

publiziert bei:	 AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin
-----------------	---

AWMF-Register Nr.	151/002	Klasse:	S2k
--------------------------	----------------	----------------	------------

Adoleszente Idiopathische Skoliose

S2k-Leitlinie der

Deutsche Wirbelsäulengesellschaft DWG, Vereinigung für Kinderorthopädie VKO, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie DGOU

Version: 001

Herausgeber

Federführende Fachgesellschaften

Deutsche Wirbelsäulengesellschaft DWG (www.dwg.org)

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie DGOU (www.dgou.de)

Vereinigung für Kinderorthopädie VKO (www.kinderorthopaedie.org)

Leitlinien-Koordinatoren und Haupt-Autoren:

Univ.-Prof. Dr. med. Tobias L. Schulte (Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG))

Dr. med. Kiril Mladenov (Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO))

Dr. med. Bernd Wiedenhöfer (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU))

Beteiligte Fachgesellschaften:

Bundesinnungsverband für Orthopädie-Technik

Bundesverband Skoliose-Selbsthilfe e.V. (Patientenvertretung)

Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (DGKJ)

Deutsche Gesellschaft für Manuelle Medizin (DGMM)

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU)

Deutsche Gesellschaft für Physikalische und Rehabilitative Medizin e.V. (DGPRM)

Deutsche Röntgengesellschaft, Gesellschaft für Medizinische Radiologie e.V. (DRG)

Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V.

Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG)

Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie

Gesellschaft für Transitionsmedizin (GfTM) e.V.

Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO)

Deutsche Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung (DGKN)



DEUTSCHE RÖNTGENGESELLSCHAFT
Gesellschaft für medizinische Radiologie e.V.



Die Deutsche Gesellschaft für Humangenetik und die Deutsche Gesellschaft für Kinderpsychiatrie/Kinderpsychosomatik wurden initial angefragt, wünschten aber keine Beteiligung an dieser Leitlinie.

Leitliniengruppe (Ko-Autoren):

Silke Auler (Bundesinnungsverband für Orthopädie-Technik)

Prof. Dr. med. Viola Bullmann (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOU))

Prof. Dr. med. Florian Geiger (Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG))

Dr. med. Axel Hempfing (Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG))

Dr. med. Sabine Herchet (Deutsche Gesellschaft für Physikalische und Rehabilitative Medizin e.V. (DGPRM))

PD Dr. med. Christoph Heyer (Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie)

Prof. Dr. med. Dipl. Phys. Rigobert Klett (Deutsche Gesellschaft für Manuelle Medizin)
Dr. med. Micha Langendörfer (Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO))
Prof. Dr. med. Ulf Liljenqvist (Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG))
Frauke Mecher (Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V.)
Dr. med. Holger Meinig (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOU))
Dr. med. Kiril Mladenov (Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO))
Dr. rer. biol. hum. Martina Oldhafer MBA (Gesellschaft für Transitionsmedizin (GfTM) e.V.)
Dr. med. Prasad Thomas Oommen (Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin)
Dr. jur. Katja Plückelmann (Bundesverband Skoliose-Selbsthilfe e.V.)
PD Dr. med. Michael Ruf (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOU))
Univ.-Prof. Dr. med. Tobias L. Schulte (Deutsche Wirbelsäulengesellschaft (DWG))
Prof. Dr. med. Fabian Springer (Deutsche Röntgengesellschaft e.V.)
Prof. Dr. med. Ralf Stücker (Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO))
Prof. Dr. med. Andrea Szelényi (Deutsche Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung (DGKN))
Reina Tholen † (Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V.)
Dr. med. Bernd Wiedenhöfer (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOU))
Dr. med. Stefan Wilke (Vereinigung für Kinderorthopädie (VKO))

Methodische Begleitung:

Die Erstellung der Leitlinie wurde methodisch durch die AWMF-Leitlinienberaterin Frau Dr. rer. medic Susanne Blödt, Dipl. Biol., MScPH begleitet.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

1. LEITLINIENREPORT	6
1.1 Zielsetzung und Fragestellung	6
1.2 Versorgungsbereich	6
1.3 Patientenzielgruppe	6
1.4 Adressaten	6
1.5 Methodik der Leitlinienerstellung und strukturierte Konsensfindung	6
2. LEITLINIENTEXT	8
2.1 AIS-Synonyme	8
2.2 Definition	8
2.3 Epidemiologie	8
2.4 Pathogenese	8
2.5 Diagnostik	11
2.5.1 Klinische Diagnostik	11
2.5.2 Radiologische Diagnostik	12
2.5.2.1 Konventionelle radiologische Diagnostik	12
2.5.2.1.1 Strahlenschutzaspekte	12
2.5.2.1.2 Wirbelsäulen-Ganzaufnahme im Stehen	13
2.5.2.1.3 Funktionsaufnahmen	14
2.5.2.1.4 Skelettalterbestimmung	16
2.5.2.2 Sonstige radiologische Verfahren	18
2.5.2.3 Radiologische Schnittbilddiagnostik	19
2.5.2.3.1 Magnetresonanztomographie (MRT)	19
2.5.2.3.2 Computertomographie (CT)	20
2.5.2.4 Untersuchungsintervalle	20
2.5.2.4.1 Radiologische Kontrolluntersuchung bei Beobachtung	20
2.5.2.4.2 Radiologische Kontrolluntersuchung bei Korsetttherapie	21
2.5.2.4.3 Radiologische Kontrolluntersuchung postoperativ	22
2.5.3 Rasterstereographie	23
2.5.4 Klassifikation	26
2.5.5 Lungenfunktion	27
2.5.6 Labordiagnostik / Genetik	31
2.5.7 Kraftmessung	32
2.6 Natürlicher Verlauf	32
2.7 Therapie	35
2.7.1 Grundprinzipien	35
2.7.2 Konservative Therapie	37
2.7.2.1 Physiotherapie	37
2.7.2.2 Korsett	44
2.7.3 Operative Therapie	53
2.7.3.1 Fusionierende OP-Techniken	53
2.7.3.2 Neuromonitoring	64

2.7.3.3	Nachbehandlung	68
2.7.3.4	Alternative OP-Techniken	70
2.8	Skoliose im Alltag	79
2.8.1	Berufsauswahl nach konservativer / operativer Therapie	79
2.8.2	AIS und GdB	81
2.8.3	AIS und Sexualität	82
2.8.4	Psychosoziale Belastungen / Körperwahrnehmung von AIS-Patienten	83
2.8.5	AIS und Schwangerschaft / Geburt	84
2.8.6	AIS und Sport	86
3.	REDAKTIONELLE UNABHÄNGIGKEIT	92
3.1.	Finanzierung der Leitlinie	92
3.2	Darlegung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten	92
4.	GÜLTIGKEITSDAUER UND AKTUALISIERUNGSVERFAHREN	92
5.	VERWENDETE ABKÜRZUNGEN	93
6.	LITERATURVERZEICHNIS	97
7.	ANHANG: TABELLE ZUR ERKLÄRUNG VON INTERESSEN UND UMGANG MIT INTERESSENKONFLIKTEN	127

1. Leitlinienreport

1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Optimierung und Vereinheitlichung der Behandlung von Patienten mit Adoleszenter Idiopathischer Skoliose (AIS). Ziel der vorliegenden Leitlinie ist, die Diagnostik und konservative sowie operative Therapie der AIS zu vereinheitlichen und zu verbessern.

1.2 Versorgungsbereich

Ambulanter und stationärer Versorgungsbereich.

1.3 Patientenzielgruppe

Patienten mit Adoleszenter Idiopathischer Skoliose.

1.4 Adressaten

Die Leitlinie richtet sich an alle Fachleute, die an der Diagnostik und Therapie der Adoleszenten Idiopathischen Skoliose beteiligt sind, insbesondere an Ärzte, u.a. der Fachgebiete der beteiligten Fachgesellschaften, Physiotherapeuten, Physician Assistants und dient deren Information.

1.5 Methodik der Leitlinienerstellung und strukturierte Konsensfindung

Nach Erstellung des Inhaltsverzeichnisses wurden Arbeitsgruppen gebildet, so dass jedes Kapitel interdisziplinär von mehreren Mitgliedern der Leitliniengruppe geschrieben wurde. Zu den einzelnen Kapiteln wurden Literaturrecherchen durch die jeweiligen Mitglieder der Gruppe durchgeführt. Diese Kapitel wurden dann durch die Leitlinien-Koordinatoren zusammengeführt und vollständig überarbeitet. Der finale Text wurde allen Mitgliedern der Leitliniengruppe vorgelegt mit der Möglichkeit zu Korrekturen und Stellungnahmen.

Bei der Formulierung der Empfehlungen wurde die übliche Graduierung berücksichtigt:

Schema zur Graduierung von Empfehlungen

Beschreibung	Ausdrucksweise	Symbol (fakultativ)
Starke Empfehlung	Soll /Soll nicht	↑↑ / ↓↓
Empfehlung	Sollte /sollte nicht	↑ / ↓
Empfehlung offen	Kann erwogen/verzichtet werden	⇔

Alle Empfehlungen und Statements wurden anschließend im Zeitraum vom 07.09.2022 bis 29.09.2022 online im Sinne einer strukturierten Konsensfindung mittels Delphi-Technik durch die stimmberechtigten Mitglieder der Leitliniengruppe vor-abgestimmt. Die 3 federführenden Fachgesellschaften hatten, wie in der konstituierenden Sitzung beschlossen, insgesamt je 4 Stimmen, die anderen Fachgesellschaften sowie der die Patienten vertretende Bundes-Selbsthilfeverband hatten je eine Stimme.

Im Rahmen der online-Abstimmung konnte mit den folgenden Antwortoptionen abgestimmt werden:

- Stimme zu
- Stimme nicht zu und habe einen Änderungsvorschlag (Empfehlung bzw. Statement streichen / ergänzen / ändern mit Begründung / Literaturangabe)
- Enthaltung
- Enthaltung aufgrund Interessenkonflikt

In einer anschließenden strukturierten online-Konsenskonferenz nach dem NIH Typ unter neutraler Moderation von Dr. S. Blödt von der AWMF wurden die Empfehlungen und Statements konsentiert. Empfehlungen, die in der Vorabstimmung > 95% erreicht hatten und zu denen es keine relevanten Kommentare gab, wurden nicht erneut abgestimmt.

Der Ablauf der Konsenskonferenz (06.10.2022 und 28.10.2022) war wie folgt:

Präsentation der abzustimmenden Empfehlungen im Plenum durch die Arbeitsgruppe, Gelegenheit zu Rückfragen und Einbringung von begründeten Änderungsanträgen, Abstimmung der Empfehlungen und Änderungsanträge. Bei Bedarf: Diskussion, Erarbeitung von Alternativvorschlägen und endgültige Abstimmung.

Bei einer Empfehlung (Empfehlung: Bei AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von > 25° thorakal bzw. > 20° thorakolumbal oder lumbal sollte die Indikation für Physiotherapie gestellt werden.) gab es beim finalen Korrekturlesen der Autoren noch Klärungsbedarf, so dass ausnahmsweise im Nachgang eine Wiederholung der Delphi-Umfrage durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse der Konsens-Findung findet sich in Klammern hinter jeder Empfehlung bzw. hinter jedem Statement.

Feststellung der Konsensstärke

Klassifikation der Konsensusstärke	
Starker Konsens	> 95% der Stimmberechtigten
Konsens	>75-95% der Stimmberechtigten
Mehrheitliche Zustimmung	>50-75% der Stimmberechtigten
Keine mehrheitliche Zustimmung	<50% der Stimmberechtigten

Die Leitlinie wurde in der finalen Version anschließend im Zeitraum vom 15.01.2023 bis 27.02.2023 von den Vorständen der beteiligten Fachgesellschaften verabschiedet.

2. Leitlinientext

2.1 AIS-Synonyme (ICD-10)

Adoleszente idiopathische Skoliose

ICD-10-GM 2022: M41.0-, M41.1- und M41.2-

2.2 Definition

Bei einer adoleszenten idiopathischen Skoliose (AIS) handelt es sich um eine dreidimensionale Wirbelsäulendeformität (inkl. Deformitäten der Frontalebene, der Rotation und des seitlichen Profils) mit dem Beginn im Zeitraum zwischen 10 und 18 Jahren und ohne klar erkennbare Ursache, d.h. unabhängig von anderen Krankheiten.

2.3 Epidemiologie

Die Prävalenz der AIS liegt bei 0,47 bis 5,2%. Das Verhältnis Mädchen zu Jungen beträgt zwischen 1,5 : 1 und 3 : 1. Die Prävalenz von Skoliosen mit höherem Cobb-Winkel ist bei Mädchen deutlich höher als bei Jungen: Das Verhältnis Mädchen zu Jungen erhöht sich von 1,4 : 1 bei Krümmungen von 10° bis 20° auf 7,2 : 1 bei Krümmungen über 40° [149].

Ma et al. 1995 fanden bei einem Screening von 24.130 Schulkindern Skoliosen bei 1,44% (Verhältnis Mädchen zu Jungen 1,17 : 1), es wurden allerdings nicht verschiedene Skoliose-Ätiologien unterschieden [184].

Rogala et al. fanden unter 26.947 Studenten 4,5% idiopathische Skoliosen. Das Verhältnis weiblich zu männlich betrug insgesamt 1,25 : 1, wobei sich auch hier das Verhältnis bei höhergradigen Skoliosen (>20°) auf 5,4 : 1 erhöhte [260].

2.4 Pathogenese

Statement: Die zur AIS führenden Ursachen sind noch nicht final bekannt, das weibliche Geschlecht, endokrinologische Faktoren, eine Imbalance des Wachstums der verschiedenen Wirbelsäulenteile mit vermehrtem Längenwachstum ventral sowie genetische Faktoren scheinen eine wichtige Rolle zu spielen. (Starker Konsens, Zustimmung: 100%)

Die Ätiopathogenese der AIS ist bis heute unbekannt. Insgesamt wird eine multifaktorielle Ursache diskutiert [2]. Zu folgenden Aspekten liegen Daten an kleineren Kollektiven vor, aus denen sich keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen ziehen lassen, die jedoch auf verschiedene mögliche Ursachen der AIS hinweisen. Die aus frühen tierexperimentellen Studien stammende Theorie zu einem Melatoninmangel bei AIS ließ sich im Weiteren nicht beweisen [84, 187].

Genetik:

Genetische Faktoren spielen in der Entstehung der AIS eine wesentliche Rolle. Dieses konnte in einer Meta-Analyse von Zwillingsstudien, in der bei eineiigen Zwillingen eine Inzidenz von bis zu 73% und bei zweieiigen Zwillingen von 36% vorliegt, nachgewiesen werden [140].

Da auch bei eineiigen Zwillingen nicht immer in beiden Fällen eine Skoliose vorliegt, sind neben genetischen Faktoren sicher noch andere Umgebungsfaktoren für die Entstehung der Erkrankung erforderlich. Grauers et al. konnten unter Zuhilfenahme des Schwedischen Zwillings-Registers feststellen, dass etwa in 38% genetische Faktoren und in 62% Umgebungsfaktoren bei der Entstehung der AIS eine Rolle spielen [105].

Riseborough et al. fanden nachlassende Inzidenzen in Abhängigkeit vom Verwandtschaftsgrad. Bei Verwandtschaften ersten Grades zeigte sich ein generelles Risiko von 11%, bei solchen zweiten Grades von 2,4% und bei dritten Grades 1,4% [255].

So kann die AIS derzeit noch nicht durch eindeutige genetische Modelle erklärt werden. Nach wie vor gibt es auch noch keine Hinweise dafür, ob das Progredienzrisiko bei AIS ggf. genetisch bedingt ist.

Endokrinologie:

Die Prävalenz und auch das Ausmaß der AIS scheint bei Mädchen höher zu sein als bei Jungen. In weltweiten Schulscreening-Programmen wurden bei milden Krümmungen (10° - 20°) eine Ratio weiblich : männlich von 1,4 : 1 und bei stärkeren Krümmungen ($>40^{\circ}$) 7,2 : 1 bestimmt [149].

Da insbesondere in der Adoleszenz ein zunehmender Anstieg der Geschlechter-Ratio (weiblich/männlich) von bis zu 8:1 zu verzeichnen ist, scheinen hormonelle Faktoren eine Rolle zu spielen. So wurden bei den typischerweise zwischen dem 12. und 16. Lebensjahr betroffenen Mädchen mit AIS niedrigere Östradiol-Spiegel sowie ein verzögertes Eintreten der Menarche im Vergleich zu Gleichaltrigen ohne AIS beobachtet [81, 153]. Zudem weisen veränderte Methylierungspatterns in regulatorischen Regionen des Östrogen-Rezeptors-2 (ESR2) auf einen hormonellen Zusammenhang hin [47].

Weiterhin finden sich in neueren Biomarker-Arbeiten Hinweise auf eine Störung in der Leptin-/Ghrelin-Bioaktivität. Ghrelin, das bei AIS-Patienten erhöht ist, gilt als Surrogat-Parameter für

eine abnorme Knorpel-Entwicklung als Folge einer gestörten Apoptose von Chondrozyten; lösliches Leptin, ein wichtiger Baustein für Mineralisierung und Konstitution von Knochenmasse, ist hingegen bei AIS-Patienten reduziert und kann somit als Erklärung für den typischen Habitus der Betroffenen dienen (größeres Längenwachstum, niedriger BMI und systemisch niedrige Knochenmasse) [341].

Als mögliche Erklärung für die vielfach beschriebene Osteopenie und niedrigere Knochendichte werden auch Störungen im Calcium- und Vitamin-D-Stoffwechsel diskutiert. Diese reichen von rein alimentärem Vitamin-D-Mangel bis hin zu Polymorphismen im Vitamin-D-Rezeptor und weisen meist eine negative Korrelation zum Cobb-Winkel auf [119, 305].

Wachstumsstörung/-imbalance:

Bei der häufigsten Form der AIS (thorakal/ Lenke 1) besteht eine Längendifferenz zwischen vorderer und hinterer Säule zugunsten der ventralen Strukturen. Dies wurde an Körperspenderpräparaten [241] gemessen und durch MRT-Untersuchungen bestätigt [109]. Die Veranlagung scheint genetisch prädisponiert [133].

Das raschere Wirbelsäulen-Wachstum ventral führt zu einer Hypokyphose / Lordose, die BWS wird rotatorisch instabil. Wegen der links gelegenen Aorta rotiert sie dann im Allgemeinen nach rechts, es entwickelt sich eine Skoliose [68].

Bereits physiologisch reduziert sich die thorakale Kyphose während des Wachstums auf ein Minimum zwischen dem 10. und 12. Lebensjahr [358]. Genau in dieser Phase beginnt der pubertäre Wachstumsschub bei Mädchen (bei den Jungen erst später), was das häufigere Vorkommen von AIS bei Mädchen erklärt.

Wird die ventrale Säule der Wirbelsäule operativ verkürzt und damit die Imbalance aufgehoben, korrigiert sich die thorakale Skoliose spontan [265]. Auch diese Beobachtung spricht dafür, dass die Imbalance mit vermehrtem Längenwachstum ventral eine entscheidende Rolle in der Pathogenese der AIS spielt.

Neuromuskuläre Aspekte:

Eine muskuläre oder neurologische Ursache konnte nie nachgewiesen werden. Diese Störung müsste dann auch erst während des pubertären Wachstumsschubes auftreten, denn anders als bei der neuromuskulären Skoliose, die sich stetig und abhängig von der neuromuskulären Grundkrankheit verschlechtert, entwickelt sich die AIS erst während des pubertären Wachstumsschubes. Dies macht eine Störung des Wachstums wie oben erklärt als Ursache plausibler.

2.5 Diagnostik

2.5.1 Klinische Diagnostik

Empfehlung: Die klinische Untersuchung eines AIS-Patienten soll folgende Parameter umfassen: Schulterstand, Beckenstand, Rumpfüberhang frontal, Taillendreiecke, Rippenbuckel (gemessen mit Skoliometer), Lendenwulst (gemessen mit Skoliometer), neurologische Untersuchung, Körpergröße, Gewicht, anamnestische Angabe des Menarcheneintritts, Schmerzen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Ab einem Rippenbuckel oder Lendenwulst von 5° sollte zur Diagnosesicherung ein Röntgenbild erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Bei der klinischen Untersuchung eines AIS-Patienten werden der Schulterstand, Beckenstand und das Lot im Stand zur Bewertung des Rumpfüberhangs vermessen. Der Rippenbuckel und Lendenwulst werden mit Hilfe des Vorbeugetests (Adams-Test) mit einem Skoliometer vermessen. Schulterstand, Beckenstand sowie Taillenasymmetrie sind relativ „weiche“ klinische Parameter, die helfen, den Therapieerfolg bei einer Operation oder auch in der Korsett-Behandlung zu quantifizieren. So kann z.B. die Zunahme eines Schulterhochstandes links indirekt für ein zu sehr nach axillär hochgezogenes Korsett sprechen, welches dann eine hochthorakale links konvexe Krümmung induziert. Die kosmetische klinische Schulterasymmetrie korreliert nicht exakt mit der radiologischen [247].

Das Lot von C7 auf die Rima ani kann objektiv vermessen werden und dient hier auch in der Korsett-Behandlung oder der präoperativen Planung und der postoperativen Kontrolle als wichtiger Erfolgsparameter.

Der Rippenbuckel und der Lendenwulst sind die wichtigsten klinischen Parameter, die auch mit dem Skoliometer relativ valide gemessen werden können. Ab einem Rippenbuckel oder Lendenwulst von 5° sollte zur Diagnosesicherung ein Röntgenbild erfolgen [127, 306]. Für den Therapieverlauf ist die Vermessung des Rippenbuckels und des Lendenwulstes eine Orientierungshilfe und wird hier häufig optional ergänzt durch die Rasterstereographie und das Röntgen.

Das sagittale Profil (thorakale Kyphose und lumbale Lordose) ist klinisch so gut wie möglich mit zu bewerten, eine standardisierte Quantifizierung gibt es allerdings nicht.

Auch auf Beinlängendifferenzen sollte klinisch geachtet werden, da diese u.U. zu funktionellen Krümmungen führen können und eine „echte“ AIS vortäuschen können [294].

Da Rückenschmerzen bei AIS-Patienten durchaus vorkommen können, sollten diese im Rahmen der Anamnese und Untersuchung mit bewertet werden [10].

Die klinisch neurologische Untersuchung (mit besonderer Beachtung von Paresen, sensiblen Auffälligkeiten, Gangstörungen, Bauchhautreflexen und Cloni der Extremitäten) gehört zur Standarduntersuchung.

Die Ermittlung der Körpergröße und des Gewichtes gehören mit zur Routineuntersuchung in der Skoliosesprechstunde. So können z.B. Wachstumsschübe ermittelt werden. Weiterhin kann das Wachstumsende angezeigt werden. Bei Skoliosen ist u.U. die Vermessung der Sitzgröße sinnvoll, da die Sitzhöhe bei AIS-Patienten z.T. weniger als erwartet zunimmt aufgrund der Progredienz der Krümmung [69]. Zusätzlich ist auch eine BMI-Bestimmung in Bezug auf die Korsett-Therapie oder Operation wichtig.

Bei der Entscheidung der Korsett-Abschulung wird dennoch ein Skeletalter radiologisch ermittelt. Der Menarcheeintritt sowie Angaben über Gewicht und Größe helfen bei der Entscheidung, wann die radiologische Bestimmung des Skeletalters erfolgen sollte. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass die Menarche bei Patientinnen mit AIS durchschnittlich später als in der Normalbevölkerung eintritt [190]. Es können somit unnötige Röntgenbilder unter der Berücksichtigung des Menarcheeintritts und der Körpergrößenentwicklung vermieden werden.

2.5.2 Radiologische Diagnostik

Die Indikation zur radiologischen Diagnostik wird nach der klinischen Untersuchung gestellt. Besteht der Verdacht auf eine abklärungsbedürftige Skoliose, so erfolgt als Erstdiagnostik eine Röntgenaufnahme. Insbesondere Aspekte des Strahlenschutzes, der Standardisierung der Röntgenaufnahmen und die Festlegung der Untersuchungsintervalle sind bei der radiologischen Diagnostik von Bedeutung.

2.5.2.1 Konventionelle radiologische Diagnostik

2.5.2.1.1 Strahlenschutzaspekte

Insbesondere im Wachstumsalter haben Aspekte des Strahlenschutzes eine große Bedeutung. Entscheidend ist die kumulative Strahlendosis, die signifikant abhängig ist zum einen von der verwendeten Röntgentechnik, zum anderen vom radiologischen Kontrolluntersuchungsschema. Wissenschaftliche Nachweise über die erhöhte Inzidenz von Mamma-Karzinomen bei weiblichen Skoliose-Patienten existieren schon länger [71]. In einem aktuellen Literatur-Review mit über 35.000 Patienten zeigte sich eine im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erhöhte Rate an Mamma-Karzinomen und auch eine erhöhte Tumorerblichkeit [180]. Neben Mamma-Karzinomen gibt es auch Berichte über eine erhöhte Rate an Endometrium-Karzinomen bei Skoliose-Patientinnen [298].

Himmeloglu et al. konnten in einer genetischen Grundlagen-Arbeit an 31 AIS-Patienten und 21 Kontrollen zeigen, dass AIS-Patienten im Vergleich zu den Kontrollen röntgenstrahlenbedingte Schäden an der DNA haben [120].

Durch die Anfertigung der Röntgenbilder in p.a. Projektion kann im Vergleich zur a.p. Projektion die Strahlenexposition signifikant reduziert werden [181, 216]. Aufgrund der unzureichenden Datenlage und wahrscheinlich auch aufgrund der schlechteren Bildqualität der Wirbelsäule bei der p.a. Aufnahme sind aktuell a.p. Protokolle noch weiter verbreitet. Auch bei herkömmlicher Röntgentechnik kann durch Verwendung von Protokollen mit verringerter Strahlendosis eine Dosisreduktion um bis zu 45 % erreicht werden [80]. Die erste Röntgenaufnahme sollte jedoch eine exakte knöcherne Beurteilung ermöglichen. Nachfolgende Kontrollaufnahmen zur Beurteilung des Krümmungsausmaßes können mit reduzierter Strahlendosis (low-dose Röntgen) erfolgen, wodurch die kumulative Strahlendosis signifikant gesenkt werden kann [61]. Hinsichtlich der kumulativen Strahlendosis sind die operierten Patienten besonders zu beachten: Diese haben eine 8-14 mal höhere Strahlendosis als im Korsett behandelte oder konservativ verlaufsbeobachtete Patienten, wobei 78 % der Jahresdosis auf die intraoperative Bestrahlung entfallen [243].

Eine strenge Indikationsstellung, standardisierte Verlaufskontrollprotokolle, Nutzung von Protektoren und auf das Nötigste reduzierte Exposition von Röntgenstrahlen sind somit bei der Behandlung der AIS von großer Bedeutung.

Die Leitlinien-Autoren verweisen auf die Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung – Strahlenschutz in der Medizin [31].

2.5.2.1.2 Wirbelsäulen-Ganzaufnahme im Stehen

Empfehlung: Im Rahmen der Erstdiagnostik einer Skoliose soll als Röntgendiagnostik eine Ganzwirbelsäulen-Aufnahme durchgeführt werden, separate Aufnahmen von Brust- und Lendenwirbelsäule sind zur Erstdiagnostik nicht geeignet. (Konsens, Zustimmung 95%)

Empfehlung: Bei klinischem Verdacht auf eine AIS sollen Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule im Stand angefertigt werden, eine klinische Untersuchung im Vorfeld soll durchgeführt werden. Eine Beinlängendifferenz kann z.B. mit der Brettchen-Methode ausgeglichen werden, seitliche Aufnahmen sollten die Hüftköpfe nur dann abbilden, wenn dies eine klinische Konsequenz nach sich zieht. (Konsens, Zustimmung 93%)

Vor jeder Bildgebung ist eine klinische Untersuchung obligat. Die erste durchgeführte Röntgenaufnahme sollte neben der Beurteilung des Krümmungsausmaßes auch eine genaue Beurteilung der knöchernen Strukturen ermöglichen. Die Röntgenaufnahmen müssen als Wirbelsäulen-Ganzaufnahmen im Stehen in 2 Ebenen erfolgen.

Die Bestimmung des Cobb-Winkels am Röntgenbild ist die Methode der Wahl zur Quantifizierung des Ausmaßes einer Skoliose [160]. Laut Prestigiacomo et al. beträgt der Messfehler beim Vermessen des Cobb-Winkels 3° [244].

Separate Aufnahmen von Brust- und Lendenwirbelsäule sind zur Erstdiagnostik nicht geeignet. Auch der Tageszeitpunkt der Anfertigung der Röntgenaufnahmen kann einen Einfluss auf den Cobb-Winkel haben [17], im klinischen Alltag ist die Umsetzung der Röntgenaufnahme zu gleichen Tageszeitpunkten jedoch kaum praktikabel.

Die Einhaltung einer geeigneten standardisierten Körperhaltung ist essentiell für die Beurteilung der Röntgenbilder und die Vergleichbarkeit bei Verlaufskontrollen. Die Körperhaltung kann den Cobb-Winkel der Hauptkrümmung um durchschnittlich 6° beim Stehen etwa in der Schroth-Position im Vergleich zu anderen Haltungen verändern [301]. Die Röntgenaufnahme erfolgt grundsätzlich im Stehen. Die Knie sind durchgestreckt, die Füße stehen um Schulterbreite auseinander, der Patient schaut geradeaus, die Ellenbogen sind gebeugt und die Fingergelenke kommen in der Fossa supraclavicularis zu liegen [108]. Auch für das laterale Röntgenbild spiegelt diese „fist on clavicle position“ am ehesten die funktionelle Körperhaltung wider [87] und ermöglicht die überlagerungsfreie Beurteilung der Wirbelsäule. Auf der seitlichen Aufnahme sollten die Hüftgelenke zur Verringerung der Strahlenbelastung nicht routinemäßig mit abgebildet sein. In einer Experten-Umfrage gaben 85% an, dass auf dem idealen seitlichen Röntgenbild auch die Hüften abgebildet sein sollten [58]. Dies gilt jedoch nicht für die Kontrollaufnahmen. Bei der Planung der Operation kann im Einzelfall zur Beurteilung des Sagittalprofils die Abbildung der Hüften sinnvoll sein. Auch eine Umfrage unter 48 Deformitätenchirurgen ergab als überwiegende Meinung, dass die Hände an den Klavikeln (oder am Kopf) liegen sollten [58]. Zum Ausschluss eines Wirbelgleitens des lumbosakralen Übergangs sowie von Fehlbildungen einzelner Wirbel sollte zumindest die erste Röntgenaufnahme immer in 2 Ebenen erfolgen [146, 289].

Bei klinisch manifester Beinlängendifferenz kann diese durch die Verwendung von Brettchen mit unterschiedlicher Höhe bis zur Einstellung eines Beckengeradstandes ausgeglichen werden [338].

2.5.2.1.3 Funktionsaufnahmen

Empfehlung: Funktionsaufnahmen in beide Richtungen oder Aufnahmen unter Traktion im a.p. Strahlengang sollen vor einer Korrekturoperation zur Bewertung der Flexibilität der Wirbelsäule angefertigt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Funktionsaufnahmen wie Bending- oder Traktionsaufnahmen sind lediglich präoperativ indiziert. In Einzelfällen können Funktionsaufnahmen auch bei Korsett-Behandlung sinnvoll sein, etwa wenn keine ausreichende Korrektur im Korsett erreicht werden kann. Es besteht Einigkeit darüber, dass diese zur präoperativen Planung notwendig sind, um die Flexibilität der

Krümmungen und somit auch die OP-Technik und insbesondere die Fusionslänge bestimmen zu können.

Es gibt jedoch keine einheitliche Meinung darüber, welche Art der Funktionsaufnahmen präoperativ notwendig sind [58]. 11 verschiedene Methoden zur Erfassung der Flexibilität der Krümmungen wurden in einem Literatur-Review evaluiert [117]. Aufgrund der Heterogenität der Studien hinsichtlich der erfassten Parameter und auch der verwendeten Methodiken bestehen jedoch hinsichtlich der Aussagekraft einige Limitierungen.

Grundsätzlich ist die Bending-Aufnahme in Rückenlage die am häufigsten verwendete Methode. Diese ist insbesondere zur Evaluation der Flexibilität weniger stark ausgeprägter Krümmungen geeignet. Die Flexibilität stärker ausgeprägter Krümmungen hingegen scheint mittels Extensionsaufnahme (Traktionsaufnahme) besser beurteilbar zu sein. Bei ausgeprägteren Krümmungen (70 – 90°) gab bei einer Expertenbefragung etwa je ein Drittel die Traktion, das Bending in Rückenlage und das Bending über Hypomochlion in Seitenlage als am ehesten geeignete Methode zur Erfassung der Flexibilität an [58].

Wie dargelegt existiert kein Goldstandard bzgl. der Technik der Funktionsaufnahmen. Es sollten Haupt- und Nebenkümmungen in beide Richtungen abgebildet werden. Innerhalb eines Zentrums sollte ein Standard für diese Funktionsaufnahmen bzw. Traktionsaufnahmen festgelegt werden.

Bending- (Umkrümmungs-) Aufnahmen:

A.p. Bending-Aufnahmen können im Stehen oder in Rückenlage angefertigt werden. Am häufigsten wird die Aufnahme in Rückenlage bei maximaler aktiver Seitneigung des Patienten angefertigt. Insbesondere zur Beurteilung der Flexibilität von thorakolumbalen und hochthorakalen Krümmungen ist diese Methode geeignet [144]. Neben der Beurteilung der Flexibilität der Krümmungen wird auch die Horizontalisierung des untersten zu instrumentierenden Wirbelkörpers beurteilt.

Hypomochlion-Aufnahmen:

Die Aufnahmen werden in Seitenlage angefertigt, wobei im Scheitelbereich der Krümmung konvexseitig ein Polster (fulcrum) untergelegt wird. Bei Krümmungen unter 65° geben die Hypomochlion-Aufnahmen besser die Flexibilität der Krümmungen wieder als Bending-Aufnahmen [115, 117]. Insbesondere eignen sie sich gut zur Beurteilung der Flexibilität der thorakalen Hauptkrümmung [117, 144]. Neben der Beurteilung der Flexibilität lässt sich durch Hypomochlion-Aufnahmen auch das postoperative Korrekturergebnis tendenziell am zuverlässigsten vorhersagen [43, 141].

Push-prone-Aufnahmen:

In Rücken- oder Bauchlage wird nach dem 3-Punkte Prinzip die Wirbelsäule durch Polster an Axilla und Becken stabilisiert und mit Polstern oder der Hand Druck auf die Wirbelsäule im Scheitelbereich von konvexseitig ausgeübt. Dann wird eine Ganzwirbelsäulenaufnahme

angefertigt. Der Vorteil dieser Aufnahme gegenüber Bending-Aufnahmen ist, dass neben der Korrektur der Hauptkrümmung auch der Effekt auf die Nebenkrümmungen sichtbar wird [144].

Extensions-Aufnahmen:

Der generelle Vorteil der Extensions- gegenüber den Bending-Aufnahmen besteht darin, dass bei Anfertigung einer Wirbelsäulen-Ganzaufnahme neben der Flexibilität von Haupt- und Nebenkrümmungen auch der Einfluss der Korrektur auf die coronare Loteinstellung beurteilt werden kann. Grundsätzlich kann die Extensionsaufnahme im Stehen, in Bauch- oder Rückenlage sowie unter Ausübung eines zusätzlichen manuellen Drucks erfolgen. Die Aufnahmen können unter manueller Extension oder als Cotrel-Extension [207] durchgeführt werden. Bei der Cotrel-Extension wird über eine am Kopf befestigte Schlinge und über ein über Rollen umgelenktes Seilsystem durch die Patienten selbständig Zug zwischen Becken und Kopf ausgeübt. Extensions-Aufnahmen sind insbesondere geeignet zur Beurteilung von ausgeprägteren Krümmungen [117].

Eine Indikation für eine präoperative HALO-Extension oder Extensions-Aufnahmen unter Allgemeinanästhesie [56, 115] liegt nur in Sonderfällen mit ausgeprägten und rigiden Krümmungen vor. Extensionsaufnahmen unter Narkose zeigen in diesen Fällen eine höhere Flexibilität im Vergleich zu anderen Flexibilitätsaufnahmen wie etwa den Bending-Aufnahmen [56, 115]. Diese Aussage verdeutlicht den limitierenden Einfluss der willkürlichen Muskelaktivität auf das Korrekturpotential.

2.5.2.1.4 Skeletalterbestimmung

Empfehlung: Skeletalterbestimmungen sollen erfolgen, wenn eine relevante klinische Entscheidung davon abhängig gemacht wird, z.B. Indikation zur Korsett-Versorgung, Dauer der Korsett-Versorgung, Abschulung des Korsetts, OP-Technik, OP-Zeitpunkt. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Eine radiologische Skeletalterbestimmung zur Beurteilung des biologischen Alters kann bei Patienten mit Skoliose aus unterschiedlichen Gründen indiziert sein. Zum einen kann durch die Information über das Restwachstumspotential die Indikation zur Korsett-Versorgung geprüft, zum anderen können der adäquate OP-Zeitpunkt und die OP-Technik bestimmt werden. Als Meilensteine der körperlichen Reifung werden heute neben Dentition, Pubertätsstadien und Menarchealter insbesondere das Wachstum und die Skelettreife gezählt. Das Skeletalter wird hierbei als das chronologische Alter definiert, in welchem die Population einen bestimmten Entwicklungszustand des knöchernen Skeletts aufweist [369]. Die Entwicklung des Skeletts folgt bestimmten Gesetzmäßigkeiten, von den primären über die sekundären Ossifikationszentren hin zur Fusion der Epiphysenfugen.

Am gängigsten sind die konventionell radiologischen Methoden zur Skelettalterbestimmung. Im deutschsprachigen Raum am gebräuchlichsten ist die Beurteilung der Verknöcherung des linken Beckenkammes. Diese ist häufig auch anhand der angefertigten Ganzwirbelsäulenaufnahme möglich und wird in 6 Stadien nach Risser eingeteilt [189, 256]. Die Methode von Greulich und Pyle aus dem Jahr 1959 mit Verwendung eines Hand-Röntgen-Atlas wird von ca. 76% aller Untersucher eingesetzt [332]. Diese Methode gestattet eine sehr schnelle Gesamteinschätzung des Handskeletts der linken Hand anhand des Vergleichs der Röntgenaufnahme des Patienten mit den Atlasbildern. Nachteilig an dieser Methode ist jedoch die fragliche Übertragbarkeit der alten Vergleichsbilder auf die heutige Zeit, die unpräzise Erfassung zur Zeit des Wachstumsschubes und die Abhängigkeit vom Untersucher (je nach Literaturangabe liegen Inter- und Intraobserverfehler bei 2,5 bis 6 Monaten) [27, 47, 48, 304].

Weit verbreitet ist die auf Hand-Röntgenaufnahmen von 3000 britischen Kindern (Alter 0-18 Jahre) beruhende Methode von Tanner und Whitehouse, die ein Scoring-System der Knochenentwicklung für alle 20 Knochen der Hand und des Handgelenkes beinhaltet und durch den Vergleich mit Standardskizzen einen Gesamt-Score ermittelt [313]. Die Methode ist flexibler und genauer als die Atlasmethode von Greulich und Pyle, erfordert aber einen deutlich höheren Zeitbedarf. Heute werden in vielen Abteilungen kommerziell verfügbare Computerprogramme [320] benutzt, welche auf den Standards von Greulich und Pyle sowie Tanner und Whitehouse basieren. Sie können in Bildbetrachtungssysteme integriert werden und erleichtern die Routinebestimmung. Alternative Verfahren sind die Bestimmung der Knochenkerne des Ellenbogens sowie die Röntgenuntersuchung der Claviculae. Nachteil aller radiographischen Methoden ist deren Strahlenexposition, sie stellt mit einer Effektivdosis von 1 Mikro-Sv jedoch eine eher wenig relevante Strahlenbelastung dar.

Im Jahr 2008 wurde eine vereinfachte Klassifikation eingeführt, deren 8 Stadien anhand einer Röntgenaufnahme der linken Hand eingeteilt werden [274]. Diese Stadieneinteilung erlaubt eine genauere Einteilung während des pubertären Wachstumsschubes und erlaubt aufgrund der Einfachheit eine schnelle klinische Einschätzung [315]. Auch zeigen die Sanders-Stadien eine bessere Korrelation mit dem Wachstumsverhalten einer Skoliose als etwa das Risser-Zeichen und die Greulich und Pyle Methode [198, 211].

Eine weitere Methode zur Skelettalterbestimmung ist die Sonografie des Beckenkammes. Sonographische Studien zeigen einen zu erwartenden Messfehler ähnlich dem der Technik nach Greulich und Pyle [135]. Die Knorpelbeurteilung gestattet sonografisch eine Unterteilung des Risser-Stadium IV und somit eine bessere Terminierung der Beendigung der konservativen Korsett-Behandlung bei der Skoliose [237]. Vorteile der Sonografie sind insbesondere die fehlende Strahlenexposition, die Verfügbarkeit und Mobilität sowie die vergleichsweise geringen Kosten. Klinisch findet diese Technik allerdings nur wenig Beachtung im Versorgungsalltag von AIS-Patienten.

Weitere Methoden zur Skeletalterbestimmung sind die Orthopantomografie (OPG), die Computertomografie (CT) und die Magnetresonanztomografie. Diese Methoden haben jedoch bei der Skeletalterbestimmung bei der Behandlung der AIS keine Bedeutung.

2.5.2.2 Sonstige radiologische Verfahren

Statement: Das EOS-System ist eine sinnvolle neue Alternative zur klassischen Ganzwirbelsäulen-Röntgenaufnahme in der Diagnostik der AIS. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Neue Techniken mit geringer Strahlenexposition können als Alternative zur klassischen Ganzwirbelsäulen-Röntgenaufnahme in der Diagnostik der AIS erwogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Das EOS-System hat in den letzten Jahren zunehmend Verbreitung gefunden und besteht aus einer geänderten Röntgentechnik, die mit verringerter Strahlenbelastung in einer Aufnahme eine Beurteilung des gesamten Skeletts im Stehen ermöglicht. Somit ist die radiologische Beurteilung der Gesamtstatik von Wirbelsäule, Becken und unteren Extremitäten möglich. Im Unterschied zu herkömmlichen Röntgengeräten ermöglicht das System die Erstellung der a.p. und der seitlichen Bilder zur gleichen Zeit sowie eine dreidimensionale Rekonstruktion.

Bei der Behandlung der AIS hat insbesondere die Reduktion der Strahlenbelastung eine besondere Bedeutung. Mittels Computersimulation wurde berechnet, dass mit dem EOS micro-dose Protokoll die kumulative Strahlenexposition bei Behandlung einer Skoliose vom 5. bis zum 18. Lebensjahr mit halbjährlichen Kontrolluntersuchungen nur 14% der natürlichen Strahlenexposition eines Jahres entsprach [163]. Im Vergleich zum digitalen Röntgenbild besteht auch eine durchschnittlich um den Faktor 26 geringere entrance-skin Dosis und 16- bis 34-fach niedrigere Organdosis [128]. Auch sind microdose Protokolle mit dem EOS-System ohne relevanten Qualitätsverlust möglich, es zeigte sich eine 45-fach erniedrigte Strahlendosis im Vergleich zu konventionellen Röntgenbildern [130]. Auch kann die Röntgenaufnahme der Hand im EOS-System durchgeführt werden [162].

Die Auflösung der EOS-Bilder kann u.U. schlechter sein als die herkömmlicher Röntgenbilder. Bendingaufnahmen sind im EOS nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

In Zukunft ist zu erwarten, dass auch weitere neue Bildgebungstechniken für die Projektionsradiographie zur Verfügung stehen werden, die die Bildqualität optimieren und die Strahlenbelastung minimieren, aktuell liegen allerdings zu solchen Systemen noch keine Publikationen über größere Kollektive an AIS-Patienten vor (z.B. True2scale Body Scan, etc.).

2.5.2.3 Radiologische Schnittbilddiagnostik

2.5.2.3.1 Magnetresonanztomographie (MRT)

Empfehlung: Eine präoperative MRT-Untersuchung bei AIS-Patienten sollte durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Inzidenz von intraspinalen Fehlbildungen liegt bei bis zu 9,5% [166, 300, 309, 362]. Die häufigsten Veränderungen, die insbesondere auch für die operative Therapie von Relevanz sein können, sind eine Syringomyelie, eine Arnold-Chiari Malformation sowie ein Tethered Cord.

Bei idiopathischen Early Onset Skoliosen beschrieben Williams et al. sogar 13% intraspinale Auffälligkeiten im MRT [356]. Bei einer typischen AIS ohne Begleitsymptome oder Begleiterkrankungen mit dem Nachweis von regelrechten Bauchhautreflexen und dem Ausschluss von pathologischen Reflexen konnte bislang auf eine MRT der Ganzwirbelsäule verzichtet werden. Die Leitlinienautoren raten allerdings aufgrund der doch relativ hohen Rate an intraspinalen Fehlbildungen, die nicht immer in der klinischen Untersuchung Auffälligkeiten bedingen, zur Anfertigung einer MRT der Ganzwirbelsäule vor einer korrigierenden AIS-OP.

In einer internationalen Expertenbefragung fanden jedoch nur 54% der Befragten eine präoperative (full spine) MRT für notwendig [58]. Bei der ambulanten Behandlung der AIS ist eine MRT nur dann indiziert, wenn Schmerzen oder unklare neurologische Symptome vorliegen oder kongenitale Veränderung ausgeschlossen werden sollen.

Notwendige Voraussetzung für die Durchführung einer MRT der Wirbelsäule bei Patienten mit Skoliose sind exakt formulierte klinische Informationen und Fragestellung sowie der sichere Ausschluss von Kontraindikationen.

Das Vorhandensein metallischer Implantate, z.B. Titanimplantate oder auch Stahl-Implantate (z.B. Harrington-Stäbe) sowie die Bedeutung kritischer Längen von Implantaten wird in der praktischen Radiologie nicht einheitlich bewertet.

In der Regel geht es bei AIS-Patienten beim MRT um den präoperativen Ausschluss intraspinaler Anomalien, die die Darstellung der gesamten Wirbelsäule (von kraniozervikal bis sakral) mit umgebenden paravertebralen Weichteilen, die Abbildung von Form und Weite des Spinalkanals mit den Recessus laterales, des Duralsacks mit Myelon, Cauda equina und Nervenwurzeln, des epiduralen Fettgewebes, der Wirbelbogengelenke und der Ligamente notwendig. Im Zweifel bei V.a. ein Tethered Cord kann auch eine MRT in Bauchlage sinnvoll sein, um den Cauda-Fasern ein Absinken entsprechend der Schwerkraft zu ermöglichen.

2.5.2.3.2 Computertomographie (CT)

Empfehlung: Eine präoperative CT gehört nicht zur Routine-Diagnostik einer AIS, kann aber bei klarer Fragestellung erfolgen (z.B. Frage nach knöchernen Überbrückungen eines Segmentes vor OP). (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Eine CT der instrumentierten Wirbelsäule soll postoperativ nicht routinemäßig durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Eine routinemäßige CT ist bei AIS-Patienten präoperativ nicht notwendig. Präoperativ kann eine CT bei voroperierten Patienten sowie bei ausgeprägten Krümmungen zur Beurteilung der knöchernen Anatomie, z.B. von knöchernen Überbrückungen einzelner Segmente, und Planung der Instrumentation indiziert sein. Eine routinemäßige postoperative CT zur Beurteilung der Implantatlage ist nicht indiziert. Bei Verdacht auf eine klinisch relevante Implantatfehl- oder -lockerung ist eine CT zur Abklärung sinnvoll.

Notwendige Voraussetzung für die Durchführung einer CT der Wirbelsäule bei Patienten mit Skoliose sind exakt formulierte klinische Informationen und Fragestellung und die damit begründbare rechtfertigende Indikation. Darüber hinaus ist eine CT-Untersuchung immer individuell optimiert durchzuführen mit der geringst möglichen Strahlendosis. Die CT dient insbesondere der Darstellung der knöchernen Strukturen, der Weite des Spinalkanals sowie der Implantatlage. Kritische Strukturen, die für die diagnostische Aussage wichtig und für die Qualität der Untersuchung repräsentativ sind, sind: intraspinale Weichteilstrukturen, Dichteunterschiede zwischen Bandscheibengewebe und Nervenwurzeln/Dura, Form der Bandscheiben, Weite des Spinalkanals, bei Metallimplantaten: Lage des Implantats zum Wirbelkörper, Pedikel und Spinalkanal.

Im Fall einer geplanten intraoperativen Navigation kann diese auf Basis einer präoperativen CT durchgeführt werden und somit eine solche im Vorfeld rechtfertigen.

2.5.2.4 Untersuchungsintervalle

2.5.2.4.1 Radiologische Kontrolluntersuchung bei Beobachtung

Empfehlung: Bei nachgewiesener AIS sollten radiologische Kontrolluntersuchungen (Röntgen Ganzwirbelsäule) während des pubertären Wachstumsschubes je nach Krümmung und klinischer Situation alle 6 bis 12 Monate bis zum Abschluss des Wachstums durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung: 100%)

Empfehlung: Nach Abschluss des Wachstums können radiologische Kontrollen abhängig von der Krümmung und der klinischen Situation je nach klinischer Relevanz durchgeführt

werden, ein festes Goldstandard-Schema für die Zeit nach Wachstumsabschluss gibt es nicht. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Ist bei der Erstuntersuchung eine AIS ausgeschlossen worden bzw. lediglich eine skoliotische Fehlhaltung (Cobb-Winkel kleiner als 10°) diagnostiziert worden, so sollten zunächst nur klinische Kontrolluntersuchungen erfolgen. Die Durchführung weiterer radiologischer Kontrollen sollte dann von den klinischen Kontrolluntersuchungen abhängig gemacht werden.

Ist eine AIS diagnostiziert worden, aber keine Korsett-Behandlung notwendig sein, so sollte eine nächste radiologische Kontrolluntersuchung frühestens nach 6 Monaten erfolgen, um eine therapierelevante Progredienz zu erkennen. Abhängig von der Ausprägung der Krümmung, der Wachstumsphase und der klinischen Untersuchung (Skoliometer-Messung) sollten nachfolgende radiologische Kontrollen alle 6 bis 12 Monate erfolgen, wobei stets die klinische Relevanz zu hinterfragen ist. Häufig reicht dann eine frontale Projektion aus, eine seitliche Ebene ist häufig aufgrund fehlender klinischer Relevanz verzichtbar.

2.5.2.4.2 Radiologische Kontrolluntersuchung bei Korsett-Therapie

Empfehlung: Nach Neuanfertigung eines Korsetts soll eine Röntgen-Aufnahme (Frontalebene) im Korsett im Stand erfolgen, um den Korrektoreffekt und die Pelottenlage zu untersuchen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Nach Beendigung der Korsett-Therapie sollte eine abschließende Röntgenkontrolle ohne Korsett nach bis zu 2 Jahren erfolgen, zusätzliche Kontrollen können abhängig vom Einzelfall durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Im Anschluss an die o.g. 2 Jahres-Kontrolle kann alle 5 Jahre eine Röntgenkontrolle erfolgen, die zeitlichen Intervalle sollten die klinische Situation des Patienten berücksichtigen. (Konsens, Zustimmung 95%)

Bei der Korsett-Behandlung ist der Therapieerfolg maßgeblich von der Qualität der Korsett-Versorgung abhängig. Es bedarf daher eines Behandlungsregimes, das die Korrektur der Wirbelsäule im Korsett kontrolliert. Um vergleichbare Werte zu erhalten, wird empfohlen, die radiologische Korsettkontrolle im Anschluss an eine Korsett-Eingewöhnungsphase durchzuführen, nachdem das Korsett falls erforderlich nochmals modifiziert wurde. Die Primärkorrektur sollte dann als Ganzwirbelsäulenaufnahme im Stehen mit angelegtem Korsett und markierten Pelotten kontrolliert werden. Die markierten Korrekturpelotten sollten ebenso wie die Rippen auf dieser Aufnahme gut dargestellt sein. Man sollte beachten, dass die volle Korrekturwirkung des Korsetts sich erst nach einer Tragedauer von ca. 120 min einstellt [174]. Bei Vorhandensein eines EOS-Systems eignen sich micro-dose Protokolle für die Kontrolluntersuchungen bei Korsett-Therapie [203].

Je nach Wachstumsstadium müssen Korsette alle 4 bis 6 Monate klinisch kontrolliert werden.

Für die radiologische Verlaufskontrolle unter laufender Korsett-Therapie sind die Frontalebene-Aufnahme der Wirbelsäule im Korsett ca. alle 6 bis 12 Monate sinnvoll.

Es gibt aber auch während laufender Korsett-Therapie Indikationen zur Röntgenkontrolle ohne Korsett: Bei stabiler Korrektur der Skoliose zur Überprüfung der Korsett-Indikation oder bei Progredienz der Krümmung im Korsett und anstehender Operationsentscheidung kann eine Röntgenaufnahme ohne Korsett erfolgen.

Eine klinische und radiologische Endkontrolle des Behandlungsergebnisses erfolgt ca. 2 Jahre nach Korsett-Abschulung, das Endergebnis der Orthesen-Behandlung steht erst ca. zwei Jahre nach dem definitiven Ablegen des Korsetts fest [253]. Je nach Größe der Skoliosekrümmung und daraus resultierendem Progredienz-Risiko sind klinische Kontrollen alle 1-2 Jahre, bei geringem Risiko alle 2-4 Jahre indiziert. Die Festlegung der radiologischen Nachkontrollintervalle sollte individuell erfolgen, diese sind abhängig von der Ausprägung der Krümmung nach Ende der Korsett-Therapie und dem klinischen Befund. Die Durchführung einer Wirbelsäulen-Ganzaufnahme ca. alle 5 Jahre kann jedoch als Richtstruktur angesehen werden.

2.5.2.4.3 Radiologische Kontrolluntersuchung postoperativ

Empfehlung: Operierte AIS-Patienten sollten vor Entlassung aus der stationären Behandlung Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule in 2 Ebenen erhalten. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Operierte AIS-Patienten sollen ca. 3-6 Monate und 1 Jahr nach OP Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule in 2 Ebenen erhalten. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Operierte AIS-Patienten können 2 Jahre nach OP sowie dann im Verlauf ca. alle 5 Jahre Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule in 2 Ebenen erhalten, die zeitlichen Intervalle sollten die klinische Situation des Patienten berücksichtigen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

In der internationalen Experten-Befragung werden postoperative Röntgenkontrollen vor Entlassung (91%), nach 3 Monaten (78%), nach 6 Monaten (80%), nach 12 Monaten (96%) und nach 24 Monaten (87%) bevorzugt [58]. Es sei aber auch erwähnt, dass es Arbeiten gibt, die eine Röntgenkontrolle bei Entlassung aus der stationären Therapie für unnötig halten, wenn intraoperativ ausreichend gute Röntgenbilder angefertigt worden sind [325].

Aktuell sind folgende postoperative radiologische Kontrolluntersuchungstermine mit Anfertigung von Wirbelsäulen-Ganzaufnahmen im Stehen weitgehend akzeptiert: postoperativ, 3 bis 6 Monate und 1 Jahr nach OP.

Die Notwendigkeit einer Röntgenkontrolle 2 Jahre nach OP befindet sich in der wissenschaftlichen Diskussion. Es gibt durchaus Stimmen wie Mens et al., die in ihren Untersuchungen nachwiesen, dass die 2-Jahres-Röntgenkontrollen unnötig waren [197].

Bei operierten Patienten mit unauffälligem 1- und 2-Jahres-Follow-up ist nachfolgend lediglich alle 5 Jahre eine Röntgenkontrolle sinnvoll. Die Nachuntersuchungsintervalle können jedoch individuell abgewogen werden und sind abhängig von eventuellen Restbeschwerden, der Restkrümmung, der Horizontalisierung des untersten instrumentierten Wirbels und der Länge der Instrumentation.

2.5.3 Rasterstereographie

Empfehlung: Die Rasterstereographie ersetzt Röntgenkontrollen nicht, kann aber im Verlauf der Betreuung von AIS-Patienten die Gesamtanzahl an Röntgenbildern reduzieren, da sie zur Verlaufsbeobachtung milder und moderater Krümmungen eingesetzt werden kann. (Starker Konsens, Zustimmung: 100%)

Empfehlung: Bei Feststellung einer Zunahme der Deformität ist zur exakten Bestimmung des Krümmungswerts eine Röntgenuntersuchung unabdingbar, da die Behandlungsprotokolle sich nach der radiologisch gemessenen Krümmung (Cobb-Winkel) richten. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Behandlungsprotokolle der AIS basieren zum größten Teil auf krümmungsspezifischen Faktoren wie Ausprägung und Progredienz. Goldstandard für die genaue Bestimmung der Krümmungswerte ist die nativradiologische Diagnostik. Nachteil dieser Methode ist das Risiko einer über die Jahre relativ hohen kumulativen Strahlenexposition und das damit verbundene erhöhte Risiko einer Karzinogenität. Um die Notwendigkeit für multiple Röntgenuntersuchungen zu verringern, wird als Alternative die Oberflächen-Rasterstereografie (RS) verwendet.

In verschiedenen Publikationen wurden die Reliabilität und die Validität der RS in Relation zum Röntgen zur Feststellung einer Krümmungsdynamik bestätigt, so dass sie bei den routinemäßigen Verlaufskontrollen ergänzend zur klinischen Untersuchung bei konservativ therapierten Patienten einen sinnvollen Platz in der Patientenversorgung eingenommen hat. Allerdings ist die aktuelle Datenlage bzgl. dieser Messtechnik noch sehr kontrovers. In der Literatur mangelt es momentan an hochqualitativen Studien, die mit ausreichender Evidenz den Stellenwert der RS eindeutig belegen.

In einem systematischen Review aus 2015, welches 12 Studien inkludierte, kamen Mohokum et al. zu der Schlussfolgerung, dass die Genauigkeit der Methode sehr variabel ist und dass die

gemessenen Werte zwischen Nativröntgen und RS, insbesondere für die Wirbelrotation, sich signifikant voneinander unterscheiden [201].

In einem systematischen Review aus dem Jahr 2020 über 19 eingeschlossene Studien inkl. Patienten mit diversen Wirbelsäulenentitäten sowie gesunden Probanden zeigten Krott et al., dass die RS eine zuverlässige Methode für die Bestimmung von Parametern wie der Thorakalkyphose, Lumballordose und Skoliose ist [152]. Verglichen mit der Nativröntgentechnik zeigten sich eine Reliabilität von $> 0,91$ und eine Validität von $> 0,70$. Es wurde jedoch als Einschränkung der Analyse die in manchen Studien mangelnde statistische Auswertung und die kleine Probandenzahl diskutiert. Bemerkenswert ist, dass von insgesamt 309 Studien 290 wegen nicht adäquaten Studiendesigns und/oder mangelnder Ergebnisse über Reliabilität und Validität ausgeschlossen wurden. Trotzdem schlussfolgerten die Autoren, dass die RS als Alternative zum Röntgen zu betrachten sei. Über den Stellenwert zur Bestimmung von Krümmungsprogredienz und die daraus resultierenden Therapiekonsequenzen wurde nicht diskutiert.

In einer Vergleichsstudie von Bassani et al. mit 192 Probanden wurden die Krümmungswerte gemessen mit EOS-Technologie und RS verglichen [16]. Für die Bestimmung der Skoliose fielen die mit RS gemessenen absoluten Cobb-Winkel viel niedriger aus, die durchschnittliche Messdifferenz betrug 18° . Die RS war sehr ungenau mit einem Korrelationskoeffizienten von lediglich 0,55. Die „within-subject“ Aussagekraft für Krümmungsprogredienz war sehr eingeschränkt mit einem Koeffizienten von 0,3. Die Genauigkeit, eine Krümmungsveränderung festzustellen, war insuffizient niedrig und betrug lediglich 67%, die Sensitivität betrug 64% und die Spezifität 69%. Für die Messungen in der Sagittalebene waren die Werte EOS vs. RS für die BWS-Kyphose vergleichbar. Die Werte für die lumbale Lordose fielen bei der RS signifikant niedriger aus. Die RS wies eine relative Ungenauigkeit zum Monitoring der Progredienz und nur moderate Genauigkeit bei der Bestimmung der Krümmungsausprägung auf. Daher sei die RS laut Bassani et al. als Alternative der radiologischen Untersuchung nicht zu empfehlen. Die RS könne laut Bassani et al. für die Früherkennung eingesetzt werden, biete aber keine wesentlichen Vorteile gegenüber traditionellen Screeningmethoden.

Die RS wurde im Institut für Biomechanik der Orthopädischen Universitätsklinik Münster maßgeblich mit entwickelt und geprägt [74, 75, 96, 110, 111, 175, 283, 284, 314]. Vertreter der Münsteraner Wirbelsäulen-Deformitäten-Schule führten verschiedene Studien zum Thema der Genauigkeit der RS im Vergleich zum Röntgen durch [314]. Schlussendlich empfehlen die Autoren dieser Arbeitsgruppe die RS als Ergänzung zum Röntgen und zur klinischen Diagnostik, aber nicht als deren Ersatz.

In einer Studie mit 95 Patienten mit AIS betrug die gemessene Differenz in den Winkelwertbestimmungen der Skoliose mit RS und Röntgen zwischen 7 und 8° . Daher wurde RS lediglich als ergänzende Methode empfohlen [175].

In einer retrospektiven longitudinalen Studie wurden RS und Röntgen bzgl. Genauigkeit und Reliabilität bei 16 Patienten mit idiopathischer Skoliose verglichen [284]. Der Follow-up betrug im Schnitt 8 Jahre. Gemessen mit RS wurden die laterale Wirbeldeviation und die Wirbelrotation im Abschnitt C7-L4. Die Daten ergaben eine sehr gute Korrelation dieser Parameter ($R^2 \geq 0.5$). Die gemessene Differenz zwischen RS und Nativröntgen war 3,21 mm für laterale Deviation und $2,45^\circ$ für Wirbelrotation. Anhand dieser Parameter war aber eine Evaluation der Dynamik des Cobb-Winkels nicht möglich. Zur Verringerung von Strahlenexposition empfehlen die Autoren, eine RS-Messung alle 3-6 Monate durchzuführen und bei stabilem Befund eine Nativröntgenaufnahme nur alle 12-18 Monate.

In der Studie von Tabard-Fougère et al. wurden 35 Probanden mit AIS $10-40^\circ$ untersucht [311]. Der mit RS gemessene Skoliosewinkel wurde mit dem Cobb-Winkel gemessen durch 2D EOS (XR) verglichen. Der Korrelationsindex betrug 0,70, die Messdifferenz war nicht signifikant mit $p = 0,60$. Die Autoren empfehlen RS als Alternative zur 2D EOS-Untersuchung.

In einer multizentrischen Studie von Knott et al. wurden die Messergebnisse von RS und Röntgen bei 193 Patienten im Alter zwischen 8 und 18 Jahren mit idiopathischer Skoliose zwischen 10 und 50° verglichen [145]. Es wurde über eine starke Korrelation der Werte für die Messungen im Bereich der BWS ($r = 0,7$ für Skoliose und $r = 0,8$ für Kyphose) sowie eine moderate Korrelation für die LWS ($r=0,5$) berichtet. Die durchschnittliche Messdifferenz betrug für BWS $5,8^\circ$ und für LWS $8,8^\circ$. Die Autoren schlussfolgerten, dass mit RS eine exakte Bestimmung der Krümmungswerte nicht möglich sei. Jedoch bietet laut Knott et al. die Oberflächenvermessung die Möglichkeit, eine reproduzierbare Verlaufsevaluation der Krümmungsdynamik ohne wiederholte Strahlenexposition durchzuführen.

Zusammenfassend zeigt sich eine extreme Variabilität der Ergebnisse in den vorliegenden Studien zur Stellenwert der RS. Eine exakte Bestimmung der Krümmungswerte einer AIS ist mit der RS sicherlich nicht so gut möglich wie mit dem Röntgen. Goldstandard für die genaue Messung von Krümmungsausprägungen bleibt die Röntgenuntersuchung. Dies ist insbesondere für die Initialdiagnostik und bei therapeutischen Indikationsstellungen zu berücksichtigen. Die RS kann jedoch bei den Verlaufskontrollen eine zuverlässige Alternative zum Röntgen sein zur Feststellung einer Veränderung der Krümmung (Progredienz). Ein mögliches Konzept, welches einige Skoliose-Zentren anwenden, besteht z.B. darin, halbjährlich im Wechsel mit Röntgen und RS zu kontrollieren und nur im Fall einer klaren Progredienz in der RS ein Röntgenbild zu machen. So kann im Verlauf einer AIS-Betreuung die Strahlenexposition verringert werden und im optimalen Fall kann das Röntgen auf einmal jährlich reduziert werden.

2.5.4 Klassifikation

Statement: Die wichtigste Klassifikation der AIS zur Planung einer operativen Korrektur stellt die Lenke-Klassifikation dar. (Konsens, Zustimmung 95%)

Klassifikationen im Hinblick auf die chirurgische Therapie:

1983 präsentierte Howard **King** die erste Klassifikation der AIS, die Hilfestellung bei der Planung der chirurgischen Therapie geben sollte [143]. Sie beschrieb fünf thorakale Krümmungstypen und empfahl auf dieser Basis die Fusionslänge für eine geplante Operation. Die Intra- und Interobserver Verlässlichkeit war allerdings unzureichend, das sagittale Profil wurde nicht einbezogen.

2001 wurde daher von Lawrence **Lenke** et al. ein neues Klassifikationssystem entwickelt [171]. Ziel war es, auf der Basis von Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen sämtliche Krümmungstypen einfach und verlässlich einordnen zu können, das sagittale Profil zu berücksichtigen und eine standardisierte chirurgische Therapie zu ermöglichen. Die Klassifikation definiert strukturelle und nicht-strukturelle Krümmungen, und gruppiert die AIS in sechs Kurventypen (main thoracic, double thoracic, double major, triple major, thoracolumbar/lumbar without structural thoracic curve, thoracolumbar/lumbar with structural thoracic curve). Ein lumbaler Modifier beschreibt die Distanz der LWS zur Mittellinie. Das sagittale Profil wird in thorakal hypo-, normo- und hyperkyphotisch unterteilt. Die Lenke-Klassifikation zielt darauf ab, die Kriterien der Kurventypen so zu festzulegen, dass sich daraus Vorgaben für die operative Therapie ableiten lassen. Prinzipiell sollen strukturelle Krümmungen operativ korrigiert werden, während bei nicht-strukturellen Krümmungen eine spontane Korrektur erwartet werden kann.

Die Stärken der Lenke-Klassifikation sind:

- 1) Hohe Intra- und Interobserver Verlässlichkeit [125, 171]
- 2) Verlässliche Planung der operativen Therapie nach Klassifikation [170, 171]
- 3) Vergleichbarkeit von operativen Ergebnissen und wissenschaftliche Fragestellungen
- 4) Unterscheidung zwischen strukturellen Krümmungen und nicht strukturellen Ausgleichskrümmungen

Schwächen der Lenke-Klassifikation:

- 1) zweidimensionale Bildgebung als Grundlage [295]
- 2) Unscharfe Abgrenzung zwischen Lenke Typ 3 und Typ 6.

Klassifikationen im Hinblick auf die konservative/physiotherapeutische Therapie:

Schroth-Klassifikation:

Die Einteilung nach Schroth ist ausschließlich zur Durchführung der krümmungsspezifischen Krankengymnastik sinnvoll.

Das Körperblockmodell nach Katharina Schroth ist als Denkmodell zu verstehen [259]. Die Verschiebungen (Translation) und Verdrehungen (Rotation) werden als Formveränderung mit dem Körperblock-Modell dargestellt, Translation und Rotation erfolgen bei typischem Pathomechanismus in dieselbe Richtung.

H – Hüft-Beckenblock (Hip-pelvic block) inklusive untere Gliedmaße

L – Lendenblock (Lumbar block)

T – Thoraxblock (Thoracic block)

S – Schulterblock (Shoulder block) beschreibt den cervikothorakalen / proximalen thorakalen Bogen.

Für die Schroth-Klassifikation wird der Primärbogen als initiales Zentrum der Skoliose beschrieben. Die strukturelle Komponente ist ausgeprägt und die Flexibilität, besonders in den Scheitelsegmenten, eingeschränkt (Lateralflexion zur Konvexseite, Rotation Konvexseite nach ventral, thorakale Flexion, lumbale Extension).

Letztlich entscheidend für die Zuordnung als Primärbogen in der Schroth-Klassifikation ist jedoch der Einfluss auf die Körperhaltung und die Körperstatik [169]. Ziel der Therapie ist es, durch Optimierung der Haltung und Haltungsempfindung, die gestörte Statik zu korrigieren. Über gezielte Atemübungen werden die Brustkorbdeformität und Rippenmobilität gezielt optimiert.

Klassifikationen im Hinblick auf die Orthesen-Therapie:

Eine Klassifikation für die Korsett-Therapie bei AIS wurde von **Rigo** vorgeschlagen [254]. Eine ausreichende Evidenz hierzu existiert nicht. Viele Korsett-Orthopädietechniker benutzen noch die King-Klassifikation [143] und unterscheiden so nicht zwischen struktureller Primärkrümmung und Ausgleichskrümmung.

2.5.5 Lungenfunktion

Statement: AIS-Patienten mit großen koronaren und kleinen sagittalen thorakalen Cobb-Winkeln (Hypokyphose) können respiratorische Einschränkungen bis zur Ateminsuffizienz zeigen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Eine AIS kann bereits frühzeitig zu Veränderungen der Lungenfunktion führen, die aber meistens im Alltag keine Belastungseinschränkungen mit sich bringen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Die Untersuchung der Lungenfunktion gehört nicht zur Routinediagnostik von AIS-Patienten. Sie kann v.a. vor und nach thorakalen Korrekturspondylodesen sowie bei Hinweisen auf eine eingeschränkte pulmonale Funktion erwogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Zwei Jahre postoperativ besteht unabhängig vom gewählten Korrekturverfahren (ventral, ventrodorsal oder dorsal) und im Vergleich mit den präoperativen Werten statistisch in der Regel kein Unterschied in der Lungenfunktion. (Konsens, Zustimmung 95%)

Empfehlung: Bei Patienten mit signifikanten präoperativen Einschränkungen der Lungenfunktion sollte die Indikation zu ventralen Korrekturen und zu Verfahren mit Rippenbuckelresektion sehr zurückhaltend gestellt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Natürlicher Verlauf:

Atemwegsversagen als Folge einer unbehandelten Skoliose kann in seltenen Fällen fast ausschließlich bei Kurven mit Cobb-Winkeln über 100° auftreten. Eine Publikation von Bjure und Nachemson aus dem Jahr 1973 beschrieb deutliche kardiopulmonale Einschränkungen bei Skoliosen mit 90° bzw. 130°, nicht mit 50° [21]. Langzeitstudien zum natürlichen Verlauf von Pehrsson et al. und Weinstein et al. mit einem Nachbeobachtungszeitraum von 56 respektive 51 Jahren beschrieben, dass sich ein Atemwegsversagen mit reduzierter Vitalkapazität unter 45% zum zu erwartenden Wert nur bei Kurven über 110° (Pehrsson) bzw. 100° (Weinstein) und erst mit einer Verzögerung von mindestens 20 Jahren entwickelt, dies ist dann verbunden mit negativen Auswirkungen auf den allgemeinen Gesundheitszustand [54, 233, 234, 349].

Ergänzend gaben Yaszay et al. besonders die Abnahme der thorakalen Kyphose als Risikofaktor an. Sowohl Yaszay als auch Danielsson wiesen auf den axialen Rotationsgrad der Skoliose als weiteren Risikofaktor für die Entwicklung von signifikanten Atemwegseinschränkungen hin [54, 364].

Eine spezifische muskuläre Ursache konnte bisher nicht nachgewiesen werden [192].

Die Kombination von großem Cobb-Winkel und Ateminsuffizienz kann in Einzelfällen sogar zum vorzeitigen Tod führen, ohne dass sich im Allgemeinen bei unbehandelten AIS-Patienten eine erhöhte Sterblichkeitsrate findet [23, 159].

Das allgemeine Risiko einer Kurzatmigkeit bei AIS-Patienten ist im Vergleich zur Normalbevölkerung ebenfalls nicht erhöht, steigt aber bei Kurven über 50° an und kann zu Beeinträchtigungen führen. Die Belastbarkeit im Alltag zeigt keinen Unterschied zur Normalbevölkerung, vorausgesetzt die Krümmung liegt nicht über ca. 80° [9].

Die Lungenfunktion bei AIS kann allerdings bereits frühzeitig gestört sein und bedarf der Beobachtung. So konnten in einer Vergleichsstudie mit 73 AIS-Patienten mit milden Skoliosen zwischen 10° und 20° Cobbwinkel mit einem Durchschnittsalter von 13 Jahren und einem durchschnittlichen Cobb-Winkel von 16° und 34 alters-, größen- und gewichtsgematchten Jugendlichen für die forcierte Vitalkapazität (FVC), das forcierte expiratorische Volumen in 1 Sekunde (FEV1), die maximale freiwillige Ventilation (MVV) und die FEC (Functional exercise capacity) durch den 6-Minuten-Gehtest (d.h. 6-MWT) jeweils signifikante Unterschiede zu Ungunsten der AIS-Patienten nachgewiesen werden [1].

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Barrios et al. in einer weiteren, wenn auch kleinen Vergleichsstudie mit 17 AIS-Patientinnen mit leichten bis mittelschweren Skoliosen (Durchschnittsalter 13 Jahre und durchschnittlicher Cobb-Winkel 33°) und 10 altersgematchten Mädchen [14]. Hier wurde eine deutlich geringere Belastungstoleranz nachgewiesen, die mit steigendem Cobb-Winkel korrelierte.

Newton et al. beschrieben 2005 die multifaktorielle Entstehung der pulmonalen Insuffizienz an 631 AIS-Patienten [218].

Daraus ergibt sich, dass eine Lungenfunktionsdiagnostik bei klinischen Hinweisen auf eine eingeschränkte pulmonale Funktion eingeleitet werden sollte.

Korsett-Therapie und Lungenfunktion:

Die Daten zur Auswirkung des Korsetts auf die Lungenfunktion sind limitiert und stützen sich bis auf die Studie von Ran et al. (237 Patienten) [248] nur auf kleine Studienkollektive mit milden konservativ behandelten Skoliosen (Korovessis: 30 Patienten, durchschnittlicher Cobb-Winkel 29° [150]; Barrios: 37 Patienten, durchschnittlicher Cobb-Winkel 33° [14]; Yagci 27 Patienten, durchschnittlicher Cobb-Winkel 29° [363]). Korovessis et al. und Barrios et al. fanden keinen negativen Einfluss des Korsetts auf die Lungenfunktion. Yagci et al. sahen eine Limitierung einer restriktiven Lungenerkrankung unter der Korsett-Therapie, die sich nach Beendigung komplett zurückbildete.

Davon unterscheiden sich die Ergebnisse von Ran et al. aus einem operierten Gesamtkollektiv, die 60 im Korsett vorbehandelte AIS-Patienten mit einem durchschnittlichen Cobb-Winkel von 54° im Vergleich zu 177 ohne Korsett (durchschnittlicher Cobb-Winkel: 53°) vorbehandelte postoperative Patienten auswerteten [248]. In diesem Kollektiv verursachte eine längere

präoperative Korsett-Therapie sowie ein geringer Kyphosewinkel eine Verminderung der Lungenfunktion.

Da sich unter der Korsett-Therapie im Indikationsspektrum zwischen ca. 20° und ca. 45° Cobb-Winkel kein erhöhtes Risiko für eine alterierte Lungenfunktion ergibt, bedarf es der Lungenfunktionsdiagnostik nur in individuellen Einzelfällen. Ausschließlich über 50° entsteht ein erhöhtes Risiko.

Operative Behandlung und Lungenfunktion:

Eine signifikante positive Auswirkung durch Verbesserung des Thoraxvolumens und der pulmonalen Funktion durch eine dreidimensionale selektive dorsale Korrekturspondylodese mit jeweils signifikanter Vergrößerung der Kyphose sowie Reduktion des Cobb-Winkels und der Rotation des Apex-Wirbels konnte in einer retrospektiven multizentrischen Datenbankanalyse über 5 Jahre mit 39 inkludierten Patienten nicht nachgewiesen werden [25].

Auch 15 Jahre postoperativ bestätigt die Analyse von 35 japanischen AIS-Patienten, dass für das Gesamtkollektiv keine signifikanten Änderungen der pulmonalen Funktion erzielt werden, lediglich für Patienten mit schweren präoperativen pulmonalen Beeinträchtigungen fand sich postoperativ eine statistische Verbesserung der Lungenfunktion [34].

Im Vergleich der ventralen und dorsalen Korrekturspondylodesen ergeben sich uneinheitliche Daten. So kommen Bullmann et al. im retrospektiven Vergleich von 40 AIS-Patienten (Durchschnittsalter 15 Jahre) mit offenen ventralen Derotationsspondylodesen mit Doppelthorakotomie mit 29 mit dorsalen Korrekturspondylodesen mit Rippenbuckelresektion (Durchschnittsalter 19 Jahre) über 2 Jahre zu dem Schluss, dass unmittelbar postoperativ die Abnahme der Lungenfunktion signifikant ausgeprägter in der ventralen als in der dorsalen Gruppe ist, sich die Lungenfunktion aber über den Analysezeitraum im Vergleich zu präoperativ ohne bleibenden statistischen Unterschied zwischen den Gruppen normalisierte [29]. Aufgrund der kurzfristig signifikanten Beeinträchtigung der Lungenfunktion rieten die Autoren, bei Patienten mit schwerer restriktiver pulmonaler Funktion eine dorsale Korrektur dem ventralen Verfahren vorzuziehen.

Das Ergebnis bestätigt sich in mehreren mono- und multizentrischen retrospektiven Studien [62, 223].

Kim et al. kamen in ihrer Studie an 118 AIS-Patienten zu dem Schluss, dass jede Form der Thoraxeröffnung (anteriorer Zugang oder Thorakoplastie) auch 5 Jahre nach OP zu einer Verschlechterung der Lungenfunktion führt [142].

Auch Verma et al., die in einer monozentrischen retrospektiven vergleichenden Studie mit 159 Patienten, die ventral offen oder thorakoskopisch respektive von dorsal operiert wurden, zeigten eine unmittelbar postoperative Verschlechterung, besonders in der thorakoskopischen Gruppe, die sich aber innerhalb von 6 Monaten wieder normalisierte [336].

Allerdings muss ergänzend darauf hingewiesen werden, dass offene ventrale Verfahren das höchste Risiko für eine bleibende Beeinträchtigung der Lungenfunktion in sich bergen [102, 221, 364], hingegen dieses Phänomen bei rein dorsalen Zugängen nicht zu verzeichnen ist.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass es zwei Jahre nach thorakaler oder thorakolumbaler Skoliosekorrektur unabhängig vom gewählten Verfahren nicht zu signifikanten Veränderungen der Lungenfunktionen kommt, was durch eine Meta-Analyse über 22 Studien bestätigt wurde [164].

Wie mit Extremkurven über 90° Cobb-Winkel zu verfahren ist, ist anhand der Literatur sehr limitiert zu bewerten. Allerdings ergeben sich auch hier Hinweise, dass rein dorsale „All-Screw-Constructs“ ausschließlich mit Pedikelschrauben bei geringerem Zugangstrauma im Vergleich zu einem vorhergehenden ventralen Release gleiche Korrekturergebnisse bei geringerer negativer Auswirkung auf die Lungenfunktion haben [70].

Da das Risiko für Kurzatmigkeit bei einem thorakalen Cobb-Winkel über 50° zunimmt, sollte präoperativ bei klinischen Hinweisen auf eine Lungenfunktionseinschränkung auch eine Lungenfunktionsdiagnostik erfolgen. Postoperativ sollte bei Verzögerungen des Rehabilitationsfortschritts ebenfalls eine Lungenfunktionsdiagnostik eingeleitet werden.

Für Patienten mit präoperativ signifikant eingeschränkter Lungenfunktion sollte die Indikation zu ventralen, insbesondere offenen und Verfahren mit Rippenbuckelresektion und jeweils assoziierter Eröffnung des knöchernen Thorax sehr zurückhaltend gestellt werden.

2.5.6 Labordiagnostik / Genetik

Statement: Aktuell existiert kein ausreichend genauer Gentest zur Abschätzung des Risikos einer Entstehung einer AIS oder zur Abschätzung des Risikos einer Progredienz einer AIS. (Konsens, Zustimmung 95%)

Genetische Aspekte spielen bei der Entstehung der Skoliose eindeutig eine Rolle (siehe Kapitel 2.4 Pathogenese). Eine große Zahl von Kandidatengenen wurde bereits identifiziert, die alle zusammen Einfluss auf die Entstehung einer AIS haben können, doch ein konkreter Zusammenhang mit AIS-Entstehung und dem AIS-Progredienzrisiko ist derzeit noch nicht nachgewiesen. Es steht jedoch zu erwarten, dass weitere Studien in der Zukunft in der Lage

sind, Gene oder Genloci nachzuweisen, die in einen direkten Zusammenhang mit der Entstehung, der Lokalisation, dem Phänotyp oder der Progredienz der Erkrankung gebracht werden können.

Derzeit gibt es keine ausreichend zuverlässigen klinischen Gentests zum Nachweis einer Prädisposition, eine AIS zu erwerben, oder zur Einschätzung einer möglichen Progredienz. Der vor einigen Jahren eingeführte Scoliscore-Test, ein Speicheltest, der 53 genetische Marker inkorporierte, hat sich nicht ausreichend bewährt [262].

Es gibt vereinzelt Hinweise aus chinesischen Arbeitsgruppen, dass eine Osteopenie und ein damit einhergehender Vitamin-D-Mangel ein Progredienzrisiko bei Mädchen mit AIS darstellen [156]. Zum jetzigen Zeitpunkt kann diese Beobachtung jedoch noch nicht als gesichert gelten und weitere Studien dazu sind erforderlich.

Da für die AIS keine diagnostischen Laborparameter oder Biomarker etabliert sind, dient eine Laboruntersuchung lediglich einer eventuellen präoperativen Routine-Diagnostik.

2.5.7 Kraftmessung

Statement: Eine diagnostische Messung der Muskelkraft gehört nicht zur Routine-Diagnostik einer AIS. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Zwar kann ein Einfluß der Rumpfmuskulatur auf die Entstehung und Progredienz einer AIS diskutiert werden (u.a. auf Basis der Beobachtung, dass bei gestörter Motorik wie z.B. bei neuromuskulärer Grunderkrankung häufig Skoliosen auftreten), ein wissenschaftlich zuverlässig nachgewiesener Diagnostik-Algorithmus existiert allerdings nicht. Ob Muskelkraft-Asymmetrien Ursache oder Folge einer AIS sind, ist unklar.

Krafttraining als Therapie-Option einer AIS (siehe auch Kapitel 2.7.2.1 Physiotherapie und 2.8.6 AIS und Sport) mit dem Ziel des Trainings der Rumpfmuskulatur inkl. Beseitigung von Skoliose-typischen Asymmetrien ist sinnvoll und wird von den Leitlinien-Autoren empfohlen. Ein klarer wissenschaftlicher Nachweis, dass dadurch eine AIS verhindert oder eine Krümmung nachhaltig reduziert werden kann, steht allerdings noch aus.

2.6 Natürlicher Verlauf

Statement: Während des Wachstums ist die Wahrscheinlichkeit einer Progredienz einer unbehandelten AIS v.a. abhängig vom verbleibenden Restwachstum und vom Cobb-Winkel. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Nach Abschluss des Wachstums kann eine thorakale Krümmung über 50° jährlich um ca. knapp 1° zunehmen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Die klinische Situation inkl. des subjektiven Wohlbefindens kann bei AIS-Patienten trotz progredienter Krümmung lange kompensiert gut bleiben. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Eine relativ späte AIS-OP im späteren Erwachsenenalter ist in der Regel schwieriger und invasiver als eine OP im Jugendalter, zudem kann eine längere Fusionsstrecke zum Erreichen des gleichen Korrekturausmaßes notwendig sein im Vergleich zu einer OP im jüngeren Alter. (Starker Konsens, Zustimmung: 100%)

Mortalitätsrate:

Nachemson beschreibt für Krümmungen über 80° eine doppelt so hohe Mortalitätsrate wie in einer Vergleichsgruppe ohne Skoliose, allerdings subsummiert über aller Arten von Skoliosen [206]. Nilsson et al. fanden bei idiopathischen Skoliosen ebenfalls eine doppelt so hohe Mortalitätsrate im Vergleich zur Normalbevölkerung [225].

Spätere Studien mit definierten Patientenkollektiven zeigten bei AIS keine erhöhte Mortalität mehr, auch wenn Einzelfällen mit Kurven-Progress >100° und frühzeitigem Tod beschrieben sind [9, 54, 234, 349].

Skoliose-Progress:

Danielsson veröffentlichte 2013, dass sich einbogige thorakale Krümmungen mit Cobb-Winkeln zwischen 50°-75° um 0,73°/Jahr verstärken [54].

Nachemson et al. [208] beschrieben bei thorakalen Krümmungen von Mädchen folgende Progredienzwahrscheinlichkeiten (d.h. Zunahme um $\geq 5^\circ$):

Cobb-Winkel	Skelettalter		
	10 bis 12 Jahre	13 bis 15 Jahre	≥ 16 Jahre
$\leq 19^\circ$	25%	10%	0%
20 – 29°	60%	40%	10%
30 – 59°	90%	70%	30%
$\geq 60^\circ$	100%	90%	70%

Nachemson et al. bewerteten das Risiko für lumbale Krümmungen für halb so groß wie für thorakale Krümmungen, während das von thorakolumbalen Krümmungen und doppelbogigen Krümmungen vergleichbar mit dem von thorakalen Krümmungen sei [208].

Weinstein et al. untersuchten 194 unbehandelte AIS-Patienten mit einem Follow-up von 16 Jahren und beschrieben bei thorakalen Krümmungen über 50° und auch bei lumbalen Krümmungen über 50° bei doppelbogigen Skoliosen eine Zunahme auch nach Wachstumsabschluss [347]. Die Autoren empfahlen somit eine Fusions-OP für thorakale Krümmungen über 50° am Wachstumsende. Aufgrund der Problematik von Rückenschmerzen nach lumbalen Fusionen bis L4 bzw. L5 beschrieben die Autoren eine Fusions-Empfehlung für lumbale Krümmungen als fragwürdig. Thorakolumbale Krümmungen über 50° wurden als OP-Indikation beschrieben.

Laut Lonstein bestehen folgende Risikofaktoren für eine Krümmungszunahme bei idiopathischen Skoliosen: Verbleibendes Restwachstum, hoher initialer Cobb-Winkel, eine Doppelbogigkeit der Skoliose, weibliches Geschlecht [179].

In einer Übersichtsarbeit beschrieben Asher et al. bei AIS, dass thorakale Krümmungen ein Risikofaktor für eine Progression sind, zudem eine apikale Wirbelrotation von mehr als 30° und ein Metha-Winkel von mehr als 20° [9]. Bei doppelbogigen Skoliosen neigte die lumbale Krümmung eher zur Progression als die thorakale, insbesondere die lumbal rechtskonvexen Krümmungen. Auch ein „Lack of L5 deep seating“ wurde als Risikofaktor beschrieben [9].

Lebensqualität:

1968 untersuchten Collis et al. 215 AIS-Patienten nach, die ursprünglich von 1932 bis 1948 in der Ambulanz gesehen worden waren und nicht chirurgisch behandelt worden waren [52]. Die meisten Patienten führten ein normales, aktives und produktives Leben, arbeiteten, heirateten und nahmen an Aktivitäten teil, die sich kaum von denen der normalen Bevölkerung unterschieden. Viele berichteten von Rückenschmerzen, aber normalerweise waren sie von minimaler, nicht einschränkender Natur. Die Autoren konnten keinen statistischen Zusammenhang zwischen Skoliose-Typ bzw. Krümmungsausmaß und der Ausprägung von Rückenschmerzen finden.

Die Rückenschmerz-Inzidenz wurde im Vergleich zu einer gesunden Kontrolle untersucht:

Inzidenz von Rückenschmerz	Skoliosepatienten	Angehörige ohne Skoliose (n=100)
Niemals	41 (22%)	9
Selten (1-5x/Leben)	31 (16%)	25
Gelegentlich (einige Tage/Jahr)	61 (31%)	41
Häufig (einige Tage/Monat)	32 (16%)	17
Täglich	30 (15%)	8

Weinstein beobachtete Patienten mit unbehandelter AIS über einen Zeitraum über 50 Jahre: Die Patienten führten ein aktives Leben, arbeiteten, heirateten und hatten Kinder, er beobachtete vermehrt Rückenschmerzen und pulmonale Symptome bei Patienten mit größeren thorakalen Krümmungen [345].

Die Wahrscheinlichkeit von Rückenschmerzen bei unbehandelten Skoliosepatienten ist in zahlreichen weiteren Studien deutlich erhöht [9, 54, 225].

Bjure und Nachemson beschrieben in ihrer Übersichtsarbeit aus dem Jahre 1973, dass Skoliosen über 50° deutliche kardio-pulmonale und psychische Einschränkungen hatten [21].

2.7 Therapie

2.7.1 Grundprinzipien

Wie bei jedem anderen Therapieeinsatz soll eine Skoliosebehandlung dem Patienten Vorteile gegenüber dem natürlichen Verlauf bringen und einen ungünstigen Spontanverlauf verhindern. Im Endergebnis wird der Erhalt und die langfristige Optimierung der Lebensqualität angestrebt.

Die heutigen Behandlungsprinzipien basieren einerseits auf den Erfahrungen älterer Studien zum natürlichen Verlauf unbehandelter AIS und andererseits auf den klinischen Ergebnissen nach Therapie mit diversen Behandlungsmethoden.

Eine Kernrolle bei der Entscheidung über die Behandlungsstrategie spielen die Faktoren Krümmungsausprägung und Skelettreife.

Das Thema „Natürlicher Verlauf“ wurde im Kapitel 2.6 ausführlich dargestellt.

Die Indikationen für die einzelnen Therapieeinsätze finden sich in den folgenden Unterkapiteln.

Es gelten folgende flankierenden Basis-Empfehlungen:

Empfehlung: AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von < 25° thorakal bzw. < 20° thorakolumbal oder lumbal sollen im Verlauf beobachtet werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von < 25° thorakal bzw. < 20° thorakolumbal oder lumbal können regelmäßig physiotherapeutisch behandelt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: AIS-Patienten mit abgeschlossenem Wachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von $< 25^\circ$ thorakal bzw. $< 20^\circ$ thorakolumbal oder lumbal haben eine günstige Prognose. (Konsens, Zustimmung 94%)

Empfehlung: Bei AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von $> 25^\circ$ thorakal bzw. $> 20^\circ$ thorakolumbal oder lumbal sollte die Indikation für Physiotherapie gestellt werden. (Konsens, Zustimmung 81%)

Empfehlung: AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung ab 25° thorakal bzw. ab 20° thorakolumbal oder lumbal sollen mit einem Korsett behandelt werden. (Starker Konsens, 100 % Zustimmung, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: AIS-Patienten mit abgeschlossenem Wachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung zwischen 25° und $40^\circ - 50^\circ$ thorakal bzw. zwischen 20° und 40° thorakolumbal oder lumbal sollen regelmäßig rumpfstabilisierende Eigenübungen machen und sportlich aktiv sein. (Starker Konsens, 100% Zustimmung)

Empfehlung: Bei AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum oder nach Abschluss des Wachstums und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung $> 50^\circ$ thorakal bzw. $> 40^\circ$ thorakolumbal oder lumbal soll die Indikation zur operativen Korrektur der Skoliose gestellt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%) Zwischen 40° und 50° Cobb-Winkel thorakal kann eine OP erwogen werden. (Starker Konsens, 100% Zustimmung)

Empfehlung: Ab 40° Cobb-Winkel soll eine individualisierte Beratung in einem operativen Skoliose-Zentrum erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: AIS-Patienten im Wachstum sollen klinisch alle 4 bis 6 Monate kontrolliert werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Der Unterschied zwischen thorakalen und lumbalen bzgl. thorakolumbalen Krümmungen besteht u.a. darin, dass letztere meist kurzbogiger sind als erstere und dass lumbal das Risiko der Skoliose-bedingten Degeneration klinisch relevant ist. Es ist bekannt, dass lumbale idiopathische Skoliosen im Erwachsenenalter mehr körperliche Beschwerden verursachen als thorakale [19].

Bei der Beratung der Patienten zum Thema Operation ist aus Sicht der Leitlinien-Autoren die Erfahrung des beratenden Operators ausschlaggebend, der Begriff „Skoliose-Zentrum“ ist ein nicht geschützter Begriff und ist bei der Beratung nicht entscheidend.

Bei der Entscheidung für oder gegen eine OP ist auch das sagittale Profil wichtig und muss Berücksichtigung finden.

2.7.2 Konservative Therapie

Die internationale Expertengruppe für die nicht operative Behandlung der AIS (SOSORT) hat folgende Therapieziele definiert [215]:

- Anhalten der Krümmungsprogredienz in der Pubertät und wenn möglich sogar Korrektur der Krümmung
- Prävention und Behandlung von pulmonalen Problemen
- Prävention und Behandlung von Rückenschmerzen
- Verbesserung der Kosmetik durch Optimierung der Rumpfhaltung

2.7.2.1 Physiotherapie

Statement: Wenn bei AIS-Patienten die Indikation für Physiotherapie getroffen wird, so kann die Physiotherapie Skoliose-spezifisch sein (SSE = Scoliosis Specific Exercises). (Starker Konsens, Zustimmung: 100%)

Empfehlung (idem zu Grundprinzipien): AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von $< 25^\circ$ thorakal bzw. $< 20^\circ$ thorakolumbal oder lumbal können regelmäßig physiotherapeutisch behandelt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung (idem zu Grundprinzipien): Bei AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung von $> 25^\circ$ thorakal bzw. $> 20^\circ$ thorakolumbal oder lumbal sollte die Indikation für Physiotherapie gestellt werden. (Konsens, Zustimmung 81%)

Empfehlung: AIS-Patienten sollen darüber aufgeklärt werden, dass eine alleinige Physiotherapie in der Regel nicht zu einer relevanten ($> 5^\circ$), dauerhaften Besserung des Cobb-Winkels führen wird. (Konsens, Zustimmung 95%)

Empfehlung: Nach Abschluss des Wachstums sollten AIS-Patienten physiotherapeutisch behandelt werden, wenn alltagsrelevante Faktoren wie Schmerz, Mobilitäts-einschränkungen, Muskeldysbalancen, Atmung, etc. dies erforderlich machen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Nach OP einer AIS kann Physiotherapie erwogen werden (z.B. zur Therapie nicht-instrumentierter Nebenkrümmungen oder zur Optimierung von Schmerz, Mobilität, Muskeldysbalancen, Atmung, etc.). (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Zur wissenschaftlichen Evidenz von Physiotherapie, manueller Therapie und stationärer Rehamaßnahmen bei AIS gibt es in der Literatur sehr wenige solide wissenschaftliche Beiträge,

welche den Stellenwert der Physiotherapie als „stand alone Behandlung“ nachweisen. Es liegen Studien vor, eine differenzierte Wirksamkeitsbeurteilung einzelner Interventionen ist aber kaum möglich.

Therapieziele von Seiten der Physiotherapeuten sind die Verbesserung der Beweglichkeit von Wirbelsäule, Thorax und von sog. Schlüsselgelenken über aktive und passive Maßnahmen, die Reduzierung des Cobb-Winkels bzw. eine Verlangsamung einer Progredienz (z.B. durch derotierende und aufrichtende Übungen (z.B. bei der Schroth-Therapie)), die Optimierung der „Einstellung der Wirbelsäule“ in Richtung ihrer Längsachse über Aktivierung der autochthonen Muskulatur (z.B. bei der Therapie nach Vojta), die Verbesserung der Synergismen der Muskulatur an Rumpf und sog. Schlüsselgelenken in Bezug auf Koordination, Kräftigung und Dehnung in spezifischen Ausgangsstellungen, die Verbesserung der Vitalkapazität über Atemschulung, ein Ausdauertraining, die Reduzierung bzw. Vermeidung von Sekundärproblemen (Kontrakturen, Schmerzen), die Verbesserung von Körperwahrnehmung und Selbstbild sowie der Lebensqualität und die Schulung der Eigenverantwortung.

Ein sehr ausführliches systematisches Review inkl. Evidenzanalyse des Hauptverbandes der Österreichischen Sozialversicherungsträger kam im Jahr 2014 zu dem Schluss, dass viele Teilaspekte der Katharina-Schroth-Therapie (wer, wann, in welchem Setting, wie oft, wie lange, welcher zu erwartende Nutzen bei welcher Ausprägung, welche zusätzlichen Therapien, etc.), die als Voraussetzung für eine Übertragung auf ein Gesundheitssystem relevant sind, ungeklärt bleiben, da die Therapie sehr stark individualisiert sei [354].

Anwer et al. kamen in ihrem Review über 9 Studien zu dem Schluss, dass ein supervidiertes Übungsprogramm im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen den Cobb-Winkel mehr reduziert und die Lebensqualität verbessert, wobei die Autoren die Heterogenität der Übungen und die schlechte Studienqualität der meisten Studien kritisieren [8].

Im letzten Bericht der SOSORT Expertengruppe aus dem Jahre 2016 wurde über die Ergebnisse einer umfassenden Literaturrecherche auf diesem Gebiet berichtet [215]. In den meisten Studien war die Methodik von schlechter Qualität, es mangelte an konsistenter Datenerhebung und an Informationen bzgl. Patienten-Compliance, Kriterien für Patienten-Rekrutierung, etc. Von ursprünglich 1760 Referenzen waren lediglich 7 mit einem RCT oder prospektiven Kohortendesign und konnten für eine Analyse des aktuellen Wissensstands und für konklusive Aussagen genutzt werden. In den zitierten Studien wurden die Angaben über die Veränderung der Winkelwerte der Krümmungen zwar als signifikant bewertet, die nominellen Zahlen bewegten sich aber im Rahmen des methodischen Messfehlers der Cobbwinkelmessung, welche bei 3° liegt [244], daher ist die Aussagekraft dieser Studien schwach.

In einer Studie von Negrini et al. wurde eine Verbesserung des Cobb-Winkels der Hauptkrümmung nach 1 Jahr PSSE (Physiotherapeutic Scoliosis Specific Exercises) von 0,33°

beobachtet [213]. In der Kontrollgruppe mit klassischer Physiotherapie zeigte sich eine Verschlechterung der Krümmung um $1,12^\circ$. Der methodische Messfehler bei der Cobb-Winkelbestimmung liegt laut Prestiagiacoimo bei 3° [244].

In einer anderen RCT-Studie wurden die Ergebnisse einer professionell begleiteten Schroth-Therapie (Gruppe 1) mit denen einer häuslichen Schroth-Therapie in Eigenregie (Gruppe 2) und mit denen von nicht therapierten Probanden (Gruppe 3) verglichen: Bei einem Studienkollektiv von insgesamt $n=45$ (jeweils 15 Probanden pro Gruppe) wurde nach 6-Monaten in Gruppe 1 eine Verbesserung von $2,5^\circ$, und in Gruppen 2 und 3 eine Verschlechterung von $3,3^\circ$ bzw. $3,1^\circ$ beobachtet [154]. Die Schlussfolgerung der Autoren, dass die begleitete Schroth-Therapie signifikant bessere Ergebnisse erzielen kann als die beiden Vergleichsszenarien, ist sehr kritisch zu betrachten, da die nominellen Winkelwertunterschiede maximal $0,3^\circ$ über dem methodischen Messfehler (laut Prestiagiacoimo 3° [244]) des Cobb-Winkels liegen.

Kürzlich veröffentlichten Park und So, dass eine 12-wöchige Schroth-Therapie bei 60 Patienten mit AIS zu einer Cobb-Winkel-Verbesserung um $6,85^\circ$ führte [229].

Fan et al. beschrieben in einer retrospektiven Fall-Kontroll-Studie einen positiven Therapieeffekt bei einer Skoliose-spezifischen Übungstherapie über ca. 4,4 Stunden pro Woche über 6 Monate: 426 Patienten mit ca. 25° Cobb-Winkel besserten sich nach 6 Monaten auf 21° [86].

In einer weiteren prospektiven Studie wurden 44 Mädchen im Alter von 13,2 Jahren und durchschnittlichem Cobb-Winkel von $14,5^\circ$ untersucht [48]. Das individuelle Therapieprogramm beinhaltete eine gezielte Optimierung der Rumpfhaltung, der paravertebralen Muskelkraft und Flexibilitätsübungen. Nach 6 Wochen wurde eine Verbesserung des Cobb-Winkels um $1,67^\circ$ in der behandelten Gruppe und eine Verschlechterung um $0,56^\circ$ in der Kontrollgruppe beobachtet. Anzumerken ist, dass alle Probandinnen zu Beginn der Studie ihre Menarche vor länger als 1 Jahr hatten, weshalb per se von einem nicht stark progredienten Spontanverlauf auszugehen war. Darüber hinaus waren die geringen Winkelwertveränderungen deutlich kleiner als der Messfehler bei der Cobb-Methode, welcher bei 3° liegt [244].

Monticone et al. beschrieben in einer RCT-Studie an 110 Patienten mit Cobb-Winkeln unter 25° und einem Follow-up von 1 Jahr nach skelettaler Reife (Therapiedauer 42 bis 43 Monate, gefolgt von 1 Jahr Beobachtung) einen besseren Effekt einer Skoliose-spezifischen Physiotherapie versus einer konventionellen Physiotherapie in Bezug auf die Cobb-Winkel-Korrektur [202]. Während die Gruppe mit spezifischer Physiotherapie eine Verbesserung von 19° vor Therapie zu 14° ein Jahr nach Therapieende zeigte, verschlechterte sich die Kontrollgruppe von 19° auf 22° .

Zhou et al. beschrieben in ihrer Analyse von 10 systematischen Reviews und Meta-Analysen eine zunehmende Evidenz einer Effektivität von Physiotherapie in Bezug auf Cobb-Winkel-Reduktion und Lebensqualität bei AIS-Patienten [372].

Ein systematisches Review von Ceballos Laita et al. über 9 kontrollierte klinische Studien beschrieb, dass es schien, als ob SSE's positive Effekte auf Symptomreduktion und Funktionsverbesserung sowie Körperasymmetrie und verschiedene Winkel haben würden, dass allerdings methodisch bessere Studien in Zukunft sehr wünschenswert seien [38].

Burger et al. veröffentlichten 2019 eine Meta-Analyse mit Fokus auf RCT's, die die Schroth-Methode mit anderen nicht-chirurgischen Behandlungsmethoden (i.e. Observation, Korsett-Therapie, Pilates, unspezifische Übungen) verglichen [32]. Im Ergebnis postulieren die Autoren eine Reduktion des Cobb-Winkels und eine Verbesserung der Lebensqualität unter Schroth-Therapie. Die meisten Ergebnisse zeigen allerdings Effekte, die unter dem Messfehler von 3° liegen.

Farooqui et al. fassten in ihrer Meta-Analyse die Effekte verschiedener SSE's als einzige konservative Behandlungsform zur Verbesserung des Cobb-Winkels zusammen [88]. Eingeschlossen wurden insgesamt 17 RCTs, die zwischen 2012 und 2018 erschienen sind. Die Ergebnisse der Meta-Analyse zeigten, dass SSEs eine effektive Maßnahme zur Verbesserung des Cobb-Winkels darstellen, allerdings waren auch hier die Effekte klar unter dem Messfehler von 3°.

Day et al. veröffentlichten 2019 in ihrem Review über 8 Studien, dass es eine ungenügende Evidenz für eine Verbesserung des Cobb-Winkels durch Schroth-Therapie und Physiotherapie nach SEAS (Scientific Exercise Approach to Scoliosis) gibt, wobei eine limitierte Evidenz beschrieben wurde, dass die SEAS-Technik bzgl. Cobb-Winkel-Verbesserung effektiver ist als traditionelle Übungen [57].

Thompson et al. kamen in ihrer Meta-Analyse über 9 Studien zu dem Ergebnis, dass für die Wirksamkeit der Skoliose-spezifischen Physiotherapie bezogen auf das Ausmaß der Deformität nur eine sehr niedrige Evidenz vorliegt [322].

Ein präoperatives Training, z.B. auch Aerobic, zeigte sich in einzelnen Studien als förderlich für die Lebensqualität nach OP [73].

In Ermangelung einer soliden Evidenz über die Wirksamkeit von Physiotherapie bei AIS besteht in den orthopädischen Fachgesellschaften wachsendes Interesse an der Durchführung von aussagekräftigen Studien. Eine Umfrage unter den Scoliosis Research Society-Mitgliedern ergab, dass 88% der Befragten die Finanzierung solcher Studien unterstützen würden [191].

Rumpfstabilisierende Übungen und Sport im Allgemeinen werden von den Leitlinien-Autoren sowohl für AIS-Patienten vor als auch nach Abschluss des Wachstums gleichermaßen wie für die Allgemeinbevölkerung als positiv bewertet.

Korsett-Behandlung und Physiotherapie:

Empfehlung: Während einer Korsett-Therapie der AIS sollte ergänzend eine begleitende Physiotherapie durchgeführt werden. (Konsens, Zustimmung: 88%)

Patienten, die eine Korsett-Therapie erhalten, werden in der Regel auch physiotherapeutisch behandelt. Eine wissenschaftliche Evidenz dafür, dass eine Korsett-Therapie in Kombination mit Physiotherapie effektiver ist als eine Korsett-Therapie allein, fehlt in der Literatur.

In einer prospektiven Mono-Kohorten-Studie von Negrini et al. wurde die Kombination Korsett-Versorgung mit einem rigiden Korsett und begleitender Physiotherapie untersucht [214]. In der Studie wurden 73 Probanden (Durchschnittsalter 12 Jahre und 10 Monate; Cobb-Winkel 34,4°) prospektiv untersucht. Die Korsett-Tragezeit betrug zwischen 16 und 24 Stunden. Bei der letzten Verlaufskontrolle zeigten lediglich 9,6% der Patienten eine Zunahme der Skoliose, nur bei einer davon (1,4%) betrug die Krümmung über 45° und erforderte eine operative Korrektur. Obwohl die Probanden mit unterschiedlichen Modellen rigider Korsetts versorgt worden waren, schlussfolgerten die Autoren, dass die Kombination Korsett und Physiotherapie sehr effizient ist, um eine operative Behandlung zu verhindern. Welchen Anteil an diesem Erfolg allerdings das Korsett hat und welchen die Physiotherapie, lässt sich nicht sagen.

Gao et al. verglichen in einer prospektiven RCT-Studie Patienten, die allein mit Korsett behandelt wurden, mit Patienten, die Korsett und Physiotherapie erhielten [98]. Nach 6 Monaten zeigten Patienten, die Korsett und Physiotherapie erhalten hatten, bessere Cobb-Winkel-Korrekturen (von 29° vor Therapiebeginn auf 24° nach 6 Monaten versus von 29° vorher auf 27° bei Follow-up), eine bessere Ausdauer der Rückenmuskulatur und eine bessere Lungenfunktion als die allein mit Korsett versorgten Patienten. Die Effektgröße darf wie auch das kurze Follow-up kritisch gesehen werden.

Li et al. beschrieben in einer Meta-Analyse aus dem Jahr 2021 über 364 Patienten einen besseren Effekt der Kombinationstherapie von Korsett mit Physiotherapie im Vergleich mit entweder Korsett-Therapie allein oder Physiotherapie allein, allerdings keinen signifikanten Unterschied zwischen den Effekten von Korsett allein versus Physiotherapie allein [173]. Aufgrund des sehr kleinen Follow-up's von max. 24 Wochen und einer Nicht-Darstellung von klaren Cobb-Winkeln bei Follow-up kann auch diese Analyse kritisch betrachtet werden.

Trotz Kritik an der Evidenz der Durchführung von Physiotherapie begleitend zur Korsett-Therapie raten die Leitlinienautoren auf Basis ihrer Erfahrung zur Durchführung einer begleitenden Physiotherapie.

Manuelle Therapie und Osteopathie:

Empfehlung: Treten bei der AIS Schmerzen auf, die auf segmentale oder muskuläre Funktionsstörungen zurückzuführen sind, können diese mit Methoden der manuellen Medizin (Manipulation, Mobilisation, Weichteiltechniken) behandelt werden. (Konsens, Zustimmung 95%)

Unabhängig von der Skoliose stellen die hypomobile segmentale Dysfunktion der LWS (Blockierung) und die myofasziale Dysfunktion diskutierte spezifische Ursachen für Rückenschmerzen dar und eine manualmedizinische Behandlung kann in diesen Fällen eine sinnvolle Therapieoption darstellen [64]. Eine Häufung von entsprechenden segmentalen und muskulären Funktionsstörungen an HWS, BWS und LWS bei der AIS ist bekannt [323]. Entsprechend beschreiben Swierkosz und Nowak eine deutliche Schmerzreduktion sowie eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität nach einer 3-wöchigen Behandlung mittels Rehabilitationsprogramm in Kombination mit manueller Therapie bei AIS-Patienten mit Cobb-Winkeln im Bereich 15° bzw. 17° [310].

Da Schmerz allerdings nur selten ein relevantes Problem bei AIS Patienten ist, stellt die Manuelle Medizin kein Routineverfahren dar, welches bei einem Großteil der Patienten Anwendung findet und finden sollte.

Empfehlung: Eine manualtherapeutische oder eine osteopathische Behandlung kann bei Patienten mit AIS nicht zur Verbesserung des Cobb-Winkels empfohlen werden, sie kann aber ergänzend als Begleittherapie positive Effekte haben (z.B. auf den Schmerz). (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Solide hochwertige Studien, die untersuchen, ob die Manuelle Therapie oder Osteopathie einen relevanten Einfluss auf eine AIS und insbesondere die Krümmung der Wirbelsäule hat, liegen nicht vor.

Liegt eine funktionelle Skoliose vor (d.h. keine „echte“ AIS, sondern eine Verkrümmung auf Basis z.B. einer Beinlängendifferenz oder von Schmerzen), kann eine manualtherapeutische oder osteopathische Therapie sinnvoll sein, Einzelstudien zu diesem Thema liegen vor.

Eine Reduktion des Cobb-Winkels durch eine manualmedizinische Behandlung wurde lediglich in Einzelfallserien von wissenschaftlich eher schlechter Qualität beschrieben, so dass die

manuelle Therapie bislang keine ausreichende Evidenz für eine Empfehlung vorweisen kann [33, 204, 245, 261, 324]. Wesentliche Kritikpunkte dieser Studien waren extrem kurzes Follow-up, kleine Kohorten, retrospektives Design, z.T. keine vergleichenden Studiendesigns und Kombinationstherapien mit u.a. manueller Medizin, so dass Effekte der manuellen Medizin allein nicht ableitbar waren.

Elektrostimulation:

Empfehlung: Elektrostimulation soll bei einer AIS nicht empfohlen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Über die positiven Effekte von Elektrostimulation bei der Behandlung von AIS liegt keine ausreichende wissenschaftliche Evidenz vor. Schlenzka et al. berichteten über einen Abbruch der Behandlung in 70% der Fälle aufgrund von Hautirritationen, Schlafstörungen oder signifikanter Zunahme der Krümmung. Bei allen Patienten wurde eine Zunahme der Krümmung beobachtet [278].

Eine systematische Literaturrecherche des Hauptverbandes der Österreichischen Sozialversicherungsträger im Jahr 2012 kam zu der Schlussfolgerung, dass sich anhand der vorliegenden Studien keine Wirksamkeit der Elektrostimulation bei AIS nachweisen ließ [277].

Rehabilitationsmaßnahmen:

Empfehlung: Eine Rehabilitationsmaßnahme kann für AIS-Patienten erwogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Zielsetzung einer medizinischen Rehabilitation ist die Aufrechterhaltung oder Verbesserung von Form und Funktionseinschränkungen der Wirbelsäule, der Atemkapazität, sowie kurz- und langfristig sekundäre Symptome zu verhindern. Bei Patienten mit Skoliose gehören zu diesen Symptomen auch Schmerzen, funktionelle Beschwerden und eine verminderte Lungenfunktion. Zudem soll die Compliance der Patienten bzgl. ihrer AIS generell verbessert werden, Patienten und Begleitpersonen sollen geschult werden. Besonders die hohe Therapiedichte wird von Befürwortern der Rehabilitation betont [291].

Eine Rehabilitationsmaßnahme führt nicht zu einer permanenten Besserung der Krümmung, kann aber den Umgang des Patienten mit der AIS als Pathologie, mit der der Patient lebenslang in allen Bereichen des Lebens zurechtkommen muss, deutlich verbessern, was eine Rehabilitationsmaßnahme rechtfertigen kann.

Die Vorteile einer stationären oder ambulanten Rehabilitationsmaßnahme gegenüber einer ambulanten Physiotherapie sind nicht wissenschaftlich belegt. In mehreren systematischen Reviews wurde keine Evidenz gefunden, die eine stationäre Rehabilitation rechtfertigt [350, 365].

Für die ambulante Rehabilitation existieren keine hochwertigen Studien [22]. Lediglich Übersichtsarbeiten geben Empfehlungen, die aber keine solide Evidenzgrundlage haben [350]. Langfristige Ergebnisse von hoher wissenschaftlicher Qualität existieren nicht.

Erwähnenswert ist, dass bei der Interpretation der Publikationen von Hans-Rudolf Weiss zu beachten ist, dass dieser der Enkel von Katharina Schroth ist, der Begründerin der Schroth-Therapie, und viele Jahre die Katharina Schroth Klinik in Bad Sobernheim geleitet hat. Somit ist ein gewisser Bias nicht auszuschließen.

Empfehlung: Eine stationäre oder ambulante Rehabilitationsmaßnahme kann für AIS-Patienten mit kompliziertem Verlauf nach stattgehabter operativer Behandlung im Einzelfall durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

De la Garza Ramos et al. untersuchten die Ergebnisse nach AIS-OP bei 17.275 Patienten in den USA und beschrieben, dass nur 0,6% davon nach OP in eine Rehabilitationseinrichtung entlassen wurden [59]. Ob eine solche Reha-Maßnahme effektiv, sinnvoll und empfehlenswert ist, kann die Studie nicht beantworten.

2.7.2.2 Korsett

Empfehlung (idem zu Grundprinzipien): AIS-Patienten mit verbleibendem Restwachstum und Cobb-Winkeln der Hauptkrümmung ab 25° thorakal bzw. ab 20° thorakolumbal oder lumbal sollen mit einem Korsett behandelt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Die Indikationen für eine Korsett-Therapie und deren standardisierte Durchführung bei Patienten mit AIS wurden im „Bracing Manual“ der Scoliosis Research Society (SRS) so definiert [253, 286]:

„Geeignet sind somatisch unreife, heranwachsende Patienten mit Krümmungen bei der Erstdiagnose zwischen 30° und 45° oder Patienten mit Krümmungen zwischen 20° und 30° mit nachgewiesener Progredienz von mehr als 5°. Sehr unreife Patienten (Risser 0) haben ein viel höheres Risiko für eine Zunahme und sollen bereits ab einem Krümmungswert von 25° mit einem Korsett versorgt werden, ohne auf einen Progredienznachweis zu warten. Der Bereich zwischen 45° und 50° ist im Hinblick auf Indikationsstellung für eine Korsett-Therapie eine „graue Zone“.“

In einer aktuellen Studie zeigten Johnson et al. auch, dass v.a. skelettal unreife Patienten mit Sanders 1-2 und einer Hauptkrümmung von $> 10^\circ$ und $< 25^\circ$ ein deutlich erhöhtes Risiko einer Progression haben [136]. Die Autoren schlussfolgerten, dass bei diesen Patienten, auch wenn sie die 25° -Marke noch nicht erreicht haben, besonders engmaschige Kontrollen oder sogar eine vorzeitige Korsett-Therapie gerechtfertigt sein können.

Kontraindikationen:

Empfehlung: Psycho-soziale und emotionale Faktoren sind keine absoluten Kontraindikationen für eine Korsett-Therapie, sollen aber bei der Indikationsstellung berücksichtigt und mit den Betroffenen thematisiert werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Im Falle einer Ablehnung des Korsett-Tragens durch den Patienten sollte eine psychologische Beratung angeboten werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Bei hochthorakalen strukturellen BWS-Krümmungen mit Apex oberhalb von BWK 7 sollte eine Korsett-Therapie nicht durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Eine BWS-Hypokyphose ist keine absolute Kontraindikation für eine Korsett-Therapie, bei Zunahme der Hypokyphose unter Korsett-Therapie kann der Abbruch der Korsett-Therapie erwogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Über die Korsett-Versorgung bei Patienten mit psycho-sozialen Problemen und somatischen pulmonalen oder kutanen Begleiterkrankungen liegen keine wissenschaftlichen Studien vor. Aus Sicht der Leitlinien-Autoren stellen pulmonale Begleiterkrankungen und Hautprobleme grundsätzlich keine absoluten Kontraindikationen für eine Korsett-Therapie dar, das Vorgehen hat sich jedoch nach den Erfordernissen des Einzelfalles zu richten.

Für den Erfolg der Korsett-Behandlung ist aber eine Akzeptanz der Orthese und eine Compliance mit dem Therapieregime unabdingbar.

Aus anatomischen Erwägungen ist eine Korsett-Versorgung bei Krümmungsapex oberhalb von BWK 7 technisch sehr schwierig und in den meisten Fällen praktisch nicht durchführbar. Zudem besteht die Gefahr einer Zunahme der hochthorakalen Krümmung unter Korsett-Therapie. Die aus der Vergangenheit bekannte Milwaukee Orthese wird heutzutage aufgrund

schlechter Patientenakzeptanz und starker Nebeneffekte auf HWS und Unterkiefergelenke nicht mehr verwendet.

Die Abflachung der physiologischen BWS-Kyphose ist ein charakteristisches Merkmal der AIS mit thorakalem Hauptkrümmungsmuster. Ab welchem nominellen Grad an Hypokyphose eine absolute Kontraindikation für eine Korsett-Versorgung besteht, wurde nicht wissenschaftlich belegt. Empfohlen wird, dass bei Kyphosewinkeln unter 20° die Korsett-Pelotten etwas lateraler als üblich positioniert werden, um einen dorso-ventralen Druck auf die Rippen und somit eine zusätzliche Verschlechterung des Sagittalprofils zu vermeiden [249].

Kontrolluntersuchungen:

Bzgl. der radiologischen Kontrolluntersuchungen bei Korsett-Therapie: siehe Kapitel 2.5.2.4.2.

Der Abstand zwischen den klinischen Verlaufskontrollen hängt von der Wachstumsgeschwindigkeit ab. Patienten, welche sich im pubertären Wachstumsschub befinden (**Akzelerationsphase = PHV – „peak high velocity“**) sollen alle 4 bis 6 Monate klinisch kontrolliert werden. In der Regel entspricht diese Phase bei Mädchen einem somatischen Entwicklungsstadium nach Tanner von 2 bis 3 und bei Jungen von 3 bis 5. Die Menarche kann bei Mädchen als Orientierungsmerkmal verwendet werden, jedoch ist sie in der präpubertären Phase nicht absolut zuverlässig, da oft sehr variabel. Darüber hinaus tritt die Menarche erst auf, nachdem die PHV vorüber ist. Daher ist sie im Hinblick auf Wachstumspotenzial nur von retrospektiver Bedeutung. Die Körpergröße gemessen bei den Verlaufskontrollen kann sehr hilfreich sein, natürlich unter der Voraussetzung, dass eine Progredienz der Krümmung nicht vorliegt, da dies einen negativen geometrischen Effekt auf die Rumpflänge mit sich bringt und daher zu Fehlinterpretation des Größenzuwachstums führen kann. Am zuverlässigsten ist die Bestimmung der Skelettreife (Kapitel 2.5.2.1.4). Dies kann anhand des Risser-Zeichens oder viel präziser durch eine Röntgen-Handaufnahme erfolgen. PHV ist bei Erreichen von Sanders Stadium 6 bereits abgeschlossen. Patienten mit langsamer Wachstumsgeschwindigkeit sollen bis zum Wachstumsende alle 6 Monate kontrolliert werden.

Aufgrund des erhöhten kumulativen Risikos für eine Tumorentwicklung soll eine Röntgendiagnostik nur bei entsprechender klarer Indikation erfolgen. Ausführlich darüber wird in den Kapiteln 2.5.2 „Radiologische Diagnostik“ und 2.5.3 „Rasterstereografie“ diskutiert.

Primärkorrektur im Korsett:

Empfehlung: Die radiologisch bestimmte Primärkorrektur im Korsett sollte mindestens 40% der Initialkrümmung betragen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Weiss konnte bei 81 Patienten mit einem „ScoliOlogiC Cheneau light brace“ eine Korrektur des Cobb-Winkels von durchschnittlich 16,4° erreichen, das entsprach einer Korrektur mit Korsett von nahezu 51% [351].

Minsk konnte mit der Rigo-Chêneau-Orthese bei 108 Patienten eine Korrektur des Cobb-Winkels von durchschnittlich 22,6° erreichen, das entsprach einer Korrektur von 31% [199].

Mit Chêneau-Korsetten konnte Hopf bei 52 Patienten eine primäre Korrektur von 41% erreichen. Im Verlauf hat sich die Korrektur verschlechtert und es konnten nur 14,2 – 9,2% Korrektur bezogen auf die Initialkrümmung gehalten werden [123].

Landauer sah eine hohe initiale Korrektur von mehr als 40% sowie eine gute Compliance als wesentliche Voraussetzung für das Outcome [158].

Seifert empfahl einen Mindestwert der Primärkorrektur von 40% [289].

Auch die klinische Erfahrung der Autoren zeigt, dass eine Primärkorrektur von ca. 40% wünschenswert und sinnvoll ist.

Wanke-Jellinek et al. zeigten an ihrem Kollektiv von 45 AIS-Patienten unter Cheneau-Korsett-Therapie eine Erfolgsrate von 69% (d.h. Kurvenzunahme um < 5° im Vergleich zum Zustand vor Korsett-Therapie-Beginn) sowie die Korrektur im Korsett als wichtigsten Prädiktor für eine erfolgreiche oder erfolglose Korsett-Therapie [342]. Zudem waren die Korsett-Versager in dieser Studie zu Beginn der Korsett-Therapie jünger als die erfolgreichen Patienten und hatten einen minimal größeren Cobb-Winkel. In der erfolgreichen Korsett-Gruppe korrelierte die Tragedauer des Korsetts mit einem besseren Ergebnis, in der Korsett-Versager-Gruppe war dies nicht der Fall.

Allgemeines zur Korsett-Therapie:

Statement: Die Korsett-Therapie ist eindeutig effektiver als die einfache Verlaufsbeobachtung. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Die Korsett-Therapie soll unter Berücksichtigung der Indikationskriterien als Methode der Wahl für die nichtoperative Behandlung der AIS empfohlen werden. (Konsens, Zustimmung 94%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Die Wirksamkeit der Korsett-Therapie wurde bei entsprechender Indikationsstellung wissenschaftlich belegt.

Nachemson et al. definierten ein Therapieversagen als Zunahme der Krümmung um mindestens 6° zwischen dem ersten Röntgenbild und den Verlaufskontrollen [209]. In seiner Studie fand er in der Korsett-Gruppe eine Erfolgsrate von 74% (Therapieversager: 17 von 111 Patienten), die nicht therapierte Kontrollgruppe mit einfachen Verlaufskontrollen zeigte eine Erfolgsrate von nur 34% (Therapieversager: 85 von 129 Patienten).

Weinstein et al. definierten ein Therapieversagen mit einer Zunahme der Krümmung auf 50° oder mehr [348]. In seiner Studie mit 242 Patienten mit AIS fand er in der Korsett-Gruppe (n=116) eine Erfolgsquote von 75%, in der nicht therapierten Kontrollgruppe (n=126) wurde eine signifikant niedrigere Erfolgsquote von nur 42% beobachtet.

Statement: Der Erfolg der Korsett-Therapie korreliert mit der Tragedauer. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Ein Vollzeit-Tragemodus des Korsetts (18 bis 23 stündige „full-time“ Behandlung) soll angestrebt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Wenngleich ein Vollzeit-Tragemodus bevorzugt empfohlen wird, so kann bei Patienten mit Compliance-Problemen und nur bei Skoliosen mit milder Ausprägung mit tiefliegendem Apex (thorako-lumbal oder lumbal) ein nächtliches Part-Time Bracing mit speziellem Nachtkorsett als Alternative zum Full-Time Bracing erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Katz et al. verglichen die Korsett-Tragezeit, die er mittels Wärmesensor am Korsett ermittelte, mit der Erfolgsquote der Skoliosetherapie [139]. Die Krümmungen zeigten keinen Progress in 82%, wenn das Korsett mehr als 12 Stunden pro Tag getragen wurde. Die Krümmungen zeigten keinen Progress in nur 32%, wenn das Korsett weniger als 7 Stunden pro Tag getragen wurde.

Ähnliche Ergebnisse zeigten Weinstein et al.: Während eine Tragedauer bis zu 6 Stunden täglich nur zu einer Erfolgsquote von 42% führte, ergab eine Tragedauer von mehr 12,9 bis 17,6 Stunden eine Erfolgsrate von 90%, eine Tragedauer von mehr als 17,7 Stunden sogar 93% [348].

Katz et al. zeigten bei 319 Probanden, die bis zum Wachstumsende nachuntersucht wurden, eine signifikante Zunahme der Krümmung in 83% der Patienten mit Teilzeit-Charlston Brace. Zum Vergleich wurde eine Krümmungszunahme bei lediglich 43% in der Gruppe mit Vollzeit-Boston-Brace beschrieben, der Unterschied war statistisch signifikant [138].

In der Studie von Howard et al. aus dem Jahr 1998, welche 170 AIS-Patienten umfasste, wurde eine Zunahme der Skoliose um mindestens 10° bei 14% der Patienten mit Vollzeit-Orthese (TLSO = Thorako-Lumbo-Sacral-Orthese) beobachtet. Dagegen zeigten mehr als doppelt so viele Patienten (28%), welche Teilzeit behandelt wurden (Charleston Brace), eine Progredienz [126].

Die Wirksamkeit von „part-time“ Korsetten wird z.T. in der Literatur kontrovers diskutiert. Manche Autoren beschreiben identische Ergebnisse bei der Behandlung mit Vollzeit- und Teilzeit-Orthesen und schlussfolgern, dass eine nächtliche Korsett-Versorgung dem Vollzeitrtragen im Hinblick auf das Aufhalten einer Krümmungsprogredienz vergleichbar sei unter der Voraussetzung, dass die Krümmung unter 35° ist und der Apex kaudal von T10 liegt [5, 132, 367].

In einem ausführlichen Review von Karimi et al. wurden insgesamt 19 Studien inkludiert. Die Autoren schlussfolgerten, dass das „part-time“ Bracing hauptsächlich bei milden Skoliosen (Cobb < 35°) mit „single“ Krümmungsmuster und tief liegendem Apex (thorako-lumbal oder lumbal) als Alternative zum „full-time“ Bracing zu erwägen ist.

Simony et al. beschrieben in ihrer Studie zum „Providence nighttime bracing“ eine gute Effektivität bei AIS-Krümmungen von 20 bis 45° mit einer 89% Erfolgsquote bei allerdings mindestens 70% geforderter Korrektur im Korsett [299].

Die höhere Akzeptanz und die bessere Compliance des Nachtkorsettes (92%) [292] sowie die Beobachtungen, dass auch Tragedauern von 8 bis 12 Stunden bei milden Krümmungen akzeptable Ergebnisse erzielen können, stellt die Therapie mit einem Nachtkorsett als einen möglichen Lösungsansatz bei Patienten mit Compliance-Problemen dar.

Vergleichsstudien über die Ergebnisse von Part-Time-Korsett-Behandlung vs. Behandlungsabstinenz liegen nicht vor.

Bei Nachtkorsetts ist zu berücksichtigen, dass es sich um spezielle Korsett-Typen handelt, sog. Bending-Korsetts mit deutlich mehr Primärkorrektur als Full-Time-Korsetts, die nicht im Stand tagsüber komfortabel zu tragen sind.

Die Erfahrung der Leitlinienautoren unterstreicht die Empfehlung, das Korsett täglich so lange wie möglich zu tragen.

Empfehlung: Unter Berücksichtigung der Indikationskriterien für Korsett-Therapie sollen für die Behandlung der AIS rigide Orthesen, welche auf den Prinzipien der aktiven 3-dimensionalen 3-Punkt-Korrektur basieren, verwendet werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Die Frage, ob es Rumpforthesen gibt, die besser funktionieren als andere, ist nicht eindeutig zu beantworten. In der Literatur gibt es nur wenige Vergleichsstudien, die meisten davon sind aufgrund des Studiendesigns mit eingeschränkter Aussagekraft. Selbst in der SOSORT Expertengruppe gibt es diesbezüglich keinen Konsens. Die „State of the Art“ des Korsett-Bauens wurde in einem Delphi-Konsens-Paper von SOSORT- und SRS-Experten dargestellt [368]. Über die Korrekturprinzipien und die Ausrichtung des Kraftwirkungsvektors wurde ein Konsens von 85% erreicht. Es herrscht aber immer noch Uneinigkeit bezüglich der genauen Positionierung (auf Höhe oder unterhalb des Apexwirbels) und der optimalen Form der Druckpelotten.

In mehreren Studien wurden bessere Ergebnisse mit rigiden Orthesen (Boston, Cheneaux, TLSO etc.) gegenüber elastischen Orthesen (SpineCor) nachgewiesen [257, 360].

In einer Studie verglichen Minsk et al. die Rigo Chêneau Orthese (RCO) mit der Boston-style thorakolumbosacral Orthese [199]. Hierzu wurden 108 AIS-Patienten mit einer Hauptkrümmung von 24° bis 40° (13 RCO / 95 TLSO) untersucht, die Nachkontrollen erfolgten bis zum Wachstumsabschluss oder bis zur OP. Kein Patient mit RCO und 34% der Patienten mit TLSO mussten operiert werden. Die Hauptkrümmungen verbesserten sich um 6° in 31% der Patienten mit RCO ($p=0,019$) und 13% der Patienten mit TLSO ($p=0,1$). Die Autoren sahen eine geringere Krümmungsprogression bei Patienten, die mit RCO therapiert wurden. Anzumerken ist die signifikant kleinere Patientenzahl der mit RCO behandelten Patienten.

V. Deimling et al. untersuchten die Wirkung des Milwaukee-Korsetts ($n=26$) und des Chêneau-Korsetts ($n=21$) bei Patienten mit idiopathischer Skoliose [339]. 61,9% der Chêneau-Patienten und 38,5% der Milwaukee-Patienten zeigten eine Verbesserung der initialen Krümmung. Die Autoren schlussfolgerten ein signifikant besseres Ergebnis bei den Patienten mit Chêneau-Korsett.

Zusammengefasst kann man anhand der vorliegenden Literatur die verschiedenen Korsett-Typen nur schwer miteinander vergleichen, da Faktoren wie z.B. Erfahrung des Korsett-Herstellers mit einem konkreten Orthesenmodell, Patientencompliance, Rigidität der Krümmung etc. eine entscheidende Rolle für das Ergebnis spielen und in den Studien inkonsistent bei der Evaluation in Betracht gezogen wurden.

Es sei aus Sicht der Leitlinienautoren betont, dass das Herstellen von Korsetten eine beträchtliche Erfahrung beim Korsett-Orthopädietechniker erfordert.

Empfehlung: Die Korsett-Therapie soll erst nach radiologisch bestätigter Skelettreife abgesetzt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Als Kriterien, ab wann ein Korsett abgesetzt werden kann, wurden somatische und radiologische Parameter verwendet.

Die ausführlichen Erläuterungen zur radiologischen Skelettalterbestimmung sind im Kapitel 2.5.2.1.4 dargestellt.

In einer Studie wurde die Unzuverlässigkeit der somatischen Kriterien wie z.B. „Menarche vor länger als 2 Jahren“, „Stagnieren des Größenzuwachses“ und „Risser Zeichen“ nachgewiesen [42]. Die Autoren beobachteten eine Progredienz der Skoliose bei 29% der Patienten, die alle diese Kriterien erfüllten, und empfahlen, die Korsett-Therapie bis zur radiologisch bestätigten Skelettreife anhand einer Röntgenaufnahme der Hand fortzusetzen. In einer aktuellen Arbeit wurde die Zuverlässigkeit der Verknöcherung von >50% des medialen Anteils der distalen Ulnaapophyse entsprechend Sanders Stadium 7 b als Skelettreifezeichen bestätigt [46].

Es herrscht keine einheitliche Meinung darüber, wie das Korsett abgesetzt werden sollte. Manche Autoren befürworten ein langsames „Weaning“, bei dem das Korsett über eine bestimmte Dauer nur „part-time“ getragen wird mit einer Abgewöhnungszeit von bis zu 6 Monaten. Andere Autoren empfehlen ein sofortiges Absetzen. Eventuelle Vor- oder Nachteile der unterschiedlichen Vorgehensweise, insbesondere Effekte auf das Endergebnis einer Korsett-Therapie, sind nicht wissenschaftlich begründet, daher bleibt die Art des Absetzens auf der Ebene „Präferenz des Behandlers“.

Empfehlung: Auf die möglichen temporären negativen Auswirkungen einer Korsett-Therapie auf Lebensqualität, Patientenzufriedenheit und körperliche Aktivitäten soll vor Beginn der Korsett-Therapie hingewiesen werden. (Konsens, Zustimmung 94%, 1 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Pham et al. untersuchten die Lebensqualität in einer Kohorte von 108 Patienten (41 full-time Korsett-versorgt, 35 part-time und 32 ohne Korsett) [236]. Die mit full-time Korsett versorgte Gruppe hatte signifikant schlechtere Scores für die Domänen „Psyche“, „Schlafstörung“, „Body Image“ und „Beweglichkeit“. Der Bereich „Schmerzen“ war in allen 3 Gruppen identisch.

In einer Studie von Ugwonalie et al. wurden die Eltern von Korsett-behandelten (n=78) und nicht-behandelten (n=136) Patienten mit AIS mit dem CHQ (Child Health Questionnaire) und

PODCI (Pediatric Outcomes Data Collection Instrument der American Academy of Orthopaedic Surgeons) Fragebogen befragt [329]. Jungen zeigten insgesamt bessere Bewertungen als Mädchen. Es wurde aber kein signifikanter Unterschied in der Lebensqualität zwischen Korsett-versorgten Patienten und den gleichaltrigen Kontrollprobanden festgestellt.

Vasiliadis et al. untersuchten die Lebensqualität Korsett-versorgter Patienten und schlussfolgerten, dass die Krümmungsausprägung negativ signifikant die Domänen „Schulaktivitäten“ und „Soziale Funktion“ beeinflussen; dagegen waren die Domänen „Allgemeines Wohlbefinden“, „Wahrnehmung“, „Emotionen“, „Schmerz“, „Selbstbewusstsein“, „Aussehen“ und „Körperliche Belastbarkeit“ unverändert [333].

Cheung et al. verglichen die Lebensqualität in 2 Patientenkohorten von jeweils 46 Probanden mit dem SRS-22 Fragebogen [44]. Die Ergebnisse zeigten, dass Korsett-behandelte Patienten verglichen mit alters- und krümmungsidentischen Patienten ohne Korsett insgesamt eine schlechtere Lebensqualität hatten und insbesondere die Domänen „Funktion/Aktivitäten“ und „Self-Image“ schlechter bewertet haben. Sehr deutlich war der Effekt bei Patienten mit kleineren Krümmungen ($<20^\circ$).

Wieviel der Bewegungseinschränkung durch die Krümmung selber und wieviel durch die stattgehabte Korsett-Behandlung entstanden ist, wurde nicht wissenschaftlich durch randomisierte kontrollierte Studien nachgewiesen.

Obwohl die Datenlage bezüglich Auswirkungen im somatischen und psychologischen Bereich kontrovers ist, ist trotzdem empfehlenswert, zu Beginn der Behandlung in einem ausführlichen Gespräch auf die Risiken hinzuweisen. Der Nutzen der Korsett-Behandlung überwiegt allerdings in der Regel eindeutig die entsprechenden Risiken.

In Einzelfällen, z.B. bei doppelthorakalen Krümmungen mit relevantem Schulterhochstand, kann eine Korsett-Therapie zu einer unerwünschten Zunahme des Schulterhochstandes führen, was ggf. dazu führen kann, dass die Korsett-Therapie zu modifizieren ist (z.B. Verkleinerung der tiefthorakalen Pelotte) oder sogar reduziert oder abgebrochen werden muss.

Empfehlung: Im Falle einer Krümmungszunahme trotz adäquater Korsett-Versorgung und guter Compliance soll ein Verfahrenswechsel geprüft werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 1 Enthaltung wegen Interessenkonflikt)

Ziel der Korsett-Therapie ist es, eine Progredienz der Skoliose und somit schlussendlich eine OP-Indikation zu verhindern. Bei Krümmungszunahme trotz adäquater Korsett-Versorgung oder bei schwerwiegenden Compliance-Problemen wird anhand der Krümmungsausprägung und der patienteneigenen Wachstumsreserve entschieden werden, ob eine OP-Indikation

besteht. Bezüglich der Wahl des OP-Verfahrens gelten die allgemeinen Regelungen, welche im Kapitel 2.7.3 „Operative Therapie“ dargestellt sind.

2.7.3 Operative Therapie

2.7.3.1 Fusionierende OP-Techniken

Dorsale versus ventrale Instrumentation:

Statement: Sowohl mit ventralen als auch mit dorsalen Operationsverfahren können gute Ergebnisse in Hinblick auf Korrektur, Funktion und Patientenzufriedenheit erzielt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Statement: Vorteil der dorsalen Verfahren ist die Möglichkeit, alle Krümmungen unabhängig von der Lokalisation adressieren zu können. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: In einer Sitzung können von ventral nur einbogige Krümmungen adressiert werden (Lenke Typ 1 oder Typ 5). Der kranialste zu erreichende Wirbel ist ca. BWK 5. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Zur operativen Therapie einer AIS (Indikationen Kapitel 2.7.1) steht als Goldstandard die instrumentierte Korrekturspondylodese zur Verfügung. Dabei werden Implantate in die Wirbel im relevanten Krümmungsbereich eingebracht, über die dann durch Korrekturmanöver die AIS in die gewünschte Position gebracht wird.

Als Befestigungspunkte dienen heute meist Pedikelschrauben, die von dorsal in die Wirbel eingebracht werden, oder Haken und Bänder, die an den dorsalen Strukturen (Lamina, Quersfortsätze, ggf. Rippen) angebracht werden. Von ventral können Wirbelkorpusschrauben über eine Thorakotomie, Lumbotomie oder Thorakophrenolumbotomie direkt in die Wirbelkörper eingebracht werden.

Die dorsale Korrektur hat gegenüber der ventralen Korrekturspondylodese bei AIS den Vorteil, dass nahezu alle Krümmungen von dorsal adressierbar sind.

Die Limitierung der ventralen OP liegt in dem Krümmungstyp. Es können i.d.R. nur einbogige Krümmungen (Lenke Typ 1 und 5) von ventral korrigiert werden [264]. Der oberste zu erreichende Wirbel ist meistens BWK 5. Doppelbogige und hochthorakale Krümmungen können i.d.R. nur von dorsal korrigiert werden. Eine weitere Limitierung ist die pulmonale Funktion. Patienten mit deutlich eingeschränkter Lungenfunktion sollten wegen des erhöhten

intraoperativen und postoperativen Risikos einer Verschlechterung der Lungenfunktion thorakal nicht von ventral adressiert werden [29, 41].

Bei ausgeprägten thorakalen Lordoskoliosen war in der Vergangenheit die Restauration des sagittalen Profils von ventral besser möglich als von dorsal [94, 280]. Ob dies für die aktuellen dorsalen Implantatsysteme in Kombination mit dorsalen Osteotomien auch gilt und ob der Unterschied von wenigen Grad klinisch relevant ist, ist nicht untersucht. Andere vergleichende Studien zeigten ähnlich gute sagittale Korrekturen mit beiden Techniken, so z.B. Lim et al. in ihren 10-Jahres-Ergebnissen an thorakolumbalen/lumbalen Krümmungen (Lenke Typ 5) [177]. Insofern haben beide Vorgehensweisen, dorsal und ventral, ihre Berechtigung.

Statement: Mit modernen Implantatsystemen ist die erreichte Derotationskorrektur bei den ventralen und den dorsalen Verfahren vergleichbar. (Konsens, Zustimmung 88%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Ein Vergleich beider OP-Techniken ist nur für die einbogigen thorakalen (Lenke Typ 1) oder thorakolumbalen (Lenke Typ 5) Krümmungen sinnvoll. Zudem sollte der Vergleich aktuelle Implantatsysteme einbeziehen, da nicht nur der Ort des Zuganges, sondern auch die Art der Instrumentierung einen Einfluss haben. Artikel, die eine ventrale Doppelstabinstrumentation mit einer dorsalen nicht mehr üblichen Technik vergleichen, sind dabei nur sehr bedingt hilfreich [205].

In Bezug auf die Derotation zeigten ältere Studien bei ventralen Verfahren eine deutlich bessere Korrektur [205]. Aktuellere Studien zeigten jedoch, dass auch mit modernen dorsalen Instrumentationssystemen eine gute Derotationskorrektur möglich ist [335].

Es gibt zwei Meta-Analysen, die jeweils keine wesentlichen Unterschiede feststellen konnten. In beiden Meta-Analysen werden die OP-Techniken der verwendeten Studien nicht explizit beschrieben.

Franic et al. untersuchten 24 Artikel, die zwischen 1994 und 2010 erschienen waren [94]. Posterior wurden vor allem das Cotrel Dubousset Instrumentarium und Schrauben-Haken-Kombinationen verwendet. Durch den anterioren Zugang konnte eine um 3° größere thorakale Kyphose erreicht werden. Zudem wurde über den anterioren Zugang eine etwas bessere Derotation beschrieben (12,0° vs. 4,2°), der Unterschied war nicht statistisch signifikant. Allerdings wurde nur eine Studie zur anterioren [28] und 5 Studien zur posterioren Derotation eingeschlossen.

Luo et al. publizierten einer Meta-Analyse über 7 Studien zu speziell lumbalen Krümmungen (Lenke 5C) [183]. Es wird angegeben, dass von anterior ca. 1 Segment eingespart wurde und dass von dorsal eine größere Lordose erreicht wurde. Insgesamt waren die Ergebnisse bzgl.

der Korrektur vergleichbar. Es wurde jedoch nicht angegeben, welche Art der Instrumentation verwendet wurde, Angaben zur Rotation fanden sich nicht.

Zusammenfassend gibt es kaum Studien, die das Ausmaß der Derotation beschreiben. In vergleichenden Studien wurden oft dorsale Systeme verwendet, die nicht mehr zeitgemäß sind, so dass keine valide Aussage über den Vergleich von aktuell verfügbaren anterioren und posterioren Techniken getroffen werden kann.

Ein wesentlicher Unterschied der Techniken ist der, dass bei der ventralen OP die Bandscheiben im Instrumentationsbereich entfernt werden können, wodurch ein relevantes Release erzielt werden kann. Beim dorsalen Verfahren wird die Korrektur über die Implantate gegen den Widerstand der in situ verbleibenden Bandscheiben durchgeführt. Dieser Unterschied ist ein wichtiger Faktor, der in bestimmten Fällen zu einer besseren Derotation mit der ventralen OP-Technik führen kann.

Bei der ventralen Korrektur reicht i.d.R. eine Instrumentation bis zum sog. kaudalen Endwirbel einer Krümmung aus [178, 183]. Bei der dorsalen Instrumentationsspondylodese wird die Instrumentation häufig bis zum kaudalen Neutralwirbel erfolgen oder bis zu dem stabilen Wirbel, der von der CSVL (central sacral vertical line) mittig geschnitten wird [91, 307]. Letzteres führt dazu, dass bei dorsalen Korrekturspondylodesen häufig etwas länger nach kaudal instrumentiert wird als bei ventralen Korrekturspondylodesen, d.h. bei der ventralen OP kann häufig ein kaudales Bewegungssegment eingespart werden mit daraus resultierender kürzerer Fusionsstrecke. Als LSTV (last significantly touched vertebra) wird der Wirbel bezeichnet, der von der CSVL noch deutlich berührt wird, aber nicht zwingend mittig geschnitten wird [246]. Wenn bis dorthin instrumentiert wird, ist das Risiko eines Adding-on (d.h. Zunahme einer Skoliose unterhalb der Instrumentation) gering. Jedoch wird häufig auch kürzer instrumentiert [91]. Es besteht jedoch kein Konsens, ob unter Einbeziehung der Bending- oder Traktionsaufnahmen nicht auch kürzer instrumentiert werden kann [228]. Zudem hängt der verwendete „lowest instrumented vertebra“ (LIV) bei thorakalen Krümmungen sehr von der OP-Technik und der Art, dem Ausmaß und der Rotation der lumbalen Gegenkrümmung ab [307]. Daher ist keine allgemeingültige Aussage darüber möglich, ob eine dorsale Spondylodese per se immer länger sein muss als eine ventrale.

In den Studien von Demura et al. und Bullmann et al. wurde in den ersten zwei Jahren nach der ventralen Korrekturspondylodese mit Thorakotomien eine signifikante Verschlechterung der Lungenfunktion nach ventraler AIS-OP beobachtet [29, 62]. Bei den thorako-lumbalen und den lumbalen Skoliosen ist der Einfluss auf die Lungenfunktion bei den ventralen Eingriffen weniger ausschlaggebend, da hierbei keine Einlungenbeatmung erforderlich ist [62].

Derotation:

Statement: Der Einfluss der segmentalen Derotation des Apex auf die Gesamtkorrektur, den Rippenbuckel und die Patientenzufriedenheit ist noch nicht abschließend geklärt. Je nach Technik besteht die Gefahr einer Abflachung der Thorakalkyphose. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Angaben über den Einfluss der segmentalen Korrektur sind in der Literatur widersprüchlich. Dies ist dadurch zu erklären, dass verschiedene Derotationsmanöver verwendet wurden. Die Technik wurde erstmals 2004 von Lee et al. beschrieben [167]. Seitdem gibt es aber sehr viele Variationen [99, 307].

Mladenov et al. [200] und Watanabe et al. [344] berichteten in der Technik von Lee et al. [167] über eine Abflachung des sagittalen Profils sowohl thorakal als auch lumbal, wohingegen Hwang et al. [129] keinen Unterschied der postoperativen Thorakalkyphose im Vergleich zur Stabderotation sahen. In dem Artikel von Hwang et al. wurden zur Art, wie die segmentale Derotation durchgeführt wurde, keine Angaben gemacht.

Di Silvestre et al. maßen die Rotation mittels prä- und postoperativem CT und sahen durch die apikale vertebrale Derotation (AVD) eine bessere Korrektur der Rotation und coronaren Fehlstellung im Vergleich zur alleinigen Korrektur per Rotation des konkaven Stabes, jedoch ebenfalls einen Verlust der thorakalen Kyphose [66]. Auch hier wurde zunächst eine Stabderotation durchgeführt und dann die segmentale Derotation um den konkaven Stab durchgeführt.

Geiger et al. führten die Derotation von konvex bei gleichzeitiger Translation konkav durch und sahen dabei eine bessere Kyphosierung als bei der Derotation um den konkaven Stab [100].

Hammad et al. beschrieben an ihrer Kohorte von 200 Patienten, dass die Derotations-Technik mit simultaner Translation und Derotation mit Single-Innie-Reduktionsschrauben und Ersteinlage des konvexen Stabes sowie Rotation um den konvexen Stab eine ähnliche Derotations-Korrektur mit besserer Kyphosierung, schnellerer Prozedur und Kostenreduktion hervorbrachte im Vergleich zu der Technik mit Ersteinlage des konkaven Stabes, Translation zum konkaven Stab und Rotation um denselben mit Dual-Innie-Reduktionsschrauben [114].

Tsirikos et al. beschrieben die Korrektur rein von der konvexen Seite sowohl thorakal als auch lumbal ohne Schrauben auf der konkaven Seite des Apex [328]. Hierbei wurden Derotationsschrauben verwendet, die wie Monoaxialschrauben funktionieren. Sie beschrieben eine coronare Korrektur von ca. 71% thorakal und eine Zunahme der Kyphose von 13°.

Einige Autoren verbinden beide Seiten über einen „Vertebral Column Manipulator (VCM)“, um die Kraft auf mehrere Ebenen zu verteilen [40]. Auch hier ist jedoch entscheidend, wo das Rotationszentrum liegt, das schlussendlich durch den ersten eingesetzten Stab definiert wird.

In einer Übersichtsarbeit von Rushton und Grevitt wurden 15 Studien eingeschlossen [266]. Es wurden radiologische und klinische Faktoren berücksichtigt. Anhand der Daten konnten die Autoren die Verwendung von Derotationstechniken (direct vertebral derotation – DVD und vertebral coplanar alignment – VCA) nicht befürworten, obwohl eine geringfügig bessere radiologische Korrektur nachgewiesen wurde. Dies hatte allerdings keinen positiven Einfluss auf die Korrektur der Rippenprominenz und auf die Patientenzufriedenheit.

Implantateigenschaften:

Statement: Pedikelschrauben sind der Standard bei der posterioren Skoliosekorrektur und den Hakensystemen überlegen. Sublaminäre Bänder haben ein ähnliches coronares Korrekturpotential wie Pedikelschrauben. (Starker Konsens, Zustimmung 100%; 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Clements et al. untersuchten den Einfluss von Verankerungstyp und -dichte auf die Korrektur bei 292 AIS-Patienten [50]. Die durchschnittliche Korrektur lag bei 64%, wobei eine höhere Implantatdichte jeweils zu einer besseren Korrektur der Hauptkrümmung führte. Die Verwendung von Schrauben hatte mit durchschnittlich 64% eine bessere Korrektur als die Verwendung von Haken (55%). Bei einer Implantatdichte von 100% lag die coronare Korrektur mit Schrauben sogar bei 78%. Allerdings führte bei Schrauben eine höhere Implantatdichte auch zu einem Verlust an Kyphose, während mehr Haken zu einer größeren Kyphose führten.

Larson et al. berichteten über eine bessere radiologische Korrektur in der Koronarebene bei höherer Implantatdichte, jedoch war der Effekt auf die Patientenzufriedenheit unklar [161].

Hassankhani et al. fanden bei einer Kombination von lumbalen Schrauben und thorakalen Pedikelhaken eine durchschnittliche Korrektur von 60%, wohingegen in einer gleichgroßen Gruppe mit sublaminären Bändern thorakal die Korrektur bei 75% lag [116]. Mittels Bändern war auch die thorakale Abflachung geringer.

Sublaminäre Bänder wurden von Mazda et al. erstmals beschrieben [193]. Er baute einen Rahmen aus zwei Stäben, die er mit Querverbindern verband, und befestigte ihn lumbal an Pedikelschrauben und proximal an Haken. Dann führte er eine Translation der BWS zum Stab aus. Thorakal korrigierte er so die Skoliose um 63%. Die Kyphose nahm bei dieser Prozedur um 9° zu.

La Rosa et al. erreichten in gleicher Technik eine coronare Korrektur von 70% und eine Verbesserung der thorakalen Kyphose um 11° bei zuvor hypokyphotischen Patienten [155].

Sale de Gauzy et al. konnten mit Bändern die thorakale Kyphose ebenfalls um 8° verbessern bei einer coronaren Korrektur von 70% [269].

Statement: Die Stabeigenschaften (Steifigkeit, Durchmesser und Material) haben einen Einfluss auf die coronare und vor allem auf die sagittale Korrektur, jedoch in Kombination mit anderen Faktoren wie Verankerungsmethode, Implantatdichte und Krümmungseigenschaften. (Starker Konsens, Zustimmung 100%; 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Der Standard für die operative Versorgung waren lange Zeit Titanstäbe mit einem Durchmesser von 5,5 oder 6 mm. Es wird postuliert, dass steifere Stäbe ein höheres Korrekturpotential haben. Dies kann durch Einsatz von dickeren Stäben (6 mm oder 6,25 mm) oder härterem Material (Cobalt-Chrom = CoCr) erreicht werden.

Sabah et al. verglichen CoCr- mit Titanstäben und fanden keinen Unterschied in der coronaren Korrektur (jeweils 76% bzw. 75%) und nur einen geringen Unterschied (12° bzw. 13°) in der Kyphosezunahme [268]. Sie verwendeten jeweils 6 mm Stäbe mit einer hohen Pedikelschraubendichte von 89%.

Lamerain et al. verglichen ebenfalls CoCr- mit Titanstäben von jeweils 6 mm Durchmesser in „all screw constructs“: Hierbei war bei Verwendung von zwei CoCr-Stäben sowohl die coronare als auch die sagittale Korrektur signifikant besser als mit zwei Titanstäben [157].

Sia et al. vermaßen die Stabkrümmung vor und nach Implantation von kyphotisch vorgekrümmten Stäben [296]. Sie fanden sowohl bei CoCr- als auch bei Titanstäben eine deutliche Abflachung der Stabkrümmung, die bei den Titanstäben tendenziell deutlicher ausfiel, jedoch nicht statistisch signifikant.

Angelliaume et al. verwendeten statt Schrauben sublaminare Bänder [6]. Sie fanden bei Verwendung von CoCr-Stäben eine bessere Kyphose der BWS bei gleicher coronarer Korrektur.

Giudic et al. sahen eine größere postoperative Deformierung des konkaven Stabes [103]. Dies erklärt, weshalb viele Operateure konkavseitig oft ein steiferes Material wählen als konvexseitig. Die Stabdeformierung nahm zu, wenn die Korrektur >75% oder die Patienten älter und schwerer waren.

Etemadifar et al. fanden eine um 10% bessere koronare Korrektur, wenn einseitig ein 5,5 mm CoCr-Stab verwendet wurde im Vergleich zu einem beidseitigen 5,5 mm Titanstab bei ebenfalls sehr hoher Implantatdichte, allerdings betrug der Unterschied nur 5° [82].

Osteotomien:

Empfehlung: Bei steiferen AIS-Krümmungen oder ausgeprägter sagittaler Abweichung können Ponte-Osteotomien durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Ein konkreter Grenzwert an Steifigkeit, Cobb-Winkel oder sagittalem Profil, ab wann eine Ponte-Osteotomie empfohlen wird, existiert nicht, so dass es sich um Einzelfallentscheidungen handelt. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Es wurde postuliert, dass durch Resektion der dorsalen Strukturen (Bänder, Facettengelenke und Dornfortsätze) die Flexibilität der Krümmung und somit die Korrekturfähigkeit verbessert werden kann. Die Ausdehnung des notwendigen „Releases“ hängt von der Ausprägung und der Rigidität der Krümmung ab [290]. Ponte beschrieb 1984 eine V-förmige dorsale Osteotomie zur Korrektur der thorakalen Hyperkyphose, die später auch für Skoliosen angewendet wurde [72, 240]. Die Korrektur in der Sagittalebene wird von ihm bei reinen Kyphosen mit ca. 5 bis 10° pro Segment beschrieben. Voraussetzung ist eine noch flexible Bandscheibe. In der Praxis ist die Korrektur oft geringer.

Pizones et al. beschrieben eine deutliche Verbesserung der coronaren Korrektur in Kombination mit sublaminären Drähten [238]. Auch in Verbindung mit Pedikelschrauben konnte durch die Anwendung von Ponte-Osteotomien eine Verbesserung der Korrektur nachgewiesen werden (coronar 67% vs. 62%, Kyphose 3° vs. -0,4°, Rippenbuckelkorrektur 53% vs. 38%) [273].

Feng et al. fanden einen geringen Vorteil vor allem bei steiferen Kurven [90].

Ponte-Osteotomien erhöhen das Risiko von neurologischen Komplikationen [24] und erhöhtem Blutverlust [235]. Das neurologische Risiko und der Blutverlust sind jedoch deutlich geringer als bei Vertebral Column Resections (VCR) [370]. Durch die zusätzlichen operativen Schritte erhöht sich durch Osteotomien die OP-Zeit.

Wird bei rigider ventraler Säule nach dorsaler Laminektomie die ventrale Säule aufgebrochen und verlängert, so spricht man von einer Smith-Petersen Osteotomie (SPO). Diese wurde erstmals 1945 zur Korrektur der ankylosierenden Spondylitis beschreiben und korrigiert um bis zu 40° pro Segment [302]. Im angloamerikanischen Sprachraum werden die Begriffe aber oft synonym verwendet und gleichzeitig der Norweger Smith-Petersen fälschlicherweise auf Schwedisch „Peterson“ geschrieben.

Thorakoplastik:

Statement: Eine Thorakoplastik kann die Korrektur einer starken Thoraxdeformität verbessern, diese ist jedoch mit einer signifikant höheren perioperativen pulmonalen Morbidität verbunden. Ein relevanter positiver Einfluss der Thorakoplastik auf die Korrektur der Skoliose bei gleichzeitiger Skoliose-OP wurde wissenschaftlich bislang nicht ausreichend nachgewiesen, um eine regelmäßige Empfehlung zu begründen, in Einzelfällen kann sie allerdings durch ihren releasenden Effekt hilfreich und sinnvoll sein. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Unter einer Thorakoplastik wird sowohl eine Lösung und gegebenenfalls Anhebung auf der konkaven Krümmungsseite, dem Rippental, als auch eine Osteotomie und ggf. Entfernung von Rippenanteilen und dadurch Abflachung des Rippenbuckels auf der konvexen Seite der Krümmung beschrieben. Während die konkavseitige Thorakoplastik in Einzelfällen neben einem kosmetischen Effekt durch das Anheben des Rippentals auch eine releasende und somit die Korrektur fördernde Wirkung v.a. bei hochgradigen Thorakalskoliosen mit schwieriger Derotation hat, dient die konvexseitige Thorakoplastik vor allen Dingen einer Verbesserung des kosmetischen Aspekts durch die Verminderung des Rippenbuckels.

Grundsätzlich kann die Thorakoplastik im Rahmen der Skoliosekorrektur stattfinden oder später als Ergänzung, wenn der Rippenbuckel immer noch sehr beeinträchtigend ist. Die Indikationen für eine Thorakoplastik sind nicht klar definiert. Einzelne Autoren berichten über ihre Erfahrungen mit konkavseitigen, konvexseitigen oder kombinierten Serienrippenosteotomien in der Annahme, dass dadurch die Korrektur der Skoliose und der Thoraxdeformität gebessert wird, jedoch sind diese Meinungen nicht mit einer harten wissenschaftlichen Evidenz belegt.

Saleh et al. untersuchten prospektiv 78 Probanden mit koronaren Krümmungen größer als 70°, bei denen konkavseitige Serienrippenosteotomien im Rahmen der dorsalen Korrekturspondylodese durchgeführt wurden [270]. Postoperativ wurden alle Patienten an ein intensives Atemtherapie-Programm angebunden. Die durchschnittliche Krümmungskorrektur betrug 68% und war somit mit anderen Studien ohne Rippenosteotomien vergleichbar. Die Lungenfunktion verbesserte sich bei der Verlaufskontrolle nach 12 Monaten im Vergleich zum präoperativen Zustand, jedoch ist unklar ob diese Beobachtung durch die intensive Atemtherapie, durch die Thorakoplastik oder durch die Skoliosekorrektur an sich zustande gekommen ist.

McMaster et al. berichteten über die Ergebnisse nach kombinierten konvexseitigen Thorakoplastiken und konkavseitigen Rippenanhebungen im Rahmen der dorsalen Korrekturspondylodese bei 37 Patienten [196]. Die durchschnittliche koronare

Krümmungskorrektur betrug 63% und war somit vergleichbar mit den Korrekturergebnissen anderer Studien ohne Thorakoplastik. Die Thoraxdeformierung wurde signifikant korrigiert bei 81% der Probanden. Der Korrektoreffekt war bei präoperativer milder Ausprägung der Thoraxdeformität mit einer Inklinatation der Rippen von $<16^\circ$ nicht zuverlässig erkennbar. Die Autoren schlussfolgerten, dass eine Thorakoplastik nur bei sehr stark ausgeprägten Thoraxdeformitäten in Erwägung gezogen werden sollte, dann aber eine nachhaltige Verbesserung der Thoraxdeformität nach sich ziehe.

Zhao et al. beschrieben an 20 Patienten (durchschnittlich 163° thorakaler Cobb-Winkel), dass eine konkavseitige Thorakoplastie mit Rippen-Traktion über 116 Tage über eine Halo-Becken-Konstruktion vor der eigentlichen Skoliosekorrektur sowohl die Skoliosekorrektur als auch die Lungenfunktion deutlich verbessern kann [371].

Während einzelne Studien zeigten, dass in ihren Kollektiven die Lungenfunktion zwei Jahre nach stattgehabter Thorakoplastik nicht signifikant beeinträchtigt war [76, 107], beschrieben andere Arbeitsgruppen die Thorakoplastik als einen der Hauptrisikofaktoren für die Entwicklung von perioperativen pulmonalen Komplikationen und einer signifikant erhöhten perioperativen pulmonalen Morbidität inkl. langfristigen Einschränkungen der Lungenfunktion [148, 188, 361].

Bei der isolierten Korrektur des Rippenbuckels (ohne gleichzeitige Skoliose-OP) spielt somit in der Indikationsstellung die Ästhetik eine große Rolle. Allerdings kann ein Rippenbuckel auch zu Beschwerden und Schmerzen beim Sitzen und Anlehnen gegen harte Stühle führen, so dass Schmerzen und funktionelle Beschwerden durchaus auch eine Indikation zu einer isolierten Korrektur eines Rippenbuckels sein können. Zumeist wird hier die konvexseitige Thorakoplastik favorisiert. Es kommt hier zu einer signifikanten Reduktion des Rippenbuckels, allerdings ist in der Folge mit einer leichten, aber dauerhaften Verminderung der Lungenfunktion und -kapazität zu rechnen [148]. Es tritt unabhängig von der vorbestehenden Lungenfunktion bei einem durchschnittlichen Follow-up von 6 Jahren eine Reduktion von im Mittel 9% FVC (Forced Vital Capacity als Parameter der Lungenfunktion) ein, sodass dieser Eingriff für ausgesprochen schwere, beeinträchtigende Rippenbuckel vorbehalten bleiben sollte und eine ausreichend gute Lungenfunktion als Ausgangslage voraussetzt, da die Veränderungen dann als permanent zu betrachten sind.

Die konkavseitige Thorakoplastik bewirkt abgesehen von der Anhebung der Rippe und der damit verbundenen kosmetischen Verbesserung durch Milderung des Rippentales eine Lockerung der fixierten Wirbelkörper in dem am meisten verdrehten und fixierten Bereich der zu korrigierenden Skoliosedeformität. Es gibt Hinweise dafür, dass durch eine Thorakoplastik als Kombinationseingriff im Rahmen einer Skoliose-OP die Skoliose-Korrektur erleichtert und somit ein zusätzlicher Effekt zum alleinigen kosmetischen Effekt erreicht wird [107].

Der richtige OP-Zeitpunkt:

Siehe Grundprinzipien der Therapie (Kapitel 2.7.1)

Zum Thema „Natürlicher Verlauf“ einer AIS sei auf Kapitel 2.6 verwiesen.

Empfehlung: Bei zu erwartender signifikanter Krümmungsprogredienz unter strenger Einhaltung der Operationsindikationen sollte die operative Behandlung zeitnah erfolgen. (Konsens, Zustimmung 94%)

Die OP-Indikation leitet sich in erster Linie von dem tatsächlichen oder eben auch dem mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Ausmaß der Krümmung ab. Dabei hat sich im Rahmen von Langzeituntersuchungen gezeigt, dass die Krümmungen auch nach Wachstumsabschluss noch zunehmen, was die Rechtfertigung einer operativen Behandlung begründet [346]. Dies gilt für thorakale und doppelthorakale Krümmungen ab einer Krümmung von ca. größer 50°. Für thorakolumbale und lumbale Krümmungen, vor allem wenn diese mit einer starken Rotationskomponente kombiniert sind, sind Verschlechterungen schon ab Krümmungen zwischen 40 und 45° zu beobachten. Daher ist unter diesen Umständen schon eine operative Indikation etwas früher gegeben oder zumindest genau abzuwägen. Lumbale Krümmungen sind häufig deutlich kurzbogiger als thorakale und bedingen zudem häufig eine Degeneration der Lendenwirbelsäule, was eine erhebliche klinische Relevanz haben kann. Somit sind lumbal geringere Grenzwerte für eine OP-Indikation etabliert als bei thorakalen Krümmungen.

Das Alter des Patienten ist insofern ausschlaggebend bei der OP-Entscheidung, als dass z.B. bei einer Krümmung von 50° bei einem noch wachsenden Patienten mit Sicherheit davon auszugehen ist, dass es bis zum Wachstumsabschluss noch zu einer deutlichen und raschen Zunahme der Krümmung kommen wird, d.h. es ist eine umso dringlichere Empfehlung zu einer frühzeitigen Korrektur gegeben.

Präoperative Halo-Behandlung:

Empfehlung: Eine prä-operative Halo-Traktion kann bei Patienten mit sehr rigider, ausgeprägter Krümmung in Erwägung gezogen werden, um durch die langsame Korrektur im Halo das neurologische Risiko zu senken. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Korrektur von schweren Skoliosen ist mit größeren Risiken hinsichtlich reduziertem Korrekturgrad, neurologischen Komplikationen, vermehrtem Blutungsrisiko und auch Folgeproblemen wie Korrekturverlust im Anschluss an die Korrektur (Junktionale Kyphosen) behaftet. Insofern gibt es diverse Möglichkeiten, wie z.B. ein ventrales Release [118] oder

Ponte-Osteotomien [72, 240], um die deformierte und fixierte Wirbelsäule zu lockern und dadurch ein besseres Korrekturergebnis zu erzielen.

Durch eine Halo-Traktionsbehandlung wird über einen am Schädelknochen fixierten Ring ein axialer Zug auf die Wirbelsäule übertragen, der eine Lockerung und Aufdehnung der Wirbelsäule und der umgebenden Gewebe bewirkt. Dadurch wird auch das Rückenmark mit gedehnt, weswegen bei einer langsamen, graduellen und länger anhaltenden Traktion auch eine Reduktion des neurologischen Risikos postuliert wird durch die langsame Adaptation des Rückenmarks.

Insofern ist eine Halo-Traktion insbesondere bei Patienten mit erhöhtem neurologischen Risiko und höhergradiger Verkrümmung in Erwägung zu ziehen [242]. Da die gesamte Maßnahme erheblich psychisch belastend sein kann, sind hier die Risiken individuell abzuwägen. Gerade bei gleichzeitiger thorakaler Kyphosierung und zervikothorakaler Anschlusskyphosierung ist eine vorbereitende Traktion hilfreich und schützt vor neurologischen Komplikationen. Eine Halo-Traktion kann als alleinige vorbereitende Maßnahme vor der eigentlichen Korrektur-OP durchgeführt werden. Auch ein initiales operatives Release mit Halo-Anlage, anschließender Traktion und dann anschließender Korrektur-OP ist möglich.

Es liegt keine eindeutige Evidenz vor, ab welchem Grad von Krümmung und Rigidität die präoperative Halo-Traktion bei AIS indiziert ist. In den meisten wissenschaftlichen Arbeiten über das Thema wird die Methode bei Skoliosen über 100° Cobb-Winkel angewendet. Die Interpretation der Ergebnisse bezogen auf AIS-Patienten ist schwierig, da in den vorliegenden Studien auch Patienten mit nicht-idiopathischen Skoliosen inkludiert wurden.

In einer Arbeit von Watanabe et al. wurden 21 Skoliose-Patienten inkludiert [343]. Nur 9 davon hatten eine AIS. Die Dauer der Halo-Traktion betrug im Schnitt 67 Tage (10-78). Die erreichte Korrektur im Halo betrug 27,5% und die endgültige postoperative Korrektur 51,3%. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied in den Endergebnissen bei Probanden mit oder ohne vorausgegangenem ventralen Release. Die Patienten wurden nach Ätiologie nicht substratifiziert, daher kann keine konkrete Aussage über die Wirkungsweise isoliert bei AIS-Patienten gemacht werden.

Statement: Eine genaue, verlässliche Aussage bezüglich der Modalitäten der prä-operativen Halo-Traktion (Dauer, Gewicht etc.) bei AIS kann mangels wissenschaftlicher Evidenz derzeit nicht gemacht werden. (Konsens, Zustimmung: 94%)

Die Vorbehandlung mit einer Halo-Traktion ist sicherlich individuell angepasst zu betrachten. Allgemein wird jedoch eine Traktionsphase von 2-6 Wochen, im Mittel von etwa 30 Tagen angewendet und empfohlen [147]. Hinsichtlich des Gewichtes wird beginnend mit kleinen

Gewichten eine kontinuierliche Steigerung der Gewichte und auch eine Steigerung der täglichen Traktions-Zeit angestrebt, wobei das Endziel häufig ein Zug mit ca. 30- 50% des Körpergewichts ist [147].

Die Halo-Femorale Traktion ist eine Alternative, nur während der Operation eine Traktion anzulegen. Damit wird dem Patient die Vorbehandlungsphase erleichtert, allerdings mit einem etwas kleineren Wirkungsgrad [134, 137].

Eine genaue, verlässliche Aussage bezüglich der Indikation und der Modalitäten der intraoperativen Halo-Femorale Traktion (Dauer, Gewicht etc.) bei AIS kann mangels wissenschaftlicher Evidenz derzeit nicht gemacht werden. Im Einzelfall kann diese Technik sinnvoll sein.

Bei Untersuchungen zu dieser zusätzlichen intraoperativen Behandlungsform konnte zum einen die unterstützende Wirkung bei der Behandlung hochgradiger und meist auch dysbalancierter Skoliosen belegt werden. Zudem ließ sich auch eine klare Korrelation bezüglich der eingesetzten Kraft, bzw. der Gewichte, die angelegt wurden, und der dadurch bedingten Komplikationsquote nachvollziehen. Bei einer Traktion im Bereich unter 35% des Körpergewichts war insgesamt bei guter Korrektur eine deutlich verminderte Häufigkeit von neurologischen Mess-Auffälligkeiten im Neuromonitoring zu beobachten, wobei bei Anlage bis 50% Körpergewicht dieser Anteil signifikant stieg. Bei vorliegendem, gut beurteilbarem Neuromonitoring und adäquater Stärke der Traktion ist also eine sichere Unterstützung der weiteren operativen Maßnahmen gegeben bei vergleichsweise wenig Morbidität.

2.7.3.2 Neuromonitoring

Das intraoperative Neuromonitoring (IONM) verwendet elektrophysiologische Methoden zur Echtzeitüberwachung motorischer und somatosensibler Nervenbahnsysteme mit dem Ziel, einen potenziellen neurologischen Schaden im Rahmen von Korrektureingriffen an der Wirbelsäule zu erkennen. Die Methoden müssen mechanische und ischämische Verletzungen des Rückenmarks detektieren. Es wurde postuliert, dass durch die Möglichkeit der kontinuierlichen intraoperativen Überwachung der Rückenmarksfunktion die Integrität dieser vulnerablen neuralen Strukturen erhalten bleibt und die Patientensicherheit erhöht werden kann.

Statement: Die geeignete und validierte Methode zur Evaluation der „motorischen Funktion“ des Rückenmarks sind die Motorisch Evozierten Potenziale (MEP). Im Gegensatz zu intramedullären Tumoren bringt die Ableitung der D-Welle keine Vorteile. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Die geeignete und validierte Methode zur Evaluation der „sensiblen Funktion“ des Rückenmarks sind die Somatosensiblen Evozierten Potenziale (SEP), die hoch spezifisch die Leitfähigkeit des Hinterstrangs erheben. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Das Elektromyogramm (EMG) kann mechanische und thermische Manipulation der Spinalnerven durch das Auslösen myotoner Entladungen in den entsprechenden Muskeln anzeigen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Die Pedikelstimulation soll nicht zur Überwachung der Rückenmarksfunktion eingesetzt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Die Kombination von mehreren Überwachungsmodalitäten, bekannt als „multimodales Neuromonitoring“, hat sich als sehr zuverlässig für das Detektieren von intraoperativen kritischen Situationen mit potenziell neurogener Schädigung erwiesen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Jede von den üblicherweise verwendeten IONM-Methoden (SEP, MEP, EMG, Pedikelstimulation) hat potenzielle Vor- und Nachteile. Die Methodik der MEP hat eine hohe Spezifität für den kortikospinalen Trakt [185], die der SEP eine hohe Spezifität für die Qualität des Hinterstranges und das somatosensible Nervenbahnsystem [186, 226]. Im Gegensatz zu intramedullären Tumoren bringt die Ableitung der D-Welle aufgrund von möglichen Änderungen der Lagebeziehung zwischen Rückenmark und Ableitkatheter während der operativen Aufrichtung der Skoliose nicht den Vorteil wie in der intramedullären Rückenmarkschirurgie [330]. Evozierte Potenziale haben eine hohe negative Vorhersagekraft: unveränderte oder transiente MEP- und/oder SEP-Veränderungen sagen ein unverändertes oder sich auf den Ausgangswert erholendes neurologisches Outcome voraus.

Das Elektromyogramm (EMG), das aus den Beinmuskeln als sog. „freilaufendes“ EMG aufgezeichnet wird, kann mechanische und thermische Manipulation der Spinalnerven durch das Auslösen myotoner Entladungen anzeigen und wird v.a. mit der Pedicle Screw Stimulation verwendet [131]. Studien weisen bei der Pedicle Screw Stimulation auf ein erhöhtes Risiko eines neurologischen Defizits bei einer unterschrittenen Stimulationsintensität hin [35, 36, 250, 251].

In einer retrospektiven Analyse von prospektiv erhobenen Daten aus der Multicenter-Datenbank der Scoliosis Research Society wurden über 100.000 spinale Eingriffe für neu aufgetretene neurologische Defizite (NND) nachuntersucht [113]. Die Inzidenz betrug 1%. Revisionsoperationen und Eingriffe bei Kindern hatten ein signifikant höheres Risiko für NND. IONM wurde in 65% der Fälle verwendet. Für die Fälle mit intraoperativ auffälligen Potenzialen wurde über Inzidenzen für postoperative Wurzelläsion, Cauda Equina Symptomatik bzw. ein Rückenmarksdefizit von entsprechend 11%, 8% und 40% berichtet. Die multimodale Überwachung zeigte zwar eine niedrige Sensitivität (0,13-0,43), jedoch eine sehr

hohe Spezifität (0,98-0,99) sowie positive und negative Vorhersagewerte von entsprechend 0,21 und 0,99. Die Autoren postulierten, dass ein unauffälliger IONM-Verlauf sehr stark mit einer postoperativ unveränderten neurologischen Funktion korreliert [122, 285].

Aus diesen Gründen hat sich die intraoperative Anwendung von IONM zur Routine etabliert und wird von der Scoliosis Research Society bei der operativen Skoliosebehandlung empfohlen [112].

Empfehlung: Bei korrigierenden AIS-Operationen sollte die Echtzeitüberwachung mittels neurophysiologischer Methoden (IONM) dem Aufwachtest vorgezogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Der intraoperative Aufwachtest ist eine mögliche Alternative zum IONM und hat einen Stellenwert bei unklaren oder nicht reproduzierbaren Werten des IONM oder im Falle von bestehenden Kontraindikationen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Evidenzbasierte Studien der Klasse 1 sind derzeit nicht verfügbar. Aufgrund der hohen Spezifität und der Echtzeiterhebung der IONM-Methoden sowie der hohen Spezifität des Aufwachtest, der aufgrund der geringen Morbidität zu erwartenden hohen Fallzahlen, wird es keine neuen prospektiven Studien geben. Meta-Analysen weisen auf methodische Limitationen sowie eine Nicht-Vergleichbarkeit der Studienlage hin. Somit kann derzeit keine evidenzbasierte Angabe zur Goldstandardmethode für die intraoperative Überwachung der Rückenmarksfunktion gemacht werden. Dennoch hat sich in vielen Studien und Meta-Analysen ein Vorteil des Neuromonitorings herausgestellt [122, 285].

Aufwachtest [334]:

Vorteile: Simplizität, ubiquitäre Durchführbarkeit. Er kann ohne Vorbereitung, jederzeit und in jedem beliebigem OP-Saal durch Aufwecken des Patienten und Aufforderung zur Bewegung der Beine während der Operation durchgeführt werden.

Nachteile: Die Information über die Integrität der Rückenmarksfunktion bezieht sich ausschließlich auf die grobe Motorik. Der genaue Zeitpunkt einer Schädigung bleibt unberücksichtigt, daher können keine zeitnahen kausalen Gegenmaßnahmen vorgenommen werden. Mehrere Aufwachtests im Rahmen einer Operationssitzung sind insbesondere bei jungen, nicht kooperativen Patienten nicht praktikabel.

IONM [172, 226, 319]:

Vorteile: Hochspezifische und sensitive Echtzeitmessung der Leitfähigkeit motorischer und somatosensorischer Nervenbahnen des Rückenmarks und der Spinalnerven.

Nachteile: Das neurophysiologische Monitoring erfordert spezielle Kenntnisse, eine personelle und medizintechnische Ausstattung, ist in der Anwendung technisch anspruchsvoll, zeitaufwendig und resultiert in einem höheren Ressourcenverbrauch (Personal-, Sachkosten).

In einem systematischen Review wurden die Ergebnisse von 32 Artikeln (von initial 103) analysiert [89]. Das Evidenzlevel, dass durch die Anwendung von IONM die Inzidenz von neu aufgetretenen perioperativen neurologischen Defiziten verringert wurde und dass die intraoperativ getroffenen Maßnahmen im Falle einer relevanten IONM-Auffälligkeit eine signifikante Verschlechterung des perioperativen neurologischen Defizits verhindern können, war aufgrund der mangelhaften Studienlage niedrig bzw. sehr niedrig [89, 113, 210]. Es wurde ein „High level of evidence“ bezüglich Sensitivität und Spezifität des multimodalen IONM für das Detektieren eines intraoperativen neurologischen Defizits berichtet.

Empfehlung: Bei korrigierenden AIS-Operationen sollte eine Form des IONM zum Einsatz kommen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Im Statement der Scoliosis Research Society wurde das IONM als optimaler Standard bei der operativen Korrektur von Skoliosen bezeichnet, sofern das Myelon durch die Operation einem Risiko ausgesetzt ist. Eine klare Empfehlung ist in der aktuellen SRS-Stellungnahme erfasst [287].

Arbeiten, welche die neurologischen Komplikationen bei der operativen AIS-Behandlung untersucht haben, geben eine Häufigkeit von ca. bis zu 1% an [113, 317-319]. Aus diesem Grund besteht in der Literatur Einigkeit darüber, dass insbesondere bei rigiden und ausgeprägten AIS, die ein aggressiveres Release, eine segmentale Instrumentation im Skoliosescheitel und die Übertragung großer Korrekturkräfte notwendig machen, die prinzipielle Notwendigkeit des IONM gegeben ist.

Obwohl die Vorteile des IONM in der alltäglichen Routine längst anerkannt wurden, besteht noch kein Konsens über die verpflichtende flächendeckende Implementierung, Qualitätsstandards zur Durchführung und die personellen Qualifikationen [15, 67, 112, 297, 337]. Auch in Deutschland ist der Einsatz von IONM bei AIS-Operationen derzeit nicht obligat, wenngleich klar empfohlen.

Anzumerken ist jedoch, dass trotz fehlender hoher Evidenzklassen die Deutsche Wirbelsäulengesellschaft für die Zertifizierung eines Zentrums, das Deformitätenchirurgie durchführt, das Vorhalten des Neuromonitorings fordert.

Die Frage, ob das IONM routinemäßig bei der operativen Korrektur von AIS eingesetzt werden sollte, hat neben der rein medizinischen Betrachtung auch einen mediko-legalen Aspekt. Aus juristischer Sicht ist das IONM aktuell nicht als obligat anzusehen, bei Vorliegen zukünftiger Urteile wird sich dies ggf. ändern. Es ist zu beachten, dass die Rechtsprechung das „allgemein übliche Vorgehen in einem Fachgebiet“ auch ohne explizite Empfehlung von Fachgesellschaften als Standard zugrunde legt.

Empfehlung: Der verantwortliche Deformitätenoperator sollte sich mit den Möglichkeiten und Limitationen des IONM auseinandersetzen und sollte sicherstellen, dass die mit dem IONM betraute Person fachlich in der Lage zur Durchführung und Interpretation des IONM ist. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Von einer Ärztekammer oder einem Regierungspräsidium anerkannte Qualifikationen oder Befugnisse im Sinne einer ärztlichen Schwerpunktbezeichnung oder einer nicht-ärztlichen Aus- und Weiterbildung für medizinisches Personal existieren aktuell nicht. Es gibt in Deutschland keine gesetzliche Grundlage mit einer Empfehlung zur Qualifikation der ausführenden Person für das IONM. Empfehlenswert ist die Teilnahme an IONM-Kursen, z.B. von der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie, der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin oder der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie.

2.7.3.3 Nachbehandlung

Bzgl. **Sport** nach Skoliose-OP darf auf Kapitel 2.8.6 (AIS und Sport) verwiesen werden.

Bzgl. **postoperativer radiologischer Kontrolluntersuchungen** darf auf Kapitel 2.5.2.4.3 (Radiologische Kontrolluntersuchung postoperativ) verwiesen werden.

Bzgl. **Physiotherapie** nach Skoliose-OP darf auf Kapitel 2.7.2.1 (Physiotherapie) verwiesen werden.

Postoperative Schmerztherapie:

Statement: Die postoperative Schmerztherapie nach AIS-OP bedient sich individuell angepasst folgender Bausteine: peridurale Analgesie, Lokalanästhetika, intravenöse Analgetika (auch patientenkontrolliert), orale Analgetika. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Nicht Steroidale Antirheumatika können bei kurzfristiger Anwendung Teil der postoperativen Schmerztherapie sein. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Grundlage der Empfehlungen für die postoperative Schmerztherapie ist die aktuelle S3-Leitlinie „Behandlung akuter perioperativer und postoperativer Schmerzen“, Kapitel 4.5: Analgesie bei Eingriffen an der Wirbelsäule, worauf wir verweisen und deren Inhalt unterstützt wird [63]. Als einzige Besonderheit sei angemerkt, dass im Falle von dorsalen Osteotomien das Einbringen eines Periduralkatheters eher nicht sinnvoll ist, da die eingebrachten Medikamente dann aus dem Spinalkanal frei in die paravertebrale Muskulatur „auslaufen“ können.

Für Gabapentin gibt es trotz vielversprechender Studienergebnisse aktuell noch keine ausreichende Evidenz, insbesondere im Hinblick auf Nebenwirkungen.

Postoperative Schul- und Alltagstauglichkeit:

Empfehlung: Nach einer fusionierenden Korrekturspondylodese sollte für ca. 3 Monate auf das Tragen schwerer Lasten (mehr als 10 kg) verzichtet werden, um die Entstehung einer Fusion nicht zu gefährden. (Konsens, Zustimmung 94%)

Eine wissenschaftliche Evidenz zu dieser Empfehlung gibt es nicht.

Empfehlung: Bei dorsalen thorakolumbalen und thorakalen Korrekturspondylodesen sollte auf Krafttraining des Schultergürtels, speziell Zugbelastungen über Kopf respektive über die Horizontale zur Protektion der Muskelnähte 3 Monate postoperativ verzichtet werden. (Konsens, Zustimmung 88%)

Eine wissenschaftliche Evidenz zu dieser Empfehlung gibt es nicht.

Empfehlung: Nach einer fusionierenden Korrekturspondylodese sollten für ca. 3 Monate lediglich isometrische Spannungsübungen für Wirbelsäule und Rumpf durchgeführt werden, um die Entstehung einer Fusion nicht zu gefährden. (Konsens, Zustimmung 94%)

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich dafür keine relevante Evidenz.

Empfehlung: Atemtherapie und Ausdauertraining können nach individueller Situation nach AIS-OP zur Anwendung kommen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich dafür keine relevante Evidenz.

Empfehlung: In der Planung einer AIS-OP können Patienten und ihre Familien auf eine Abwesenheit aus dem aktiven Präsenzunterricht der Schule von ca. 4 bis 6 Wochen aufgeklärt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Datenlage zur Beurteilung ist schwach und basiert auf nur einer Studie, die überwiegend orthopädisch-traumatische Operationen der Extremitäten (vorderes Kreuzband, Meniskus, Bankart Repair, Unterarm- und suprakondyläre Humerusfrakturen) aber auch Korrekturoperationen bei AIS ausgewertet hat [357]. Skoliosekorrekturen verursachen bei Jugendlichen durchschnittlich die längsten Fehlzeiten in der Schule. 206 Patienten (105 männlich, 101 weiblich) mit einem Durchschnittsalter von $13,0 \pm 3,8$ Jahren wurde inkludiert. Die durchschnittliche Anzahl versäumter Schultage lag im Gesamtkollektiv (AIS-OP und orthopädisch-traumatische Operationen der Extremitäten) für die Jungen bei 6,6 Tagen und den Mädchen bei 8,4 Tagen. Skoliosepatienten nach AIS-OP hingegen versäumten durchschnittlich 27,6 Schultage mit einer großen Standardabweichung von $\pm 14,7$ Tagen sowie Gesamtfehlzeit von $42,3$ Tagen $\pm 21,4$ Tagen.

Empfehlung: Eine Korsett-Therapie nach Korrekturspondylodese gehört nicht zur Standard-Nachsorge und kann lediglich in Einzelfällen nach individueller Prüfung zum Einsatz kommen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich dafür keine relevante Evidenz.

Bzgl. Korsett-Versorgung nach Growing Rods System darf auf Kapitel 2.7.3.4 (Alternative OP-Techniken) verwiesen werden.

2.7.3.4 Alternative OP-Techniken

Empfehlung: Vor dem Einsatz eines wachstumslenkenden Systems bei AIS sollte die Evaluation der Wachstumsprognose mittels einer Röntgenaufnahme der linken Hand durchgeführt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Wachstumslenkende Systeme kommen in der Regel bei Patienten zum Einsatz, die noch nicht ihren pubertären Wachstumsschub hatten. Daher ist die Klassifikation nach Risser für sie nicht geeignet. Mittels eines Röntgenbildes der Hand, wie in Kapitel 2.5.2.1.4. beschrieben, kann jedoch schon vor Auftauchen des Risserzeichens eine Prognose zum Restwachstum gegeben werden. Das ist wichtig, da sowohl ein zu früher als auch ein zu später Einsatz ungünstige Folgen haben könnte.

Empfehlung: Vor dem Einsatz wachstumslenkender Systeme soll differenziert über die Risiken und unbekannte Langzeitprognose aufgeklärt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Posterior Dynamic Deformity Correction Device (PDDC):

Empfehlung: Das Posterior Dynamic Deformity Correction Device sollte bei der AIS nicht verwendet werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Es liegen noch keine ausreichenden Daten über den Nutzen und keine Langzeitergebnisse vor. Es ist unklar, ob nach Abschluss des Wachstums eine definitive Spondylodese notwendig wird.

Es handelt sich um ein konkavseitiges Distraktionsverfahren. Eine partielle Korrektur erfolgt während der Operation. Weitere Aktivierungen des Verlängerungsmechanismus werden durch bestimmte Übungen, die täglich durchgeführt werden müssen, ausgelöst und damit eine weitere Korrektur bewirkt bzw. die erreichte Korrektur aufrechterhalten.

Derzeit gibt es nur sehr limitierte Erfahrungen mit dieser Operationstechnik.

Es ist unklar, ob die Beweglichkeit im operierten Segment erhalten bleibt oder ob es nicht im Verlauf der Jahre zu einer Autofusion kommt. Ebenso unklar ist, ob die erreichte Korrektur auf die Dauer erhalten bleibt und als Endergebnis ausreichend ist. Die Vorteile gegenüber einer Standardversorgung wie z. B. Korrekturspondylodese oder anderen Alternativmethoden sind nicht wissenschaftlich untersucht.

In einer kürzlich durchgeführten retrospektiven Studie konnten 22 Patienten mit einem Follow-up von > 2 Jahren nachuntersucht werden [92]. Alle hatten bei der Operation ein Risser-Zeichen ≥ 2 . Es konnte eine Korrektur von 46% erreicht werden. In 18% mussten Revisionsoperationen erfolgen.

In einer weiteren Studie der gleichen Arbeitsgruppe wurde berichtet, dass radiologische Zeichen einer Wachstumsmodulation vorhanden waren, insbesondere jedoch nur bei

jüngeren Kindern mit einem Risser-Zeichen von 0-1 [93]. In dem Studienkollektiv von insgesamt 45 Patienten wurde eine Verringerung des Wirbelkörper-„Wedgings“ um 4,1° (0-9°) zwei Jahre nach Primäroperation nur bei sehr unreifen Patienten (Risser 0-1) (n=16) beobachtet. Vier der Patienten (25%) entwickelten mechanische Komplikationen und hatten eine Revisionsoperation. Ein wesentlicher Nachteil der Studie ist die mögliche projektionsbedingte Fehlbestimmung des Wedgings, weil die Messungen auf nativen Röntgenaufnahmen erfolgten und die Rotation nicht berücksichtigt wurde. Darüber hinaus wurde die Unzuverlässigkeit des Risser-Zeichens nicht berücksichtigt. Bei Patienten mit Risser Zeichen > 2 wurde keine wachstumsmodulierende Wirkung beobachtet.

In einer aktuellen Arbeit wurde über eine sehr hohe Komplikationsrate berichtet, die weitere Anwendung der Methode wurde von den Autoren abgebrochen [303].

Nach den limitierten vorliegenden Erfahrungen ist eine Korrektur der Primärkrümmung von etwa 50% zu erwarten. Das sagittale Profil scheint sich unter der Behandlung nicht wesentlich zu verändern. Die Länge der Instrumentierungstrecke beträgt 5-6 Bewegungssegmente. Es ist unklar, ob ggf. proximal oder distal davon ein Adding-on Phänomen eintritt. Es ist weiterhin unklar, bei welcher Skelettreife das optimale Operationsalter besteht.

Growth Guiding -Verfahren:

Empfehlung: Die Growth Guiding-Methode sollte bei AIS nicht verwendet werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Das Growth Guiding (GG)-Verfahren ist kein Verfahren zur Wachstumsmodulation oder Anregung von Wachstum, sondern eine Wachstum-begleitende Methode (guided growth), die bei nicht-idiopathischen Skoliosen zum Einsatz kommt. Das Prinzip besteht darin, dass im Bereich des Apex der Krümmung eine maximale Korrektur und damit eine Teilbegradigung der gesamten Krümmung vorgenommen wird, indem 3-4 Segmente dort fusioniert werden. Die Korrektur des Apex sollte in 2 Ebenen so gut wie möglich erfolgen.

Im Bereich proximal und distal bis mindestens zu den Endwirbeln werden dann extraperiostal mehrere polyaxiale Gleitschrauben mit Verschlusskappen eingesetzt, durch die die Stäbe dann im Rahmen des weiteren Wachstums hindurchgleiten sollen. Für die ersten 3 Monate nach der Operation wird die Versorgung mit einem Korsett empfohlen.

Bis auf weiteres ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt davon auszugehen, dass nach Wachstumsabschluss in der Regel eine Spondylodese erfolgen muss, d.h. ein operativer Zweiteingriff.

Die Literaturangaben beziehen sich nahezu ausschließlich auf die Behandlungen von Kindern unterhalb des 10. Lebensjahres (Early Onset Skoliosen). Eindeutige Empfehlungen zur Anwendung dieses Verfahrens bei AIS liegen derzeit noch nicht vor. Die meisten Literaturangaben stammen vom Erfinder dieser Operationsmethode bzw. seiner Arbeitsgruppe. Bei der Methode wird über eine sehr hohe Komplikationsrate von 73% berichtet, die meisten davon waren Implantate-bezogen und mechanischer Natur [182, 194, 195, 355]. Unabhängige Bewertungen gibt es nicht. Erfahrungen in der Anwendung des Verfahrens bei AIS liegen nicht vor.

Luhmann und McCarthy verglichen die Ergebnisse von 19 GG-Patienten mit 6 Patienten, die mit konventionellen Growing Rods behandelt wurden [182]. Die Operationen wurden alle bei Kindern mit einem Alter von weniger als 10 Jahren durchgeführt, d.h. nicht bei AIS. Dennoch können die Ergebnisse der Studie auch für AIS-Patienten interessant sein. Nach 4 Jahren betrug die Korrektur der Skoliose durch GG im Mittel 40,5 bis 53,4%, während die Korrektur durch konventionelle Growing Rods 40,9 bis 56,9% betrug. Der Gewinn an T1-S1 Höhe, die monatliche Wachstumsgeschwindigkeit und auch das sagittale Profil waren bei beiden Gruppen ähnlich. Allerdings mussten bei 12 von 19 GG-Patienten 29 Re-Operationen durchgeführt werden, was einer Rate von 63,2% entsprach.

McCarthy und Mitarbeiter berichteten erstmals im Jahr 2014 über 10 Patienten (3 davon idiopathische Early Onset Skoliosen) nach GG-Operationen mit einer Nachuntersuchungszeit von mehr als 2 Jahren [195]. Von präoperativ 70,5° konnte die Primärkrümmung 6 Wochen postoperativ auf 27° korrigiert werden. 2 Jahre postoperativ betrug das Ausmaß der Primärkrümmung noch 34°. Die Kyphose war im Verlauf der Nachbeobachtung unverändert. 5 mal mussten Re-Operationen durchgeführt werden. Proximale junktionale Kyphosen wurden nicht beobachtet.

McCarthy et al. konnten 40 Patienten nach mehr als 5 Jahren postoperativ untersuchen [194]. Zu diesem Zeitpunkt bestand eine Komplikationsrate von 73%. Die meisten dieser Komplikationen waren Implantat-bezogen.

Wilkinson et al. konnten 21 Patienten (5 mit idiopathischer Early Onset Skoliose) nach GG-Operation nach mehr als 5 Jahren nachuntersuchen. Alle hatten Early Onset Skoliosen. Bei 63% kam es zu einer Verschiebung des Apex, meist nach distal. 2 Patienten entwickelten signifikante kompensatorische Krümmungen [355].

Growing Rods (Traditionelle Growing Rods/TGR und Magnetisch kontrollierte Growing Rods/MCGR):

Empfehlung: Die Anwendung von Wachstumsstäben (traditionellen „Growing Rods“ und magnetisch verstellbaren Stäben (MCGR)) kann bei AIS nur in Einzelfällen (deutliche

Progredienz trotz Korsett-Therapie und großes Restwachstumspotential) erwogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung: 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Nach Wachstumsabschluss soll nach Anwendung des o.g. Verfahrens eine definitive Fusions-OP durchgeführt werden. Diese kann komplexer sein als eine primäre Korrekturspondylodese (z.B. bedingt durch Autofusionen, die ggf. ein ausgedehntes dorsales Release mit Osteotomien notwendig machen) und die Fusionsstrecke kann länger sein als bei einer einzeitigen primären Korrekturspondylodese. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Sowohl traditionelle (TGR) als auch magnetisch verstellbare Growing Rods (MCGR) werden nach momentanem Stand der Literatur überwiegend für die Therapie von Skoliosen bei Kindern vor dem 10. Lebensjahr (Early Onset Scoliosis) empfohlen. Die Indikation bei AIS-Patienten ist prinzipiell nicht gegeben und reduziert sich auf wenige Ausnahmefälle mit noch sehr hohem zu erwartenden Restwachstum. Pawelek konnte 2016 in einer matched-pair Studie nachweisen, dass bei Therapie im 10. Lebensjahr die Spondylodese eine bessere Skoliosekorrektur erbrachte als eine Growing Rod Therapie mit signifikant weniger operativen Eingriffen bei nur marginal reduziertem Längenzuwachs [231].

Growing Rods sind entwickelt worden, um bei Deformitäten im Wachstumsalter über eine Distraction eine partielle Korrektur zu erzielen, ohne das Wachstum einzuschränken. Die Stäbe werden kranial und kaudal verankert, meist über Pedikelschrauben, alternativ über Haken. Die Verlängerung erfolgt in regelmäßigen, an das Wachstum angepassten Zeitintervallen entweder offen (TGR) oder von extern über den externen magnetischen Controller (MCGR).

Die Ursprünge der distrahierenden Instrumentation reichen zurück auf Harrington in den 1960er Jahren. Das Verfahren wurde weiterentwickelt und standardisiert als Dual Growing Rod Technik von Akbarnia und Thompson [3, 321]. Die Verlängerung dieser TGR erfolgt im Allgemeinen in ca. 6-monatigen Intervallen über einen offenen operativen Eingriff in Vollnarkose. Komplikationsraten des Verfahrens von über 50% werden berichtet, insbesondere Infektionen und Implantatversagen [18].

Die distrahierende Instrumentation mit MCGR wurde entwickelt, um die offenen Verlängerungsoperationen zu vermeiden [45]. Die Zahl der notwendigen Eingriffe konnte verringert werden, allerdings wurden als weitere Risiken Metallosen und erhöhte Ionenkonzentrationen beschrieben [267].

Beiden Verfahren gemeinsam ist, dass nach Ende der Distraction meist eine Fusion über die primär instrumentierte Strecke erfolgt.

Initial kann bis zum Abschluss der knöchernen Einheilung der Schrauben nach Implantation eines Growing Rods Systems eine Korsett-Versorgung zum Schutz der Implantate durchgeführt werden.

Obwohl keine Spondylodese durchgeführt wird, besteht in dem Bereich, in dem die Growing Rods eingesetzt werden, keine Beweglichkeit mehr. Nach Abschluss der Growing Rod Behandlung wird die definitive Korrektur und Spondylodese empfohlen. Ein Erhalt der Beweglichkeit findet daher nicht statt.

Growing Rods müssen eventuell länger gewählt werden, als dies bei einer primärstabilen Korrekturspondylodese üblich gewesen wäre. Anstatt von End- zu Endwirbel zu fusionieren, muss kaudal ein Wirbel in der stabilen Zone gewählt werden [60]. Nach Abschluss der Growing Rod-Therapie muss ein Systemwechsel mit einer Fusion durchgeführt werden (in Ausnahmefällen Autofusion). Hier muss die gesamte Strecke fusioniert werden, so dass lumbal unter Umständen mehr Segmente versteift werden müssen, als bei einer primären Versteifung heutzutage üblich gewesen wäre. Das Endergebnis bzgl. Korrektur entspricht den Standardverfahren, allerdings ist die Komplikationsrate erhöht [239].

Tethering (Vertebral Body Tethering, VBT):

Empfehlung: Eine generelle Empfehlung für oder gegen die VBT Methode kann bei Patienten mit AIS derzeit nicht ausgesprochen werden. Die Methode kann jedoch zu Beginn des pubertären Wachstumsschubes (Risser 0-1, Sanders 2-5) wachstumslenkend bei flexiblen thorakalen AIS in Erwägung gezogen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Empfehlung: Der Einsatz des VBT Systems soll nach Wachstumsabschluss nicht erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

Statement: Die Rate an Materialversagen bei VBT Systemen ist relativ hoch, vor allem lumbal. (Starker Konsens, Zustimmung 100%, 3 Enthaltungen wegen Interessenkonflikt)

VBT gehört zu den wachstumslenkenden Verfahren und basiert auf den Prinzipien der Wachstumsmodulation. Auf der Konvexseite der Krümmung werden anterolateral Schrauben in die Wirbelkörper eingebracht, die mit einem flexiblen Band bzw. Seil verbunden werden. Hierdurch soll das Wachstum auf der konvexen und anterioren Seite gehemmt werden, so dass der konkave und posteriore Bereich aufholen kann. Dabei soll die Beweglichkeit weitestgehend erhalten werden. Eine Fusion wird nicht angestrebt. Eine klinische Untersuchung, die das Bewegungsausmaß vor und nach der OP untersucht, fehlt bislang. Es

wird aber angenommen, dass die Einschränkung der Beweglichkeit geringer ist als bei einer Spondylodese oder nach Einbau von festen Wachstumsstäben.

Durch den Einsatz des VBT wird das Längenwachstum nur auf der konvexen Seite beschränkt, so dass ein Einsatz auch vor Wachstumsabschluss möglich ist. Allerdings sollte er nicht so früh erfolgen, dass es zu einer Überkorrektur kommen kann, weshalb eine präzise Vorhersage des noch zu erwartenden Wirbelwachstums notwendig ist. Dies ist auch von der direkt postoperativen Krümmung abhängig. Je größer die Krümmung ist, desto länger dauert es, bis es zu einer Überkorrektur kommt. Als ideal für die Operation wird von einigen Autoren das Stadium Sanders 3-4 angesehen, weil hier das zu erwartende Wachstum einigermaßen präzise vorhergesagt werden kann [217]. Zu diesem Zeitpunkt beträgt das Restwachstum des Körpers jedoch weniger als 10 cm, weshalb man sich überlegen muss, ob die Vorteile die potentiellen Risiken rechtfertigen.

Thorakal wird das System meist thorakoskopisch oder mittels mehrerer kleiner Zugänge eingebracht. Es werden die typischen Komplikationen nach Thorakotomie berichtet. Die Autoren berichten von einem sehr geringen Blutverlust, jedoch waren die Aufenthaltsdauer auf Intensivstation, im Krankenhaus und die OP-Zeit eher größer als man das von dorsalen Eingriffen erwarten würden [11]. Ein Vergleich zu ventralen fusionierenden Verfahren existiert nicht.

Da keine Fusion abgewartet werden muss, dürfen die Patienten sich nach Entlassung wieder schneller eingliedern und früher mit sportlichen Aktivitäten beginnen. Im Gegensatz zu dorsalen wachstumslenkenden Verfahren scheinen Schraubenlockerung bislang kein relevantes Problem darzustellen, was sportlichen Patienten ebenfalls entgegenkommen sollte.

Durch die rechtzeitige Anwendung des VBT soll es zu einer dauerhaften Wachstumskorrektur kommen, so dass eine spätere Spondylodese wahrscheinlich verhindert werden kann. Selbst bei Riss des Bandes kann die durch das Wachstum erzielte Korrektur in vielen Fällen erhalten werden.

Das System wird in der Regel von Endwirbel zu Endwirbel implantiert, so dass bei einer späteren Spondylodese auch keine Verlängerung der Instrumentationsstrecke zu erwarten ist. Eine dorsale Spondylodese sollte auch nach ventralem Einbringen des VBT möglich sein. Inwieweit das intakte Band die Korrekturmanöver stört, ist nicht geklärt, da es hierüber nur Einzelfallberichte gibt.

Über die Versorgung von Krümmungen mit 2 Bändern anstatt mit 1 Band pro Krümmung findet sich wenig Literatur. Die Herstellerfirma empfiehlt die Verwendung von zwei Seilen bei lumbalen Krümmungen aufgrund der hohen Versagensraten. Inwieweit dies die lumbale Beweglichkeit oder das Wachstum zusätzlich beeinträchtigt, und ob die Versagensrate

dadurch dauerhaft vermindert werden kann, ist noch nicht belegt. In ersten Studien (12 Patienten, 1 Jahr Follow-up) hat der Einsatz von 2 Bändern lumbal einen geringen positiven Einfluss auf die Versagensrate [326].

In Tierversuchen wurde gezeigt, dass die Kompressionskräfte, die auf die Wachstumsfugen der Wirbelkörper wirken, das Wachstum der Wirbelkörper modulieren [219, 222]. Dabei werden die Bandscheiben zumindest in den kurzen Beobachtungszeiträumen der tierexperimentellen Studien nicht beschädigt [331].

Die experimentell untersuchte Beweglichkeit zeigte sich in Richtung der gegenüber des Bandes liegenden Konkavseite deutlich in der Lateroflexion eingeschränkt, ansonsten wurde nur eine geringe Einschränkung der Beweglichkeit beobachtet [219].

Die erste Fallvorstellung über einen 8-jährigen Jungen mit rechtskonvexer Thorakalskoliose wurde 2010 veröffentlicht [53]. In Folge wurden mehrere Kleinserien mit 1-2 Jahren Follow-up veröffentlicht [51, 271, 272]. Mittelfristige Ergebnisse mit 2-4 Jahren Follow-up bei 17 Patienten (davon 14 AIS) wurden 2018 von Newton et al. publiziert [220]. Alle Patienten befanden sich entweder vor oder in einer sehr frühen Phase des pubertären Wachstumsschubes (Risser Zeichen 0, Sanders Stadium 1-4). Die initiale Korrektur erfolgte von 52° auf 31°, nach 18 Monaten auf 24° und beim letzten Follow-up auf 27°. Die Korrektur lag zwischen 5% und 118%. Bei 47% wurde ein gerissenes Band vermutet, 59% der Prozeduren wurden als Erfolg gewertet. Bei 7 der 17 Patienten (41%) erfolgte eine Revisions-OP.

Ein Follow-up von mindestens 4 Jahren wurde von Wong et al. veröffentlicht, allerdings nur bei 5 Patienten mit moderater präoperativer Krümmung von 40°, von denen 4 sich noch in Reifestadium Sanders 4 oder geringer befunden hatten [359]. Die Korrektur schwankte zwischen 0% und 133%, 2 der 5 Patienten erhielten eine Fusion.

Hoernschemeyer et al. untersuchten 29 Patienten nach 2-5 Jahren, die sich in verschiedenen Skeletteifestadien befanden (Risser 0-4) [121]. Bei 48% der Patienten wurde eine Ruptur des Bandes in mindestens einem Segment beobachtet, trotzdem wurde die Behandlung bei der Hälfte des gesamten Patientenkollektivs als erfolgreich eingestuft.

Baroncini et al. berichtete 2021 über die Lernkurve der ersten 90 Operationen in Deutschland [11]. Hier wurden jedoch vor allem die perioperativen Parameter wie die Verkürzung der OP-Zeit berichtet. Es ist jedoch anzunehmen, dass in Kliniken, die zuvor schon andere ventrale Verfahren zur Skolioseaufrichtung angewendet haben, die Veränderungen geringer ausfallen würden. Bemerkenswert ist, dass im Wesentlichen ältere Patienten (14,6 Jahre im Schnitt) gegen Ende der Wachstumsphase (Risser 2-3, Sanders 5) operiert wurden. Ein wesentlicher Anteil der Korrektur erfolgte bereits während der OP; Nachuntersuchungsergebnisse werden nicht angegeben.

Dieselbe Arbeitsgruppe berichtete über die Durchführung und Komplikationsraten bei beidseitigen thorakalen und lumbalen Eingriffen in einer Sitzung bei 25 Patienten [12]. Angaben zum Outcome und Verlaufskontrollen wurden nicht dargestellt.

In einem Übersichtsartikel empfahl der Seniorautor das Verfahren vor allem für sehr flexible lumbale Krümmungen gegen Ende des Wachstums, da der Vorteil der Erhaltung eines Teils der lumbalen Beweglichkeit einen höheren Mehrwert als der der thorakalen habe [327].

Im Kollektiv von Trobisch et al. konnte bei lumbalen Skoliosen nach 1 Jahr bei > 50% der 30 Patienten ein Bandriss festgestellt werden. Durch den Einsatz von 2 Bändern konnte dies nicht signifikant gesenkt werden. Die Revisionsrate betrug 10% [326]. Eine kürzlich erschienene Publikation von 105 AIS-Patienten beschreibt eine Bandriss-Quote von 71% lumbal vs. 29% thorakal [13].

Längerfristige Ergebnisse stehen noch aus.

Anzumerken ist, dass bei 2 von 3 VBT Herstellern die Zulassung nur auf thorakale Skoliosen beschränkt ist.

Alanay et al. untersuchten den Einfluss des Skelettreifegrades nach Sanders auf die Korrektur und Komplikationsrate [4]. 31 Patienten mit Thorakalskoliose wurden nach 1 bis 5 Jahren nachuntersucht. Patienten mit Sanders 1 und 2, die im Untersuchungszeitraum 17 bzw. 13 cm wuchsen, hatten mehr mechanische Komplikationen (60%) oder Überkorrekturen (80%) als ältere Patienten bei Index-OP.

Newton empfahl das Verfahren vor allem für rechtskonvexe thorakale Skoliosen zwischen 45° und 65° [217]. Bei doppelbogigen Krümmungen sah er die Vorhersagbarkeit der Korrektur von 2 Krümmungen als schwierig an, weshalb er vor allem Lenke 1AL und 1B Kurven für dieses Verfahren empfahl. Voraussetzung sei ein noch ausreichendes Wachstum währenddessen es zu einer Korrektur kommt, allerdings sei bei einem zu frühen Einsatz das Ergebnis schwer vorherzusagen, weshalb er den optimalen Zeitpunkt im Stadium Sanders 3-4. Newton sieht den Sinn im Einsatz dieses Implantates in der wachstumsbedingten Anpassung der Wirbelkörperform, weshalb er einen Einsatz gegen Ende oder nach Abschluss der Wachstumsphase nicht nachvollziehen kann. Es gibt keinen Hinweis darauf, dass das System die Korrektur dauerhaft halten könne, und die hohe Rate an Materialversagen innerhalb der ersten Jahre spreche nicht dafür, dass man sich dauerhaft darauf verlassen könne. Da auch nach selektiver thorakaler Fusion die Bewegungseinschränkung nicht sehr groß sei, spreche der Vorteil nicht für das Risiko einer neuen als minimalinvasiv bezeichneten Methode.

Betz et al. haben die Indikation des Systems auf Krümmungen bis 95°, die sich nicht unter 30° spontan korrigieren, und bei Patienten > Sanders 4 ausgedehnt [20]. Obwohl dasselbe System verwendet wird, nennt er das Verfahren nun „Anterior Scoliosis Correction“. Der Unterschied

besteht im Wesentlichen darin, dass das Längsband und die Bandscheiben eingekerbt werden (Release), um die Beweglichkeit zu erhöhen und besser derotieren zu können. Ein Wirksamkeitsnachweis, Nachweis der dauerhaften Beweglichkeit oder ein Vorteil gegenüber einer ventralen Fusion stehen noch aus. Zudem kann der Autor entsprechend seiner eigenen Angaben nicht als unabhängig angesehen werden.

Bezüglich Invasivität gelten dieselben Kriterien wie bei der ventralen Fusion.

2.8 Skoliose im Alltag

2.8.1 Berufsauswahl nach konservativer / operativer Therapie

Empfehlung: Die Berufsberatung eines AIS-Patienten soll individuell sein und Krümmungsgrad, Progredienz und klinische Beschwerden berücksichtigen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Es gibt keine wissenschaftlich untermauerten klaren Empfehlungen für oder gegen spezifische Berufe für AIS-Patienten. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Bezüglich der Empfehlung und Festlegung der Berufswahl nach konservativer oder operativer Therapie einer AIS gibt es wenige spezielle wissenschaftliche Arbeiten mit expliziten Empfehlungen zu beruflichen Tätigkeiten bei Skoliosen.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass bzgl. der Berufswahl aus therapeutischer Sicht lediglich vorsichtige Informationen gegeben werden sollten. Die Berufswahl ist etwas sehr Persönliches und Individuelles und die Studien- und Datenlage erlaubt keine klaren Empfehlungen in die eine oder andere Richtung.

In Bezug auf die Wirbelsäule wird das Leistungsvermögen im Erwerbsleben überwiegend durch die Schmerzsymptomatik und die Rigidität der Wirbelsäule beeinträchtigt. Problematisch können dabei unter Umständen sein:

- häufiges Bücken
- schweres Heben und Tragen von mittelschweren und schweren Lasten
- andauerndes Stehen, insbesondere auf Leitern oder Gerüsten
- andauerndes Gehen
- monotone Körperhaltungen und Zwangshaltungen, ohne die Möglichkeit des Positionswechsels bzw. des Wechsels zwischen Sitzen, Stehen und Gehen

Leichte bis mittelschwere Arbeiten sind ohne Einschränkung der Arbeitsorganisation vollschichtig möglich.

Wie im Kapitel 2.6 (Natürlicher Verlauf) dargestellt, zeigen einige Studien, dass die Wahrscheinlichkeit von Rückenschmerzen bei AIS-Patienten im Verlauf des Lebens erhöht ist. Balagué et al. beschrieben in ihrem nicht-systematischen, narrativen Review, dass Rückenschmerzen bei AIS-Patienten häufig vorkommen, eine klare Korrelation zwischen Cobb-Winkel und Schmerz konnte nicht nachgewiesen werden [10].

Das ist ein Argument dafür, AIS-Patienten bei der Berufswahl tendenziell eher nicht Berufe zu empfehlen, die die Wirbelsäule übermäßig belasten und auch ohne Skoliose bereits hohe Wahrscheinlichkeiten von Rückenschmerzen mit sich bringen.

Demgegenüber kamen Wibner et al. in ihrer Studie an 41 AIS-Patienten zu dem Schluss, dass bei konservativ therapierten Patienten im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung keine Nachteile in Bezug auf Beruf, Bildung und Sport vorlägen [353].

Für den Alltag der Patienten, die sich im Rahmen ihrer Skoliose-Behandlung einer Korrekturspondylodese unterzogen, führte Seifert in einer narrativen Übersichtsarbeit an, dass die nach den heutigen Regeln der Skoliosechirurgie operierten Patienten ein völlig normales Leben führen, in den Alltag integriert und für die meisten Berufe und Sportarten voll belastbar sind [288]. Sie bekommen Kinder und haben kaum von der Norm abweichende Berentungsquoten.

Kotani et al. beschrieben, dass ein Drittel der Patienten mit einer Skoliose, die sich einer Wirbelsäulenoperation unterzogen hatten, sich für eine Karriere im Gesundheitswesen entscheiden [151]. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Erfahrungen der Patienten im Krankenhaus ihre zukünftigen Karrierewege positiv beeinflusst haben.

Die Statistiken der Gesundheitsberichterstattung des Bundes (www.gbe-bund.de) zeigen, dass in der gesetzlichen Rentenversicherung je 100.000 aktiv Versicherter im Jahr 2015 aufgrund der Erst-Diagnose „Skoliose“ (ICD-10: M41) 204 Rentenzugänge wegen verminderter Erwerbsfähigkeit zu verzeichnen waren, bei Erst-Diagnose „Sonstige Deformitäten des Rückens und der Wirbelsäule“ (ICD-10: M43) waren es 295 [101]. Die Skoliose scheint also mit zunehmendem Alter Einfluss auf die Erwerbsfähigkeit haben zu können, wobei hier idiopathische und degenerative Skoliosen nicht differenziert wurden.

In der Leitlinie der sozialmedizinischen Begutachtung bei Menschen mit muskuloskelettalen Erkrankungen der Deutschen Rentenversicherung Bund wird nur knapp auf Skoliosen eingegangen, klare Empfehlungen zur Berufswahl werden nicht geäußert [252]: „Reha-Bedürftigkeit kann bei strukturellen Skoliosen zum Beispiel in Abhängigkeit vom klinischen Befund, von der Beschwerdesymptomatik, vom Alter der Versicherten und von beruflichen Belastungsmerkmalen bestehen.“.

Die klinische Erfahrung sowie Verwaltungsgerichtsentscheidungen zeigen, dass AIS-Patienten Probleme bei einer Verbeamtung haben können. Im Regelfall werden Erkrankungen der Wirbelsäule wie die AIS bei einer Verbeamtung im Rahmen der Prüfung der Diensttauglichkeit nicht akzeptiert. Bei geringgradigen Skoliosen können Gesundheitsämter u.U. von ihrem Prognoseermessen zur Frage des vorzeitigen Eintritts dauernder Dienstunfähigkeit zugunsten des Patienten Gebrauch machen. Am ehesten Chancen haben Bewerber, bei denen eine Schwerbehinderung amtlich festgestellt wurde, da hier die Gleichstellungsgesetze gelten und der Bewerber daher nur ein Mindestmaß an körperlicher Eignung aufweisen muss.

2.8.2 AIS und GdB

Statement: Patienten mit AIS können einen Antrag auf GdB stellen. (Konsens, Zustimmung 94%)

In Bezug auf die AIS ist der Grad der Behinderung (GdB) nach der Versorgungsmedizin-Verordnung (VersMedV) und der zu deren § 2 erlassenen Anlage „Versorgungsmedizinische Grundsätze“ zu beurteilen [30].

Der GdS (Grad der Schädigung) und der daraus zu ermittelnde GdB bei angeborenen und erworbenen Wirbelsäulenschäden ergibt sich nach Teil B Ziffer 18.9 der Versorgungsmedizinischen Grundsätze primär aus dem Ausmaß der Bewegungseinschränkung, der Wirbelsäulenverformung und -instabilität sowie aus der Anzahl der betroffenen Wirbelsäulenabschnitte.

Bei der Anwendung der folgenden Tabelle (Ziffer 18.9 der Anlage zu § 2 VersMedV) [30] ist zu beachten, dass die darin angegebenen GdS-Werte Anhaltswerte sind. In jedem Einzelfall sind alle die Teilhabe beeinträchtigenden körperlichen, geistigen und seelischen Störungen zu berücksichtigen; die Beurteilungsspannen tragen den Besonderheiten des Einzelfalles Rechnung.

Wirbelsäulenschäden	GdS/GdB
ohne Bewegungseinschränkungen oder Instabilität	0
mit geringen funktionellen Auswirkungen (<i>Verformung, rezidivierende oder anhaltende Bewegungseinschränkung oder Instabilität geringen Grades, seltene und kurz dauernd auftretende leichte Wirbelsäulensyndrome</i>)	10
mit mittelgradigen funktionellen Auswirkungen in einem Wirbelsäulenabschnitt (<i>Verformung, häufig rezidivierende oder anhaltende Bewegungseinschränkung oder Instabilität mittleren Grades, häufig rezidivierende und über Tage andauernde Wirbelsäulensyndrome</i>)	20

mit schweren funktionellen Auswirkungen in einem Wirbelsäulenabschnitt (<i>Verformung, häufig rezidivierende oder anhaltende Bewegungseinschränkung oder Instabilität schweren Grades, häufig rezidivierende und Wochen andauernde ausgeprägte Wirbelsäulensyndrome</i>)	30
mit mittelgradigen bis schweren funktionellen Auswirkungen in zwei Wirbelsäulenabschnitten	30 - 40
mit besonders schweren Auswirkungen (<i>z.B. Versteifung großer Teile der Wirbelsäule; anhaltende Ruhigstellung durch Rumpforthese, die drei Wirbelsäulenabschnitte umfasst [z.B. Milwaukee-Korsett]; schwere Skoliose [ab ca. 70° nach Cobb]</i>)	50 - 70
bei schwerster Belastungsinsuffizienz bis zur Geh- und Stehunsfähigkeit	80 - 100

Auftretende neurologische Ausfälle oder schmerzhafte degenerative Veränderungen, die auf die Skoliose zurückzuführen sind, müssen mitbewertet werden. Ebenfalls sowohl bei operierten als auch nicht operierten Patienten zu betrachten sind relevante pulmonale Einschränkungen, da schwere Thorakalskoliosen zu restriktiven Lungenfunktionsstörungen mit konsekutiver Rechtsherzbelastung führen können.

2.8.3 AIS und Sexualität

Sexualität kann auf die Gesamtheit von Lebensäußerungen, Verhaltensweisen, Empfindungen und Interaktionen von Patienten mit einer AIS in Bezug auf ihr Geschlecht verstanden werden. Das von der äußeren Erscheinung geprägte Erscheinungsbild eines Menschen beeinflusst maßgeblich das von frühester Kindheit an entwickelte Selbstwertgefühl. Eine Skoliose verursacht mehrere Rumpfdeformationen, die die Wahrnehmung des Körpers einer Person beeinträchtigen können.

Nur wenige Studien haben sich mit dem Thema "Sexualität und Skoliose" befasst, allerdings nur in Bezug auf Frauen mit einer Skoliose, Studien zu Männern liegen nicht vor. Untersucht wurden dabei unterschiedliche Parameter.

Durmala et al. beschrieben bei Frauen mit AIS nach einer konservativen Skoliosetherapie keinen negativen Einfluss der Skoliose auf Selbstwertgefühl und „sexuelle Funktionalität“ (Zitat der Studie), wohl aber auf Selbstsicherheit und sexuelle Erregung [78]. Diese Gruppe fand keine Korrelation zwischen Cobbwinkel und sexueller Funktionsstörung.

Auch Falick-Michaeli et al. fanden keinen signifikanten Unterschied der Sexualfunktion zwischen an der AIS operierten schwangeren und nicht-schwangeren AIS-Patientinnen und gesunden Schwangeren [85].

Grabala et al. beschrieben beim Vergleich zwischen operierten AIS-Patientinnen ohne Schwangerschaft mit operierten AIS-Patientinnen mit Schwangerschaft mit gesunden Kontrollen ohne Schwangerschaft und gesunden Kontrollen mit Schwangerschaft keine sexuellen Dysfunktionen bei Skoliose-Patientinnen [104].

2.8.4 Psychosoziale Belastungen / Körperwahrnehmung von AIS-Patienten

Statement: Die Körperwahrnehmung ist bei AIS-Patienten häufig gestört. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Die gestörte Körperwahrnehmung bei AIS kann zu psychosozialen Belastungen führen. Die Einleitung einer frühzeitigen psychosozialen Unterstützung sollte in diesen Fällen für die umfassende Versorgung der Patienten erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die Diagnose und Therapie der AIS ist häufig mit psychosozialen Belastungen verbunden.

In einer US-amerikanischen populationsbasierten Fall-Kontroll-Studie zur Frage nach dem psychologischen Effekt der AIS konnte bei 685 Adoleszenten die Skoliose als unabhängiger Risikofaktor für suizidale Gedanken, Sorgen über die eigene körperliche Entwicklung und Störungen der Kontakte mit gleichaltrigen Peers gezeigt werden [232].

Auch Freidel et al. beschrieben bei AIS-Patientinnen eine Reduktion der gesundheitsbedingten Lebensqualität, weshalb sie eine Berücksichtigung der psychosozialen Situation bei jeder Form der AIS-Therapie empfehlen [95].

In einem ausführlichen Review zu psychosozialen Belastungsfaktoren konnte ein Zusammenhang von gestörter Körperwahrnehmung und psychosozialen Schwierigkeiten festgestellt werden, zudem konnte gezeigt werden, dass AIS-Patienten einen niedrigeren BMI und ein höheres Risiko für affektive Störungen aufwiesen [97].

In einer koreanischen Kohorte von 110 AIS-Patientinnen konnten eine Erstdiagnose der Skoliose im eher jüngeren Lebensalter, konservative Therapien und geringere Krümmung mit besserer gesundheitsbezogener Lebensqualität assoziiert werden [165].

Auch Savvides et al. beschrieben, dass Patienten mit AIS mehr Bedenken bzgl. ihres Körperbildes haben als Personen ohne Skoliose [276].

Obwohl bei der Analyse der Lebensqualität von Patienten mit AIS insgesamt sehr uneinheitliche Messinstrumente eingesetzt wurden, besteht bei den zumeist weiblichen jugendlichen AIS-Patientinnen zusammengefasst eine vor allem durch gestörte Körperwahrnehmung bedingte Einschränkung der Lebensqualität. Diese Einschränkungen bestehen meist in negativer Lebenseinstellung, vermindertem Selbstwertgefühl bis hin zu erhöhtem Vorkommen von Suizidalität.

Mögliche Interventionen umfassen frühe psychosoziale Unterstützung mit dem Ziel einer adäquaten Körperwahrnehmung und frühzeitigen, intensiven rehabilitativen Maßnahmen unter Miteinbeziehung der Eltern.

Eine gestörte Körperwahrnehmung in der Pubertät ist ein Risikofaktor für das Auftreten von Rückenschmerzen [79].

Für den deutschsprachigen Bereich sind folgende Fragebögen validiert und verfügbar, die sich mit Lebensqualität und Körperbild bei Skoliose-Patienten beschäftigen:

Spinal Appearance Questionnaire (SAQ) [316]

Trunk Appearance Perception Scale (TAPS) [316]

Body Image Disturbance Questionnaire-Scoliosis (BIDQ-S) [352]

Quality of Life Profile for Spinal Disorders (QLPSD) [282]

Scoliosis Research Society 22-r (SRS 22-r) [224]

Fragebogen Körperdysmorpher Symptome (FKS) [26]

2.8.5 AIS und Schwangerschaft / Geburt

Statement: Eine AIS ist kein Hindernis für eine normale Schwangerschaft und natürliche Geburt. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Ob eine Krümmungszunahme in Folge der Schwangerschaft auftritt, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. (Konsens, Zustimmung 94%)

Da 85 % der AIS-Patienten Frauen sind und die Erkrankung in der Pubertät auftritt, ist durch die anstehende Transition vom Jugendlichen zum Erwachsenen der Einfluss der Skoliose auf eine spätere Schwangerschaft natürlich besonders relevant [149, 258]. Gerade zum Ende der Pubertät und damit zum Ende der Behandlung ist dies häufig Gegenstand von Fragestellungen in der Sprechstunde [65].

Eine Übersichtsarbeit von Dewan et al. hat im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche 22 Studien, die zwischen 1980 bis 2015 veröffentlicht wurden und den

Einfluss einer Schwangerschaft auf AIS zum Thema hatten, zusammengefasst [65]. Insgesamt wurden dabei 3125 Patientinnen mit einer AIS erfasst und ausgewertet.

Dewan et al. beschrieben bei Frauen mit AIS leicht erhöhte Raten von Nulliparität und Unfruchtbarkeitsbehandlungen, Rückenschmerzen vor Geburt und Krümmungszunahmen peripartal, aber kein erhöhtes Risiko einer Frühgeburt und keine erhöhten Raten an perinatalen Komplikationen. Dewan et al. beschrieben keine Korrelation der Kurvenklassifikation (z.B. Lenke, King) mit einer schwangerschaftsbedingten Krümmungszunahme oder Rückenschmerzen [65].

Chan et al. beschrieben, dass das Ausmaß einer Krümmung keinen Effekt auf Entbindungskomplikationen hatte, und dass keine Krümmungszunahme während oder nach der Geburt auftrat [39].

Danielsson und Nachemson fanden in ihrer Studie keine Korrelation zwischen dem Progress einer Krümmung und der Anzahl an Schwangerschaften oder zwischen Krümmungsprogress und Alter bei Erst-Schwangerschaft [55].

Schmerz gehört zu den Hauptsorgen von Frauen, die sich der Geburt nähern, und die neuroaxiale (d.h. peridurale oder spinale) Anästhesie wird als die effektivste Form der Wehenschmerzlinderung akzeptiert [7, 65]. Auch AIS-Patientinnen können erfolgreich mit einer periduralen Anästhesie versorgt werden, egal ob sie in der Vergangenheit an der AIS operiert worden sind oder nicht [104]. Im Falle eines Zustandes nach OP der AIS kann die Anlage allerdings bei einigen Patientinnen erschwert sein.

Während Grabala et al. in ihrer Studie publizierten, die Kaiserschnitttrate bei AIS-Patientinnen nach Skoliose-OP sei höher als bei vergleichbar gesunden Kontrollen und eine Fusion bis L4 führte zu erhöhten Sektio-Raten [104], beschrieben Dewan et al. in ihrem Review keine erhöhte Kaiserschnitttrate bei AIS-Patientinnen [65]. Fraglich darf angemerkt werden, dass unklar ist, ob erhöhte Kaiserschnittraten medizinisch zwingend der AIS zuzuschreiben sind oder eher als Vorsichtsmaßnahmen von Seiten der Geburtshelfer / Anästhesie zu sehen sind.

Cao et al. beschrieben bei ihrer Kohorte an ventral operierten lumbalen AIS-Patientinnen keine erhöhte Kaiserschnitttrate und keine vermehrten perinatalen Komplikationen, aber einen höheren Anteil an Vollnarkosen bei Kaiserschnitten im Vergleich zu Gesunden [37].

Swany et al. veröffentlichten 2020 eine Langzeit-Kohortenstudie mit 60 AIS-Patientinnen und beschrieben bei fusionierten Patientinnen eine höhere Rate an Kaiserschnitten als bei nicht operierten AIS-Patientinnen [308]. Eine Fusion bis L3 oder kaudaler führte zu einer höheren Sektio-Rate als eine Fusion bis L2 oder kranialer.

2.8.6 AIS und Sport

Sport und Skoliose – Belastung:

Empfehlung: Ein prinzipielles Verbot einzelner Sportarten ist nicht gerechtfertigt und soll nicht erfolgen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: AIS-Patienten sollen sportlich aktiv sein. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Sport ist für AIS-Patienten wichtig und empfehlenswert. Gesicherte wissenschaftliche Daten, die einen negativen Einfluss einer sportlichen Betätigung auf eine Skoliose belegen könnten, liegen nicht vor. Sport führt nicht zu einer idiopathischen Skoliose.

Obwohl bis heute keine Publikationen mit biomechanischen Untersuchungen vorliegen, wird davon ausgegangen, dass einzelne Sportarten zu erhöhten „Stoßbelastungen“ der Wirbelsäule führen könnten [281]. Empfehlungen zu körperlicher Aktivität und Sport bei AIS beruhen in der Regel auf Expertenmeinungen und basieren nicht auf einer fundierten Studienlage, das Evidenzniveau in der dazu veröffentlichten Literatur ist relativ niedrig [106]. Insbesondere gibt es keine gesicherten Hinweise dafür, dass bei vorbestehender Skoliose bestimmte Sportarten zu einer Zunahme der Verkrümmung führen. Es liegen generell kaum gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse zu diesem Thema vor [176].

In einem systematischen Literatur-Review kamen Green et al. zu dem Fazit, dass Korsett-behandelte und operierte Skoliose-Patienten auf demselben Niveau körperlich aktiv sein können wie gesunde Kontroll-Personen [106].

Patienten mit ausgeprägten Krümmungen ($\geq 45^\circ$) tendierten bei Youssef et al. zu geringerer Frequenz und Qualität bei der Sportausübung verglichen mit Patienten mit geringer ausgeprägten Krümmungen, zudem trat häufiger eine Dyspnoe auf [366].

Liljenqvist et al. verweisen in ihrer Übersichtsarbeit bei höhergeradigen Skoliosen mit Krümmungen über 50° nach Cobb im Bereich der Brustwirbelsäule auf eine mögliche zunehmende Einschränkung der Lungenfunktion, obwohl eine subjektiv empfundene, belastungsabhängige Atemnot häufig erst bei Thorakalskoliosen ab $80 - 90^\circ$ auftritt [176].

Patienten mit Skoliosen im Bereich der Lendenwirbelsäule haben ein erhöhtes Risiko, Rückenschmerzen zu entwickeln [176].

Verschiedene Autoren [106, 124, 176] haben Sportempfehlungen in Abhängigkeit vom Krümmungswinkel (nach Cobb) und in Bezug auf Breiten-, Schul- und Leistungssport basierend auf Literaturrecherchen sowie auf persönlichen Erfahrungen der Autoren basierend auf langjähriger Betreuung von Skoliose-Patienten und Leistungssportlern ausgesprochen.

Generell wird hier die sportliche Aktivität für Patienten mit einer Skoliose empfohlen, vor allem vor dem Hintergrund, dass bereits Patienten mit einer Skoliose von 30° eine herabgesetzte Lungenfunktion haben können und dies durch körperliches Training deutlich kompensiert werden kann [176].

Patienten unter Korsett-Behandlung:

Empfehlung: Unter der Korsett-Behandlung soll eine sportliche Betätigung erfolgen. Während des Sports soll kein Korsett getragen werden. Die Dauer der sportlichen Betätigung soll auf die Korsett-Tragezeit angerechnet werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Die wenige zur Verfügung stehende Literatur zu diesem Thema empfiehlt, dass Skoliose-Patienten, bei denen eine Korsett-Therapie durchgeführt wird, sportlich aktiv sind [124, 176, 281]

In einem systematischen Literatur-Review kamen Green et al. zu dem Fazit, dass Korsett-behandelte und operierte Skoliose-Patienten auf demselben Niveau körperlich aktiv sein können wie gesunde Kontroll-Personen [106].

Außerdem kann durch Sport einer Gewichtszunahme durch Inaktivität entgegengewirkt werden, ein nicht zu unterschätzender positiver Effekt vor dem Hintergrund, dass bei Adipositas eines Patienten die Korsett-Wirkung herabgesetzt sein kann [227].

Eine kürzlich publizierte Studie von Negrini et al. beschrieb im direkten Vergleich von 495 AIS-Patienten unter Korsett-Therapie mit max. 1x wöchentlich sportlicher Betätigung mit 290 AIS-Patienten unter Korsett-Therapie mit mindestens 2x wöchentlich Sport nach 18 Monaten eine signifikant deutliche Verbesserung des Cobb-Winkels in der Sport-Gruppe [212].

Um die Patienten zum Sport zu ermutigen und um den Sport zu ermöglichen, soll das Korsett beim Sport nicht getragen werden [124, 176, 281].

Um die Patienten zum Sport zu ermutigen, beschreibt die wenige verfügbare Literatur, dass die Dauer des Sports auf die Korsett-Tragedauer und die Dauer der Physiotherapie angerechnet werden soll [124, 176].

Schulsport:

Empfehlung: AIS-Patienten sollen aktiv am Schulsport teilnehmen (Ausnahme: unmittelbar postoperativ 1 Jahr nach Spondylodese-OP kein Schulsport empfohlen). (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Generell empfiehlt die verfügbare Literatur die Teilnahme am Schulsport [124, 176, 281]. Es finden sich keine wissenschaftlichen Belege, dass Sport auf Breitensportniveau einen negativen Einfluss auf den Verlauf einer Skoliose hat [106, 176], weshalb im Schulsportbereich aus orthopädischer Sicht keine Einschränkungen hinsichtlich der sportlichen Betätigung bestehen.

Empfehlung: AIS-Patienten sollen vom behandelnden Arzt ein Attest angeboten bekommen, in dem individuelle Einschränkungen durch die Skoliose bzw. durch eine stattgehabte OP so klar wie möglich definiert werden, um den Sportlehrern eine Basis für angepasst individuelle sportliche Anforderungen an den Schüler zu ermöglichen. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Vor dem Hintergrund, dass Patienten bereits mit einer Skoliose von 30° eine herabgesetzte Lungenfunktion haben können [176], soll ggf. eine Anpassung der Benotung indiziert sein. Lehrer sollen berücksichtigen, dass sportliches Können von individuellen körperlichen Voraussetzungen abhängig ist und dass für die Note die individuellen Lernfortschritte entscheidend sind [77]. Die Sorge um eine „schlechte“ Sportnote soll daher kein Argument für eine Schulsportbefreiung sein.

Leistungssport:

Statement: Generell gibt es keine wissenschaftliche Begründung dafür, AIS-Patienten generell vom Leistungssport abraten zu müssen, eine individuelle Beratung ist notwendig. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Berücksichtigt man den nachgewiesenen Effekt des direkten Einflusses der Tragedauer eines Korsetts auf die Effektivität der Korsett-Therapie mit relevanten Effekten erst ab mehreren Stunden Tragedauer täglich [348], so könnte im logischen Analogieschluss gefolgert werden, dass auch bei sportlichen Belastungen relevante Effekte erst bei mindestens mehrstündiger täglicher Sportbelastung zu erwarten sind. Eine solche Intensität übersteigt das im Alltag meistens gewünschte und mit Familien diskutierte Sportniveau bei Weitem. Lediglich bei einer Intensität auf Leistungssport-Niveau mit entsprechender täglicher Stundendauer kann somit überhaupt mit relevanten negativen Effekten gerechnet werden.

Hinweise in der Literatur beschreiben, dass intensiver Sport bei bestimmten einseitig die Wirbelsäule belastenden Sportarten auf Leistungssportniveau (Tennis, Schwimmtechniken mit ausgeprägter Seitendominanz, Speerwerfen, Turnen, Football und Tanzen) zu Skoliosen führen können, wobei es sich nicht um echte adoleszente idiopathische Skoliosen handelt, sondern um funktionelle milde und voll reversible Skoliosen [176, 281]. Lediglich bei Hochleistungsturnerinnen (vor allem rhythmische Sportgymnastik) hat man eine Häufung struktureller Skoliosen gefunden [312]. Allerdings ist die Auswahl des Kontrollkollektives sehr kritisch zu betrachten. Es sei nochmals betont, dass es keine wirklich soliden wissenschaftlichen Begründungen dafür gibt, einem Patienten von einer konkreten Sportart abzuraten (Ausnahme: direkt nach OP).

Sport nach Skoliose – OP:

Empfehlung: AIS-Patienten sollen auch nach einer Korrektur-Operation sportliche Betätigungen empfohlen werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Statement: Je kaudaler die Instrumentation lumbal endet, desto mehr sind Patienten nach OP im Sport eingeschränkt. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Nach einer korrigierenden Instrumentationsspondylodese soll AIS-Patienten nach 3 bis 6 Monaten die Ausübung von nicht-kompetitivem Nicht-Kontakt-Sport ohne Zwangshaltungen und übermäßige Biegebelastungen sowie Erschütterungen der Wirbelsäule (z.B. Schwimmen, Radfahren, Walken, Joggen) erlaubt werden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Empfehlung: Nach einer korrigierenden Instrumentationsspondylodese sollten AIS-Patienten für 6 bis 12 Monate keinen Kontaktsport und Leistungssport ausüben, um die Entstehung der gewünschten Fusion nicht zu gefährden. (Starker Konsens, Zustimmung 100%)

Eindeutige wissenschaftliche Erkenntnisse über die mittel- und langfristigen Folgen von sportlicher Betätigung nach einer AIS-Korrektur-Operation der Wirbelsäule existieren nicht und es existieren nur sehr wenige aussagekräftige Publikationen.

Empfehlungen, wann welche Sportart bei welcher AIS-Situation (konservative Therapie bzw. OP) ausgeübt werden darf, basieren vollständig auf Expertenmeinungen und persönlicher Einschätzung der Therapeuten. Harte Evidenz für konkrete Empfehlungen gibt es nicht.

Eine individuelle Beratung ist sinnvoll unter Berücksichtigung von Faktoren wie Fusionslänge (insbesondere der Lendenwirbelsäule), Ausprägung der Restkrümmung, Alter des Patienten

und klinischem Befund. Ziele der sportlichen Betätigung sind u.a. die Kräftigung der Muskulatur, körperliche Fitness, der Erhalt der Beweglichkeit und eine Gewichtsoptimierung.

Frühere Empfehlungen zur gänzlichen Vermeidung sportlicher Aktivitäten, insbesondere nach längerer Instrumentation bis zur LWS hatten vor allem mit der weniger stabilen Instrumentation und Befürchtungen hinsichtlich eines Implantat-Bruches zu tun. Heutige Überlegungen zielen eher darauf, die Wahrscheinlichkeit einer frühzeitigeren Degeneration der Anschlusssegmente zu reduzieren.

Die Empfehlungen hinsichtlich der Ausübung von Risiko-, bzw. Kontakt- und Kollisionssportarten sind unter den Experten kontrovers, eine individuelle Beratung der Patienten ist sinnvoll [49, 168].

Eine weitgehende Übereinstimmung besteht dahingehend, dass (einen regelrechten klinischen und radiologischen Befund vorausgesetzt) nach 3 bis 4 Monaten mit Nichtkontakt-Sportarten wie Laufen, Schwimmen und Fahrradfahren begonnen werden kann. Nach 6 bis 12 Monaten können auch Kontakt- und Ballsportarten wieder ausgeübt werden. Nach 12 Monaten kann der Schulsport und auch stauchende Sportarten wie Trampolinspringen oder Skifahren wieder begonnen werden. Die Empfehlung hinsichtlich der Ausübung von Risikosportarten muss im Einzelfall abgewogen werden.

Sellyn et al. haben in ihrem Review eine Rückkehr zum Nicht-Kontaktsport und Kontaktsport nach 1 bis 12 Monaten, im Mittel nach 6 Monaten, und eine Rückkehr zum Kollisionssport nach 12 Monaten beschrieben [293].

Rubery et al. beschreiben eine Rückkehr zum Schulsport nach 6 bis 12 Monaten, eine Rückkehr zum Nicht-Kontaktsport nach 6 bis 12 Monaten und eine Rückkehr zu Kontaktsport frühestens nach 12 Monaten [263].

In der Befragung von De Kleuver et al. halten nur 81 % der befragten Ärzte die Rückkehr zu Kollisionssportarten für sinnvoll [58].

Die Bedeutung des untersten instrumentierten Wirbels, v.a. in der Lendenwirbelsäule, wurde von einigen Autoren betont: Je kaudaler die Instrumentation bis in die Lendenwirbelsäule reichte, desto kritischer wurde die Rückkehr zum Sport z.B. in einer Umfrage von Lehman et al. bewertet [168]. Entsprechende Ergebnisse beschrieben Von Strempel et al. in ihrer Arbeit an 37 Patienten [340]. Dies bestätigten auch Schlonski et al., die v.a. bei einem untersten instrumentierten Wirbel unterhalb von L2 deutliche Einschränkungen der sportlichen Aktivitäten beschrieben [279].

Patienten nach ventraler Korrektur (in der Regel kürzere Instrumentation) sind sportlich aktiver und haben weniger belastungsabhängige „Rückenbeschwerden“ als dorsal operierte Patienten [279].

Laut Schlonski et al. sind operierte Patienten vergleichbar häufig sportlich aktiv wie gleichaltrige Gesunde, aber bei geringerer Trainingsfrequenz und ohne Leistungssport [279].

Wichtig ist, dass Ärzte sich klar darüber sind, dass die empfohlene Rückkehr zum Sport nicht immer identisch ist mit der faktischen Rückkehr. Patientenbefragungen haben gezeigt, dass im kurzfristigen Verlauf mehr als 50 % der Patienten 6 Monate nach durchgeführter Korrekturoperation zu Nichtkontakt-, oder Kontaktsportarten zurückgekehrt waren [275]. 5 Jahre nach OP erreichten die operierten Patienten zwar nicht das sportliche Niveau von Gesunden, es zeigte sich jedoch laut Parsch et al. kein signifikanter Unterschied zwischen operierten und nicht operierten Skoliose-Patienten [230]. Einfluss auf die Rückkehr zur sportlichen Aktivität können die Parameter Fusionslevel, Lenke-Typ und postoperativer SRS-22 Score haben [83].