Δ präop. vs. FU LIV-CSVL	.016	-.30	66
	Δ postop. vs. FU LIV-CSVL	.020	.28	67

Tab. A.12: Signifikante Korrelationen zwischen der Implantatdichte und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
Implantatdichte	Hook Ratio	< .001	-.66	85
	präop. TC Bending konvex	.005	-.30	85
	präop. TC Flex.	.034	.23	85
	postop. TC Korr.	< .001	.49	85
	postop. LC Korr.	< .001	.48	85
	FU TC Korr.	< .001	.63	68
	FU LC Korr.	.008	.32	68
	präop. TC	.007	-.29	85
	postop. TC	< .001	-.48	85
	FU TC	< .001	-.60	68
	postop. LC	.002	-.33	85
	präop. L4-Tilt	.022	.25	85
	präop. RHHD	.011	.30	69
	postop. RHHD	.022	.39	34
	Δ präop. vs. postop. TC	< .001	-.42	85
	Δ präop. vs. FU TC	< .001	-.57	68
	Δ präop. vs. postop. LC	< .001	-.46	85
	Δ präop. vs. FU LC	.008	-.32	68
	Δ postop. vs. FU LC	.031	.26	68

Tab. A.13: Signifikante Korrelationen zwischen der Hook Ratio und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
Hook Ratio	CTP-Level	.001	-.42	59
	Implantatdichte	< .001	-.66	85
	postop. CSVL	.035	-.24	79
	postop. UIV-Tilt	.007	-.29	84
	FU UIV-Tilt	.014	-.30	68
	postop. T1-Tilt	< .001	.39	82
	FU T1-Tilt	.029	.27	64
	präop. LC	.013	-.27	85
	FU LIV-CSVL	.038	-.25	67
	postop. SHD	.043	-.27	58
	präop. RHHD	.013	-.30	69
	postop. RHHD	.023	-.39	34
	Δ postop. vs. FU TC	.045	.24	68
	Δ präop. vs. postop. LC	.007	.29	85
	Δ präop. vs. FU LIVDA	.017	-.29	67

Tab. A.14: Signifikante Korrelationen zwischen der Anzahl der CTP-Level und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
Anzahl der CTP-Level	Hook Ratio	.001	-.42	59
	Fusionsstrecke	.011	.33	59
	FU TC Korr.	.016	-.35	48
	FU LC Korr.	.030	-.31	48
	FU TC	.041	.30	48
	postop. LIVDA	.030	.29	57
	FU SHD	.007	-.60	19
	Δ präop. und FU TC	.025	.32	48

Tab. A.15: Signifikante Korrelationen zwischen der TC Korrektur und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
postop. TC Korrektur	Alter präop.	.002	-.33	85
	Implantatdichte	< .001	.49	85
	Fusionsstrecke	.039	-.22	85
	präop. TC Bending konvex	< .001	-.60	85
	präop. TC Flex.	< .001	.55	85
	postop. LC Korr.	< .001	.59	85
	FU TC Korr.	< .001	.79	68
	FU LC Korr.	.003	.35	68
	präop. TK	.007	-.29	85
	postop. TK	.004	-.31	84
	FU TK	< .001	-.43	68
	postop. UIV-Tilt	.003	-.32	84
	präop. TC	< .001	-.42	85
	postop. TC	< .001	-.95	85
	FU TC	< .001	-.79	68
	postop. LC	< .001	-.59	85
	FU LC	.001	-.41	68
	Δ präop. vs. postop. TC	< .001	-.95	85
	Δ präop. vs. FU TC	< .001	-.70	68
	Δ postop. vs. FU TC	< .001	.44	68
Δ präop. vs. postop. LC	< .001	-.37	85	

Tab. A.16: Signifikante Korrelationen zwischen der LC Korrektur und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
	Alter präop.	.006	-.30	85
	Implantatdichte	< .001	.48	85
	präop. TC Bending konvex	< .001	-.46	85
	präop. LC Bending konvex	.005	-.30	85
	präop. LC Flex.	< .001	.45	85
	präop. TC Flex.	< .001	.38	85
	postop. TC Korr.	< .001	.59	85
	FU TC Korr.	< .001	.63	68
	FU LC Korr.	< .001	.71	68
	präop. CSVL	.017	.27	80
postop. LC Korrektur	präop. TC	< .001	-.39	85
	postop TC	< .001	-.60	85
	FU TC	< .001	-.64	68
	postop. LC	< .001	-.84	85
	FU LC	< .001	-.60	68
	präop. LIV-Tilt	.004	.31	85
	postop. LIVDA	.044	-.22	82
	FU LIVDA	.044	-.25	67
	Δ präop. vs. postop. TC	< .001	-.51	85
	Δ präop. vs. FU TC	< .001	-.56	68
	Δ präop. vs. postop. LC	< .001	-.75	85
	Δ präop. vs. FU LC	< .001	-.51	68
	Δ postop. vs. FU LC	.001	.39	68
	Δ präop. vs. postop. LIV-Tilt	< .001	-.38	84
	Δ präop. vs. FU LIV-Tilt	.004	-.35	68
	Δ präop. vs. postop. L4-Tilt	.003	-.32	84
Δ präop. vs. FU L4-Tilt	.035	-.26	67	

Tab. A.17: Signifikante Korrelationen zwischen FU L4-Tilt und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
FU L4-Tilt	Distanz SV zu LIV	.014	.30	67
	präop. LC Bending konvex	.043	.25	67
	präop. LIV-Tilt Bending konvex	.017	.29	67
	FU LC Korr.	.010	-.31	67
	postop. CSVL	.040	.26	62
	postop. LC	.020	.28	67
	FU LC	.001	.41	67
	FU LIV-Tilt	.001	.38	67
	präop. L4-Tilt	< .001	.53	67
	postop. L4-Tilt	< .001	.73	67
	präop. LIVDA	.020	-.28	67
	präop. LIV-CSVL	< .001	.43	66
	postop. LIV-CSVL	< .001	.52	67
	FU LIV-CSVL	< .001	.60	66
	Δ präop. vs. FU LIVDA	.004	.35	67
	Δ postop. vs. FU L4-Tilt	< .001	.44	67
	SRS-24 Selbstbild postop.	.028	.43	26

Tab. A.18: Signifikante Korrelationen zwischen der FU CSVL und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
FU CSVL	SV-LIV	.035	.26	65
	präop. RHA	.021	.34	45
	präop. LIV-R	.007	.33	65
	präop. CSVL	.008	.34	62
	präop. L4-Tilt	.036	.26	65
	präop. LIV-CSVL	.016	.30	64
	Δ präop. vs. FU CSVL	< .001	.54	62
	Δ postop. vs. FU CSVL	< .001	.44	61
	Δ präop. vs. FU LIV-CSVL	.049	-.25	63

Tab. A.19: Signifikante Korrelationen zwischen der prä- und postoperativen FVC (%)-Differenz und weiteren Parametern

	Korrelierender Parameter	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
Δ präop. zu postop FVC (%)	Distanz SV zu LIV (WK)	.007	-.49	29
	präop. LIV-Tilt Bending konvex	.002	-.55	29
	präop. L4-Tilt Bending konvex	.017	-.44	29
	präop. L4-Tilt	.034	-.40	29
	präop. LIV-CSVL	.005	-.51	29
	präop. RHHD	< .001	.70	23
	Δ präop. vs. postop L4-Tilt	.038	.39	29
	Δ präop. vs. postop. LIV-CSVL	.016	.44	29
	Δ SRS-24 Aktivität generell präop.	.048	.61	11

Tab. A.20: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen \pm Komplikationen ($M \pm 1$ SD)

Parameter (Eht.)	+ Kompl.	<i>n</i>	⊖ Kompl.	<i>n</i>	<i>p</i>
Hook Ratio (%)	27.9 \pm 19.3	18	17.1 \pm 18.6	67	.043
Fusionsstrecke (Sg.)	12.1 \pm 0.9	18	11.4 \pm 1.1	67	.025
postop. TC Korr. (%)	44.0 \pm 14.0	18	51.9 \pm 12.3	67	.039
FU TC Korr. (%)	38.8 \pm 11.6	16	49.6 \pm 10.5	52	.003
Δ präop. vs. FU TC (°)	-35.6 \pm 10.5	16	-43.0 \pm 8.9	52	.017
Δ präop. vs. postop. TK (°)	-15.7 \pm 10.3	18	-6.4 \pm 13.1	66	.003
Δ präop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	-8.1 \pm 7.3	15	-2.2 \pm 8.6	51	.014
Δ postop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	-3.1 \pm 5.4	15	0.3 \pm 5.2	52	.046

Tab. A.21: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen \pm Revision ($M \pm 1$ SD)

Parameter (Eht.)	+ Revision	<i>n</i>	⊖ Revision	<i>n</i>	<i>p</i>
Fusionsstrecke (Sg.)	12.1 \pm 0.8	15	11.5 \pm 1.1	70	.012
Präop. TC Bending konvex (°)	77.9 \pm 14.9	15	68.3 \pm 13.2	70	.031
Präop. TC Flex. (%)	15.6 \pm 10.5	15	22.1 \pm 11.6	70	.043
postop. TC Korr. (%)	41.8 \pm 14.3	15	52.1 \pm 12.1	70	.018
FU TC Korr. (%)	36.9 \pm 11.8	13	49.5 \pm 10.3	55	.003
Δ präop. vs. postop. TC (°)	-37.9 \pm 12.5	15	-45.1 \pm 9.8	70	.049
Δ präop. vs. FU TC (°)	-34.2 \pm 11.3	13	-43.0 \pm 8.7	55	.020
Δ postop. vs. FU LC (°)	-1.9 \pm 5.6	13	2.1 \pm 6.2	55	.036
Δ präop. vs. postop. TK (°)	-18.3 \pm 8.9	15	-6.3 \pm 12.8	69	< .001
Δ präop. vs. FU TK (°)	-14.2 \pm 10.7	13	-3.1 \pm 12.6	55	.004
Δ postop. vs. FU L4-Tilt (°)	-1.1 \pm 2.8	12	1.4 \pm 3.8	55	.016
Δ präop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	-8.2 \pm 7.6	12	-2.4 \pm 8.5	54	.032

Tab. A.22: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen DKS ± CTP (M ± 1 SD)

Parameter (Eht.)	+ CTP	<i>n</i>	⊖ CTP	<i>n</i>	<i>p</i>
Alter präop. (Jahre)	16.6 ± 4.1	63	14.9 ± 2.8	22	.036
Implantatdichte (%)	42.2 ± 19.7	63	83.8 ± 15.0	22	< .001
Hook Ratio (%)	25.4 ± 18.0	63	2.0 ± 9.5	22	< .001
Präop. RHA (°)	15.5 ± 5.7	43	12.2 ± 4.2	16	.022
Präop. TC Bending konvex (°)	72.6 ± 13.5	63	62.5 ± 12.5	22	.003
Präop. TC Flex. (%)	18.9 ± 10.7	63	26.8 ± 12.4	22	.013
postop. TC Korr. (%)	46.9 ± 12.0	63	59.9 ± 10.9	22	< .001
postop. LC Korr. (%)	52.0 ± 15.0	63	67.0 ± 17.8	22	.001
FU TC Korr. (%)	43.4 ± 9.8	51	58.0 ± 9.9	17	< .001
Δ präop. vs. postop. TC (°)	-41.4 ± 10.0	63	-50.9 ± 9.2	22	< .001
Δ präop. vs. FU TC (°)	-38.3 ± 8.2	51	-50.1 ± 9.0	17	< .001
Δ präop. vs. postop. LC (°)	-28.2 ± 10.2	63	-35.3 ± 11.1	22	.012
Δ postop. vs. FU LC (°)	0.4 ± 5.9	51	4.2 ± 6.6	17	.043
Δ präop. vs. postop. LIV-Tilt (°)	-10.8 ± 8.0	62	-15.2 ± 8.8	22	.044
Δ präop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	-4.9 ± 8.5	50	1.0 ± 7.5	16	.013

Tab. A.23: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen DKS ± PO (M ± 1 SD)

Parameter (Eht.)	+ PO	<i>n</i>	⊖ PO	<i>n</i>	<i>p</i>
Implantatdichte (%)	86.7 ± 11.9	10	48.5 ± 18.7	75	< .001
Hook Ratio (%)	0.0 ± 0.0	10	21.9 ± 18.9	75	< .001
postop. LC Korr. (%)	68.8 ± 13.9	10	54.2 ± 16.7	75	.010
FU TC Korr. (%)	57.1 ± 10.0	9	45.6 ± 11.2	59	.008
Δ präop. vs. FU TC (°)	-50.6 ± 9.4	9	-39.9 ± 9.1	59	.009
Δ präop. vs. postop. LC (°)	-41.0 ± 8.9	10	-28.6 ± 10.2	75	.001
Δ postop. vs. FU CSVL (mm)	-18.8 ± 14.4	9	-6.6 ± 17.1	52	.042
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt (°)	-12.5 ± 4.7	10	-6.5 ± 7.0	74	.003
Δ präop. vs. FU L4-Tilt (°)	-10.9 ± 5.0	9	-5.8 ± 7.3	58	.021
SRS-24 Selbstbild postop.	13.2 ± 1.0	4	10.4 ± 1.9	26	.002

Tab. A.24: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen FU L4-Tilt $\leq 10^\circ$ und $> 10^\circ$ ($M \pm 1$ SD)

Parameter (Eht.)	FU L4-Tilt	<i>n</i>	FU L4-Tilt	<i>n</i>	<i>p</i>
	$\leq 10^\circ$		$> 10^\circ$		
Distanz SV zu LIV (WK)	1.0 ± 0.8	48	1.6 ± 0.7	19	.002
postop. LC Korr. (%)	58.7 ± 16.6	48	49.0 ± 15.5	19	.030
FU LC Korr. (%)	57.0 ± 14.9	48	43.6 ± 14.7	19	.002
Präop. LIV AVR	1.1 ± 0.6	48	1.5 ± 0.5	19	.014
Δ präop. vs. postop. TC ($^\circ$)	-44.9 ± 9.0	48	-38.5 ± 12.1	19	.049
Δ präop. vs. FU LC ($^\circ$)	-30.7 ± 11.2	48	-24.5 ± 9.4	19	.027
Δ präop. vs. postop. CSVL (mm)	0.5 ± 19.7	42	12.8 ± 14.9	17	.013
Δ präop. vs. FU LIVDA ($^\circ$)	-4.6 ± 4.4	48	-1.8 ± 3.8	19	.015
Δ postop. vs. FU L4-Tilt ($^\circ$)	0.3 ± 3.4	48	2.7 ± 4.0	19	.027
SRS-24 Zufriedenheit	12.5 ± 2.5	24	14.2 ± 0.5	4	.005

Tab. A.25: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIV-Tilt und \otimes Mobiler LIV-Tilt ($M \pm 1$ SD)

Parameter (Eht.)	präop.	<i>n</i>	präop.	<i>n</i>	<i>p</i>
	Mobiler LIV-Tilt		\otimes Mobiler LIV-Tilt		
Δ FVC (%)	1.1 ± 13.4	10	-10.3 ± 12.2	19	.039
Implantatdichte (%)	45.9 ± 18.3	31	57.0 ± 22.8	54	.016
Distanz SV zu LIV (WK)	0.7 ± 0.9	31	1.4 ± 0.8	54	< .001
Präop. RHA ($^\circ$)	16.4 ± 5.0	22	13.5 ± 5.6	37	.043
Präop. LC Bending konvex ($^\circ$)	20.1 ± 9.9	31	33.2 ± 14.9	54	< .001
Präop. LC Flex. (%)	58.3 ± 18.6	31	44.6 ± 18.6	54	.002
Präop. LIV-Tilt Bending konvex ($^\circ$)	5.3 ± 3.7	31	18.0 ± 7.4	54	< .001
Präop. L4-Tilt Bending konvex ($^\circ$)	10.0 ± 4.3	31	17.0 ± 7.5	54	< .001
Δ präop. vs. postop. LC ($^\circ$)	-25.5 ± 9.5	31	-32.6 ± 10.8	54	.002
Δ präop. vs. FU LC ($^\circ$)	-24.2 ± 9.4	26	-31.9 ± 10.8	42	.003
Δ präop. vs. FU CSVL (mm)	-9.3 ± 12.6	24	-0.9 ± 11.6	38	.011
Δ präop. vs. postop. LIVDA ($^\circ$)	-5.0 ± 5.1	31	-2.4 ± 4.7	51	.024
Δ präop. vs. FU LIVDA ($^\circ$)	-5.4 ± 4.1	26	-2.8 ± 4.4	41	.017
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt ($^\circ$)	-2.1 ± 4.5	31	-10.2 ± 6.4	53	< .001
Δ präop. vs. FU L4-Tilt ($^\circ$)	-2.2 ± 4.3	26	-9.3 ± 7.3	41	< .001
Δ präop. vs. postop. LIV-CSVL (mm)	2.7 ± 8.8	30	-4.6 ± 9.1	53	< .001

Tab. A.26: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler L4-Tilt und \oslash Mobiler L4-Tilt ($M \pm 1$ SD)

Parameter (Eht.)	präop.		präop.		<i>p</i>
	Mobiler L4-Tilt	<i>n</i>	\oslash Mobiler L4-Tilt	<i>n</i>	
Präop. L4-Tilt Bending konkav ($^{\circ}$)	4.2 ± 4.1	21	8.2 ± 5.0	62	.001
Δ präop. vs. FU CSVL (mm)	1.6 ± 10.2	14	-6.3 ± 12.6	47	.025
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt ($^{\circ}$)	-3.8 ± 6.9	20	-8.5 ± 6.7	62	.012

Tab. A.27: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. Mobiler LIVDA und \oslash Mobiler LIVDA ($M \pm 1$ SD)

Parameter Eht.	präop.		präop.		<i>p</i>
	Mobiler LIVDA	<i>n</i>	\oslash Mobiler LIVDA	<i>n</i>	
Fusionsstrecke (Sg.)	12.1 ± 1.0	14	11.4 ± 1.0	70	.028
Präop. LC Bending konvex ($^{\circ}$)	39.1 ± 12.4	14	26.0 ± 14.0	70	.002
Präop. LC Flex. (%)	38.3 ± 19.1	14	52.2 ± 18.9	70	.022
Präop. LIV-Tilt Bending konvex ($^{\circ}$)	22.9 ± 5.3	14	11.4 ± 8.1	70	< .001
Präop. L4-Tilt Bending konvex ($^{\circ}$)	21.6 ± 3.5	14	12.9 ± 7.0	70	< .001
FU LC Korr. (%)	60.8 ± 9.5	11	51.7 ± 16.6	56	.019
Δ präop. vs. postop. LC ($^{\circ}$)	-38.1 ± 11.7	14	-28.3 ± 10.0	70	.009
Δ präop. vs. FU LC ($^{\circ}$)	-39.9 ± 9.0	11	-26.8 ± 10.1	56	.001
Δ präop. vs. postop. LIVDA ($^{\circ}$)	-0.6 ± 5.0	13	-3.9 ± 4.9	69	.042
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt ($^{\circ}$)	-14.6 ± 4.8	14	-5.8 ± 6.5	69	< .001
Δ präop. vs. FU L4-Tilt ($^{\circ}$)	-13.1 ± 5.2	11	-5.2 ± 6.8	56	< .001
Δ präop. vs. postop. LIV-CSVL (mm)	-9.0 ± 6.0	14	-0.4 ± 9.6	68	< .001
Δ präop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	-8.9 ± 5.2	10	-2.3 ± 8.7	55	.004

Tab. A.28: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. CSVL medial der LIV-Pedikel und CSVL \odot medial der LIV-Pedikel ($M \pm 1$ SD)

Parameter Eht.	präop. CSVL	<i>n</i>	präop. CSVL	<i>n</i>	<i>p</i>
	medial der LIV-Pedikel		\odot medial der LIV-Pedikel		
Δ FVC (%)	4.9 \pm 11.0	6	-9.4 \pm 12.7	23	.024
Fusionsstrecke (Sg.)	11.2 \pm 1.2	26	11.8 \pm 1.0	58	.041
Distanz SV zu LIV (WK)	0.5 \pm 1.1	26	1.4 \pm 0.6	58	.001
Präop. RHA (°)	16.8 \pm 3.9	20	13.1 \pm 5.6	38	.006
Präop. LC Bending konvex (°)	22.6 \pm 9.6	26	30.9 \pm 15.9	58	.004
Präop. LIV-Tilt Bending konvex (°)	6.9 \pm 6.4	26	16.4 \pm 8.2	58	< .001
Präop. L4-Tilt Bending konvex (°)	10.2 \pm 5.9	26	16.3 \pm 7.2	58	< .001
Δ präop. vs. postop. LIVDA (°)	-5.3 \pm 4.0	26	-2.6 \pm 5.2	55	.012
Δ präop. vs. FU LIVDA (°)	-6.0 \pm 4.3	18	-3.0 \pm 4.3	48	.018
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt (°)	-2.6 \pm 5.2	26	-9.4 \pm 6.7	57	< .001
Δ präop. vs. FU L4-Tilt (°)	-2.2 \pm 4.7	18	-8.2 \pm 7.4	48	< .001
Δ präop. vs. postop. LIV-CSVL (mm)	7.0 \pm 7.6	26	-6.0 \pm 7.4	57	< .001
Δ präop. vs. FU LIV-CSVL (mm)	4.4 \pm 8.3	18	-6.5 \pm 6.7	48	< .001
SRS-24 Aktivität generell präop. (Pkt.)	13.6 \pm 0.6	5	12.3 \pm 2.2	23	.019

Tab. A.29: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen präop. LIV crossing midline und LIV \oslash crossing midline ($M \pm 1$ SD)

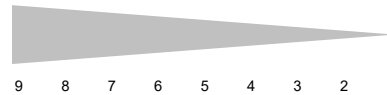
Parameter	präop. LIV		präop. LIV		<i>p</i>
	crossing	<i>n</i>	\oslash crossing	<i>n</i>	
Eht.	midline		midline		
Fusionsstrecke (Sg.)	10.9 \pm 1.2	27	11.9 \pm 0.8	57	< .001
Distanz SV zu LIV (WK)	0.7 \pm 1.0	27	1.4 \pm 0.8	57	.002
Präop. LC Bending konvex (°)	16.5 \pm 9.4	27	34.1 \pm 13.4	57	< .001
Präop. LC Flex. (%)	63.7 \pm 17.2	27	43.0 \pm 17.3	57	< .001
Präop. LIV-Tilt Bending konvex (°)	5.8 \pm 4.7	27	16.9 \pm 8.1	57	< .001
Präop. L4-Tilt Bending konvex (°)	8.0 \pm 4.6	27	17.5 \pm 6.3	57	< .001
Präop. L4-Tilt Bending konkav (°)	9.4 \pm 5.4	27	6.1 \pm 4.5	56	.009
FU LC Korr. (%)	60.2 \pm 16.5	19	50.4 \pm 15.0	48	.033
Δ präop. vs. postop. LC (°)	-25.6 \pm 10.0	27	-32.2 \pm 10.7	57	.008
Δ präop. vs. postop. CSVL (mm)	-5.5 \pm 20.9	25	8.2 \pm 15.0	48	.006
Δ präop. vs. FU CSVL (mm)	-10.6 \pm 13.0	18	-1.9 \pm 11.5	43	.019
Δ präop. vs. postop. LIV-Tilt (°)	-14.9 \pm 6.9	27	-10.8 \pm 8.6	56	.021
Δ präop. vs. FU LIV-Tilt (°)	-15.0 \pm 6.6	19	-9.5 \pm 8.1	48	.006
Δ präop. vs. postop. LIVDA (°)	-5.9 \pm 4.0	27	-2.2 \pm 5.1	54	.001
Δ präop. vs. FU LIVDA (°)	-7.1 \pm 3.7	19	-2.5 \pm 4.0	47	< .001
Δ präop. vs. postop. L4-Tilt (°)	-3.6 \pm 5.1	27	-9.1 \pm 7.1	56	< .001

B SRS-24 Fragebogen

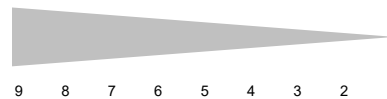
Lfd#:

Standardfragebogen (SRS-24) zur Nachuntersuchung

1. Bitte kennzeichnen Sie auf der Skala von 1 bis 9 (1 bedeutet „kein Schmerz“ und 9 bedeutet „starker Schmerz“) die Schmerzstärke die Sie regelmäßig erfahren.



2. Bitte kennzeichnen Sie auf der gleichen Skala den stärksten Schmerz den Sie im vergangenen Monat erfahren haben.



3. Wenn Sie den Rest Ihres Lebens mit Rückenschmerzen, wie Sie sie zur Zeit haben, verbringen müssten, wie würden Sie hierüber denken ?

- 5 sehr glücklich
- 4 ziemlich glücklich
- 3 nicht glücklich und nicht unglücklich
- 2 ziemlich unglücklich
- 1 sehr unglücklich

4. Wie ist Ihr Aktivitätslevel zurzeit?

- 1 Bettlägerigkeit / Rollstuhl
- 2 Hauptsächlich nicht aktiv
- 3 Leichte Arbeit, etwa leichte Hausarbeit
- 4 Leichtere körperliche Arbeit und moderate Sportausübung etwa Wandern und Fahrradfahren
- 5 Schwere körperliche Arbeit, normale Sportausübungen

5. Wie sehen Sie angekleidet aus?

- 5 sehr gut
- 4 gut
- 3 ganz gut
- 2 schlecht
- 1 sehr schlecht

6. Haben Sie Rückenschmerzen in Ruhe?

- 1 sehr oft
- 2 oft
- 3 gelegentlich
- 4 selten
- 5 nie

7. Wie ist zurzeit Ihr Aktivitätslevel in Schule / Beruf ?

- 5 100% normal
- 4 75% normal
- 3 50% normal
- 2 25% normal
- 1 10% normal

8. Nehmen Sie bezüglich Ihrer Rückenschmerzen zurzeit Medikamente ?

- 5 Nein
- 4 Nicht Steroidale (Paracetamol, Aspirin, Novalgin, Ibuprofen, Voltaren, ...)
- 3 Steroide (Cortison)
- 2 Muskelrelaxantien (Valium, ...)
- 1 Narkotika (Morphin, ...)

9. Hindert Sie Ihr Rücken daran, Dinge im Haus zu tun ?

- 1 Ja
- 5 Nein

10. Waren Sie wegen Rückenproblemen in letzter Zeit krankgeschrieben?

- 1 Ja
- 5 Nein

11. Beeinflusst Ihre Rückensituation Ihre persönlichen Beziehungen?

- 1 Ja
- 5 Nein

12. Haben Sie oder Ihre Familie finanzielle Probleme aufgrund Ihres Rückens?

- 5 Nein
- 3 Etwas
- 1 Sehr

SRS - Seite 1

Abb. B.1: SRS-24 Fragebogen, deutsche Version, Seite 1

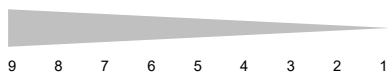
13. Gehen Sie mehr oder weniger aus als Ihre Freunde?

- 5 Mehr 3 Gleich 1 Weniger

14. Fühlen Sie sich attraktiv?

- 5 Ja sehr
 4 Ja, ziemlich
 3 weder attraktiv noch unattraktiv
 2 nein, nicht sehr attraktiv
 1 nein, überhaupt nicht

15. Auf einer Skala von 1 bis 9 (1 ist sehr niedrig und 9 ist extrem hoch), wie würden Sie Ihr Selbstbild beschreiben ?



16. Hat Ihre Rückenoperation Ihre Funktion und tägliche Aktivität geändert?

- Erhöht 5 Nicht geändert 3 Ermiedrigt 1

17. Hat Ihre Rückenoperation die Ausübung Ihres Sports / Hobbies geändert?

- Erhöht 5 Nicht geändert 3 Ermiedrigt 1

18. Hat Ihre Rückenoperation Ihren Rückenschmerz geändert?

- Erhöht 1 Nicht geändert 3 Ermiedrigt 5

19. Hat Ihre Rückenoperation Ihr Vertrauen in persönliche Verhältnisse mit anderen Menschen beeinflusst?

- Erhöht 5 Nicht geändert 3 Ermiedrigt 1

20. Hat Ihre Rückenoperation etwas daran geändert wie andere Menschen Sie sehen?

- 5 viel besser
 4 besser
 3 gleich
 2 schlechter
 1 viel schlechter

21. Hat die Operation Ihr Selbstbild verändert?

- Erhöht 5 Nicht geändert 3 Ermiedrigt 1

22. Sind Sie mit dem Ergebnis Ihrer Rückenoperation zufrieden?

- 5 sehr zufrieden
 4 ziemlich zufrieden
 3 nicht zufrieden und nicht unzufrieden
 2 ziemlich unzufrieden
 1 sehr unzufrieden

23. Verglichen mit dem Zustand vor der Operation, wie würden Sie Ihr Aussehen nun beschreiben?

- 5 viel besser
 4 besser
 3 gleich
 2 schlechter
 1 viel schlechter

24. Würden Sie die gleiche Operation nochmals durchführen lassen, wenn Sie wieder in der gleichen damaligen Situation wären?

- 5 auf jeden Fall
 4 wahrscheinlich ja
 3 bin nicht sicher
 2 wahrscheinlich nicht
 1 auf keinen Fall

Abb. B.2: SRS-24 Fragebogen, deutsche Version, Seite 2

Danksagung

Während der Durchführung meiner Dissertation wurde ich von vielen Menschen unterstützt, bei denen ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken möchte:

Herrn Professor Dr. med. Christiano Lumenta danke ich sehr herzlich für die freundliche Übernahme als betreuender Doktorvater mit der Möglichkeit für mich, die Dissertation an der Technischen Universität München in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Skoliosezentrum in Bad Wildungen durchführen zu können.

Mein großer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Heiko Koller für den Vorschlag des Themas und für die persönliche Betreuung und Unterstützung während der gesamten Zeit der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung dieser Arbeit.

Besonders bedanken möchte ich mich an dieser Stelle auch bei Herrn Dr. med. Oliver Meier, der mir die Datenerhebung am Deutschen Skoliosezentrum in Bad Wildungen ermöglicht hat. Vielen Dank an ihn und das gesamte Team der Abteilung, das mich während meiner Aufenthalte in der Werner Wicker Klinik immer sehr herzlich willkommen hieß.

Für die professionelle Unterstützung bei der statistischen Analyse meiner Fragestellungen bedanke ich mich sehr herzlich bei Herrn PD Dr. rer. nat. MMag. Wolfgang Hitzl vom Forschungsbüro der Paracelsus Universität in Salzburg.

Viele meiner Freunde haben mich auf dem Weg zu dieser Dissertation begleitet und unterstützt. Für die vielen gemeinsamen Aktivitäten, Bibliotheksaufenthalte und den häufigen Zuspruch möchte ich mich bei ihnen von ganzem Herzen bedanken.

Bei meinem guten Freund und ehemaligen Mitbewohner Lukas bedanke ich mich zusätzlich für die Einarbeitung und große Hilfe bei sämtlichen Fragestellungen zum Textverarbeitungsprogramm LaTeX und für seine Geduld, die er mir damit entgegenbrachte.

Mein größter Dank gilt letztendlich meinen Eltern und meinen beiden Brüdern Patrick und Niklas für die Unterstützung und den familiären Rückhalt, auf den ich mich immer verlassen kann.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Ann-Kathrin Maria Gerding
Geburtsdatum	20.09.1990
Geburtsort	Fritzlar, Hessen
Staatsangehörigkeit	Deutsch

Schulische Ausbildung

08/2001 - 08/2006	Gustav-Stresemann-Gymnasium, Bad Wildungen
08/2006 - 06/2009	Internatsschule Schloss Hansenberg, Geisenheim
06/2009	Allgemeine Hochschulreife

Hochschulstudium

10/2010 - 05/2017	Studium der Humanmedizin Ludwig-Maximilians-Universität, München
08/2012	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
04/2016	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
05/2017	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
06/2017	Approbation als Ärztin

Praktisches Jahr

05/2016 - 07/2016	Chirurgie, Raigmore Hospital Inverness, Schottland
07/2016 - 09/2016	Chirurgie, Krankenhaus Agatharied
09/2016 - 12/2016	Innere Medizin, Krankenhaus Agatharied
12/2016 - 04/2017	Pädiatrie, Klinikum Traunstein

Stipendien

10/2012 - 03/2017	Max Weber-Programm Bayern
06/2013 - 05/2017	Studienstiftung des deutschen Volkes
11/2014	MeCuM International Scholarship

Beruflicher Werdegang

seit 06/2018	Assistenzärztin in Weiterbildung Klinik für Kinder- und Jugendmedizin Klinikum Memmingen
--------------	--

