

Aus dem Lehrstuhl  
für Unfallchirurgie  
Direktor: Prof. Dr. Med. Dr. biol. hom. Volker Alt  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

## **Das SCIWORA Syndrom**

-

**Mittelfristiges Outcome nach Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern und jungen Erwachsenen mit neurologischem Defizit ohne radiologisches Korrelat**

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Katja Butz

2022



Aus dem Lehrstuhl  
für Unfallchirurgie  
Direktor: Prof. Dr. Med. Dr. biol. hom. Volker Alt  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

## **Das SCIWORA Syndrom**

-

**Mittelfristiges Outcome nach Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern und jungen Erwachsenen mit neurologischem Defizit ohne radiologisches Korrelat**

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Katja Butz

2022

Dekan:	Prof. Dr. Dirk Hellwig
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Florian Baumann
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Jürgen Schlaier
Tag der mündlichen Prüfung:	02. Mai 2023

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	6
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>8</b>
1.1 Fragestellung.....	8
1.2 Definition des SCIWORA Syndroms .....	8
1.3 Anatomie und Entwicklung der Wirbelsäule .....	9
1.4 Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern und jungen Erwachsenen .....	12
1.5 Geschichte von SCIWORA .....	13
1.6 Epidemiologie von SCIWORA .....	14
1.7 Symptome von SCIWORA .....	16
1.8 Diagnose von SCIWORA.....	17
1.9 Therapie von SCIWORA-Patient*Innen .....	19
<b>2 Material und Methoden.....</b>	<b>21</b>
2.1 Studiendesign und Studienablauf.....	21
2.2 Patientenkollektiv .....	21
2.3 Art der Erhebung und Definition von Zielgrößen .....	22
2.3.1 Daten des Traumaprotokolls .....	22
2.3.2 Radiologische Diagnostik .....	24
2.3.3 Verlaufsbezogene Daten der Nachuntersuchung.....	27
2.4 Statistische Auswertung .....	32
<b>3 Ergebnisse.....</b>	<b>34</b>
3.1 Patientenkollektiv .....	34
3.2 Traumabezogene Daten.....	36
3.3 Initiale klinische Präsentation.....	36
3.4 Radiologische Diagnostik .....	37
3.5 Konservative Therapie .....	37
3.6 Daten bezogen auf den Krankenhausaufenthalt .....	38
3.7 Klinische Präsentation bei Entlassung .....	38

3.8 Daten in Bezug auf den mittelfristigen Verlauf .....	40
3.8.1 Physische Parameter .....	41
3.8.2 Psychische Parameter.....	41
<b>4 Diskussion .....</b>	<b>43</b>
4.1 Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Studie.....	43
4.2 Überblick über relevante Vorstudien zur Thematik.....	45
4.3 Diskussion der Methoden .....	51
4.4 Diskussion der Ergebnisse.....	54
4.4.1 Epidemiologische Daten .....	54
4.4.2 Patientenkollektiv .....	55
4.4.3 Traumabezogene Daten .....	57
4.4.4 Diagnostik.....	58
4.4.4.1 Initiale Untersuchung und Präsentation .....	59
4.4.4.2 Radiologischer Algorithmus .....	62
4.4.5 Therapie .....	65
4.4.6 Daten zum kurzfristigen Verlauf.....	69
4.4.7 Mittelfristiges Outcome .....	71
4.4.7.1 Prognose des physischen Outcomes .....	71
4.4.7.2 Prognose des psychischen Outcomes .....	78
4.5 Ausblick.....	87
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>90</b>
<b>6 Anhang.....</b>	<b>92</b>
6.1 Abbildungsverzeichnis .....	92
6.2 Tabellenverzeichnis .....	92
6.3 Frankel Klassifikation.....	93
6.4 VAS-Schmerzskala .....	93
6.5 ODI .....	94
6.6 EQ-5D-3L Fragebogen und EQ-VAS .....	95
6.7 BSSS .....	97

7	Literaturverzeichnis.....	98
8	Danksagung.....	111

## Abkürzungsverzeichnis

AIS.....	American Spinal Cord Injury Association Impairment Scale
ASIA .....	American Spinal Cord Injury Association
ASA .....	American Society of Anesthesiologists
ATLS .....	Advanced Trauma Life Support
BSSS.....	Breslau Short Screening Scale
BWS .....	Brustwirbelsäule
CT .....	Computertomographie
DIS .....	Diagnostic Interview Schedule
DGU .....	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DSM .....	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
eFAST .....	extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
EQ .....	European Quality
GAD.....	Generalisierte Angststörung
GCS.....	Glasgow Coma Score
HR-QoL .....	gesundheitsbezogene Lebensqualität
HWS .....	Halswirbelsäule
ICU .....	Intensive Care Unit
IMCS .....	Intermediate Care Station
LWS .....	Lendenwirbelsäule
MP .....	Methylprednisolon
MRT .....	Magnetresonanztomographie
MVA.....	Motor Vehicle Accident



NIMH ..... National Institute of Mental Health

ODI ..... Oswestry Disability Index

OP ..... Operation

Proc. .... Processus

PTBS ..... Posttraumatische Belastungsstörung

QoL..... Quality of Life

SCI ..... Spinal Cord Injury

SCIWORA ..... Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality

SCIWORET ..... Spinal Cord Injury Without Radiographic Evidence of Trauma

SCIWONA ..... Spinal Cord Injury Without Neuroimaging Abnormality

SCIWOPRA..... Spinal Cord Injury Without Plain Radiographic Abnormality

SD ..... Standardabweichung

SEP ..... Somatosensibel evozierte Potentiale

SHT ..... Schädel-Hirn-Trauma

STIR ..... Short Tau Inversion Time

UKR ..... Universitätsklinikum Regensburg

V. .... Vertebra

VAS ..... Visuelle Analogskala

WHO..... World Health Organization

WK..... Wirbelkörper

WS ..... Wirbelsäule

## 1 Einleitung

---

### 1.1 Fragestellung

Das „Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality“ (SCIWORA) Syndrom ist ein seltenes, aber potenziell schwerwiegendes Verletzungsbild mit einem gehäuften Vorkommen in der Kindheit und im jungen Erwachsenenalter. Aufgrund des besseren Verständnisses des Verletzungsmusters und der Fortschritte der Magnetresonanztomographie (MRT), gibt es zunehmend Diskussionen bezüglich des „echten SCIWORA“ Syndroms. Dieses zeigt, trotz des klinischen Bildes mit neurologischen Defiziten, sogar in MRT-Aufnahmen kein radiologisches Korrelat.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem mittelfristigen Outcome des SCIWORA Syndroms. Ziel dieser Arbeit ist es, den klinischen Verlauf der Patient\*Innen mit der Diagnose des „echten SCIWORA“ aufzuzeigen. Dies geschieht anhand der Daten der Patient\*Innen, die von 2007 bis 2019 am Universitätsklinikum Regensburg (UKR) versorgt wurden. Zudem sollen der mittelfristige klinische Therapieerfolg und die posttraumatischen, psychologischen Folgen evaluiert werden.

Zum allgemeinen Verständnis werden zunächst die Grundlagen des Syndroms erläutert, um folglich anhand des Patientenkollektivs des UKR auf den Verlauf des Krankheitsbildes einzugehen. Abschließend werden die Ergebnisse mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft verglichen, um daraus zukünftige Behandlungsstrategien entwickeln zu können. Die Kenntnis dieser Informationen ist für das klinische Management der Patient\*Innen von großer Bedeutung, um zur Verbesserung des Outcomes bei Kindern und Jugendlichen beizutragen.

### 1.2 Definition des SCIWORA Syndroms

Als SCIWORA Syndrom bezeichnet man eine Rückenmarksschädigung (Spinal Cord Injury, SCI) mit neurologischen Ausfallerscheinungen ohne radiologische Korrelate [1]. Röntgenaufnahmen, computertomographische oder kernspintomographische Untersuchungen weisen dabei weder auf knöcherne Frakturen, auf disco-ligamentäre Schäden noch auf weitere Anzeichen von Verletzungen der Wirbelsäule (WS) hin. Allerdings ist die Definition des Syndroms in der Literatur nicht eindeutig. Zum Teil

wird darauf verwiesen, dass mittels der MRT extra- bzw. intraneurale Rückenmarksläsionen nachgewiesen werden können [2]. In dieser Arbeit gilt die Definition des “echten SCIWORA” Syndroms. Alle Patient\*Innen erhielten bei bestehenden neurologischen Ausfallerscheinungen ein MRT, welches einen unauffälligen Befund zeigte.

### 1.3 Anatomie und Entwicklung der Wirbelsäule

Für das Verständnis des Krankheitsbildes ist es bedeutend, die Grundprinzipien der Anatomie zu kennen. Daher wird im Folgenden auf die Struktur und Entwicklung der WS eingegangen. Die WS (lat. Columna vertebralis), das zentrale Rumpfachenskelett, vereint sowohl statische als auch dynamische Funktionen. Bestandteile sind die 24 Wirbel, die Bänder und Bandscheiben, welche über Gelenke miteinander verbunden sind und dadurch insgesamt ein hohes Maß an Beweglichkeit garantieren. Von kranial nach kaudal gliedert sich die WS in verschiedene Abschnitte: Halswirbelsäule (HWS), Brustwirbelsäule (BWS), Lendenwirbelsäule (LWS) sowie Kreuz- und Steißbein.

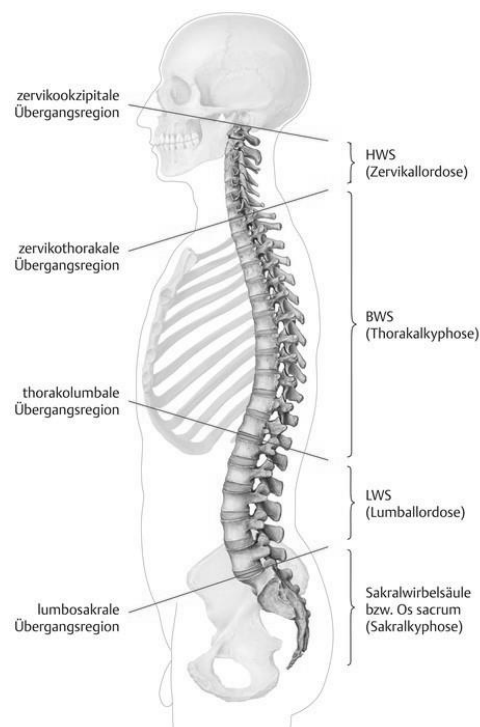


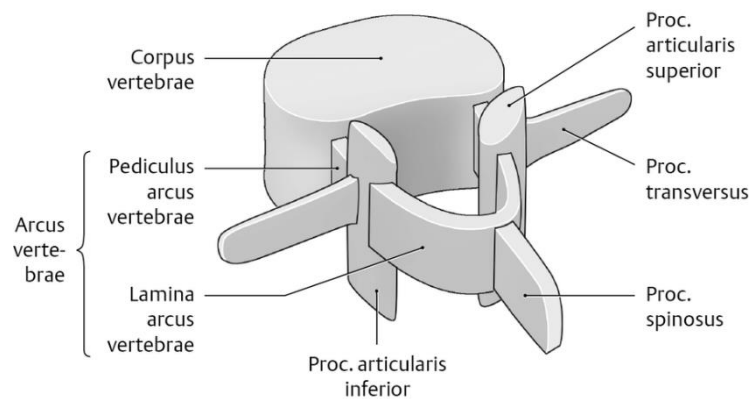
Abbildung 1: Sagittalansicht der WS [3]

Bis auf die letzten beiden genannten Abschnitte sind alle Anteile der WS beweglich, besonders die ersten zwei Wirbelkörper (WK) der HWS (Atlas und Axis), die über ein echtes Gelenk für differenzierte Kopfbewegungen miteinander verbunden sind. Alle anderen Bewegungssegmente besitzen unechte Gelenke, sog. Synchondrosen, welche wiederum in Summe zu einer hohen Beweglichkeit führen. Ein Element besteht aus Wirbel (Vertebra, V.), Bandscheibe (Discus intervertebralis) und anteiligen Bandstrukturen. In der Sagittalebene wird die Columna durch eine Doppel-S-förmige Aufeinanderfolge von Kyphosen und Lordosen geformt. Es gibt sieben Halswirbel (Vv. Cervicales), die die Zervikallordose formen, 12 Brustwirbel (Vv. Thoracicae) für die Form der Thorakalkyphose, fünf Lendenwirbel (Vv. Lumbales) mit einer Lordosen-Krümmung sowie fünf Sakralwirbel (Vv. Sacrales), die die Sakralkyphose bilden. Das Steißbein ist aus drei bis fünf rudimentären Wirbeln (Vv. Coccygae) zusammengesetzt, welche knöchern miteinander verwachsen sind und somit eine Synchondrose bilden.

Als stabiles Stützgerüst des zentralen Achsenskeletts dient der statische Apparat der WS sowohl dem Schutz des Rückenmarks als auch, bedingt durch die Doppel-S-Form, der Dämpfung axialer Stöße. Als dynamische Funktion lässt die WS eine Bewegung des Rumpfes in drei Achsenrichtungen zu. Der gesamte Bewegungsumfang der WS wird durch 25 Bewegungssegmente ermöglicht. Anhand einer Funktionsprüfung eruiert man die Ausmaße der Ventralflexion, der Dorsalextension (bei der HWS gleichgesetzt mit In- und Reklination), der Lateralflexion und der Rotation. Betrachtet man die einwirkenden Kräfte auf die WS, unterscheidet man zwischen Längs- und Schubkraft. Während die Längskraft besonderes auf WK und Bandscheiben wirkt, wird die Schubkraft, welche aus Tangentialkraft und Normalkraft entsteht, vom Bandapparat, der autochthonen Rückenmuskulatur und den kleinen Wirbelgelenken aufgefangen. Der Bandapparat der WS dient demnach nicht nur als stabile Verbindung der Wirbel miteinander, sondern die Bänder lassen auch die Einwirkung von Belastungen zu und hemmen gleichzeitig übermäßige Bewegungen.

Hinsichtlich der embryonalen Entwicklung der WK ist anzumerken, dass die WK-Anlagen aus mesenchymalen Zellverbänden (sog. Mesodermkeimblatt) entstehen, zwischen denen die Bandscheiben (Nucleus pulposus und Anulus fibrosus)

eingelagert sind [3]. Dadurch, dass die jeweiligen kaudalen und kranialen Sklerotomabschnitte miteinander verschmelzen, werden die Fortsätze benachbarter Wirbelanlagen gebildet, die Bandscheiben eingeschlossen und somit die einzelnen Bewegungssegmente angelegt. Zu den einzelnen Bauelementen eines Wirbels zählen sowohl der WK (Corpus vertebrae) und Wirbelbogen (Arcus vertebrae) als auch die Fortsätze (Processus, Proc.). Während die Querfortsätze (Procc. transversi) und Dornfortsätze (Procc. spinosi) als Muskel- und Bänderansatz dienen, bilden die Gelenkfortsätze (Procc. articulares superior und inferior) die Rippen-Wirbel-Gelenke aus. Des Weiteren entsteht aus WK und Wirbelbogen das sog. Wirbelloch (Foramen vertebrale), welches das Rückenmark umschließt. Dieses entwickelt sich embryonal aus dem Chordamaterial (Chorda dorsalis) und verläuft im Wirbelkanal (Canalis vertebralis) der einzelnen Wirbellöcher [3, 4].



**Abbildung 2: Wirbel [5]**

Entsprechend der größer werdenden Belastung verändern sich von kranial nach kaudal die Ausmaße der WK-Anteile. Zusätzlich werden die Wirbellöcher, und somit der Freiraum für das Rückenmark, nach unten kleiner.

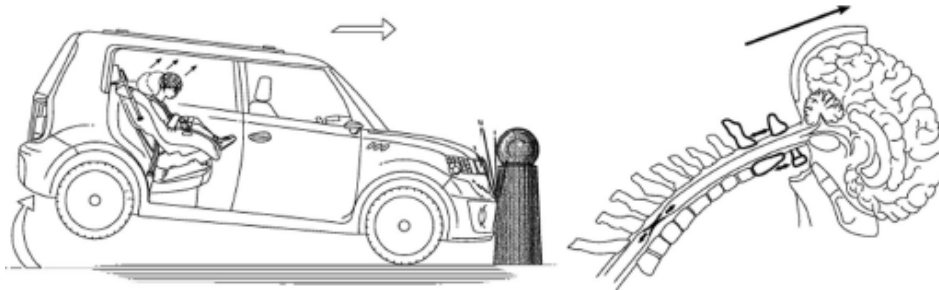
Dadurch, dass beim Neugeborenen und Kleinkind ein hoher Bindegewebsanteil der WS vorliegt und somit WK und Bandscheibenanteile in etwa gleich hoch sind, besteht eine hohe Flexibilität. Demzufolge liegt eine hohe Widerstandsfähigkeit bei axialen Stößen und Kompressionskräften vor [6]. Außerdem sind die WK-Gelenke bei Kleinkindern zunächst noch horizontal positioniert. Bis zum sechsten Lebensjahr verknöchern die Synchondrosen zwischen Bogen und WK. Aufgrund der zunehmenden Verknöcherung der WK im Laufe des Wachstums unterscheidet sich

die Steifigkeit des Achsenskeletts bei Zehn- bis Zwölfjährigen nicht mehr wesentlich gegenüber der von Erwachsenen. Zwischen dem achten und 25. Lebensjahr verschmelzen zudem die knöchernen Randleisten des Bandscheibenrings mit den WK-Endplatten. Im Folgenden wird erklärt, wie sich diese Entwicklung auf die Verletzungserscheinungen bei Kindern und jungen Erwachsenen auswirkt.

#### **1.4 Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern und jungen Erwachsenen**

Im Vergleich zu Erwachsenen, bei denen degenerative Veränderungen [3] sowie strukturelle Verletzungen der WS mit 3% zu den häufigen Krankheitsbildern gehören, spielen diese bei Kindern mit 0,2% aller Frakturen eine eher geringe Rolle [6]. Denn vor allem Kleinkinder stellen eine spezielle Patientengruppe dar. Ohne strukturelle Läsionen davonzutragen, weisen die hochelastischen Bauelemente, in Form der dickeren Bandscheiben, der knorpeligen Endplatten und der Bindegewebsstrukturen als Verbindungen, ein potentiell Längsdehnungsvermögen von bis zu fünf Zentimeter auf [7]. Im Gegensatz zur hohen Toleranz der WS in diesem Alter ist das Rückenmark bei axialem Zug weniger belastungsfähig und somit für schwerwiegende Schäden anfälliger. Hinzukommt, dass die insuffiziente Nackenmuskulatur den überproportionalen Kopf nur unzureichend bei übermäßiger Flexion und Extension unterstützt. Aufgrund dessen und aufgrund der Laxität der Bänder besitzt der überproportionale Kopf stark einwirkende Kräfte auf die HWS, was bei traumatischer Hyperflexion oder -extension zu Läsionen des Rückenmarks führen kann. Pang et al. beschreiben zusätzliche anatomische Merkmale von Kindern, aufgrund derer eine Prädisposition für SCIWORA indiziert sei [2]. Dazu zählen, neben der relativ schwach ausgeprägten Nackenmuskulatur und der Laxität der Bänder, auch das Verhältnis des großen Kopfes zum kleinen Körper sowie die zerbrechliche WK-Endplatte, welche relativ leicht vom Zentrum wegbrechen kann. Des Weiteren kann, aufgrund des hohen Wassergehalts des Anulus und der Bandscheibe, eine longitudinale Expansion zustande kommen. Auch die in diesem Alter horizontal positionierten WK-Gelenke lassen eine größere Bewegungsfreiheit des Knochenapparats zu. Zudem fehlen bis zum zehnten Lebensjahr die Procc. uncinati, was ebenso eine höhere Bewegungsfreiheit bei der Rotation und Lateralflexion erlaubt. Im Kindesalter sind die WK keilförmig, was einen weiteren Beitrag zur Beweglichkeit der WS leistet. Das

Fulcrum der maximalen Flexion liegt im Kleinkindalter noch auf Höhe der oberen zervikalen WS (C2-C3). All diese Merkmale können bei einem Trauma dazu führen, dass das Myelon überdehnt wird, was in folgender Abbildung beispielhaft dargestellt wird.



**Abbildung 3: Flexions-Distraktions-Verletzung durch Zusammenstoß [8]**

Bei einem Auffahrunfall wird der Insasse zwar durch den Sicherheitsgurt am Oberkörper zurückgehalten, allerdings wirken aufgrund des Zusammenstoßes große Kräfte auf den Hals und Kopf ein. Wegen der oben beschriebenen anatomischen Besonderheiten kann es zu Schäden des Rückenmarks kommen, die nicht mit knöchernen oder disco-ligamentären Verletzungen einhergehen.

### **1.5 Geschichte von SCIWORA**

Der erste Fall von SCIWORA wurde im Jahr 1974 von Burke berichtet [9]. Das Akronym „SCIWORA“ wurde erstmalig 1982 von Pang und Wilberger Jr. eingeführt [1]. Es diente der Fallbeschreibung von 24 Kindern, welche klinische Symptome aufgrund traumatischer Myelopathie aufwiesen, ohne radiologische Korrelate zu zeigen. Darauf folgten Fallberichte, welche auch Erwachsene mit neurologischen Ausfallserscheinungen ohne radiologische Auffälligkeiten berücksichtigten [10]. Dadurch, dass die Entwicklung der Bildgebung zum Sichtbarmachen detaillierter Strukturen voranschritt, wurden 1987 Anzeichen von akuten SCI mittels MRT-Signalanzeichen nachgewiesen [11]. Angesichts dieser technischen MRT-Entwicklungen, die bei der ursprünglichen Definition des Begriffs SCIWORA aus dem Jahr 1982 nicht berücksichtigt werden konnten, erkannten Pang et al. zwei Dekaden später das Potential der Diagnostik-Methoden für SCIWORA [2]. 1993 befundeten Grabb und Pang Kinder mit SCIWORA durch die MRT [12]. Zum Teil war keine

Abgrenzung nicht-traumatisch bedingter, degenerativer Veränderungen von akuten, traumatischen Verletzungen bei Erwachsenen mit bereits vorhandenen WS-Vorerkrankungen möglich. Daher verwendeten einige Autor\*Innen Definitionen wie „Spinal Cord Injury Without Computed Tomography Evidence Of Trauma“ (SCIWOCTET) [13, 14], „Spinal Cord Injury Without Radiologic Evidence Of Trauma“ (SCIWORET) [15] oder „Spinal Cord Injury Without Neuroimaging Abnormality“ (SCIWONA) [16–19].

## **1.6 Epidemiologie von SCIWORA**

Im Folgenden wird auf die Epidemiologie des Syndroms eingegangen. SCIWORA ist durch Traumata verschiedenen Hergangs bedingt. Im Allgemeinen geschehen laut Pang et al. die häufigsten stumpfen Traumata der pädiatrischen SCIWORA-Fälle im Rahmen von Verkehrsunfällen, Stürzen, Sportunfällen und Kindesmisshandlungen [1, 2]. Im frühen Kindesalter ereignen sich Unfallereignisse vor allem im Haushalt und bei passiver Verkehrsteilnahme, beispielsweise durch die Einwirkung des Sicherheitsgurtes eines Fahrzeuges auf den Körper bei einem Aufprall (siehe Abb. 3). In Anbetracht der steigenden Mobilität und Aktivität kommt es ab dem Einschulungsalter vermehrt in der Freizeit, der Schule und der aktiven Verkehrsteilnahme zu WS-Verletzungen [6]. Einige Autor\*Innen differenzieren bei den Häufigkeitsverteilungen der Mechanismen nach Altersgruppen [20, 21]. Bei Kindern über elf Jahren häufen sich demnach die WS-Verletzungen im Rahmen sportlicher Aktivitäten. Zu den selteneren Unfallereignissen zählen Kindesmisshandlungen. Bei Erwachsenen sind Studien zufolge hauptsächlich Stürze und Verkehrsunfälle für die SCI verantwortlich [13, 22].

In der pädiatrischen Population werden SCI überwiegend durch einen Flexions-Extensions-Mechanismus hervorgerufen. Dieser Vorgang wird durch die von Pang et al. aufgeführten Prädispositionsfaktoren begünstigt. Dabei kann eine Kontusion des Rückenmarks, eine Ischämie bzw. eine temporäre Okklusion der Vertebral-Arterien erfolgen [21]. Generell ist die Inzidenz im Kindesalter höher als im Erwachsenenalter, vor allem in der Altersgruppe von null bis 13 Jahren, was Shin et. al anhand einer datenbasierten Studie darstellen. Sie beschreiben, dass der Anteil von SCIWORA an pädiatrischen, zervikalen WS-Verletzungen bis zum zehnten Lebensjahr bei über



10% liege, während die Rate mit zunehmendem Alter stark abnehme. Demnach würde sich die Prävalenz bis zum zwanzigsten Lebensjahr halbieren und stattdessen gewinne bei Heranwachsenden der Anteil von WS-Frakturen an Bedeutung [23]. Berichten zufolge liegt die Prävalenz von SCIWORA bei 6-19% gemessen an allen SCI [24], mit einer Häufung unter dem achten Lebensjahr und einer weiteren Häufung bei älteren Patient\*Innen mit Spondylose [25]. Carroll et al. dokumentieren zudem in einem systematischen Review, dass von insgesamt 368 pädiatrischen Fällen mit einer Mehrheit von 68,5% das männliche Geschlecht vorliege und zu 31,5% das weibliche Geschlecht [21]. Auch in einer epidemiologischen Studie mit 297 Patient\*Innen von Knox et al. kann die Dominanz der männlichen Patienten mit 64,3% festgestellt werden, allerdings mit Häufigkeitsunterschieden je nach Einteilung in Altersgruppen [20].

Im Rahmen eines systematischen Reviews listen Carroll et al. die häufigsten WS-Läsionshöhen von 406 pädiatrischen SCIWORA Patient\*Innen unter 18 Jahren auf [21]. Demzufolge seien die SCI größtenteils in der zervikalen WS lokalisiert, in 87% der Fälle lagen die SCI nämlich auf HWS-Level. Lediglich in 9,5% der Fälle war die BWS betroffen und in knapp 2% sowohl HWS als auch BWS. Ein Grund dafür könnte sein, dass die BWS im Vergleich zur HWS durch die Rippen stabilisiert wird und die axiale Belastungsfähigkeit im Bereich der BWS aufgrund der kaudal größeren Knochenoberflächen steigt [26]. Die Aussage, SCIWORA komme seltener in der BWS vor, wird von der Tatsache gestützt, dass oftmals starke Distraktionskräfte eines Hochgeschwindigkeitstraumas für eine derartige Läsion bei Kindern verantwortlich sind [27, 28] und es nur einzelne Fallberichte über Erwachsene mit Anzeichen von SCIWORA in der BWS gibt [26, 29]. SCIWORA mit Betroffenheit der LWS stelle mit 1,5% im systematischen Review von Carroll et al. eine Ausnahme dar. Bei 62 Fällen wird die genaue Höhe der WS angegeben. Am häufigsten sei das Level C4 mit 29% betroffen. Danach folgen Läsionen auf Höhe von C7 mit 26%, von C5 mit 24% und von C2 mit 21%. C3 und C6 seien mit je 19% betroffen und C8 mit 13% [21].

Betrachtet man die pädiatrischen SCIWORA-Patient\*Innen, ist die Prädisposition der Kleinkinder vermutlich für die hohe Inzidenz der HWS-Schädigungen verantwortlich. Obduktionsberichten zufolge sei die Gefahr für Schädigungen auf Höhe der HWS im Alter von zwei bis vier Jahren, im Vergleich zu Sechs- bis Zwölfjährigen, geringer

ausgeprägt [30]. Das Fulcrum der Beweglichkeit verschiebt sich nämlich von der oberen HWS (C2-3) in der frühen Kindheit, über C3-4 im Alter von sechs Jahren, zur unteren HWS (C5-6) im jungen Erwachsenenalter. Denn während des Wachstums wird die Last durch den Kopf geringer und die Nackenmuskulatur stärker. Die artikulierenden Gelenke orientieren sich zunehmend vertikal und die WK verknöchern, was zu mehr Stabilität und weniger Beweglichkeit führt [2, 31]. Einige Autor\*Innen vermuten, dass die Ausprägung des Krankheitsbildes umso schwerwiegender sei, je höher die Läsion in der HWS lokalisiert ist. Daraus kann man folgern, dass besonders Kleinkinder, welche für SCIWORA im oberen Abschnitt der HWS prädisponiert sind, gravierende Defizite davontragen [27]. Im Allgemeinen nimmt die Häufigkeit von SCIWORA im Erwachsenenalter ab, da die Knochenmorphologie der WS reift und sich die Laxität der Bänder reduziert [2, 26].

## **1.7 Symptome von SCIWORA**

Gemäß verschiedenen Publikationen präsentieren SCIWORA Patient\*Innen ein breites Spektrum an neurologischen Symptomen. Dazu zählen Para- und Hemiparesen bzw. Para- und Hemiplegien, Parästhesien, veränderte Reflexe, Blasen- und Darmfunktionsstörungen, Anzeichen anteriorer, zentraler oder posteriorer Rückenmarkssyndrome sowie charakteristische Symptome des Brown-Séquard-Syndroms. Zudem kommen lokaler Schmerz, Empfindlichkeit, Abrasionen und Blutergüsse im WS-Bereich hinzu [27, 32, 33]. Die neurologischen Dysfunktionen reichen von milden, vorübergehenden Kontusionsstörungen des Rückenmarks (sog. Contusio spinalis) bis hin zur permanenten, kompletten Querschnittssymptomatik [34]. Die medulläre Symptomatik der SCIWORA-Patient\*Innen tritt oftmals in der HWS auf [6]. Des Weiteren können klinische Befunde je nach Untersuchungszeitpunkt variieren. Zum Teil werden neurologische Ausfallserscheinungen direkt nach dem Unfallereignis beobachtet. Andererseits beschreiben einige Autor\*Innen, könne die Symptomatik mit einer Latenz von einigen Tagen nach dem Trauma offensichtlich werden, da sich verzögert Ödeme und Hämatome um das Rückenmark entwickeln [24, 35]. Unter anderem spricht man bei dieser Erscheinung in der Literatur vom „Second-Hit-Phänomen“ [36, 37]. Nach einer traumatischen SCI tritt dieser entzündliche Prozess des Rückenmarks mit einer

Latenzzeit - bedingt durch einen hypoxisch-ischämischen Vorgang - auf. Manche Autor\*Innen weisen darauf hin, dass die klinischen Symptome bei der Hälfte der Patient\*Innen verzögert innerhalb der ersten 48 Stunden auftraten [24] oder sogar bis zu vier Tage post-Trauma [38]. Daher ist es wichtig, sowohl auf akute als auch auf verzögerte Beschwerden zu achten. Denn teilweise würden die initialen Warnzeichen, wie Parästhesien und Muskelschwäche, vor einer sekundären, schwereren Symptomatik auftreten [27, 39, 40].

### **1.8 Diagnose von SCIWORA**

Im Rahmen des initialen Trauma-Managements (Advanced Trauma Life Support, ATLS) wird eine diagnostische Evaluation durchgeführt. Sowohl eine SCI als auch assoziierte Verletzungen, welche in bis zu 87% der Fälle vorliegen [20], werden damit festgestellt, um sie entsprechend zu behandeln. Dafür ist eine möglichst detaillierte Schilderung des Unfallhergangs von Vorteil, gefolgt von der klinischen Untersuchung mit Fokus auf den neurologischen Status [24, 28, 41]. Mithilfe einer sorgfältigen körperlichen Untersuchung wird oftmals bereits das Level der SCI erkannt [35]. Schon prähospital sollte die zervikale WS stabilisiert bzw. immobilisiert werden und es sollte, besonders bei präverbalen Kindern, mit höchster Vorsicht untersucht werden, um keine neurologischen Defizite zu übersehen [42]. Einige Autor\*Innen empfehlen, für die klinisch neurologische Untersuchung eine SCI-Skala zu nutzen, welche von der American Spinal Cord Injury Association (ASIA) veröffentlicht wurde und heutzutage als internationaler Standard gilt. Die neurologische Klassifikation der SCI basiert auf den Befunden der sensorischen und motorischen Untersuchung aller Extremitäten und spiegelt die Beeinträchtigung als Punktwert auf der ASIA Impairment Scale (AIS) wider [35, 43]. Alternativ kann beispielsweise der Frankel Grad herangezogen werden. Allerdings kann die Aussagekraft der neurologischen Untersuchung aufgrund des Zustands der Patient\*Innen limitiert sein. Im Sinne des ATLS sollten Patient\*Innen mit Neurologie schnellstmöglich bildgebender Diagnostik zugeführt werden [24]. Manche Autor\*Innen empfehlen, somatosensibel evozierte Potentiale (SEP) selektiv als Zusatzuntersuchung durchzuführen, beispielsweise bei Vorliegen eines begleitenden Schädel-Hirn-Traumas (SHT) oder bei Kleinkindern, um einen Ausgangsbefund zu erhalten [28, 39]. Funktionsaufnahmen unter

Durchleuchtung liefern nach allgemeiner Übereinkunft keine zusätzlichen Informationen und gelten daher im Rahmen des diagnostischen Algorithmus bei SCIWORA Patient\*Innen als obsolet [28]. Wenn konventionelle Röntgenaufnahmen oder die Computertomographie (CT) keine Hinweise auf Läsionen zeigen, soll bei Verdacht auf SCIWORA – bei vorhandenen neurologischen Defiziten - eine MRT durchgeführt werden [24]. Die Bildgebung mittels MRT ist nach allgemeinem Konsens der Goldstandard, um das Krankheitsbild zu diagnostizieren und um das Outcome der Patient\*Innen vorauszusagen [28, 44]. Es dient der direkten Evaluation des Rückenmarks, denn mit Hilfe der verfeinerten MR-Methoden lässt sich entweder die Verletzungshöhe der SCI anzeigen oder ein negativer Befund - im Sinne des „echten SCIWORA“ - nachweisen. Indem die verschiedenen MRT-Gewichtungen eingesetzt werden, können zum einen Weichteil-Pathologien aufgedeckt werden [28] und zum anderen Rückenmarksödeme, Hämorrhagien und Ischämien dargestellt werden [41]. Derartige Läsionen werden erst durch die Unterdrückung von Signalen des Fettgewebes ersichtlich und können somit nicht anhand der CT identifiziert werden [24].

In einer Studie befundeten Machino et al. MRT-Aufnahmen von 100 SCIWORA-Patient\*Innen und stellten dabei eine Veränderung der Signalintensitäten in 92% der Fälle fest [45]. Diese waren auf Hämorrhagien, Kontusionen oder Ödeme des Rückenmarks zurückzuführen und stellen somit kein „echtes SCIWORA“ dar. Eine strukturelle Verletzung ist dann nachweisbar, wenn sichtbare Ödeme, (epidurale) Hämatomate oder extraneurale Läsionen vorhanden sind [6, 39]. Boese et al. klassifizieren MRT-Befunde weiterhin nach Typen. Dazu gehört einerseits SCIWORA vom Typ I, welches ein unauffälliges MRT aufweise, und andererseits SCIWORA vom Typ II, welches mit extra- oder intraneuralen Veränderungen einhergehe [16]. Mit dem Gebrauch der MRT als primäre Bildgebungsmethode werden Patient\*Innen identifiziert, deren initiales MRT unauffällig ist. Diese Patient\*Innen werden, wie eingangs erwähnt, auch als SCIWONA [17] oder als Typ I-SCIWORA klassifiziert [16]. Entsprechend der Definition der vorliegenden Studie gelten nur diese als „echte SCIWORA“ Fälle.

Gemäß einigen Publikationen ist es nicht ungewöhnlich, dass die initiale Bildgebung unauffällig ist und erst das Follow-Up-MRT pathologische Veränderungen zeigt [21].

Denn im Gegensatz zu extraneuralem Methämoglobin, welches beispielsweise für Hämorrhagien bzw. ein epidurales Hämatom verantwortlich ist, entwickelt sich neurales Methämoglobin nicht innerhalb von Stunden, sondern erst innerhalb mehrerer Tage [19]. Aus diesem Grund sei ein Follow-Up-MRT sinnvoll, um den Zustand des Rückenmarks nach der akuten Phase anzuzeigen und dementsprechend ein „echtes SCIWORA“ Syndrom nachzuweisen oder auszuschließen. Ouchida et al. berichten, dass eine Follow-Up-Bildgebung akkuratere Informationen über den Schweregrad der klinischen Symptomatik liefere und somit essentiell für die Prognose sei [46]. Auch Grabb und Pang legen dar, dass die Kernspintomographie weniger als akute Diagnostikmodalität geeignet sei, sondern mehr als prognostisches Hilfsmittel eingesetzt werden sollte, da die Bildgebungsbefunde mit dem Outcome korrelieren. Eine Verletzung des Rückenmarks und schwere spinale Blutungen wären demnach Anzeichen für ein schlechtes Outcome. Kleinere spinale Blutungen sowie Ödeme dagegen sprächen für eine mäßige bis gute Erholung und ein unauffälliges MRT bedeute meist eine vollständige Genesung [12]. Außerdem bestehe ein Zusammenhang von neurologischem Status und dem Ausmaß der Pathologien im MRT [46]. Demzufolge stelle beispielsweise das Ausmaß eines Ödems einen Biomarker für die Prognose dar [43]. Des Weiteren können mittels der MRT Patient\*Innen identifiziert werden, die aufgrund von disco-ligamentären Verletzungen gefährdet sind, dauerhafte Symptome zu erleiden [27]. Insgesamt wird die Identifikation von pädiatrischen spinalen Verletzungen mit Hilfe der MRT verbessert [46] und mit der Entwicklung und Verfügbarkeit der MRT als diagnostisches und prognostisches Mittel steigt die Detektionsrate des „echten SCIWORA“.

### **1.9 Therapie von SCIWORA-Patient\*Innen**

Zwar wird der ATLS als initiales Trauma-Management universell akzeptiert, um SCIWORA-Patient\*Innen zu versorgen, allerdings variieren die Behandlungsmethoden verschiedener Institutionen, da es bisher keinen offiziellen Therapie-Algorithmus gibt [28]. Meist erfolgt die Behandlung mittels konservativer Methoden. Dazu gehören zum einen die adäquate Schmerztherapie und zum anderen die externe WS-Immobilisation während des Notfall-Transports und der Diagnostik [47]. Die Orthesen- und Korsettversorgung kann bis zu zwölf weitere

Wochen fortgeführt werden, um einem Rezidiv vorzubeugen [19, 41]. Außerdem werden Patient\*Innen dazu angehalten, riskante Aktivitäten für weitere sechs Monate zu unterlassen, um akute Exazerbationen der Symptome und weitere Verletzungen zu vermeiden [27]. Einige Autor\*Innen stellen jedoch die Sinnhaftigkeit der Immobilisation in Frage, da sie von Fällen berichten, in denen trotz Immobilisierung der WS wiederholt Symptome auftraten [8, 48].

Zur medikamentösen Therapie zählen des Weiteren antihypertensive Medikamente, um den Blutdruck nach dem traumatischen Erlebnis im Normbereich zu halten [49]. Die Verabreichung hoher Dosen Methylprednisolon (MP) bei SCI ist vor allem bei Kindern umstritten. Es ist nicht nachgewiesen, dass eine Steroid-Therapie neuroprotektiv sei [50]. Dagegen ist bekannt, dass unerwünschte Nebenwirkungen und Komplikationen (wie beispielsweise ein erhöhtes Infektionsrisiko) damit einhergehen [36]. Andere Autor\*Innen empfehlen dennoch die Therapie mit Corticosteroiden, da es den Therapieerfolg verbessern könne [33, 51].

Eine Operation (OP) sollte dagegen Patient\*Innen vorbehalten werden, deren MRT-Befunde entsprechende Indikationen aufweisen, beispielsweise in Form von Kompressionen des Rückenmarks, Verletzungen des Bandapparats oder Instabilitäten [28]. Eine Indikation für eine OP wäre zudem bei knöchernen Läsionen und entsprechender Querschnittssymptomatik gegeben [39].

## **2 Material und Methoden**

---

### **2.1 Studiendesign und Studienablauf**

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine retrospektive, monozentrische, nicht interventionelle Studie, deren Ziel es ist, das mittelfristige Outcome von SCIWORA-Patient\*Innen zu analysieren. Als Grundlage der Studie dienten eine retrospektive Datenerhebung sowie eine Nachuntersuchung. Die relevanten Informationen, welche anhand verschiedener Kriterien (siehe unter Punkt 2.2 Patientenkollektiv) erhoben wurden, stammen aus dem digitalen Traumaregister des UKR. Dieses Register enthält die Dokumentation der interdisziplinären Arztbriefe, der Verlegungs- und Operationsberichte, der radiologischen Bildgebungen sowie der Laborbefunde in Form einer digitalen SAP-Datenbank. Die Angaben über die gespeicherten Patient\*Innen im Traumaregister sind streng vertraulich und unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht. Für die Aufnahme ins Register liegt zudem eine Zustimmung der Patient\*Innen vor.

Die Studie wurde vom Ethik Komitee der Universität Regensburg genehmigt (internationale Review Board Nummer 20-1928-101) und die Einverständniserklärung aller Teilnehmer\*Innen zur Studie lag vor. Um die Anonymität der Patient\*Innen zu gewährleisten, wurden die gewonnenen Daten ohne Patientennamen oder nachzuvollziehende, persönliche Daten ausgewertet.

### **2.2 Patientenkollektiv**

Diese retrospektive Studie wurde über 32 „echte SCIWORA“ Patient\*Innen durchgeführt, die im Zeitraum von 2007 bis 2019 im Level I Trauma Center des UKR aufgrund traumatisch bedingter Rückenmarksverletzungen behandelt wurden. In die Studie wurden alle Patient\*Innen eingeschlossen, die nach einem Unfall ein sensomotorisches bzw. neurologisches Defizit der oberen oder unteren Extremität aufwiesen. Daneben war ein Fehlen von anderweitigen zerebralen oder knöchernen Verletzungen und die Abwesenheit von pathologischen Befunden in einem hochaufgelösten MRT-Scan des kompletten Rückenmarks vorausgesetzt. Das Patientenalter betrug zum Zeitpunkt des Unfalls mindestens fünf Jahre aber maximal 25 Jahre. Neben dem Alter zählten die Einwilligung zur Listung im Traumaregister

sowie das Vorhandensein eines posttraumatischen MRT-Scans zu den weiteren Einschlusskriterien. Patient\*Innen, für die eine auffällige röntgenologische Bildgebung oder ein auffälliges CT vorlagen, wurden ausgeschlossen. Auch posttraumatische Veränderungen des Signals im MRT-Scan oder Begleitverletzungen, die möglicherweise eine neurologische Symptomatik verursachen konnten (z.B. traumatische Gehirnläsionen, Frakturen oder Läsionen in Verbindung mit peripheren Nervenläsionen), führten zum Ausschluss aus der Studie. Alle Patient\*Innen wurden bis zum kompletten Rückgang der initialen neurologischen Symptome am UKR beobachtet und behandelt. Nach durchschnittlich 6,9 Jahren (1-14 Jahre) wurden die verfügbaren Patient\*Innen im Hinblick auf das klinische, funktionelle und psychologische mittelfristige Outcome nachuntersucht und reevaluiert. Insgesamt konnten sieben Patient\*Innen nicht für die Nachuntersuchung gewonnen werden und gelten als „Lost to Follow Up“. Die gesamten Informationen aus dem Register sowie die Informationen der Nachuntersuchung wurden für die Auswertung und Diskussion auf Vollständigkeit überprüft.

## **2.3 Art der Erhebung und Definition von Zielgrößen**

Das gesamte Patientenkollektiv wurde anhand der in der SAP Patientenmanagement-Software (SAP SE, Walldorf, Deutschland) vorliegenden Akten sowie anhand der im Archiv des Universitätsklinikums Regensburg zur Verfügung stehenden radiologischen Bilder ausgewertet.

### **2.3.1 Daten des Traumaprotokolls**

Zur Ermittlung des Alters zum Traumazeitpunkt sowie des Geschlechts der Patient\*Innen dienten die Patientenakten. Darüber hinaus wurden Daten über Vorerkrankungen und Nebendiagnosen erhoben, die die Hauptdiagnose und den Verlauf potenziell beeinflussen konnten. Aus diesen patientenbezogenen Angaben konnten relevante Häufigkeitsverteilungen berechnet werden. Weiterhin wurden traumabezogene Daten der Patientenakten ausgewertet. Darunter der Unfallhergang, der Traumamechanismus (Hoch- oder Niedrigenergietrauma) und



Begleitverletzungen. Anhand der Protokolle wurden ferner Informationen zur Bewusstseinslage direkt nach dem Vorfall mittels des dokumentierten „Glasgow Coma Scores“ (GCS) erhoben. Auch der physische Status gemäß der „American Society of Anesthesiologists“ (sog. ASA Physical Status), welcher Auskunft über den körperlichen Zustand der Patient\*Innen gab, wurde anhand der Protokolle vermerkt. Außerdem wurde im Rahmen des Screenings der Aufnahmeprotokolle der neurologische Zustand in Form des Frankel Grads erhoben, um den Schweregrad der Verletzungen einschätzen zu können. Dabei handelt es sich um eine Klassifizierung des Patientenkollektivs anhand der neurologischen Untersuchungsergebnisse.

Der Frankel-Score dient der Einteilung des neurologischen Status [52]. Dementsprechend wird er verwendet, um die Rückenmarksfunktion zu untersuchen. Seit seiner Einführung im Jahr 1969 wird der Score benutzt, um den Schweregrad von SCI zu beurteilen. Es handelt sich um ein einfaches Schema zur Klassifikation des Ausmaßes der neurologischen Defizite in fünf Grade. Zur Einordnung des Grades werden Patient\*Innen auf vorhandene Sensibilitätsstörungen oder Kraftverlust in den Extremitäten untersucht. Ein funktionelles Defizit wird folgendermaßen unterteilt:

- kompletter sensomotorischer Verlust (Grad A),
- kompletter motorischer Verlust (Grad B),
- inkompletter motorischer Verlust ohne Fähigkeit zum praktischen Gebrauch (Grad C),
- inkompletter motorischer Verlust mit Fähigkeit zur Fortbewegung mit oder ohne Gehhilfen (Grad D),
- keinerlei neurologische Defizite bzw. komplette Erholung (Grad E).

Der initiale Grad aller Patient\*Innen wurde im Rahmen der Studie mit dem Verlaufsscore verglichen. Somit konnte einerseits die Ausgangssituation berücksichtigt werden und andererseits das individuelle Outcome betrachtet werden. Auch wenn die Angabe nicht sehr spezifisch ist, gibt der resultierende Grad (A-E) eine Auskunft über den jeweiligen neurologischen Status. Limitationen des Frankel-Scores sind

zum einen, dass das WS-Level der SCI nicht allein durch die Kategorisierung ersichtlich wird. Zum anderen ist die Einordnung teilweise subjektiv, beispielsweise bei der Beurteilung von „Gebrauchs- oder Restmotorik“. Zudem gibt er wenig Auskunft über neurologische Verbesserungen während bzw. nach der Erholungsphase. Daher wurden weitere relevante Informationen zur retrospektiven Evaluation herangezogen.

Neben dem Traumamechanismus wurden weitere relevante Patientenparameter aus dem Traumaregister entnommen. Dazu zählen die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus, inklusive der Dauer eines intensivstationären Aufenthalts, sowie die Haupt- und Nebendiagnosen. Des Weiteren wurde die jeweilige Therapie, die Zeit bis zur ersten Bildgebung, erfolgte Nachuntersuchungen sowie die Angaben über eine Entlassung in geeignete Einrichtungen (wie Rehabilitationseinrichtungen) berücksichtigt.

### **2.3.2 Radiologische Diagnostik**

Die Evaluation im Rahmen der Studie beinhaltete alle verfügbaren Röntgenbilder, CT-Scans und die kompletten spinalen MRT-Scans. Demzufolge erfassten die radiologischen Aufnahmen nicht nur den Zustand im Schockraum, sondern auch den Verlaufszustand. Die Befundung führte ein Facharzt für Radiologie mit einem Facharzt der Unfallchirurgie durch.

Laut den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) ist eine schnelle Bildgebung bei Polytrauma-Patient\*Innen, bewusstlosen Patient\*Innen mit Verdacht auf HWS-Verletzung sowie bei Patient\*Innen mit neurologischen Auffälligkeiten (inkl. Parästhesien) indiziert [53, 54]. Bei Patient\*Innen, die sich mit neurologischer Symptomatik in der Universitätsklinik vorstellen, erfolgt sofort eine radiologische Bildgebung [55]. Zum einen, um keine Verletzungen zu übersehen, und zum anderen, um eine adäquate Therapie zu gewährleisten. Für die (Ausschluss-)Diagnostik des SCIWORA Syndroms sind das konventionelle Röntgen, die CT und die MRT relevante bildgebende Verfahren, denn bei unauffälligem Röntgen und CT ist ein Notfall-MRT durchzuführen.

Die konventionelle Röntgendiagnostik wird überwiegend bei einfachen Fragestellungen bzw. für Übersichtsaufnahmen verwendet, da sie zeitsparend und kostengünstig ist. Nachteile sind die Strahlenexposition sowie die begrenzte Fähigkeit Weichteilveränderungen darzustellen [56, 57, 58]. Früher sah das radiologische Notfallmanagement polytraumatisierter Patient\*Innen primär eine standardisierte Röntgendiagnostik vor [59, 60]. Heutzutage ist das konventionelle Röntgen zwar eine weit verbreitete Diagnostikmethode, allerdings ist die CT dem Röntgen weitaus überlegen. Das konventionelle Röntgen hat eine geringere Sensitivität und Spezifität als die CT [53, 61]. Es stellt somit ein unzureichendes Mittel dar, um die WS nach Trauma adäquat zu evaluieren. Es dient mehr der Verlaufsbeurteilung von bereits bekannten Dislokationen und Frakturen der WS [53] oder als eine Methode zum primären Screening bei subakuten Fällen [62]. Bei persistierendem Frakturverdacht ohne Nachweis im Röntgen sollte eine CT-Untersuchung durchgeführt werden.

Nach der allgemeingültigen DGU Leitlinie wird bei Verdacht auf spinale Schäden nach einem Trauma bzw. bei schwerverletzten Erwachsenen und Kindern umgehend ein Ganzkörper-CT als Primärdiagnostik gefordert [62, 63]. Es liefert überlagerungsfreie, dreidimensionale Schnittbilder [64]. Die Schnittbildtechnik (sog. Tomographie) ist effizient, auch weil durch die bessere Rechenleistung die Untersuchungszeiten minimiert werden [65]. Ein modernes Multislice-CT ermöglicht eine Aufnahme der gesamten WS innerhalb weniger Sekunden [62]. Es liefert im Rahmen der Notfalldiagnostik unverzichtbare Informationen für die weitere Therapie und Entscheidungsfindung [61]. Zudem vereint es eine gute Beurteilung der Morphologie durch eine geeignete Schichtdicke und Ausrichtung mit einer hohen Sensitivität für ein Screening der WS [53]. Dennoch lässt es nur unzureichende Aussagen in Bezug auf Weichteilpathologien zu und auch die Strahlenexposition ist nicht zu vernachlässigen. Denn ein CT-Thorax hat eine 80 mal höhere Strahlenbelastung als ein Röntgen-Thorax [64].

Demnach sollte bei jungen Patient\*Innen nach Möglichkeit die MRT eingesetzt werden. Falls eine neurologische Auffälligkeit nicht durch ein CT zu erklären ist, ist zum Ausschluss epiduraler Blutungen oder einer spinalen Kontusion ohnehin ein MRT indiziert [62]. Dies gilt als Goldstandard der Diagnostik für die Darstellung von

Weichteilpathologien. Im Rahmen der Diagnostik des „echten SCIWORA“ Syndroms dient es zum Ausschluss struktureller Schäden. Je nach MR-Aufnahmetechnik und Interaktion der Wasserstoffatome mit dem angrenzenden Gewebe erscheint eine Struktur heller (hyperintens), dunkler (hypointens) oder isointens [66]. Durch die unterschiedlichen Signalintensitäten kann man mittels einer Untersuchung sowohl Rückenmark und Nervenwurzeln als auch den Knochen- und Bandapparat der WS darstellen [67]. Im Rahmen der Basisdiagnostik werden sagittale sowie transversale T1- und T2-gewichtete Sequenzen (mit einer Schichtdicke von 3-4 mm) angefertigt. T1-gewichtete Bilder stellen Informationen über die Morphologie und Anatomie zur Verfügung, die T2-Gewichtung dient unter anderem zur Identifikation von Blutungen. Höhere Konzentrationen von Desoxyhämoglobin verursachen einen Abfall der Signalintensität in frischen Hämatomen. Nach einer Woche erscheinen die umorganisierten Hämatome hyperintens, da eine Konversion des Desoxyhämoglobin zu Methämoglobin stattfindet [24]. Benötigt man Bilder zur Beurteilung von Knochenmarksveränderungen, sind T2-gewichtete, fettsupprimierende „Inversion Recovery“ (Short Tau Inversion Time, STIR)-Sequenzen zu empfehlen, die es in der röntgenologischen Diagnostik nicht gibt. Abhängig von der Fragestellung und vom Befund können demnach verschiedene Sequenzen nötig sein oder die intravenöse Gabe von Kontrastmitteln indiziert sein.

Je nach Indikation und Länge des anatomischen WS-Abschnitts dauert eine Untersuchung mit 15 Minuten bis zu einer Stunde relativ lange [67]. Ebenso ist die Durchführung apparativ vergleichsweise aufwendig [66]. Zudem müssen Kinder hierfür unter Umständen sediert werden. Demzufolge ist die MRT nach der Meinung einiger Autor\*Innen für das akute Management nur in Ausnahmefällen geeignet [12]. Dennoch wird auch in den Leitlinien der DGU eine unverzügliche MRT-Untersuchung empfohlen, falls ein neurologisches Defizit nach einem Trauma durch ein CT morphologisch nicht erklärbar ist [53]. Es soll in einer Notfallsituation zum Ausschluss einer Läsion neuronaler Strukturen (mit Hilfe sagittaler und axialer T1-/2-Sequenzen) dienen, sowie zur Entscheidungsfindung bei akutem oder progredientem Querschnittssyndrom und bei radikulär-motorischen oder sensiblen Ausfällen. Neben neurologischen Auffälligkeiten ist laut DGU ein spinales MRT auch indiziert bei relevanten makroskopischen Weichteilverletzungen und Raumforderungen sowie bei persistierenden Schmerzen über vier Wochen ohne bisherigen Nachweis eines

Strukturschadens [68]. Ebenso wird die MRT aufgrund der multimodalen Möglichkeiten zur Diagnose von vaskulären Ursachen eines Querschnittssyndroms, der spinalen Ischämie und Blutungen [67] oder auch zur Identifikation von WS-Instabilitäten eingesetzt [69]. Bei der Beurteilung von knöchernen Verletzungen ist das Diagnosespektrum der MRT (nach der Magerl-Klassifikation) mit der CT vergleichbar [70]. Anders stellt sich dies bei Myelonschäden, ligamentären Verletzungen sowie bei medullären oder radikulären Symptomen dar, denn dabei ist die MRT als primäres Verfahren unverzichtbar [62, 67]. Die Kernspintomographie gilt in Anbetracht der erwähnten Modalitäten zum Ausschluss von Weichteilpathologien und für die Diagnose von SCIWORA als Goldstandard. Angesichts der hohen Kontrastauflösung zur präzisen Darstellung von Weichteilen liefert es akkurate Schnittbilder für die Identifikation sowohl intra- als auch extraneuraler Läsionen [45]. Im Allgemeinen liefert es die zuverlässigsten diagnostischen und prognostischen Informationen für SCIWORA und dient zum Ausschluss bzw. Nachweis von Läsionen bei der Progression neurologischer Defizite [2, 12]. Zudem sind die bekannten Gefahren gering. Nur bei ferromagnetischen Implantaten im Körper treten Wechselwirkungen mit dem Magnetfeld auf [71, 72].

### **2.3.3 Verlaufsbezogene Daten der Nachuntersuchung**

25 der 32 Patient\*Innen wurden nach durchschnittlich 6,9 Jahren (1-14 Jahre) mit Hilfe der visuellen Schmerz-Analogskala (VAS), des Oswestry Disability Index (ODI), des „European-Quality“ (EQ-5D) Katalogs und der Breslau Short Screening Scale (BSSS) reevaluiert. Die Nachuntersuchung erfolgte im Zeitraum von April bis Juni 2020. Nachdem den Patient\*Innen der Hintergrund der retrospektiven Studie erklärt wurde und diese einwilligten, wurden die individuellen Parameter ermittelt. Dabei handelte es sich sowohl um die Erfassung möglicher physischer Beschwerden nach der Entlassung als auch um den psychischen Gesundheitszustand im Verlauf. Daneben wurden im Zuge der Nachuntersuchung anhaltende bzw. regelmäßige Arztbesuche, bekannte Nebenerkrankungen, die Medikamentenanamnese sowie häufige Kopf- oder Rückenschmerzen erfragt und dokumentiert. Falls konkrete Beschwerden wie regelmäßige Kopfschmerzen oder wiederkehrende Rückenprobleme existierten, wurden diese auf der VAS eingeordnet. Im ersten Teil

dienten die Schmerz-VAS, der ODI und der EQ-5D zur Einschätzung des körperlichen Outcomes. Der zweite Teil erfasste aufgetretene mentale Veränderungen in Form der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (Health Related Quality of Life, HR-QoL) sowie in Form einer posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS). Eine Übersicht der einzelnen Skalen und Fragebögen befindet sich zudem im Anhang (siehe unter Punkt 6.3 bis 6.7).

### **Visuelle Schmerz-Analogskala**

Die VAS ist eines der meistverwendeten Messinstrumente zur subjektiven Schmerzevaluation. Bei der Anwendung in der Schmerzforschung umfasst die Skala Werte von null bis zehn, wobei null keinerlei Schmerzen entspricht und zehn den schlimmsten vorstellbaren Schmerzen (10 = unerträglicher Schmerz) [73]. Die Endpunkte der kontinuierlichen Linie stellen dabei die Extremzustände der Schmerzintensität dar. Die Patient\*Innen markieren eigenständig ihre subjektive Schmerzwahrnehmung auf der 10 cm langen Analogskala mit einem Strich. Diese Markierung misst man im Nachgang aus, um sie mittels einer definierten Skala einzuordnen und so das Ausmaß als Zahlenwert zu quantifizieren [74, 75]. Durch seine hohe Validität und Reliabilität ist dieser Score gut reproduzierbar und sensitiv. Zudem korrelieren die Absolutwerte mit den relativen Werten, beispielsweise beim Vergleich von ab- und zunehmenden Schmerzen.

### **Oswestry Disability Index**

Zusätzlich zum Ausmaß der aktuellen Schmerzintensität wurden Einschränkungen im Alltag anhand des ODI erfragt. Der ODI wird herangezogen, um das krankheitsspezifische, funktionelle Outcome aufgrund von Rückenschmerzen zu quantifizieren. Abgeleitet vom „Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire“ wird der Index genutzt, um zu ermitteln, inwieweit Alltagsaktivitäten von Rücken- bzw. Wirbelsäulenproblemen beeinflusst werden [76]. Der validierte Index wurde 1980 von Fairbank et al. veröffentlicht. 20 Jahre später wurde eine modifizierte Version 2.0 im „Spine Journal“ herausgegeben [77–79], welche in deutscher Ausführung für diese Arbeit herangezogen wurde [77].

Die Bearbeitung des Fragebogens mit zehn enthaltenen Themen nimmt wenige Minuten in Anspruch. Dabei erfasst man Parameter für die Evaluation des alltäglichen Lebens der Befragten, um deren Leistungsfähigkeit einzustufen. Der Fragenkatalog zielt nicht nur auf die Einschätzung der momentanen Schmerzstärke ab, sondern auch auf die Quantifizierung von Rückenleiden. Es werden jeweils zehn Themen betrachtet, welche die Schmerzintensität, das Heben von Gegenständen, die Fähigkeit zur Selbstversorgung, zu gehen, zu sitzen, die sexuelle Funktion, die Fähigkeit zu stehen, das Sozialleben, die Schlafqualität sowie die Fähigkeit zu reisen abfragen [79]. Das Sexualleben konnte in der vorliegenden Studie nicht für alle 25 Patient\*Innen erfasst werden, da zum Teil Kinder betroffen waren. Jede der zehn einzelnen Kategorien im Hinblick auf bestimmte Lebensbereiche wird durch sechs Aussagen beschrieben, die kategorisieren, in welchem Maß die Fähigkeit dahingehend beeinflusst wird, den Alltag zu bewältigen. Die Teilnehmenden wählen die entsprechende Aussage aus, welche den eigenen Zustand am treffendsten beschreibt. Jede Kategorie wird mit einem Punktwert von null bis fünf gewertet, wobei null (erstes Statement) den geringsten Grad an Beeinträchtigung (nämlich keinerlei schmerzbedingte Beeinträchtigung) indiziert und fünf (letzte Antwortmöglichkeit) den höchsten Schweregrad an Einschränkung (keine Ausführung der Aktivität möglich) mit sich bringt. Zur Auswertung der ODI-Fragebögen wird die standardisierte Methode von Fairbank et al. herangezogen. Alle Punktwerte der zehn beantworteten Parameter werden aufsummiert und verdoppelt, um den Index als Prozentwert zu erhalten. Dieser resultierende Grad besagt, wie viel individuelle Einschränkung gemessen an der maximalen Beeinträchtigung (100%) vorhanden ist. Indem man ein Resultat von 0-20% mit einer minimalen Funktionseinschränkung, 21-40% mit einer moderaten, 41-60% mit einer starken, 61-80% mit einer sehr starken Funktionseinschränkung und 81-100% mit pflegebedürftig (bettlägerig) oder psychosozial extrem überlagert gleichsetzt, werden einzelne Abstufungen definiert [77]. An dieser Stelle ist anzumerken, dass der ODI als standardisiertes Outcome-Messinstrument von Rückenleiden gut reproduzierbar und verlässlich ist [79].

### **EQ-5D-3L**

Neben dem ODI wurde ein weiterer standardisierter Fragebogen mit hoher medizinischer Relevanz eingesetzt, der zugleich als Outcome-Messinstrument nach

Polytrauma verwendet wird [80]. Zur Evaluation der gesundheitsbezogenen Lebensqualität dient der EQ-5D-3L Score. Das Ziel des „EQ“-Katalogs ist, die individuelle Lebensqualität zu bewerten und den aktuellen Gesundheitszustand anhand fünf verschiedener Dimensionen (5D) zu ermitteln [81]. Im Jahr 1990 wurde der Fragebogen, bestehend aus fünf Frageelementen und einer visuellen Analogskala (EQ-VAS), veröffentlicht. Zudem wurde der Fragebogen ins Deutsche angeglichen und für gesundheitsrelevante Bedingungen validiert [82, 83].

Der erste Teil des Messinstruments evaluiert den individuellen Gesundheitsstatus in Bezug auf die Mobilität, die Selbstversorgung, übliche Aktivitäten, Schmerz sowie Ängste oder Depression. Die Teilnehmenden wählen jeweils die treffendste aus drei Antwortmöglichkeiten (3 Levels, 3L) aus. Dabei bedeutet Level 1, dass keinerlei Probleme vorhanden sind, Level 2 deutet auf mäßige Probleme hin und Level 3 wird ausgewählt, falls extreme Probleme bestehen. Der zweite Teil des EQ-5D verfügt über eine vertikale, visuelle Analogskala zur globalen Gesundheit, welche von null bis 100 Punkten reicht und vom Teilnehmenden die eigene Einschätzung des aktuellen Gesundheitsstatus erfragt. Die Endpunkte des „Thermometers“, null und 100, kennzeichnen jeweils den schlechtesten denkbaren Zustand sowie die bestmögliche Verfassung [82]. Die Einordnung des Gesundheitszustands erfolgt zunächst über die Ziffern der jeweiligen Antwortmöglichkeit, die den Levels 1-3 entsprechen [83]. Daraus ergeben sich für die fünf Dimensionen fünf einzelne Ziffern, welche - durch einen nicht öffentlich zugänglichen Algorithmus - einen speziellen Punktwert repräsentieren [84]. Als Resultat des Systems erhält man den „EQ-5D Health State“, welcher aufgrund der fünf Items mit je drei Levels (5D-3L) 243 verschiedene Gesundheitsprofile definiert. Anschließend wird der endgültige EQ-5D-3L-Index angegeben, indem man vom Wert 1 das Ergebnis des 5D-3L-Systems subtrahiert. Erhält man als Indexergebnis nach Subtraktion den Wert 1 (weil 11111 nach der Berechnung den Wert null ergibt), stellt dies den bestmöglichen Gesundheitszustand dar [85]. Ein Wert unter null gibt den schlechtesten Zustand wieder. Der EQ-VAS Score wird nach der Markierung auf der Skala ersichtlich und muss nicht separat berechnet werden. Insgesamt ist dieser standardisierte Fragebogen ein validiertes, aussagekräftiges Instrument für viele medizinische Bereiche, welches trotz des geringen Bearbeitungsaufwandes eine verlässliche Aussage über den Gesundheitszustand der Befragten zulässt [81].



## **Breslau Kurzscreening Skala für PTBS**

Da es nicht ungewöhnlich ist, dass eine PTBS nach einem Trauma oder einer intensivmedizinischen Behandlung entsteht [80], wurde diesbezüglich ein Kurz-Screening durchgeführt. Für die Evaluation einer möglichen PTBS wurde die BSSS herangezogen. Falls Patient\*Innen im Rahmen der Nachuntersuchung Anzeichen von bestehendem Leidensdruck zeigen, bewertet man, inwieweit es deren momentane Lebensumstände beeinflusst. Bevor mittels konkreter Fragen auf die momentane Symptomatik eingegangen wird, werden zunächst zwei Einleitungsfragen zum erlebten Trauma gestellt. Nämlich, ob der Teilnehmende währenddessen entweder Hilflosigkeit oder starke Angst verspürte [86]. Anschließend ermittelt man anhand von sieben Frageelementen der deutschen Version der Screening-Skala, wie oft verschiedene PTBS-Symptome während eines Monats auftreten [87]. Die Sieben-Symptome Screening Skala dient dazu herauszufinden, ob Patient\*Innen in der Vergangenheit oder im Moment über mindestens vier Wochen hinweg bestimmte PTBS-Anzeichen erlebten. Diese umfassen:

- Gedanken- und Gefühlsvermeidung (bzgl. traumaassoziierten Orten, Personen oder Aktivitäten),
- Interessensverlust,
- Entfremdungsgefühl,
- Abgestumpftheit oder Taubheit (wenig Empfinden von Liebe oder Zuneigung für andere),
- Nichterfüllte oder eingeschränkte Zukunftspläne,
- Schlafstörungen,
- Nervosität oder Schreckhaftigkeit.

Für jedes Symptom ist eine vierstufige Antwortskala aufgeführt, um anzugeben, welche jeweilige Häufigkeitsausprägung existiert [86]. Es umfasst die Angaben

- überhaupt nicht,

- einmal pro Woche oder seltener / manchmal,
- 2-4 mal pro Woche / die Hälfte der Zeit,
- 5 mal pro Woche / fast immer.

Ein Symptom wird als vorhanden gewertet, falls es mindestens „2-4 mal pro Woche bzw. die Hälfte der Zeit“ auftritt. Indem man anschließend die Anzahl der vorhandenen Symptome aufsummiert, erhält man einen Gesamtscore zwischen null und sieben. Für eine PTBS-Diagnose muss ein Grenzwert von vier oder mehr Symptomen, die mindestens „2-4 mal pro Woche“ auftreten, erreicht werden. Die BSSS gilt als effektives Screening-Instrument für PTBS [86, 87]. Doch obwohl die Kurz-Screening-Skala eine gute Kriteriumsvalidität besitzt [87], kann sie keine psychiatrische Diagnose ersetzen [86]. Die hohe Anwendungsökonomie [87], welche vor allem für klinische Studien von Vorteil ist, wird erreicht, indem der modifizierte „Diagnostic Interview Schedule“ (DIS) des National Institute of Mental Health (NIMH) und der World Health Organization (WHO) gekürzt wurde [86]. Wird bei der Befragung ein Cut-Off Wert von vier erreicht, kann es als Prädiktor für eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer PTBS gesehen werden.

## **2.4 Statistische Auswertung**

Die Dokumentation der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm Microsoft Office Excel 2007 (von Microsoft Inc.) unter dem Betriebssystem von Windows 10. Graphische Darstellungen, Diagramme und Berechnungen wurden ebenfalls durch Excel erstellt und ermittelt. Die statistische Analyse wurde mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 24, SPSS Inc., Chicago, Illinois) durchgeführt. Zur Häufigkeitserfassung wurde die deskriptive Statistik herangezogen. Während für alle kategorischen Variablen die deskriptive Statistik als Häufigkeit (n) und als Prozentsatz (%) angegeben wurde, wurden für kontinuierliche und normalverteilte Variablen der Durchschnitt (m) und Standardabweichungen (SD,  $\pm$ ) angeführt. Die Normalverteilung wurde mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests untersucht. Neben den deskriptiven Standardtests, wie der Berechnung des Mittelwerts und der Standardabweichung, fand die Betrachtung von Korrelationen in der vorliegenden Studie Anwendung. Zur Auswertung von Zusammenhängen kamen einfache

Regressionen sowie multiple lineare Regressionen zum Einsatz. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Tests für einen Wert von  $p < 0.05$  definiert. Der EQ-5D wurde, nachdem die Lizenz erworben wurde, mit Hilfe des speziellen Algorithmus berechnet.

### 3 Ergebnisse

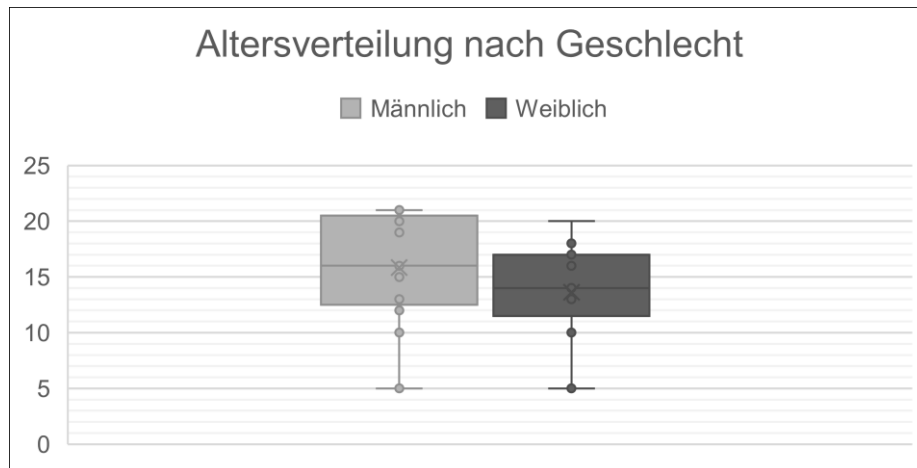
#### 3.1 Patientenkollektiv

Insgesamt konnten 32 Patient\*Innen bis zum Symptomregress nachuntersucht werden. Diese erfüllten die Einschlusskriterien der traumatischen WS-Verletzungen, welche zwar zu neurologischen Ausfallerscheinungen führten, aber zu keinen zerebralen Schäden oder nachweisbaren WS-Verletzungen im MRT.

**Tabelle 1: Personenbezogene Daten der 32 Patient\*Innen**

SCIWORA Patient*Innen, n = 32			
<b>Alter (in Jahren)</b>		14.5	(5/21)
<b>Geschlecht</b>	weiblich	11	(34.4%)
	männlich	21	(65.6%)
<b>Intensivstation</b>	nein	21	(65.6%)
	ja	11	(34.4%)
<b>Intensivstation Aufenthaltsdauer (in Tagen)</b>		1.3	(1/3)
<b>GCS</b>		15	(14/15)
<b>ASA Physical Status</b>		1.0	(1.0/1.0)
<b>Krankenhausaufenthaltsdauer (in Tagen)</b>		2.75	(1/13)
<b>Operation</b>	ja	0	(0%)
	nein	32	(100%)
<b>Verletzungsmechanismus</b>	Verkehrsunfall	6	(18.8%)
	Sturz aus der Höhe	14	(43.8%)
	Sportunfall	8	(25.0%)
	Spielen	4	(12.5%)

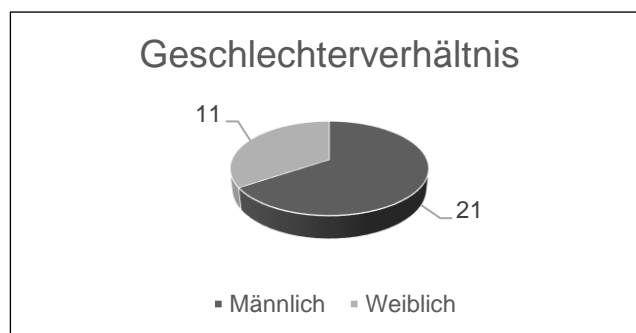
Als Einschlusskriterium war ein Alter zwischen fünf und 25 Jahren zum Zeitpunkt des Traumas vorausgesetzt. Dementsprechend lag das Alter der insgesamt 32 Patient\*Innen zum Traumazeitpunkt zwischen fünf und 21 Jahren. Die Altersspanne betrug somit im Kollektiv 16 Jahre und das Durchschnittsalter belief sich auf 14,5 Jahre (SD 5,3). Im Mittel lag das Alter der weiblichen Patientinnen zum Traumazeitpunkt bei 13,6 Jahren und das der männlichen Patienten bei 16,1 Jahren.



**Abbildung 4: Altersverteilung der Patient\*Innen nach Geschlecht in Jahren**

Des Weiteren war mit einem Anteil von 87,5% (28 Patient\*Innen) die Mehrheit der Studienpopulation zehn Jahre oder älter.

Von den 32 Patient\*Innen des Kollektivs waren elf Patientinnen weiblich und 21 Patienten männlich. Somit war das Geschlechterverhältnis, mit einer Geschlechterverteilung von 34,4 % zu 65,6 %, männlich dominiert (21:11) (siehe Abb. 5).



**Abbildung 5: Geschlechterverteilung**

### **3.2 Traumabezogene Daten**

Der genaue Unfallhergang konnte für alle Fälle der 32 stumpfen Traumata rekonstruiert werden. In 14 Fällen (43,8%) entstand die Verletzung durch einen Sturz aus großer Höhe (Hochenergietrauma). Dazu zählten Stürze im häuslichen Umfeld bzw. in der Freizeit und Sturzereignisse im Arbeitsumfeld. Weitere acht Unfälle (25%) ereigneten sich im Rahmen von Sportunfällen, beispielsweise infolge des Schulsports oder während des Reitens. Bei sechs Traumata (18,8%) handelte es sich um Verkehrsunfälle (Motor Vehicle Accidents, MVA), welche zu den Hochenergietraumata gezählt werden. Von diesen sechs Verkehrsunfällen waren in fünf Fällen die Patienten als aktive Verkehrsteilnehmer involviert und in einem Fall war der Patient ein passiver Mitfahrer. Außerdem kam es in vier Fällen (12,5%) zu Verletzungen während des Spielens.

### **3.3 Initiale klinische Präsentation**

Zusätzlich wurde zwischen initialem Bewusstseinsstatus vor bzw. bei Eintreffen des Notarztes und dem Bewusstseinsstatus bei Aufnahme im Schockraum unterschieden. 13 von 32 Patient\*Innen (40,6%) gaben an, initial bewusstlos gewesen zu sein. In einem Fall lag eine fragliche initiale Bewusstlosigkeit vor. In den restlichen 18 Fällen (56,25%) wurde keine Bewusstseinsstrübung dokumentiert. Auch zum Zeitpunkt der Aufnahme im Schockraum wurde für jeden der 32 Patient\*Innen der GCS und der ASA-Status ermittelt. In allen Fällen lag ein GCS von 15 mit einem ASA-Status entsprechend der Klasse I vor. Das klinische Erscheinungsbild bei der Aufnahme umfasste vorwiegend neurologische Defizite der unteren Extremität, zumal bei allen Patient\*Innen eine sensomotorische Störung der unteren Extremität dokumentiert wurde. In acht Fällen wurde zudem ein sensomotorisches Defizit der oberen Extremität angegeben. Niemand der eingeschlossenen Patient\*Innen wies, abgesehen von Prellungen, eine behandlungsbedürftige Begleitverletzung auf.

Betrachtet man die Klassifikation nach Frankel, reichte die initiale klinisch-neurologische Präsentation von Frankel Grad A bis D. In sechs Fällen (18,75%) bestätigte sich ein kompletter sensomotorischer Verlust (Grad A), drei Patient\*Innen (9,4%) zeigten einen kompletten motorischen Verlust (Grad B) und zwölf

Patient\*Innen (37,5%) präsentierten sich mit einem inkompletten motorischen Verlust in Form von Frankel Grad C. Dieser Grad bedeutet, dass zwar eine Restmotorik vorhanden ist, allerdings ohne praktischen Nutzen. Elf weitere Patient\*Innen (34,4%) wiesen einen inkompletten motorischen Verlust in Form von Frankel Grad D auf, demnach waren sie (mit oder ohne Gehhilfe) im Stande zu gehen.

### **3.4 Radiologische Diagnostik**

Alle 32 Patient\*Innen erhielten aufgrund der neurologischen Symptomatik eine Kernspintomographie der WS zum Ausschluss einer strukturellen Verletzungsfolge. Die mittlere Zeit zur initialen, spinalen Bildgebung mittels MRT betrug bei dieser Kohorte einen Tag (0-9 d). In 21 Fällen (65,6%) erfolgte der MRT-Scan bereits am ersten Tag. In den restlichen elf Fällen (34,4%) fand die MRT nach durchschnittlich 3,2 Tagen (1-9 d) statt. Da der ATLS-Algorithmus insbesondere bei bestehender Neurologie eine schnelle Bildgebung vorsieht, wurde bei elf Patient\*Innen (31,25%) vor der MRT mittels eines Polytrauma-Scans oder eines WS-CT eine knöcherne Verletzung der WS ausgeschlossen. Auch wenn im Rahmen des ATLS im instabilen Zustand bereits ein Röntgen oder ein CT durchgeführt wird, ist ein MRT unerlässlich. Die Evaluation führten Fachärzt\*Innen der Radiologie und der Unfallchirurgie durch und die klinische Diagnose der Rückenmarksverletzung wurde von Spezialist\*Innen der Neurochirurgie oder der Neurologie erhoben.

### **3.5 Konservative Therapie**

Das Aufnahmemanagement wurde für alle Patient\*Innen ATLS-leitliniengerecht durchgeführt. Die initiale Behandlung basierte zunächst, wie beschrieben, auf einer klinischen Untersuchung und der Schockraumversorgung. Im Nachgang erfolgte eine Überwachung des Zustandes sowie eine diagnostische Bildgebung mittels MRT, sobald der Zustand stabil war. Nachdem alle 32 Patient\*Innen initial im Schockraum nach den Richtlinien des ATLS versorgt wurden, erhielten sie auf der Intensivstation (Intensive Care Unit, ICU) bzw. auf Station eine bedarfsgerechte Analgesie. Neben dem Therapiemanagement mittels analgetischer Medikation wurden alle Patient\*Innen nach einer MRT-Aufnahme unter physiotherapeutischer Anleitung

schmerzabhängig mobilisiert. Dadurch, dass das Krankheitsbild ausnahmslos konservativ zu behandeln war, wurde im Verlauf in keinem der Fälle operativ interveniert.

### **3.6 Daten bezogen auf den Krankenhausaufenthalt**

Die Anzahl und zugehörige Dauer der Intensivstationsaufenthalte wurde für alle 32 Patient\*Innen erfasst. Elf der 32 Patient\*Innen wurden auf der ICU (34,4%) behandelt, mit einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von 1,3 Tagen (1-3 d) auf der ICU. Die anderen 21 Patient\*Innen wurden direkt nach der Behandlung in der Notaufnahme auf Station verlegt oder entlassen. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer im Krankenhaus belief sich auf 2,75 Tage (1-13 d). Dabei lag die mediane Dauer der stationären Behandlung bei zwei Tagen.

### **3.7 Klinische Präsentation bei Entlassung**

Neben den demographischen Werten, dem Unfallhergang, dem Bewusstseinszustand, der Intensivpflichtigkeit und der stationären Verweildauer konnten weitere Parameter für das gesamte Patientenkollektiv gewonnen werden. Dazu gehörte nicht nur das initiale klinische Erscheinungsbild und die Therapie, sondern auch die Dauer bis zur Rückbildung der Symptome, die klinische Präsentation bei der Entlassung und wohin die Patient\*Innen nach der Behandlung entlassen wurden. Wie anfangs erläutert, zeigten sich initial die Ausprägungen A bis D des Frankel Grades mit Unterschieden im Hinblick auf die Häufigkeitsverteilung. Die neurologische Symptomatik war - ungeachtet des anfänglichen Schweregrads - einheitlich während des stationären Aufenthalts rückläufig, sodass zum Zeitpunkt der Entlassung ein Normalzustand festgestellt wurde. Es wurde weder von neuerlichen neurologischen Schäden noch von Komplikationen im Verlauf berichtet. Für alle der insgesamt 32 am UKR versorgten Patient\*Innen wurde die Zeit bis zur kompletten Erholung berechnet. Alle Patient\*Innen erholten sich neurologisch vollständig entsprechend Frankel Grad E. Durchschnittlich vergingen 3,9 Tage (1-13 d) bis zur Genesung. Diese Resultate werden anhand folgender Tabelle dargestellt.



**Tabelle 2: Angaben zum initialem Frankel Grad, zur Erholungsdauer und zum Frankel Grad nach der Erholungsphase**

		<b>SCIWORA Patient*Innen n = 32</b>
<b>Initiale klinische Präsentation:</b>		
<b>Frankel Grad:</b>		
<b>A: Kompletter sensomotorischer Verlust</b>		6
<b>B: Kompletter motorischer Verlust</b>		3
<b>C: Inkompletter motorischer Verlust ohne „praktischen Nutzen“</b>		12
<b>D: Inkompletter motorischer Verlust, „fähig zu gehen mit oder ohne Gehhilfe“</b>		11
<b>E: keine neurologischen Symptome</b>		-
<b>Zeit bis zur kompletten Erholung in Tagen</b>	3.9	(1-13 d)
<b>Klinische Präsentation nach der Erholungsphase:</b>		
<b>Frankel Grad:</b>		
<b>A: Kompletter sensomotorischer Verlust</b>		-
<b>B: Kompletter motorischer Verlust</b>		-
<b>C: Inkompletter motorischer Verlust ohne „praktischen Nutzen“</b>		-
<b>D: Inkompletter motorischer Verlust, „fähig zu gehen mit oder ohne Gehhilfe“</b>		-
<b>E: keine neurologischen Symptome</b>		32

Bei 20 Patient\*Innen (62,5%) dokumentierte man eine spontan bzw. innerhalb von 24 Stunden rückläufige neurologische Symptomatik, dazu zählten auch alle vier Fälle der jüngeren Subgruppe. In neun weiteren Fällen (28,1%) des Kollektivs dauerte es mehrere Tage bis zur vollständigen Genesung.

Nach der Behandlung am UKR erfolgte die Entlassung von 30 Patient\*Innen (93,8%) direkt nach Hause. Bei zwei Patient\*Innen (6,2%) erfolgte eine direkte Überweisung in eine weiterbehandelnde Einrichtung: In einem Fall davon wurde eine Überweisung in eine Reha-Klinik zur physiologischen und psychologischen Betreuung veranlasst und im zweiten Fall folgte eine stationäre psychologische Betreuung. Darüber hinaus

erfolgte nach einer sowie nach sechs Wochen nach dem Trauma eine unfallchirurgische Nachsorge. Da es zwischen den Nachsorgeterminen in keinem Fall zu Verschlechterungen kam, wurde keine frühere Wiedervorstellung in Anspruch genommen.

### **3.8 Daten in Bezug auf den mittelfristigen Verlauf**

Im Rahmen der Studie wurden 25 Patient\*Innen des Kollektivs nach durchschnittlich 6,9 Jahren (1-14 Jahre) nachuntersucht. Diese waren für eine Untersuchung des mittel- bis langfristigen klinischen und funktionalen Outcomes verfügbar. Der Therapieerfolg wurde anhand der Untersuchung von körperlichen Beschwerden und Psychopathologien ermittelt. Hierbei wurden verschiedene Kennwerte (siehe unter Punkt 2.3 Art der Erhebung und Definition von Zielgrößen) verwendet, um die relevanten Verlaufsp Parameter zu analysieren. Neben der unfallchirurgischen Traumanachsorge am UKR nahmen 13 Patient\*Innen (52%) keine anderweitigen Nachbehandlungen in Anspruch. In sieben Fällen (28%) wurde im Nachgang ein Kontrolltermin beim Haus- bzw. Kinderarzt, beim Orthopäden oder in der Klinik vereinbart. Einmal (4%) wurde beim Hausarzt eine anschließende Krankengymnastik sowie eine stationäre Reha mit psychologischer Betreuung beantragt. Zusätzlich wurde in drei Fällen (12%) eine ambulante Reha in Form einer Physiotherapie bzw. in Form von Rehasport beim Arzt beantragt und in Anspruch genommen. Des Weiteren wurde einmal (4%) eine psychiatrische Zusatzbehandlung (unabhängig von einer physischen Behandlung) angeschlossen.

Betrachtet man die Einnahme von Medikamenten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, wurde in 17 Fällen (68%) von keinerlei Schmerzmedikation berichtet. Vier Patient\*Innen (16%) gaben an, Schmerzmittel wie Paracetamol oder Ibuprofen bei Bedarf einzunehmen. Zwei Patient\*Innen (8%) berichteten von regelmäßiger Schmerzmitteleinnahme. Des Weiteren konsumierte eine Patientin hohe Dosen an Psychopharmaka und Psychoaktiva und ein weiterer Patient seit dem Unfall regelmäßig Cannabis.

### **3.8.1 Physische Parameter**

Während 21 Patient\*Innen (84%) von keinen maßgeblichen Schmerzen im Alltag berichteten, solange keine Überbelastung bestand, gaben vier Patient\*Innen (16%) an, Schmerzen zu verspüren, welche allerdings nicht auf die Diagnose SCIWORA zurückzuführen waren. Dazu gehörten zwei Patient\*Innen, welche angaben, milde Schmerzen (Pain-VAS: 2-3) im Alltag zu haben. Die zwei anderen Patient\*Innen äußerten moderate Schmerzen (Pain-VAS: 4-5), wobei eine Patientin auch rezidivierende Kopfschmerzen bei Drogen- bzw. Psychopharmaka-Abusus angab. Betrachtet man die allgemeinen Beschwerden, wurde insgesamt auffällig oft von Kopf- und Rückenschmerzen berichtet. In fünf Fällen (20%) traten regelmäßig Kopfschmerzen bzw. Migränebeschwerden auf, in fünf weiteren Fällen (20%) war von wiederkehrenden Rückenschmerzen die Rede und in wiederum fünf anderen Fällen (20%) traten sowohl Kopf- als auch Rückenschmerzen auf. Die übrigen zehn Patient\*Innen (40%) gaben keine regelmäßigen Beschwerden an, die eine Korrelation zur Diagnose aufweisen könnten.

Neben der Erfassung der allgemeinen Beschwerden und der erlebten Schmerzintensität im Alltag, wurde der ODI zur präzisen Bewertung von Rückenschmerzen herangezogen. In 15 Fällen (60%) wurde ein Indexwert von 0% und in 9 weiteren Fällen (36%) ein ODI-Wert von unter 20% ermittelt. Das bedeutet 24 von 25 Patient\*Innen (96%) berichteten von keinerlei bzw. nur minimalen funktionellen Einschränkungen im Alltag. Nur eine Patientin berichtete von einem erhöhtem Indexwert von 31%. Insgesamt lag der ermittelte Indexwert der funktionalen Analyse mithilfe des ODI bei 6,04%, was von minimalen Einschränkungen im Alltag zeugte.

### **3.8.2 Psychische Parameter**

Um die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu ermitteln, wurde der EQ-5D herangezogen. Der bestmögliche Wert der visuellen Analogskala zur „Quality of Life“ (QoL) liegt bei 100. Der anhand der EQ-5D-VAS berechnete Durchschnitt der gesundheitsbezogenen Lebensqualität betrug 98,48 im Kollektiv. Beim Index-Durchschnittswert erzielten die Patient\*Innen im Rahmen der Nachuntersuchung

ebenfalls einen hohen EQ-Indexwert von 0,957, denn mit einem Maximalwert von 1,0 wird die bestmögliche Lebensqualität dargestellt. Im Kollektiv gab es fünf Patient\*Innen (20%), welche mit Werten zwischen 70 und 85 im Vergleich zur Normalpopulation deutlich unter dem Mittel der QoL-Werte lagen.

Während die gesundheitsbezogene Lebensqualität aufgrund des hohen Durchschnittswertes ein zufriedenstellendes Ergebnis lieferte, konnten im Rahmen der PTBS-Analyse Einzelfälle mit auffälligen Werten herausgefiltert werden. Die BSSS ergab, dass vier von 25 Patient\*Innen (16%) Zeichen einer relevanten PTBS aufzeigten. Während die vier auffälligen Patient\*Innen analog dazu mit Resultaten zwischen 70 bis 90 geringere Werte als der Durchschnitt des Kollektivs auf der EQ-5D-VAS verzeichneten, war deren EQ-5D-Indexwert unauffällig.

Folgende Tabelle stellt die Ergebnisse zum mittelfristigen Outcome der 25 Patient\*Innen im Hinblick auf Rückenschmerzen im Sinne des ODI, hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und hinsichtlich relevanter Anzeichen einer PTBS nach dem „echten SCIWORA“ Syndrom dar.

**Tabelle 3: mittelfristige Ergebnisse des ODI, der QoL und der BSSS**

<b>SCIWORA Patient*Innen n = 32</b>		
<b>Oswestry Disability Index</b>		6.04% (0-20%)
<b>Gesundheitsbezogene Lebensqualität</b>	EQ-5D VAS	98.48
	EQ-5D Index Wert	0.957
<b>Posttraumatische Belastungsstörung (Breslau Kurzscreening-Skala)</b>		4/25

## **4 Diskussion**

---

Im Folgenden werden sowohl die zentralen Ergebnisse der Studie als auch relevante Vorstudien zur Thematik vorgestellt, um anhand dessen die Resultate der vorliegenden Studie in den aktuellen Forschungsstand einzuordnen und zu diskutieren.

### **4.1 Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Studie**

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem mittelfristigen Outcome des „echten SCIWORA“ Syndroms. Die Diagnose beschreibt ein komplexes klinisches Bild aus neurologischen Defiziten ohne pathologische radiologische Korrelate, weder im konventionellen Röntgen noch in der CT oder hochauflösenden MRT-Scans. Der Häufigkeitsgipfel des Syndroms liegt in der Kindheit und im Jugendalter. Daher wurden ausschließlich Patient\*Innen im Alter von fünf bis 25 Jahren betrachtet. Der Zweck der retrospektiven Analyse war die Neubewertung von 32 Patient\*Innen, welche zwischen 2007 bis 2019 wegen des „echten SCIWORA“ Syndroms am UKR behandelt wurden. Einschlusskriterien waren ein neurologisches Defizit nach einem Trauma ohne anderweitige Gehirn- oder Skelettverletzungen sowie ein unauffälliger MRT-Befund. Alle ausgewählten Patient\*Innen wurden bis zur vollständigen Genesung beobachtet und behandelt. Mit 32 Patient\*Innen stellt diese Analyse die umfangreichste Evaluation des mittelfristigen Outcomes nach dem „echten SCIWORA“ Syndrom der Literatur dar. Das Ziel bestand darin, die mittelfristigen klinischen Ergebnisse und psychologischen Auswirkungen zu ermitteln. Dazu wurden zuallererst die prädisponierenden Parameter betrachtet, nämlich die demographischen Daten der Kohorte, der individuelle Unfallhergang sowie der klinische Verlauf. Für jeden Einzelfall der 32 Patient\*Innen wurde im Anschluss der initiale neurologische Status ausgewertet, um diesen im Nachgang mit dem Frankel-Score zum Zeitpunkt der Entlassung zu vergleichen. Darüber hinaus wurde das mittelfristige Outcome von 25 der 32 Patient\*Innen in Form von zusätzlichen Variablen untersucht, welche Informationen zu Einschränkungen im Alltag und Auswirkungen auf den psychologischen Verlauf lieferten.

Obwohl die Diagnose des „echten SCIWORA“ relativ selten gestellt wird, wird in der allgemeinen Literatur die Annahme vertreten, das SCIWORA Syndrom sei ein potenziell schwerwiegendes Krankheitsbild, mit einer unklaren Langzeitprognose [1, 2]. Unsere Studie zeigte exzellente klinische und funktionelle Ergebnisse mit vollständiger neurologischer Regeneration aller Patient\*Innen. Bei der Aufnahme der Patient\*Innen umfasste das Spektrum des neurologischen Erscheinungsbildes inkomplette (senso-)motorische Verluste (Frankel Grad C-D) bis hin zu kompletten (senso-)motorischen Ausfällen (Frankel Grad A-B). Alle Patient\*Innen erholten sich während der Behandlungsdauer (1-13 d) komplett und erreichten Frankel Grad E.

Unser Kollektiv umfasste entgegen anderer Studien [2] eine höhere Betroffenheit der Heranwachsenden, denn das Durchschnittsalter des Kollektivs betrug 14,5 Jahre. Demnach lag der Häufigkeitsgipfel im jugendlichen Alter anstatt im Kleinkindalter. Bezüglich des Geschlechterverhältnisses zeigte sich auch in unserem Kollektiv eine Tendenz zur Häufung beim männlichen Geschlecht [20, 21].

Pang et al. nehmen eine Korrelation zwischen initialer Bildgebung und Outcome an [2]. In unseren Ergebnissen zeigte sich, dass bei einem unauffälligen MRT ein gutes Outcome zu erwarten ist.

Zusätzlich wurden 25 der 32 Patient\*Innen nach durchschnittlich 6,9 Jahren (1-14 Jahre) mittels ODI, EQ-5D Score und BSSS erneut evaluiert, um sowohl den physischen als auch den psychischen mittelfristigen Therapieerfolg zu analysieren. Bei der Berechnung des ODI zeigten sich lediglich minimale Einschränkungen (0-20%). Demzufolge wurden anhand des ODI keine Anzeichen von bleibenden körperlichen Beeinträchtigungen durch das SCIWORA Syndrom nachgewiesen, zumal auch die minimalen Limitationen anderweitig bedingt waren. Auch die Erhebung und Auswertung des HR-QoL der Kohorte ergab keinen Unterschied zur deutschen Bevölkerungsnorm.

Betrachtet man allerdings die psychologischen Auswirkungen nach der Diagnose des „echten SCIWORA“, zeigte sich, dass 16%, also vier von 25 Patient\*Innen, an relevanten Anzeichen einer PTBS litten. Somit konnte ein anhaltender negativer Einfluss der traumatischen Verletzung auf die Psyche der Patient\*Innen festgestellt werden. Aus einer Vielzahl von Publikationen geht hervor, dass Psychopathologien nach SCI nicht ungewöhnlich seien. Es wird beschrieben, dass Neigungen zu

Angststörungen oder zu PTBS nach traumatischen SCI häufiger vorkommen [88–90], denn die Rate von PTBS nach SCI betrage 7-44% [91].

#### **4.2 Überblick über relevante Vorstudien zur Thematik**

Um die im Rahmen der Studie erlangten Ergebnisse in den Kontext des allgemeinen Wissenstandes einzuordnen, werden im Folgenden der Aufbau und die Ergebnisse von drei relevanten Vorstudien zur diskutierten Thematik vorgestellt.

Im Jahr 1982 betrachteten Pang et al. in ihrer retrospektiven Studie 24 Kinder im Alter von sechs Monaten bis 16 Jahren (Altersdurchschnitt 7,2 Jahre), welche im Zeitraum von 1960 bis 1980 nach einem Trauma eine SCI erlitten, ohne radiologische Korrelate aufzuweisen [1]. Dies war die erste Publikation, welche das Akronym „SCIWORA“ definierte und den Therapieerfolg der Patient\*Innen überprüfte. Pang et al. vermuteten komplexe pathologische Mechanismen als Ursache für dieses Syndrom, denn nach ihrer Definition wurden anhand von Röntgen und CT knöcherne Verletzungen und Subluxationen ausgeschlossen. Damals empfahlen sie den Gebrauch jeder bekannten radiologischen Diagnostikmethode, einschließlich Funktionsaufnahmen, um Instabilitäten auszuschließen. Nach ihren Angaben im Artikel lag die allgemeine Inzidenz von pädiatrischen SCI unter allen SCI bei 0,6-9,5%, wonach SCI von Kindern eine Minderheit darstellten. Insgesamt wurden 36 Kinder innerhalb von 20 Jahren als pädiatrische SCI in deren Kinderklinik in Pittsburgh triagiert. Davon wiesen 24 Fälle keine Fraktur auf und konnten somit als SCIWORA-Fälle in die Studie mitaufgenommen werden. Demzufolge lag in dieser Analyse die 20-Jahre-Inzidenz des SCIWORA bei 66,7% der pädiatrischen SCI-Fälle.

Betrachtet man die Alters- und Geschlechterverteilung, waren 58,3% jünger als acht Jahre, der Rest war zwischen acht und 16 Jahre alt. In deren Studienpopulation waren 14 Patient\*Innen weiblich und 10 männlich. Die Nachuntersuchung erfolgte in einem Zeitraum von acht Monaten bis zu 20 Jahren nach dem Trauma. Verantwortlich für das Syndrom waren folgende Unfallmechanismen mit der jeweiligen Häufigkeitsverteilung: Zu 45,9% erlitten die Patient\*Innen Verletzungen im Rahmen von Fahrzeugunfällen. Besonders Kinder unter sechs Jahren zählten zu dieser Subgruppe des Unfallhergangs. Zu einem Anteil von 29,1% erlitten vor allem

Kinder unter acht Jahren Stürze (aus größerer Höhe oder von Treppen). Sportunfälle waren mit einem Anteil von 16,8% vertreten und ein auf den Kopf fallendes Objekt sowie Kindesmisshandlung zu jeweils 4.2%. Die jüngere Subgruppe der pädiatrischen Fälle (d.h. jünger als acht Jahre) verletzte sich im Rahmen von Fahrzeugunfällen oder Stürzen. Außerdem konnte man feststellen, dass Unfälle durch Flexions-, Hyperextensions- sowie durch axiales Trauma zustande kamen. Bei der jüngeren Subgruppe waren Flexionsmechanismen häufiger, bei Älteren hingegen Hyperextensionsmechanismen. Zudem wiesen einige Kinder Begleitverletzungen wie Knochenbrüche oder Rupturen innerer Organe auf.

Die Autor\*Innen kamen in dieser Studie zu dem Ergebnis, dass Kinder unter acht Jahren neurologisch schwerwiegender geschädigt wurden als die ältere Subgruppe. Ein Grund dafür könnte die vergleichsweise häufig betroffene HWS sein. Die neurologische Untersuchung zum Zeitpunkt der Aufnahme ergab vier verschiedene Syndrome, nämlich die „komplette Querschnittsverletzung“, das „zentrale Rückenmarkssyndrom“, das „Brown-Sequard-Syndrom“ und die „partielle Querschnittsverletzung“. Bei einem Anteil von 58,3% der Stichprobenanzahl kam es zu Ausfallerscheinungen entsprechend einer kompletten Querschnittsverletzung oder schwerwiegender inkompletter Querschnittssyndrome. Aufgrund der Tatsache, dass Pang et al. Läsionen auf Höhe von C1-4 sowie auf Höhe von T1-6 als schwerwiegend klassifizierten und davon vor allem die jüngere Subgruppe betroffen war, lag bei diesen eine ungünstigere Ausgangssituation vor.

Der Sachverhalt, dass Kinder unter acht Jahren stärkere neurologische Verletzungen erlitten hätten, wurde damit begründet, dass die WS in der frühen Kindheit zum einen anfälliger für deformierende (Flexions-)Kräfte sei und zum anderen, weil die HWS in dieser Altersgruppe instabiler sei. Die kleineren Kinder (jünger als vier Jahre) zählten zu den schweren Fällen, zumal sie sich eher das „zentrale Rückenmarkssyndrom“ oder obere HWS-Läsionen zuzogen. Im Gegensatz dazu zeigten alle Patient\*Innen ab der zweiten Lebensdekade nur milde bis mäßige neurologische Ausfallerscheinungen.

Überdies stellten Pang et al. in der Studie fest, dass ein Anteil von 52% verzögerte neurologische Defizite entwickelte. Zum sog. „verzögerten Auftreten“ kam es frühestens nach 30 Minuten und maximal vier Tage nach dem Trauma. Es zeigten sich



zum Teil vorübergehende Warnzeichen in Form von Parästhesien, Taubheit oder subjektiver Paralyse. Für die Latenzerscheinungen gab es zwei Theorien. Entweder reaktivierten Bewegungen eine Instabilität, oder eine Ischämie verursachte eine zunehmende Läsion des neuralen Gewebes. Allerdings konnte kein Muster für das Vorkommen der späten Ausfälle ausfindig gemacht werden. Bei der Aufnahme ins Kinderkrankenhaus wurde bei allen Patient\*Innen ein Röntgen der WS durchgeführt, 83,3% erhielten ein CT, welches einen unauffälligen Befund zeigte, und in der Hälfte der Fälle wurden Myelographien angeschlossen. Des Weiteren wurden in 75% der Fälle Funktionsaufnahmen ausgeführt, was sich in der akuten Situation allerdings als technisch schwierig zeigte, da die Kinder ein eingeschränktes Bewegungsspektrum aufzeigten. Funktionsaufnahmen konnten dementsprechend besser nach dem Abklingen der Symptomatik durchgeführt werden. Die Autor\*Innen empfahlen, zum einen Funktionsaufnahmen zum Ausschluss beginnender Instabilitäten durchzuführen und zum anderen eine Immobilisierung mittels fester Halskrause. Die Diagnose wurde somit nach Ausschluss okkulten Frakturen mittels CT oder Myelographie gestellt. Zusätzlich wurde eine neurologische Untersuchung durchgeführt, idealerweise mit einem wachen, kooperativen Patienten.

Die Langzeitprognose der meisten Kinder mit kompletter oder schwerwiegender Läsion sei Pang et al. zufolge ungünstig, diese erholten sich selten. Lediglich Kinder mit initial milden oder mäßigen neuralen Verletzungen konnten eine zufriedenstellende Genesung erreichen. Demnach wäre der einzig ausschlaggebende prognostische Faktor der initiale neurologische Status.

Zwei Dekaden später überprüften Pang et al. ihre Aussagen in einem Rückblick erneut [2]. Dabei untersuchten sie den Einfluss des Alters auf das Verletzungsmuster und das Outcome sowie die Bedeutung der MRT für die Diagnostik und den Management-Algorithmus bei SCIWORA. Die Daten wurden in einer Metaanalyse mit 15 weiteren Studien verglichen. Sie fanden heraus, dass die Inzidenz pädiatrischer SCIWORA-Fälle sowohl von der Verfügbarkeit der diagnostischen Mittel medizinischer Einrichtungen abhängig war als auch von der Kenntnis des Syndroms. Die Inzidenz wurde mit Werten zwischen 5-67% angegeben, mit einem errechneten Mittel von 34,8% der pädiatrischen Myelopathie-Fälle nach einem Trauma. Durch die hohe Inzidenz wurde die Bedeutung des SCIWORA Syndroms

hervorgehoben. Darüber hinaus prüften die Autor\*Innen die Altersverteilung des Krankheitsbildes. Dabei kamen sie erneut zur Schlussfolgerung, dass Kinder in der frühen Kindheit besonders in der oberen HWS (C1-4) Läsionen erlitten. Im Gegensatz dazu nahm die Prävalenz der Verletzungen der unteren HWS (C4-8) eine stetige Verteilung bis zum 16. Lebensjahr an. In der Tendenz wurden wiederum schwerwiegendere, neurologische Ausfälle bei der jüngeren Subgruppe beobachtet. Erneut kamen Pang et al. zu dem Ergebnis, dass jüngere Kinder oftmals in Stürze und in Fahrzeugunfälle als passive Teilnehmer\*Innen verwickelt waren, wohingegen sich ältere Kinder häufiger bei aktiven Tätigkeiten wie Sportunfällen verletzten.

Aufbauend auf der Studie vom Jahr 1982 definierten die Autor\*Innen eine Ausfallerscheinung in Form einer Querschnittsverletzung als Frankel Grad A. Dagegen entsprachen „inkomplette Querschnittssyndrome“ den Graden B bis C, falls sie schwerwiegend waren, und dem Grad D in Fällen von leichten Defiziten. Grad A kam überwiegend im Rahmen von C1-C4-Läsionen vor. Begründet durch die biomechanischen Unterschiede, beeinflusste das Alter insofern nachweislich die Diagnose in dreierlei Hinsicht. Nicht nur die Prävalenz war bei Kindern von null bis neun Jahren höher, sondern auch der Schweregrad der Verletzung sowie der neurologischen Ausfallerscheinungen.

Im Rahmen des Managements dokumentierte man aufgrund der zunehmend vorgenommenen Immobilisation des Nackens weniger Verläufe des „verzögerten Auftretens“. Dennoch berichteten Pang et al. von Fällen eines Wiederauftretens von SCIWORA, obwohl dabei eine Instabilität mittels Funktionsaufnahmen ausgeschlossen wurde. Im Vergleich zur Vorstudie aus dem Jahr 1982 wurde demgemäß der Nutzen der Funktionsaufnahmen in Frage gestellt, denn mit der Entwicklung der MRT könnten genauere Aufnahmen gewährleistet werden. Dieser Methode wurden enorme Qualitäten hinsichtlich der Therapie und Prognose zugeschrieben, vor allem wenn man die Diagnostik von extra- und intraneuralen Pathologien betrachtete. Pang et al. klassifizierten die neuralen post-SCIWORA MRT-Befunde anhand folgender fünf Kategorien: kompletter Querschnitt, starke spinale Blutungen, schwache spinale Blutungen, Ödeme oder ein unauffälliges MRT. Nach einer Studie mit 50 Patient\*Innen [12] kamen die Autor\*Innen zur Übereinkunft, dass MRT-Befunde einen höchst prädikativen Wert für das Outcome hätten, denn

Patient\*Innen mit Signalveränderungen hätten eine ungünstigere Prognose. Das bedeutete, Auffälligkeiten entsprechend eines Querschnitts oder starker spinaler Blutungen (funktional einhergehend mit Frankel Grad B und C) erreichten keine Verbesserung zu Grad D. Dagegen sprachen schwache spinale Blutungen zu 40% der Fälle und Ödeme zu 75% für einen zufriedenstellenden Erholungsgrad. Auch wenn letztere MRT-Befunde initial mit Frankel Grad B oder C vergesellschaftet waren, konnten die Patient\*Innen Frankel Grad D erreichen. 25% der Patient\*Innen mit Ödem erreichten sogar eine normale Genesung im Sinne von Grad E. 35% der Patient\*Innen hatten eine unauffällige MRT und gleichsam eine exzellente Prognose, ungeachtet dessen, wie sich die initiale Neurologie zeigte. Alle Patient\*Innen mit unauffälliger Bildgebung erholten sich komplett. Diese Resultate heben den prognostischen Stellenwert der MRT hervor.

Pang et al. empfahlen, sowohl eine akute MRT innerhalb der ersten drei Tage zu veranlassen sowie eine Wiederholung der MRT zwischen dem sechsten und neunten Tag. Dadurch könnte man Komplikationen im Verlauf ausschließen bzw. frühzeitig erkennen. Sie folgerten, dass der beste Therapieerfolg durch die Prävention von neurologischen Schäden erreicht werde. Dies geschehe vor allem im Hinblick auf die Prävention von Verletzungen während der anfälligen post-SCIWORA Periode. Dementsprechend sprachen sich die Autor\*Innen nicht nur für die präklinische Versorgung aus, sondern auch für eine spinale Immobilisation als initiales Management zur Prävention von Rezidiven oder einer Verschlechterung der Neurologie. In jedem Fall wurde die komplette WS geröntgt und bei Bedarf der Kreislauf stabilisiert sowie Sauerstoff oder Bluttransfusionen verabreicht. Daneben wurden für bestimmte Verletzungsbilder Spezialist\*Innen hinzugezogen. Sobald die pädiatrischen Patient\*Innen stabilisiert waren, erhielten sie bei unauffälligem Röntgenbild ein axiales CT und ein MRT. Außerdem wurden bei Bedarf Funktionsaufnahmen zum Ausschluss von Instabilitäten veranlasst. Bei unkooperativen oder präverbalen Patient\*Innen eigneten sich SEP als Zusatzmethode zum Nachweis geringfügiger Veränderungen. Daneben gehörten nicht nur die 24-stündige Gabe von Corticosteroiden zum Management, sondern auch die drei Monate lange Immobilisation. Teilweise wurde eine Immobilisation für die ersten zwei Wochen durchgeführt und danach eine Neubewertung. Zusätzlich sprachen sich die Autor\*Innen für eine anschließende Aktivitätsrestriktion,

physiotherapeutische Maßnahmen und eine Nachuntersuchung mittels Funktionsaufnahmen aus.

Neben Pang et al. untersuchten Knox et al. in einer datenbasierten, epidemiologischen Studie 297 pädiatrische SCIWORA-Patient\*Innen, die im Jahr 2012 bundesweit versorgt wurden [20]. Von der Studie ausgeschlossen wurden alle Patient\*Innen über 18 Jahre oder Patient\*Innen mit Frakturen. Ziel der Studie war es, zu überprüfen, ob beispielsweise demographische Variablen einen Einfluss auf die Diagnose hatten. Sie stellten fest, dass sich bestimmte Unfallmechanismen in den jeweiligen Altersgruppen häuften. Hinsichtlich des Alters unterteilten Knox et al. die Kohorte in drei Subgruppen. Die jüngste Gruppe war jünger als drei Jahre, die mittlere Altersgruppe war vier bis zehn Jahre alt und die älteste Fraktion war elf Jahre oder älter. Im Hinblick auf die Geschlechterverteilung stellten sie mit einem Anteil von 64,3% eine Dominanz der männlichen Patienten fest. Insbesondere in der ältesten Subgruppe (11-17 Jahre), nahm der Anteil der männlichen Patienten mit 72% signifikant zu. Während sich mit steigendem Alter eine zunehmende männliche Dominanz zeigte, waren in der jüngeren Subgruppe (0-3 Jahre) mit 53% etwas mehr weibliche Patientinnen betroffen. Laut den Autor\*Innen liege der Schlüsselfaktor im Alter, denn sie beschrieben altersabhängige Unterschiede im Hinblick auf den Unfallmechanismus, die Häufigkeit, das Verletzungsmuster und die Lokalisation. Betrachtet man die älteste Gruppe zwischen elf und 17 Jahren, hatten Sportunfälle mit 57% die höchste Prävalenz. Während sich im Allgemeinen Sportunfälle mit 41% am häufigsten ereigneten, waren in der Altersgruppe von null bis zehn Jahren Verkehrsunfälle (mit 38-40%) und Stürze (mit 19-23%) für einen großen Anteil der Verletzungen verantwortlich. Außerdem war mit 17% Kindesmisshandlung eine verbreite Ursache bei sehr kleinen Kindern.

Als Läsionsort war bei knapp der Hälfte der Studienpopulation (zu 46%) die HWS betroffen und am zweithäufigsten die BWS. Wiederum stellte sich heraus, dass das Risiko einer HWS-Verletzung vom Alter abhängig war. Kinder zwischen null und drei Jahren zogen sich zu 64% Verletzungen an der HWS zu.

Ein Anteil von 53% der Studienpopulation wies außerdem Begleitverletzungen auf. Den epidemiologischen Daten zufolge, kamen primär Schädeltraumen vor, gefolgt von orthopädischen Verletzungen sowie Gesichts- und Thoraxverletzungen. Im

Gegensatz zu den Vergleichsgruppen zeigte sich bei der jüngsten Subgruppe nicht nur eine höhere Rate an HWS-Verletzungen, sondern auch an Begleitverletzungen, vor allem in Form von SHT.

Signifikante Unterschiede ermittelte man zudem hinsichtlich der durchschnittlichen Verweildauer im Krankenhaus. Während die jüngeren Kinder im Mittel 20,2 Tage stationär behandelt wurden, waren es zugunsten der älteren Vergleichsgruppe fünf Tage. Insgesamt belief sich die durchschnittliche Verweildauer auf 13 Tage. Gemessen am Alter ergab sich eine 2,6-fach längere Behandlungsdauer der jüngeren im Vergleich zu den älteren Kindern. Die Gründe dafür waren unklar und vermutlich multifaktoriell bedingt. Knox et al. kamen zu dem Ergebnis, dass es bei milden und moderaten Verletzungen ein vielversprechendes Potential zur funktionellen Erholung und Wiedererlangung der vollen Funktion gab. Da die Mortalität mit 2% bei 297 Patient\*Innen eher gering war, wurde die Prognose nach SCIWORA als günstig eingeschätzt. Nichtsdestotrotz beeinflusste das Alter den Schweregrad insofern maßgeblich, da kleinere Kinder vergleichsweise häufiger komplette neurologische Läsionen erlitten. Somit zeigten diese im Falle von schwerwiegenden Verletzungen mit nur 10% eine nachweislich ungünstigere Erholungsprognose auf.

#### **4.3 Diskussion der Methoden**

Im Folgenden werden die verwendeten Methoden dieser Studie erläutert. Die Stärke der Studie besteht in den strengen Ein- und Ausschlusskriterien. Denn es wurden ausschließlich „echte SCIWORA“ Patient\*Innen untersucht und andere Ursachen für die neurologischen Einschränkungen ausgeschlossen. Limitationen resultierten aus dem retrospektiven Design und der begrenzten Fallanzahl der Studie.

Indem die relevanten Daten aus einem bereits bestehenden Traumaregister erhoben wurden, konnte man Dokumentationsfehler nicht sicher ausschließen. Ebenso konnten im Nachhinein keine Störfaktoren vermieden werden, welche aufgrund unzureichender Dokumentation zustande kamen. Eine Vergleichbarkeit der Einzelfälle kann nicht garantiert werden, da die Patient\*Innen von unterschiedlichen Mitarbeiter\*Innen aufgenommen, untersucht und therapiert wurden. Außerdem

wurde nach der Diagnose kein standardisiertes Behandlungsschema herangezogen, um gleiche Bedingungen zu gewährleisten. Stattdessen erfolgte eine individualisierte, bedarfsgerechte Therapie. Ferner wurde die Nachuntersuchung der Kohorte durch das retrospektive Design erschwert. Ein „Lost to Follow Up“ von sieben Patient\*Innen im Rahmen der Nachuntersuchung minderte die Rücklafrate um 21,9% im Vergleich zum initialen Kollektiv. Daraus resultierte eine mangelhafte Kontrollierbarkeit des Follow-Up und möglicherweise eine Verzerrung des Ergebnisses. Trotz der Größe des Level I Traumazentrums und des Zeitraums von zwölf Jahren war es nicht möglich, mehr als 32 SCIWORA-Patient\*Innen zu erfassen. Die geringe Größe der Studienpopulation kam deswegen zustande, weil eine geringe Anzahl von „echten SCIWORA“ Patient\*Innen im Studienzeitraum am UKR behandelt wurde und demnach eine niedrige Inzidenz des Krankheitsbildes vorlag. Nicht nur in der vorliegenden Studie war die Fallanzahl gering. Auch andere Vorstudien waren durch geringe Patientenzahlen gekennzeichnet. Beispielsweise konnten Pang et al. in ihr Kollektiv nur 24 Patient\*Innen über einen Zeitraum von 20 Jahren aufnehmen [1], da laut den Autor\*Innen pädiatrische SCI die Minderheit darstellten. Dagegen betrachteten Knox et al. in einer bundesweiten Studie mit 297 Patient\*Innen vergleichsweise viele SCIWORA-Fälle [20]. An dieser Stelle ist allerdings zu erwähnen, dass in deren Studienpopulation über 50% der Patient\*Innen strukturelle Schäden und Begleitverletzungen aufwiesen. Anders als in der vorliegenden Studie, die zur Diagnose des „echten SCIWORA“ eine Bildgebung mittels MRT zum Ausschluss struktureller Läsionen voraussetzte, schlossen Knox et al. nicht in allen Fällen eine Rückenmarks- bzw. WS-Verletzung mittels MRT aus.

Im Rahmen der Literaturrecherche war zu beachten, dass eine Vielzahl von früheren Vergleichsstudien [1, 2, 16, 45] Patient\*Innen einschlossen, welche eine auffällige Bildgebung in der MRT aufwiesen, sodass die Ergebnisse nicht repräsentativ für das „echte SCIWORA“ Syndrom waren. Somit war keine Vergleichbarkeit mit einigen retrospektiven Fallstudien und Metaanalysen gegeben. Zum Teil wurden in den Studien - anders als die Einschlusskriterien dieser Studie besagten - Fälle miteinbezogen, die knöcherne Schäden oder veränderte Signalintensitäten aufzeigten. Am konkreten Beispiel von Boese et al. [16] entsprach das Kollektiv dieser Analyse lediglich dem Typ I der Klassifikation von Boese et al. Somit war nur eine spezielle Subgruppe direkt vergleichbar und alle anderen mussten anhand der

Rahmenbedingungen ausgeschlossen werden. Zudem ist in Anbetracht der Bildgebung zu vermerken, dass es beim Studienvergleich eine große Varianz hinsichtlich diagnostischer Methoden gab.

Zur quantifizierbaren Einstufung des neurologischen Status diente der Frankel-Score, welcher durch fünf Grade eine übersichtliche und objektivierbare Beurteilung ermöglichte. Dieser ist allerdings auf den allgemeinen physischen Zustand limitiert, sodass er keine detaillierte Auskunft zum sog. „Overall Outcome“, den individuellen neurologischen Defiziten oder dem jeweiligen Therapieerfolg zuließ [92]. Die vereinfachte Einstufung reflektierte demzufolge zwar das Ausmaß der motorischen Beeinträchtigung, allerdings wurden damit weder Schmerzen noch sensorische oder autonome Beschwerden berücksichtigt.

Daher wurden als Ergänzung weitere objektivierbare und reproduzierbare Scores angewandt. Die herangezogenen Verlaufsparemeter in Form des ODI, des EQ-5D sowie des BSSS stellten ein Differenzierungsmerkmal zu früheren Studien dar. Denn dadurch wurden nicht nur die mittelfristigen physischen, sondern auch die psychischen Auswirkungen nach der Diagnose erfasst. Im Rahmen dessen wurde sichergestellt, dass subjektive Ansichten und soziale Bedingungen die objektive Auswertung des klinischen Outcomes nicht beeinflussten.

Während andere retrospektive Studien und Metaanalysen nur den kurzfristigen Verlauf betrachteten, wurde in dieser Studie nach durchschnittlich 6,9 Jahren ein Follow-Up angeschlossen. Allerdings konnten nicht alle Verlaufsparemeter der Nachuntersuchung aufgrund des retrospektiven Charakters mit den Werten im akuten Setting verglichen werden.

Weitere Studien werden benötigt, um die Hypothese der vollständigen Genesung aller „echten SCIWORA“ Patient\*Innen zu bestätigen. Dafür wären weitere prospektive Studien wünschenswert. Solche würden ein hohes Level an Evidenz und eine gute Kontrollierbarkeit untersuchter Variablen liefern, ohne die typischen Limitationen einer retrospektiven Studie mit sich zu bringen [21]. Mit Hilfe mittel- bis langfristiger prospektiver Studien könnte man evidenzbasierte Protokolle als Therapieempfehlungen entwickeln [92]. Nichtsdestotrotz ist dies die erste Studie über das mittelfristige Outcome nach „echtem SCIWORA“ mit einer angemessenen Anzahl an Patient\*Innen in der Literatur.

## **4.4 Diskussion der Ergebnisse**

Anschließend werden die Ergebnisse der Studie mit der aktuellen Literatur verglichen und diskutiert.

### **4.4.1 Epidemiologische Daten**

Die Inzidenz von SCIWORA wird in der Literatur mit Werten von 3,3% bis 42% angegeben, abhängig vom Patientenalter und dem Einsatz der MRT [15, 17, 19, 20, 24]. Allerdings könnte die Inzidenz aufgrund der uneinheitlichen Charakterisierung und der fehlenden Nutzung der MRT überschätzt werden. Steht nämlich keine MRT als primäre diagnostische Bildgebung zur Verfügung, kann die Ausschlussdiagnose des „echten SCIWORA“ nicht adäquat gestellt werden. Zum Teil werden dann inkonsistent Fälle mit anderweitigen physischen Befunden als SCIWORA gewertet [48]. Andererseits folgern manche Autor\*Innen, dass sich mit den Fortschritten der Bildgebung, insbesondere den magnetischen Resonanzbildgebungstechniken, und der besseren Verfügbarkeit der MRT, die Erkennungsrate von SCIWORA signifikant verbessern könnte [24]. Vor dem Zeitalter der MRT-Diagnostik wurde von einer vergleichsweise hohen Inzidenz von 67% berichtet [1]. Daher sollte man vorwiegend die Angaben der Artikel berücksichtigen, die seit der MRT-Diagnostik veröffentlicht wurden [17, 93].

Ferner berichten Yucesoy et al., dass die Inzidenz zugleich von den Kenntnissen der Untersuchenden abhängt. Im Fall von behandelnden Pädiater\*Innen, Kinderchirurg\*Innen und Ärzt\*Innen in der Notaufnahme wäre die Inzidenz demnach höher, wohingegen von Neurochirurg\*Innen oder Orthopäde\*Innen weniger Fälle gemeldet werden. Diese Tatsache könnte im Hinblick auf die Erkennungsrate zu Abweichungen aufgrund inkonsistenter Diagnosen führen.

Betrachtet man die Altersverteilung des Syndroms, nimmt die Inzidenz von SCIWORA mit zunehmendem Alter ab [20, 23]. Bei Kleinkindern beträgt sie 20-40%, bei jungen Erwachsenen hingegen 5-12% [20, 33, 42, 94, 95]. Bei Erwachsenen werden Inzidenzwerte von 2-12% (gemessen am Anteil aller SCI-Fälle) angegeben, welche wiederum aufgrund der Beschaffenheit der WS je nach Altersgruppe variieren



[25, 96]. In dieser retrospektiven Studie beläuft sich die Fallanzahl von pädiatrischen „echten SCIWORA“ Diagnosen über einen Zeitraum von zwölf Jahren auf 32 Patient\*Innen. Somit ergibt sich ein Durchschnittswert von 2,7 Fällen jährlich, was weniger als drei pädiatrischen Fällen im Schnitt pro Jahr am UKR entspricht. Es ist anzumerken, dass sich der Wert gemäß den Ausschlusskriterien auf „echte SCIWORA“ Patient\*Innen bezieht, die keinerlei Pathologien in der Bildgebung aufweisen.

Der Term „SCIWORA“ wird nämlich oftmals inadäquat als Sammelbegriff für klinische Befunde verwendet, die schwierig zu diagnostizieren sind. Beispiele dafür sind Rückenmarkskontusionen, Verletzungen des brachialen Plexus, der Nervenwurzel oder der peripheren Nerven [15]. Weil in manchen Publikationen das Akronym als Überbegriff für unspezifische Verletzungen oder zum Ausschluss von spezifischeren Diagnosen genutzt wird, findet eine uneinheitliche Verwendung des Akronyms statt. Es mangelt nicht nur an Konsens bezüglich der Definition, sondern auch hinsichtlich der Demographie der einbezogenen Patient\*Innen, der Ätiologie, der Behandlung und der Prognose des Krankheitsbildes, obwohl sich eine Vielzahl von Artikeln mit dem Thema SCIWORA auseinandersetzt. Aus diesen Gründen sind die Berichte nur bedingt miteinander vergleichbar. Solange keine allgemeine Übereinkunft herrscht, variieren die Inzidenzwerte basierend auf der jeweiligen Definition und der Art des Bildgebungsnachweises weiterhin. Manche Autor\*Innen fordern daher, eine Änderung des Akronyms SCIWORA in SCIWONA („SCI Without Neuroimaging Abnormality“) vorzunehmen, falls das MRT als unauffällig klassifiziert wird [17, 24].

#### **4.4.2 Patientenkollektiv**

SCIWORA kommt im Allgemeinen häufiger bei Kindern und Heranwachsenden als bei der älteren Population vor [21, 24]. Diese Beobachtung konnte man ebenso bei diesem Kollektiv feststellen. Die allgemeine Literatur weist auf eine Häufung unter dem achten Lebensjahr hin [25]. Das Durchschnittsalter der Patient\*Innen in dieser Studie ist mit 14,5 Jahren höher als das Durchschnittsalter der Patient\*Innen in vergleichbaren Studien [1, 21, 48]. Dies liegt an dem geringeren Anteil an Patient\*Innen der Subgruppe von null bis neun Jahren, welche in anderen Studien einen nicht unerheblichen Teil des Kollektivs ausmacht. Lediglich vier Patient\*Innen

befanden sich in der jüngeren Kohorte. Dies ergab einen Anteil von 12,5% am Gesamtkollektiv. Die restlichen 87,5% waren zehn Jahre oder älter (zehn bis 23 Jahre). Wie in dieser Studie, stellten auch Knox et al. in einer Studie einen erhöhten Anteil (66,3%) an Kindern zwischen elf und 17 Jahren fest [20].

Shin et al. geben in einem Bericht mögliche Gründe für eine geringere Repräsentation von Kleinkindern mit SCI an, welche ebenfalls auf dieses Patientenkollektiv mit „echtem SCIWORA“ zutreffen könnten [23]. Es wird zwar erwartet, dass Kleinkinder und junge Kinder aufgrund der unreiferen Knochenmorphologie der WS und der reduzierten Laxität der Bänder im Kindesalter Prädispositionen für die Diagnose aufweisen [2, 26], nichtsdestotrotz wird die jüngere Subgruppe seltener in der Notaufnahme aufgrund von Traumata vorstellig. Denn meist werden sie entweder von Erwachsenen beaufsichtigt oder sie verbringen aufgrund ihrer limitierten Fähigkeit zur eigenständigen freien Bewegung insgesamt weniger Zeit mit selbstständigen Freizeitaktivitäten. Um diese Annahme zu stützen, ist eine Betrachtung im Kontext des Unfallhergangs nötig. Während Shin et al. bei Kleinkindern von einer limitierten Fähigkeit zur eigenständigen Bewegung ausgehen, sind anderen Autor\*Innen zufolge Kleinkinder aufgrund ihrer Biomechanik schwerwiegender betroffen. Diverse Publikationen behaupten, dass das jeweilige Alter prädikativ für den Schweregrad der Diagnose sei [33]. Knox et al. untergliedern ihr Kollektiv sogar anhand des Schlüsselfaktors „Alter“ [20].

Betrachtet man die Geschlechterverteilung, wurde in Studien meist die Dominanz der männlichen Patienten festgestellt [16, 21, 42], allerdings mit Häufigkeitsunterschieden je nach Einteilung in Altersgruppen [20, 23]. Zum Teil zeigte sich nämlich mit zunehmendem Alter ein steigender Anteil an männlichen Verletzten. Insgesamt belief sich im vorliegenden Kollektiv der Anteil der weiblichen Patientinnen unabhängig vom Alter auf 34,4%, während der prozentuale Anteil der männlichen Patienten 65,6% betrug (Verhältnis 11:21). Diese Differenz variierte, wenn man die verschiedenen Altersgruppen betrachtet. Mit einem Altersdurchschnitt von 16,1 Jahren der männlichen Patienten und 13,6 Jahren der weiblichen Patient\*Innen waren die männlichen Heranwachsenden zum Traumazeitpunkt durchschnittlich 2,5 Jahre älter. Die männliche Dominanz könnte zum Teil in der höheren Risikoaffinität begründet liegen.

#### 4.4.3 Traumabezogene Daten

Typische Verletzungsmechanismen bei SCIWORA sind Hyperextensionskräfte, beispielsweise bei Auffahrunfällen, oder direkte Einwirkungen auf den Kopf. Studien zufolge ereignen sich stumpfe Traumata pädiatrischer SCIWORA-Fälle oftmals im Rahmen von Verkehrsunfällen, Stürzen und Kindesmissbrauch [1, 2]. Bei Jugendlichen sind Sportunfälle verbreiteter [48]. Auch die vorliegenden Daten und weitere Berichte über Verletzungsmechanismen bei Kindern und Heranwachsenden bestätigen diese Beobachtungen [2, 15, 16, 21, 24, 27, 94]. In dieser Studie waren die stumpfen Traumata zu 43,75% auf Stürze, zu 25% auf Sportunfälle, zu einem Anteil von 18,75% auf Verkehrsunfälle und zu 12,5% auf Unfälle beim Spielen zurückzuführen. An der Aufzählung ist zu erkennen, dass in dieser Studie der Großteil der Unfälle aufgrund von Hochenergiemechanismen zustande kam und nur ein geringer Anteil auf Niedrigenergiemechanismen basierte. Der höhere Anteil von Hochenergietraumata (d.h. Sportunfälle, MVA oder Stürze aus großer Höhe) könnte dadurch erklärt werden, dass das Durchschnittsalter im Vergleich zu anderen SCIWORA-Studien höher ist, die Kinder mit zunehmendem Alter aktiver werden und damit einhergehend, Hochenergietraumata häufiger vorkommen. Ab dem Einschulungsalter sind die Kinder und Heranwachsenden nicht nur in der Schule eigenständig aktiv, sondern auch im Rahmen von Outdoor- und Sportaktivitäten in der Freizeit. Bei Kindern über elf Jahren häufen sich demnach die WS-Verletzungen aufgrund von sportlichen Aktivitäten [20]. Im Gegensatz dazu ereignen sich Unfälle im frühen Kindesalter eher im Haushalt und bei passiver Verkehrsteilnahme [6]. In der vorliegenden Studie gab es in der jüngeren Subgruppe nur einen Unfall aufgrund passiver Verkehrsteilnahme. Die übrigen fünf Verkehrsunfälle, welche ausschließlich männliche Patienten im Alter von 15 bis 21 Jahren erlitten, kamen im Rahmen aktiver Verkehrsteilnahme zustande.

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung hinsichtlich der Traumata fällt auf, dass man hierbei nicht nur anhand des Alters, sondern ebenfalls anhand des Geschlechts differenzieren kann. Anders als bei Knox und Carroll et al. [20, 21], die in ihren Studien ausschließlich nach Altersgruppen unterscheiden, kann man in der vorliegenden Studie eine Assoziation zwischen Unfallmechanismus und Geschlecht

herstellen. In unserer Studie zogen sich insbesondere männliche Heranwachsende Verkehrsunfälle und Stürze aus großer Höhe zu. Bei Sportunfällen verteilte sich die Rate zu gleichen Teilen auf die Geschlechter. Ein zu berücksichtigender Faktor der traumabezogenen Daten wäre dementsprechend nicht nur das Alter [20, 94], sondern auch das Geschlecht.

Nicht-akzidentielle Traumata (beispielsweise durch Kindesmisshandlung), wie sie bei Knox und Farrell beschrieben wurden [20, 42], wurden in dieser Kohorte nicht beobachtet. Mahajan et al. stellten zusätzlich eine Korrelation zwischen Traumamechanismus und Bildgebungsbefunden fest [23]. Denn in deren Studie waren vor allem Verkehrsunfälle und -Kollisionen mit auffälligen MRT-Scans verbunden, während Sportunfälle mit unauffälligen MRT-Befunden assoziiert waren. Dieser Sachverhalt traf ohnehin nicht auf die vorliegende Analyse des „echten SCIWORA“ mit unauffälliger Bildgebung zu.

#### **4.4.4 Diagnostik**

Auch wenn das ATLS-Protokoll für das Traumamanagement der SCI allgemein anerkannt ist, variieren die Behandlungsmethoden verschiedener Institutionen für Patient\*Innen mit „echtem SCIWORA“, weil dafür bisher kein offizieller Behandlungsalgorithmus definiert und eingeführt wurde [28]. Allerdings sind eine frühe Diagnose sowie das richtige Management der SCIWORA-Patient\*Innen nach einem pädiatrischen Trauma essentiell, denn unerkannte SCI könnten permanente, lebensverändernde Schäden mit sich bringen [21]. Wie bereits erwähnt, stellt es eine Herausforderung dar, alle Defizite pädiatrischer Fälle aufgrund der oftmals limitierten Kommunikation zu identifizieren. Das UKR entwickelte unter Beachtung der folgenden Prämissen ein Protokoll als denkbaren Algorithmus für SCIWORA.

Das Standardprotokoll des UKR für wirbelsäulenverletzte Kinder sieht eine interdisziplinäre Behandlungsweise vor, welche sich am ATLS-Konzept orientiert. Zunächst wird die WS immobilisiert, falls dies nicht bereits im Vorfeld geschehen ist. Im Allgemeinen gilt die Priorität der externen WS-Immobilisation zur Vermeidung von Nackenflexionen aufgrund des relativ großen Kopfes bei Kindern. Diese ist bereits während des Notfalltransports bei Verdacht auf eine WS-Verletzung indiziert. Danach

erfolgt die Identifikation von Defiziten, das Ausführen des Clearance-Protokolls sowie die Kontrolle der Hämodynamik und Stabilität [41, 42, 47]. Zudem ist es empfehlenswert, dass Fachärzt\*Innen der Unfallchirurgie, der Pädiatrie sowie der Neurologie anwesend sind, um neurologische Defizite zu erfassen, welche ansonsten - insbesondere bei präverbalen Kindern - übersehen werden könnten. Zusätzlich wird für alle Patient\*Innen mit neurologischen Defiziten für eine klinisch neurologische Untersuchung gesorgt, durchgeführt von Spezialist\*Innen. Darüber hinaus wird für alle Patient\*Innen, die sich vor dem 18. Lebensjahr befinden, eine pädiatrische Assistenz angefordert. Nach der differenzierten klinischen Untersuchung und der Stabilisierung der jungen Patient\*Innen, erfolgt die bildgebende Diagnostik. Der radiologische Algorithmus orientiert sich am Traumamechanismus, dem Alter, der klinischen Präsentation sowie an der hämodynamischen Stabilität. Im Falle einer stabilen hämodynamischen Situation mit unauffälligem erweiterten, fokussierten Assessment mit Sonographie bei Trauma (eFAST) sind Röntgenbilder indiziert. Zeigen diese trotz manifester neurologischer Ausfälle keine pathologischen richtungsweisenden Befunde, ist ein MRT-Scan der ganzen WS unerlässlich [97]. Bei kreislaufstabilen Patient\*Innen sollte die MRT-Diagnostik zur Abklärung der neurologischen Symptomatik durchgeführt werden, um Myelonschäden auszuschließen.

Im Folgenden wird am Beispiel des Patientenkollektivs auf jeden der einzelnen Punkte des Algorithmus genauer eingegangen.

#### **4.4.4.1 Initiale Untersuchung und Präsentation**

Hinsichtlich der Diagnostik des SCIWORA Syndroms und der anschließenden Bewertung der Patient\*Innen gehen die Meinungen der Autor\*Innen in einigen Punkten auseinander. Daher werden vor dem Hintergrund der vorliegenden Ergebnisse die relevantesten Charakteristiken des Krankheitsbildes diskutiert. Eine neurologische Untersuchung ist unerlässlich, idealerweise mit einer wachen und kooperativen Person. Die initiale klinische Untersuchung und Anamnese ist allerdings bei sehr jungen Patient\*Innen aufgrund zahlreicher Faktoren vergleichsweise kompliziert durchzuführen [41]. Nicht nur Kinder und Heranwachsende reagieren unter traumatischen Rahmenbedingungen ängstlich, auch deren Angehörige können

eine zusätzliche Herausforderung für den Untersuchenden darstellen. Dementsprechend könnten Angestellte in der Notaufnahme, denen es an klinischer Erfahrung mit pädiatrischen und jugendlichen Fällen fehlt, orientierungslos bei der initialen Untersuchung sein. Nicht selten kommt hinzu, dass eine Kommunikation mit pädiatrischen Patient\*Innen in der Notaufnahme erschwert ist, sei es aufgrund von Bewusstlosigkeit oder bei präverbalen Kindern.

In der vorliegenden Studie kam es in 40,6% der Fälle (13 mal) zu einer beobachteten initialen Bewusstlosigkeit am Unfallort. Sechs der 13 Fälle anfänglicher Bewusstlosigkeit waren auf ungeklärte Ursachen zurückzuführen, weitere sechs davon lagen möglicherweise im Traumamechanismus begründet und einmal kam es zu einer Synkope. Alle initial bewusstlosen Patient\*Innen erlangten bereits bis zur Aufnahme am UKR das volle Bewusstsein zurück, mit einem GCS von 15 und einem ASA Status von I, sodass bei diesen Patient\*Innen eine kooperative, klinische Untersuchung erfolgen konnte. In der Vergleichsliteratur werden keine Angaben über den GCS und ASA Status der Verletzten gemacht. Betrachtet man die vorliegende Analyse, kann man keine Korrelation zwischen der initialen Bewusstlosigkeit, dem Schweregrad der Symptomatik und dem Outcome dieser Patient\*Innen herleiten.

Im Allgemeinen beginnt man das initiale Management mit spinaler Immobilisation und klinischer Evaluation. Die zervikale WS sollte dauernd stabilisiert bzw. immobilisiert sein und man sollte mit größtmöglicher Achtsamkeit untersuchen - insbesondere bei präverbalen Kindern - um keine neurologischen Defizite zu übersehen [42]. Bei der klinischen Untersuchung liegt der Fokus auf dem neurologischen Status [24, 28, 41]. Zusätzlich wäre eine detaillierte Schilderung des Unfallhergangs zwar von Vorteil, diese ist aber, im Falle eines limitierten Zustandes der Patient\*Innen, zur Erfassung der Ausfallerscheinungen nicht unerlässlich. Im Gegensatz dazu sollte immer eine gründliche körperliche Untersuchung erfolgen, um eine adäquate Behandlung gewährleisten zu können. Einige Autor\*Innen empfehlen zur Orientierung die sog. AIS, eine SCI-Skala der ASIA, zu nutzen, welche heutzutage als internationaler Standard gilt [35]. Um den initialen neurologischen Status bewerten und im Verlauf vergleichen zu können, wird in der vorliegenden Studie der Frankel-Score als Bewertungsmaßstab herangezogen. Dieser Score bringt neben der guten Vergleichbarkeit auch eine hohe Reproduzierbarkeit mit sich.

Die anfängliche klinische Präsentation der 32 Patient\*Innen zeigte ein breites Spektrum an neurologischen Defiziten wie vorübergehende Parästhesien, motorische Schwäche, sensorischen Verlust, kombinierte sensomotorische Defizite, pathologische Reflexe, Verlust des rektalen Tonus, Inkontinenz bis hin zur Paralyse und partieller oder kompletter Querschnittssymptomatik. Diese Bandbreite an Symptomen und Verletzungsmuster beschreiben ebenfalls zahlreiche Autor\*Innen in ihren Publikationen zur Thematik [2, 42, 94]. Zum Teil kommen lokaler Schmerz, Empfindlichkeit, Abschürfungen und Blutergüsse im WS-Bereich hinzu [27, 28, 32, 33]. Im Gegensatz zu manchen Publikationen, die verzögerte klinische Defizite - wie beispielsweise vorübergehende Taubheit in den Extremitäten - feststellten [33], traten die Erscheinungen dieses Kollektivs ausschließlich akut (und ohne Latenz) auf.

Abhängig vom Schweregrad und Läsionsort ist die neurologische Symptomatik zum Zeitpunkt der Präsentation partiell oder komplett. In einer Studie von Dickman et al. wurde berichtet, dass bei einem Anteil von 70% der jungen Kinder eine komplette Querschnittssymptomatik festgestellt wurde [94]. In der vorliegenden Studienpopulation war die Sensomotorik der unteren Extremität bei allen 32 Patient\*Innen betroffen, die obere Extremität dagegen nur in acht Fällen. Ausfallerscheinungen der oberen Extremität deuten auf einen Läsionsort in Höhe der HWS hin. Differenziert man nach Altersgruppen, wird bei jungen Kindern auffällig oft eine Schädigung der oberen HWS beobachtet, womöglich aufgrund der höheren Lokalisation des Fulcrums der Bewegung [21, 41]. In vergleichbaren Studien werden am häufigsten Verletzungen auf Höhe der HWS dokumentiert und am zweithäufigsten auf Höhe der BWS [20, 21]. Mit dem Alter steigt statistisch signifikant der Anteil an unspezifischen Läsionshöhen der WS [20].

Zum Zeitpunkt der Aufnahme der 32 Patient\*Innen am UKR umfasste der Frankel Grad die Ausprägungen A, B, C und D. Am häufigsten wurde Grad C, zu einem Anteil von 37,5%, und Grad D, zu 34,4%, diagnostiziert. Zu 18,7% kam Grad A vor und zu 9,4% die Ausprägung des Grades B. Im Gegensatz zur Annahme von Pang et al., dass die jüngere Subgruppe schwerwiegendere Läsionen davontragen würde [1, 2], zeigte sich in dieser Studie kein Zusammenhang zwischen Alter und Frankel Grad. In manchen Studien wurde von schwerwiegenderen Befunden nach MVA berichtet [15]. Anhand der vorliegenden Analyse konnte man allerdings keine Korrelation zwischen Frankel Grad und Unfallmechanismus erkennen.

Andere Autor\*Innen stellten häufig Begleitverletzungen fest, Knox et al. sogar in bis zu 87% der jüngeren SCIWORA-Fälle und Shin et al. berichteten in knapp der Hälfte aller Fälle bei Kleinkindern von Komorbiditäten [23]. Darunter würden insbesondere junge Patient\*Innen die höchste Rate an zusätzlichen Verletzungen zeigen, vor allem des Kopfes, des Gesichts und der Extremitäten [20]. In dieser Studie schloss man jedoch jede andere traumatische Ursache für neurologische Symptome aus, indem alle Patient\*Innen, die anderweitig verletzt waren, aus der Studie ausgeschlossen wurden. Somit konnte man sichergehen, dass ausschließlich das Outcome der „echten SCIWORA“ Patient\*Innen ohne Störfaktoren evaluiert wurde.

#### **4.4.4.2 Radiologischer Algorithmus**

Alle Kinder oder jungen Erwachsenen, bei denen ein spinales Trauma oder gar ein neurologisches Defizit vermutet wird, sollten umgehend in ein spezialisiertes Traumazentrum mit verfügbarer MRT gebracht werden. Nach der differenzierten klinischen Untersuchung und Stabilisierung erfolgt die bildgebende Diagnostik. Die Wahl der adäquaten Bildgebung sollte neben der entsprechenden Diagnostik dem Zweck dienen, eine zielgerichtete Behandlung zu ermöglichen, weitere Versorgungsmethoden abzuwägen sowie Prognosen über das Outcome abzugeben. Dabei orientiert sich der radiologische Algorithmus am Alter, der klinischen Präsentation und der hämodynamischen Instabilität. Liegt eine stabile hämodynamische Situation sowie ein unauffälliges eFAST vor, aber neurologische Ausfälle, sind Röntgenbilder und eine schnelle MRT-Diagnostik indiziert. Mittels der Röntgenaufnahmen der WS sollten spinale Frakturen ausgeschlossen werden. Die Indikation der Bildgebung mittels konventioneller Röntgen- und CT-Aufnahmen wird mit der Planung des weiteren Behandlungsverlaufs begründet [24]. Bei unkooperativen, instabilen oder bewusstlosen Patient\*Innen ist ein CT-Scan indiziert, da dieser schnell und gleich verfügbar ist [41].

Aufgrund dessen, dass Röntgenstrahlung bei pädiatrischen Patient\*Innen minimiert werden sollte, dient die Kernspintomographie als Goldstandard zur Beurteilung von Kindern mit Verdacht auf SCI [41]. Die erste Beschreibung des SCIWORA Syndroms von Pang et al. ging der Routinediagnostik mittels MRT voraus [1]. Auch andere verfügbare Bildgebungsmethoden hatten damals nicht die Fähigkeit, Läsionen des



Weichteilgewebes zu identifizieren, welche auf Röntgenbildern und CT-Scans nicht ersichtlich sind. Nach allgemeiner Übereinkunft kann man - bei klinisch, radiologischer Diskrepanz nach einem stumpfen Trauma - heutzutage anhand der MRT mit Hilfe verfeinerter Gewichtungen und Evaluationsmethoden des Rückenmarks einerseits Weichteilpathologien erfassen [41] und andererseits das Krankheitsbild SCIWORA als Ausschlussdiagnose festlegen. Heute gilt, sobald der Verdacht auf SCIWORA besteht, sollte eine MRT durchgeführt werden. Denn es ermöglicht die Evaluation des intramedullären Zustands des Rückenmarks im Detail. Demnach sollte bei kreislaufstabilen Patient\*Innen zur Abklärung der neurologischen Symptomatik eine MRT der gesamten WS durchgeführt werden, um Myelonschäden auszuschließen, falls konventionelle Röntgen- oder CT-Aufnahmen keine Hinweise auf Läsionen zeigen [24]. Denn die Häufigkeit von Auffälligkeiten im MRT-Befund trotz unauffälligem CT-Scan beträgt, einer Studie von Dreizin et al. zufolge, bis zu 15% [19].

Dabei ist allerdings der Zeitpunkt der MRT nicht zu vernachlässigen [19]. Methämoglobin, welches für die hyperintense Signalstärke verantwortlich ist, wird extraneural innerhalb von Stunden produziert und damit schneller als neuronales Methämoglobin, welches sich erst nach mehreren Tagen entwickelt [12, 19]. Demnach lasse die unmittelbare MRT-Bildgebung nicht immer eine suffiziente Beurteilung von neurologischen Ausfallerscheinungen zu. Diesen Sachverhalt stellten auch Ouchida et al. nach einem Vergleich von Aufnahmen im Zeitverlauf fest [46]. Demnach existiere ein signifikanter Unterschied zwischen unverzüglichen Untersuchungen mittels MRT und den Follow-Up-Untersuchungen. Zusätzlich zum Timing sollten weitere Variablen im Rahmen der Interpretation berücksichtigt werden. Denn die adäquate Repräsentation des Outcomes hänge beispielsweise auch vom Ausmaß eines Ödems als wichtigem Biomarker ab [43]. Werden hingegen keine Signalveränderungen mittels T1-, T2- und STIR-Sequenzen erfasst, was der Definition des „echten SCIWORA“ entspricht, ist dies gleichzeitig ein guter prognostischer Faktor für die komplette, neurologische Erholung der Patient\*Innen.

Im Gegensatz zu Erwachsenen, bei denen die Kombination von CT und MRT als Standarddiagnostik für traumatische SCI gilt [92], ist bei Kindern die CT nicht als leitende, sondern als notfallmäßige Bildgebung indiziert. Nichtsdestotrotz wird die

MRT erst in einer stabilen Situation durchgeführt, um spinale Ursachen der Neurologie abzuklären. Die MRT kann somit nicht in jeder Situation zur Diagnostik herangezogen werden. Daher wird zum Ausschluss eines zentralen Geschehens bei Instabilität, beispielsweise nach Hochrasanztrauma mit Bewusstlosigkeit, die CT-Diagnostik durchgeführt.

Funktionsaufnahmen liefern keine Zusatzinformationen für die Diagnostik in der akuten Trauma-Situation [41]. Studien zeigen, dass sie weder einen Vorteil gegenüber der CT bieten noch sind sie im Vergleich zu anderen diagnostischen Methoden kosteneffizienter. Weil keine zusätzlichen Informationen aufgezeigt werden können, wenn Röntgen- oder CT-Befunde bereits negative Aufnahmen vorweisen [28], werden sie nicht in den Algorithmus von SCIWORA aufgenommen. Dagegen verfügen Myelographie und Angiographie über weiteren diagnostischen Nutzen für SCIWORA [24]. Bei Persistenz der neurologischen Symptomatik kann auch die elektrophysiologische Untersuchung hilfreich sein.

Im Allgemeinen wird bei Verdacht auf SCIWORA - bei persistierenden, neurologischen Ausfallerscheinungen nach unauffälligem Röntgen oder WS-CT - die prompte Durchführung weiterer Bildgebung empfohlen. In dieser Situation ist ein MRT der gesamten WS zur Diagnostik und Prognose indiziert [42]. Die Autor\*Innen empfehlen, eine MRT innerhalb von 24 Stunden zum Ausschluss von extra- und intraneuralen Verletzungen durchzuführen [16, 96]. Ein gründliches Management beinhaltet daher eine frühzeitige MRT als Teil der Evaluation [42].

Nur wenige Publikationen liefern Daten über die Dauer bis zur ersten Bildgebung. In einer Studie von Carroll et al. betrug die mittlere Zeit zur MRT beispielsweise 5,4 Tage [21]. Insgesamt erfolgte in deren Kohorte eine Kernspintomographie bei 51,7% der Patient\*Innen. Dare et al. berichteten von einer MRT-Diagnostik innerhalb von 24 Stunden in 85% der Fälle [98]. Im Rahmen einer Studie von Tewari et al. wurde die initiale MRT bei Erwachsenen innerhalb von 72 Stunden durchgeführt [25]. In der vorliegenden Studie betrug die mittlere Zeit zur initialen spinalen MRT einen Tag. Bei 65,6% der Patient\*Innen erfolgte die Kernspintomographie bereits am ersten Tag und der Rest der Kohorte erhielt im Verlauf nach durchschnittlich 3,2 Tagen (1-9 d) ein MRT. Zusätzlich erhielten elf Patient\*Innen einen Polytrauma- bzw. CT-Scan der WS zum Ausschluss knöcherner Verletzungen. Diese Datenlage des UKR zum

radiologischen Algorithmus entspricht den Forderungen der Fachliteratur in Bezug auf die bildgebende Routinediagnostik.

Die höhere Kontrastauflösung, das Fehlen von knöchernen Artefakten, die multiplanare Bildgebung und die bessere Verfügbarkeit der MRT führen zu einem erweiterten Verständnis des Spektrums von Verletzungen, die sich unter dem Begriff „SCIWORA“ subsumieren lassen [19, 45]. Zum einen verhilft die MRT zur Identifikation von Schäden, die operative Interventionen erfordern, und andererseits kann man beim Fehlen von spinalen Pathologien das „echte SCIWORA“ Syndrom diagnostizieren. Darüber hinaus ist es das Mittel der Wahl mit wichtigem prognostischen und diagnostischen Vorhersagewert [14, 25], denn es besteht das Potenzial mittels MRT das Outcome der Patient\*Innen vorauszusagen [28, 44]. Die Verfügbarkeit der MRT in einer Klinik kann sogar für den Transfer der Patient\*Innen ausschlaggebend sein [42]. Des Weiteren ist zu erwarten, dass sich die Definition der Diagnose SCIWORA zusammen mit künftigen Fortschritten der MRT-Technik weiterentwickelt [24]. Im Hinblick auf die Verwendung des Akronyms „SCIWORA“, wäre eine Übereinkunft hinsichtlich des Timings der Bildgebung und der Bewertung der bildgebenden Befunde bei Patient\*Innen mit Verdacht auf SCIWORA wünschenswert. Bisher werden in diversen Studien Patient\*Innen mit auffälligen MRT-Befunden eingeschlossen oder Patient\*Innen, welche keine MRT-Diagnostik erhielten [42]. Demnach besteht aufgrund der abweichenden Diagnostik eine mäßige Vergleichbarkeit [42]. Zugleich nutzen manche Publikationen das Akronym als Sammelbegriff für ein unspezifisches Verletzungsmuster, während sich das „echte SCIWORA“ ohne radiologische Korrelate davon nachdrücklich unterscheidet.

#### **4.4.5 Therapie**

Die Behandlung der Patient\*Innen wird konservativ gehandhabt, da keinerlei Indikationen für einen operativen Eingriff vorliegen [21]. Basierend auf derzeitigen Studien und den vorzeitigen Erfahrungen wird - ungeachtet der neurologischen Befunde - keine operative Intervention bei „echten SCIWORA“ Patient\*Innen empfohlen. Jeglicher radiologische Nachweis einer Pathologie wäre gleichsam eine Indikation dafür, dass eine schwerwiegendere Diagnose als das „echte SCIWORA“ Syndrom vorliegt [28, 42]. Zur konservativen Versorgung erhalten die Patient\*Innen

standardmäßig eine rigide HWS-Stütze für zwölf Wochen [42]. Pang et al. empfehlen eine Ruhigstellung von Patient\*Innen, welche trotz unauffälliger MRT persistierende neurologische Defizite aufweisen, denn es könnten Instabilitäten oder verzögerte Verletzungserscheinungen auftreten. Die Autor\*Innen schlagen vor, sobald keine neurologischen Defizite mehr vorhanden sind, eine feste Zervikalstütze für ein bis zwei Wochen einer verlängerten Immobilisation als Standardversorgung vorzuziehen. Zusätzlich sollte eine regelmäßige klinische Vorstellung zur Wiederbewertung erfolgen [2]. Neben der Behandlung mittels fester Halskrause sollte zudem eine physiotherapeutische Behandlung stattfinden [42]. In einer multizentrischen Studie von Mahajan et al. wurde kein einziger Patient mit unauffälliger MRT („echtes SCIWORA“) operiert, wohingegen 6-13% der „unechten SCIWORA“ Patient\*Innen entweder eine Immobilisation mittels Halo-Fixateur oder eine interne Stabilisierung erhielten. Bei 20% der „echten SCIWORA“ Patient\*Innen erfolgte nach der Entlassung keine Ruhigstellung [15].

In der Studienpopulation war bei keinem der 32 „echten SCIWORA“ Patient\*Innen eine operative Intervention indiziert. Alle wurden ausnahmslos konservativ behandelt. Die Mobilisation der Patient\*Innen erfolgte schmerzabhängig und unter physiotherapeutischer Anleitung. Die Dauer der spinalen Immobilisierung hängt vom Erholungsgrad der neurologischen Symptome und der generellen klinischen Präsentation ab. Diese betrug nach allgemeinen Empfehlungen zwei bis sechs Wochen im Studienkollektiv. In der Literatur gibt es keinen Hinweis auf einen Benefit durch eine längere Immobilisation bei „echtem SCIWORA“ [24, 48].

Betrachtet man Komplikationen im Rahmen der Diagnose, könne es zu einer Komplikation in Form eines „verzögerten Auftretens“ kommen, auch wenn die initiale Bildgebung mittels MRT unauffällig ist. In der Literatur wird dabei vom sog. „Second-Hit-Phänomen“ gesprochen [36, 37]. Trotz der Abwesenheit von initialen, radiologisch nachweisbaren Pathologien, kamen im Rahmen einiger Studien erneute Ausfallerscheinungen vor. Es wurde sowohl von Erscheinungen berichtet, die innerhalb von 48 Stunden auftraten, als auch von Komplikationen nach bis zu drei Jahren [24, 48]. Erst durch wiederholte MRT-Scans bei Follow-Up Untersuchungen könne man Latenzerscheinungen ausschließen [16, 28, 48]. Derartige Follow-Up Bildgebungen empfehlen Swedowski et al., da deren berichtete Rezidiv-Prävalenz

bei 50% lag. Nichtsdestotrotz gibt es bisher keine Übereinkunft bezüglich eines optimalen Intervalls für eine Follow-Up MRT, um eine hilfreiche Prognose nach der Diagnose zu stellen [42]. Laut Liu et al. gäbe es keine Korrelation zwischen neurologischem Outcome und einer frühzeitigen MRT, was die Relevanz des Timings im Hinblick auf die Diagnose unterstreicht [96]. Da in einem Bericht von Pang und Pollack acht von 18 Kindern ein sekundäres SCIWORA Syndrom erlitten, entwickelten die Autor\*Innen ein Konzept der okkulten WS-Instabilität [27]. Denn wenn die Nachweis-Schwelle der MRT-Signalveränderung initial nicht erreicht werde und die Regeneration bereits subjektiv wahrgenommen werde, übten die Patient\*Innen zeitnah unbesorgt ihre normalen physischen Aktivitäten aus [33]. Um erneute Schäden mit ernsthaften Konsequenzen zu vermeiden, empfehlen sie eine langfristige Immobilisation der WS für weitere drei Monate mit signifikantem Einfluss auf den Behandlungsalgorithmus [27, 41]. Zur Vorbeugung raten einige Autor\*Innen zusätzlich zu Funktionsaufnahmen sowie zu einem Follow-Up bei bestehendem Verdacht auf mögliche Instabilitäten [33, 41]. Außerdem werden Patient\*Innen dazu angehalten, riskante Aktivitäten für einige Wochen zu unterlassen, um akute Exazerbationen der Symptome zu vermeiden. Indem man durch WS-Instabilitäten bedingte Rezidive präventiv ausschliesse, könne der Therapieerfolg der Patient\*Innen verbessert werden [27, 48]. Allerdings konnte nicht endgültig nachgewiesen werden, dass eine verlängerte Immobilisation zur Vermeidung von Rezidiven einen Vorteil bringe [8, 48]. Bosch et al. vertreten hinsichtlich der Kontroverse die Annahme, dass eine Immobilisation nicht mehr indiziert sei, sobald eine Instabilität ausgeschlossen sei und die Diagnose SCIWORA vorliege [48]. Auch Dreizin et al. sehen keine Rechtfertigung der präventiven, verlängerten Immobilisation für alle, denn Patient\*Innen mit „echtem SCIWORA“ benötigten nur eine kurze Periode der Immobilisation [19]. Falls die verursachenden Läsionen tatsächlich unter der Detektionsschwelle der MRT liegen, könnte durch eine künftige Verbesserung der MR-Technik diese Fallzahl verringert werden [19].

Dadurch, dass bei der analysierten „echten SCIWORA“ Kohorte zu jedem Zeitpunkt eine unauffällige Bildgebung vorlag, ist kein direkter Vergleich mit den erwähnten Publikationen gegeben. Im Verlauf traten weder sekundäre neurologische Funktionsstörungen noch Symptome mit einer Latenzzeit auf. Zwar zeigten sich je nach Untersuchungszeitpunkt variierende Ausfallerscheinungen, allerdings immer

so, dass die Symptome initial offensichtlich waren und sich im weiteren Verlauf milderten. Die Ausfälle zeigten sich demnach akut und ohne Latenz, während bei einigen erwähnten Studien von einer verzögerten Symptomatik berichtet wurde [24, 38].

Treten tatsächlich wiederkehrende Symptome auf, sollte eine MRT wiederholt werden. Ungeachtet dessen, ob eine Indikation für eine sekundäre Diagnostik vorliegt, empfehlen einige Autor\*Innen, sechs bis neun Tage nach der primären Bildgebung eine MRT anzuschließen [19]. Bisher besteht allerdings keine Übereinkunft der Autor\*Innen über das optimale Intervall der prognostischen Bildgebung und über die klinische Relevanz der späteren Befunde [16, 19, 28]. Es wird vermutet, dass MRT-Aufnahmen als Follow-Up sinnvoll seien, um den Zustand des Rückenmarks nach der akuten Phase anzuzeigen [46]. Denn anhand dieser Bilder erhalte man prognostische Informationen [27, 46]. Eine spätere Bildgebung hätte somit einen weiteren diagnostischen Nutzen und würde den Ärzt\*Innen erlauben, im Verlauf eine geeignete Behandlung zur Outcome-Verbesserung zu wählen [21].

Als generelle Behandlungsempfehlung hinsichtlich der Immobilisation sollten pädiatrische Patient\*Innen mit Verdacht auf SCIWORA in erster Linie individuell behandelt werden. Die Evaluation sollte durch gezielte Befunde geleitet und durch die Anamnese ergänzt werden. Solange nicht das Gegenteil bewiesen ist, sollte von einer Rückenmarksverletzung ausgegangen werden und unter der Annahme einer WS-Instabilität untersucht werden. Die MRT ist indiziert, wenn weiterhin neurologische Symptome vorhanden sind, obwohl Frakturen ausgeschlossen wurden, oder wenn Verdacht auf eine Instabilität der WS besteht. Dagegen stellen Funktionsaufnahmen der WS unter Durchleuchtung keine adäquate Methode zur Diagnostik in der Akutsituation dar. Eine Immobilisierung der WS sollte mindestens solange erfolgen, bis eine strukturelle Schädigung der WS mittels Bildgebung ausgeschlossen ist und eine neurologische Untersuchung stattgefunden hat [48].

Des Weiteren umfasst die konservative Therapie - neben der Schockraumversorgung, der neurologischen Überwachung, der Abklärung durch andere Fachbereiche und der Immobilisation - eine bedarfsgerechte Analgesie, Physiotherapie und weiteres Monitoring. Daten zur Medikation sind in der

Fachliteratur kaum dokumentiert. Lediglich Atesok et al. verweisen in einer Studie auf den Einfluss einer hochdosierten MP-Therapie [28]. Basierend auf weiteren Studien über SCI könne die Gabe von Kortikosteroiden, insofern sie innerhalb der ersten sechs bis acht Stunden nach dem Trauma begonnen wird, einen Mehrwert verschaffen [28, 33]. Daher wird empfohlen, bei persistierender Neurologie, MP in therapeutischen Dosen zu applizieren [21, 25, 33]. Mahajan et al. berichten zwar über den Einsatz von Glucocorticoiden in 69% der Fälle, allerdings sei der Gebrauch im Rahmen von SCI nicht länger routinemäßig empfohlen [15], denn vor allem bei Kindern seien hohe Dosen umstritten [49, 50]. Bekannte Nebenwirkungen und Risiken einer Steroidtherapie sind beispielsweise eine erhöhte Infektionsgefahr oder Wundheilungsstörungen. Es wird ersichtlich, dass weitere Untersuchungen für eine Aussage nötig seien, denn es gibt bisher keinen nachweislichen Effekt der Steroidtherapie im Rahmen von SCIWORA.

In der vorliegenden Studie wurde bei allen 32 Patien\*Innen im Schockraum, auf der ICU sowie auf Station eine bedarfsgerechte Analgesie nach dem WHO-Stufenschema durchgeführt. In manchen Fällen wurde zusätzlich die Verabreichung eines Steroids oder eines krampflösenden Benzodiazepins verordnet.

Nach der initialen Bewertung und Versorgung im Schockraum wurden 11 Patient\*Innen (34,4%) zur Überwachung auf die Intensivstation verlegt. Im Mittel lag die Verweildauer in der ICU bei 1,3 Tagen (1-3 d) und keine/r der Patient\*Innen zeigte nach der Verlegung auf Normalstation Anzeichen einer körperlichen Verschlechterung. Über die intensivmedizinische Versorgung liefern andere Publikationen nahezu keine Vergleichsangaben.

#### **4.4.6 Daten zum kurzfristigen Verlauf**

Das Urteil über den kurzfristigen Therapieerfolg während des stationären Aufenthalts fiel bei der Studienpopulation in allen Fällen positiv aus. Die Patient\*Innen erreichten nach durchschnittlich 3,9 Tagen (1-13 d) eine vollständige Erholung. In der Fachliteratur wurden kaum Informationen über die Dauer des Symptomregress aufgeführt. Dare et al. untersuchten eine Kohorte (n=18) mit partiellen neurologischen Defiziten und gaben hierbei an, dass zu 78% innerhalb der ersten 72 Stunden die Ausfallerscheinungen rückläufig waren und bei den restlichen 22% die Symptome

länger als drei Tage anhielten [98]. Tewari et al beobachteten bei Erwachsenen mit partiellen Verletzungen sowie günstigem Frankel Grad eine signifikante Genesung innerhalb der ersten zwei Wochen. Alle mit initialem Grad D bzw. minimalen SCI erreichten am Ende Grad E [25]. Betrachtet man die neurologische Besserung, wurde bei einer Studie von Carroll et al. eine durchschnittliche Verbesserung von 0,89 AIS-Graden (-3 bis 4) festgestellt [21].

Bei 20 Patient\*Innen (62,5%) der vorliegenden „echten SCIWORA“ Kohorte war die neurologische Symptomatik spontan bzw. innerhalb eines Tages rückläufig. Insbesondere bei den jüngeren Patient\*Innen (n=4) war die Symptomatik rasch rückläufig, teilweise sogar vor dem Eintreffen in der Notaufnahme. Entgegen der Hypothese von Pang et al. zeigte die junge Subgruppe daher durchaus positive Verläufe auf. Darüber hinaus berichteten die restlichen 37,5% des Kollektivs über eine Genesung innerhalb mehrerer Tage oder weniger Wochen. Am Ende des Aufenthalts erlangten auch diese den funktionalen Normalzustand zurück. Beurteilt man den klinischen Verlauf der 32 Patient\*Innen während des Krankenhausaufenthalts, war dieser exzellent. Alle erlangten eine komplette Genesung und ausnahmslos einen Frankel Grad von E, ungeachtet dessen, welchen initialen Frankel Grad die Patient\*Innen aufzeigten. In dieser Kohorte konnte kein Zusammenhang zwischen der Dauer der Genesung und dem initialen Frankel-Score ausfindig gemacht werden. Diese Erkenntnis deckt sich hingegen nicht mit einer Vielzahl von Publikationen, die besagen, dass hauptsächlich der initiale neurologische Status den kurzfristigen Verlauf bestimme [1, 2]. Zudem steht die schnelle Erholung der jungen Subgruppe im Widerspruch zur Annahme von Pang et al., die behaupteten, dass jüngere Patient\*Innen einen schwerwiegenderen Verlauf erleiden würden [1, 2].

Wie zur Erholungsdauer dokumentierten vergleichbare Publikationen nahezu keine genauen Daten über die Dauer des Krankenhausaufenthalts. Mit einer durchschnittlichen Verweildauer von 13 Tagen in der Studie von Knox et al. [20] lag deren Durchschnitt deutlich über den 2,8 Tagen (1-13 d) der vorliegenden Studie. Shin et al. berichteten von einem medianen Aufenthalt von 3,8 Tagen nach pädiatrischen HWS-Verletzungen, welche jedoch nicht direkt vergleichbar mit SCIWORA sind [23]. Liu et al. ermittelten mit 7,4 Tagen eine etwas längere



Verweildauer, allerdings basierend auf SCIWORA bei Erwachsenen [96]. Differenziert man nach Altersgruppen, beanspruchte die jüngere Subgruppe (0-3 Jahre) der Kohorte von Knox et al. mit 20,2 Tagen eine 2,6-fach längere Überwachung bis zur Entlassung als deren älteste Subgruppe (11-17 Jahre) [20]. Der Grund dafür war wahrscheinlich multifaktoriell bedingt.

Gemessen am Alter stellte sich in der vorliegenden Analyse kein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der stationären Aufenthaltsdauer heraus. Während Knox et al. von einer signifikant kürzeren Aufenthaltsdauer der elf bis 17-Jährigen berichteten, kam man hier zur gegenteiligen Erkenntnis. Es zeigte sich eine schnelle Genesung der jüngeren Subgruppe im Alter von fünf bis zehn Jahren (n=6), welche im Mittel zwei Tage und maximal drei Tage in der Klinik verbrachten. Mit 93,8% wurde die Mehrheit der Kohorte direkt nach Hause entlassen und zwei Patient\*Innen (6,2%) absolvierten direkt im Anschluss eine stationäre Reha bzw. eine stationäre psychiatrische Behandlung. In einem Fall wurde erst nach der Entlassung nach Hause eine ambulante Reha angeschlossen. Nach der Verweildauer im Krankenhaus sollten die Patient\*Innen auf Anraten der verantwortlichen Ärzt\*Innen sportliche Tätigkeiten für mehrere Wochen vermeiden. Außerdem wurde eine Wiedervorstellung nach einer und nach sechs Wochen post-Trauma empfohlen sowie die Inanspruchnahme einer ambulanten Betreuung wie beispielsweise Physiotherapie. Diese Empfehlungen dienten dem Zweck, frühzeitig Folgebelastungen zu erkennen und eine adäquate Behandlung zu gewährleisten.

#### **4.4.7 Mittelfristiges Outcome**

Im Folgenden wird das mittelfristige Outcome der Patient\*Innen in physischer und psychischer Hinsicht evaluiert.

##### **4.4.7.1 Prognose des physischen Outcomes**

Basierend auf Pang's Berichten, hätten Patient\*Innen mit schwachen bis mäßigen initialen neurologischen Defiziten die besseren Chancen auf vollständige Erholung [2, 2, 14, 14, 96]. Pang et al. erklärten, dass der neurologische Status zum Zeitpunkt der Aufnahme der einzig vorhandene Prädiktor des langfristigen Outcomes für

Kinder mit SCIWORA sei. In deren primärer Studie hielten die Erstbeschreiber des SCIWORA Syndroms den initialen neurologischen Status für den einzigen Vorhersagewert des Outcomes [1]. Sie stellten fest, dass sich diejenigen Patient\*Innen mit kompletter SCI kaum erholten. Der Zustand nach schwerwiegender, aber inkompletter SCI, verbesserte sich zwar oftmals, aber dennoch stellte sich danach selten der Ausgangszustand wieder her. Nicht nur Pang et al. berichteten, dass die meisten Kinder mit kompletter oder schwerwiegender Symptomatik keine vollständige Erholung erlangten. Auch andere Studien vertraten die Annahme, dass grundsätzlich nur die Patient\*Innen mit initial milden bzw. partiellen Läsionen eine zufriedenstellende neurologische und funktionelle Erholung erreichten. Insofern sei das Ausmaß der Defizite maßgeblich, denn es sei mit den Fortschritten zur Wiedererlangung der Funktionen assoziiert [14, 20, 49]. Somit widerspiegelt der Grad der anfänglichen neurologischen Präsentation und das Ausmaß der anschließenden Verbesserung das Outcome-Charakteristikum von SCIWORA [20]. Knox et al. bekräftigten zusätzlich, dass das Alter der Verletzten ausschlaggebend für das Potenzial zur Besserung sei, wenn man bedenkt, dass kleinere Kinder vergleichsweise oft komplett oder schwerwiegend neurologisch verletzt waren. Deshalb war die Prognose für eine signifikante Erholung bei kompletten Querschnittsverletzungen weniger vielversprechend und betrug lediglich 10% in deren jüngerer Kohorte. In der Ära der Publikationen mit limitierten radiologischen Bildgebungsmethoden war allerdings davon auszugehen, dass man die Diagnose SCIWORA als Sammelbegriff verwendete und man infolgedessen nicht nur Patient\*Innen mit „echtem SCIWORA“ in derartige Studien einschloss.

20 Jahre nach der ersten Veröffentlichung von „SCIWORA in Children“, reevaluierten Pang et al. das Konzept der okkulten WS-Instabilität eines Patienten nach dem SCIWORA Syndrom. Sie unterschieden diesbezüglich zwischen fünf verschiedenen neuralen MRT-Erscheinungen und zwischen deren klinischem Outcome. Die Befunde wurden entweder als komplette Querschnittssymptomatik, als starke oder schwache spinale Blutung oder als Befunde mit ausschließlichem Ödem bzw. als Normalbefund interpretiert. Eine Querschnittssymptomatik oder starke spinale Blutungen seien Anzeichen für einen wesentlich schlechteren Behandlungserfolg im Vergleich zu schwachen spinalen Blutungen oder einem Ödem. Die beiden Letzteren sprächen dagegen für eine mäßige bis gute Erholung und verbesserten sich in 40%

der Fälle im Verlauf. Ganze 75% der Patient\*Innen mit Ödem erreichten ebenfalls einen besseren Erholungsgrad und die restlichen 25% davon erholten sich sogar komplett [2]. Ein unauffälliges MRT bedeute folglich meist eine vollständige Genesung [12].

Nicht nur Pang et al. differenzierten zwischen den MRT-Befunden, sondern auch Boese et al. klassifizierten diesbezüglich in einer Publikation [92]. In deren umfassendem systematischem Review für Erwachsene mit SCIWORA untersuchten sie die relative Verbesserung je nach Verletzungsgrad, um einen Zusammenhang zwischen klinischen und radiologischen Befunden herzustellen. Das folgende Klassifizierungssystem hebt - wie bei Pang et al. - den prognostisch günstigen Wert eines unauffälligen MRT-Befunds hervor. Liegt ein unauffälliges MRT vor, sei dies laut Boese et al. das sog. Typ I SCIWORA. Ansonsten werde es - bei Auffälligkeiten im MRT - als Typ II definiert. Andere Autor\*Innen vertreten die Theorie, dass beispielsweise das Ausmaß eines Ödems ein Biomarker für die Prognose sei [43].

In einer Studie von Bosch et al. erlangten alle Patient\*Innen mit unauffälliger MRT eine volle Rückbildung der neurologischen Defizite, im Gegensatz zu Patient\*Innen mit auffälliger MRT [48]. Aufgrund dessen, dass in deren Kollektiv alle Patient\*Innen mit schwerwiegenden, permanenten Ausfallerscheinungen positive CT- oder MRT-Befunde aufzeigten und sich kein Patient mit negativen Befunden im Verlauf verschlechterte, befürworteten Bosch et al. eingehend eine Diagnostik mittels MRT zur Prognoseermittlung. Mahajan et al. kamen im Rahmen einer vierjährigen Analyse von Patient\*Innen unter 16 Jahren zu dem Ergebnis, dass sich das Outcome von SCIWORA auf Basis negativer MRT-Befunde signifikant von denen mit auffälligem MRT unterscheidet [15]. Zum einen erhielten Patient\*Innen mit Auffälligkeiten im MRT mit einer Rate von 20% mehr operative Stabilisierungen und zum anderen waren persistierende neurologische Defizite nach Entlassung um 61% wahrscheinlicher (67% vs. 6%) [15]. Demgegenüber sprach ein unauffälliges MRT in allen Fällen für einen nachweislich günstigeren Therapieerfolg ohne neurochirurgische Intervention (zu 0%) oder persistierende Defizite (zu 6%). Zusammenfassend bieten MRT-Befunde aufgrund der Korrelation mit dem Outcome nützliche prognostische Informationen, auch wenn sie das akute Management nicht unmittelbar beeinflussen. Aufgrund des beschriebenen Sachverhalts liegt es nahe,

dass sowohl der MRT-Befund als auch der Grad der initialen Verletzung und die gezeigte Neurologie wichtige Auskunft über das Potential der Erholung liefern und relevant zur Vorhersage des Therapieerfolgs sind [25, 28, 42, 46, 49].

Bevor auf den mittelfristigen Therapieerfolg anhand der vorliegenden Kohorte eingegangen wird, ist anzumerken, dass die Vergleichbarkeit der Studien über SCIWORA bezüglich der Prognose durch die unterschiedliche Verwendung des Akronyms gemindert wird. Dahingehend fordern Bosch et al., das Akronym durch den Term „SCIWOPRA“, SCI Without Plain Radiographic Abnormality, zu ersetzen oder jeden Einzelfall durch deskriptive Terme zu beschreiben [48]. Mahajan et al. empfehlen, den Term SCIWORA restriktiv zu verwenden [15]. Das bedeutet, nur wenn die Neurologie nachweislich ohne Auffälligkeiten in der MRT bedingt ist, sollte man das Akronym SCIWORA gebrauchen. Eine klare klinische Definition erlaube nämlich eine exakte Diagnose, Behandlung und entsprechende epidemiologische Berichte. Demzufolge sollten Prognosen mittels MRT gestellt werden und Patient\*Innen ohne MRT-Befunde sollten von Studien zu SCIWORA ausgeschlossen werden. Auch Farrell et al. fordern eine „Reklassifikation“ von Befunden, die zur Diagnose führen. Dies sei nämlich zur Vereinheitlichung der Definition nötig, nachdem die Befunde zu sehr variierten. Ansonsten bleibt die Langzeitprognose aufgrund unterschiedlicher Erscheinungen, die SCIWORA beinhaltet, variabel [42]. Ohnehin mangelt es bisher an Untersuchungen größerer Kollektive zur Langzeitprognose [28].

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden alle 32 Patient\*Innen nach einer und nach sechs Wochen post-Trauma sowie 25 der 32 Patient\*Innen, also ein Anteil von 78,1%, nach durchschnittlich 6,9 Jahren (1-14 Jahren) reevaluiert. Keine/r der Patient\*Innen berichtete von relevanten physischen Beschwerden. In der Kohorte der „echten SCIWORA“ Fälle wurde somit ersichtlich, dass nicht die initiale klinische Beeinträchtigung - entgegen mancher Publikationen - das Outcome bestimmte, sondern viel mehr die Abwesenheit von Pathologien in der MRT. Dadurch, dass in der vorliegenden Analyse initial als Einschlusskriterium des „echten SCIWORA“ ein unauffälliges MRT gefordert wurde, war anhand der Prognosen der Fachliteratur zu erwarten, dass alle nachuntersuchten Patient\*Innen einen guten Behandlungserfolg

aufweisen. Denn dies war bereits bei Publikationen aus der Ära mit MRT höchst prädikativ für ein exzellentes Outcome [2].

Die Erfahrung aus dem eigenen Patientengut mit 25 nachuntersuchten Patient\*Innen in den vergangenen zwölf Jahren zeigt demzufolge, dass selbst Kinder, die in der klinischen Untersuchung eine Querschnittssymptomatik aufweisen, eine völlig normale Funktion wiedererlangen, sofern kein Korrelat in der hochaufgelösten MRT („echtes SCIWORA“) nachweisbar ist. Daher ist das SCIWORA Syndrom eine wichtige Diagnose, die als Ausschlussdiagnose zu stellen ist. Denn sobald das MRT Zeichen von Verletzungen aufweist, gibt es eine spezifischere Diagnose als SCIWORA.

Geht man genauer auf die prä-, peri- und posttraumatischen Faktoren ein, beschrieben Bosch et al. einen Zusammenhang zwischen einer schwerwiegenden Neurologie und Verkehrsunfällen. Sie folgerten, dass eine Korrelation des schlechten Outcomes mit Hochenergie-traumata bestünde. Zusätzlich seien Traumata mit Thorax-Beteiligung und ein jüngeres Alter bei der Präsentation ungünstige Faktoren für die Prognose.

Anders als in den Studien von Knox und Bosch et al. [20, 48] gab es in der vorliegenden Analyse keinen Zusammenhang des Outcomes mit dem Alter oder dem Unfallmechanismus, da unabhängig von Hoch- oder Niedrigenergie-traumata eine zufriedenstellende Genesung erreicht wurde. Ebenso wenig wurde das Auftreten von Komplikationen in der vorliegenden Kohorte beobachtet. Auf Anraten der verantwortlichen Ärzt\*Innen wurde eine routinemäßige Nachuntersuchung zur Verlaufskontrolle nach dem Krankenhausaufenthalt empfohlen. Alle Patient\*Innen wurden eine Woche sowie sechs weitere Wochen nach dem Traumageschehen nachuntersucht. Aufgrund der Tatsache, dass keine Komplikationen zwischen den Nachsorgeterminen auftraten, vereinbarte keine/r der Patient\*Innen eine frühere als die routinemäßig geplante, unfallchirurgische Nachsorge. Zumal mit 52% bei über der Hälfte der 25 Patient\*Innen ausschließlich dieser Kontrolltermin zur Nachuntersuchung erfolgte, lassen die Daten darauf schließen, dass sich im Rahmen der mittelfristigen Nachsorge keine Beschwerden zeigten. Mindestens eine weitere ambulante Kontrolluntersuchung oder Reha-Therapie nahmen 44% wahr und 4% befanden sich in stationärer Folgebehandlung. Mit 8% stellte der Anteil an

Patient\*Innen, die entweder eine psychiatrische Folgebehandlung oder eine stationäre Reha mit Psychotherapie in Anspruch nahmen, die Minderheit dar (siehe unter Punkt 4.4.7.2 Prognose des psychischen Outcomes). Ein Grund für die geringe Nachsorgerate könnte der positive Verlauf der Genesung nach dem SCIWORA Syndrom sein. Nichtsdestotrotz ist es wichtig, die unfallchirurgische Nachsorge nach einer und nach sechs Wochen beizubehalten, um in Einzelfällen weitere Auffälligkeiten oder Rezidive auszuschließen und so bei Bedarf eine frühzeitige, adäquate Nachbehandlung zu gewährleisten. Um die Rücklaufrate zur Nachsorge zu verbessern, ist ein festgelegtes Zeitintervall zur Nachuntersuchung von Vorteil.

Im Gegensatz zum Bericht von Carroll et al., die eine operative Interventionsrate von 3,3% dokumentierten [21], erfolgte im Rahmen dieser Analyse auf lange Sicht kein operatives Follow-Up, da es beim „echten SCIWORA“ keine Indikation dafür gibt. Im vorliegenden Kollektiv war die neurologische Symptomatik bei allen Patient\*Innen rückläufig und es traten keine Komplikationen im Rahmen der Nachsorge auf. Dennoch ist es unerlässlich, jeden einzelnen Fall sorgsam abzuklären, um strukturelle und potenziell interventionsbedürftige Beschwerden zu erfassen. Eine weitere klinische Nachuntersuchung zur Evaluation des Langzeitergebnisses und der möglicherweise vorliegenden neurologischen Residuen ist demzufolge empfehlenswert.

Als Kritik ist anzuführen, dass vereinfachte Einstufungen, wie beispielsweise anhand des Frankel Grads, das Ausmaß der neurologischen Beeinträchtigung nicht immer adäquat reflektieren können [92]. Meist werden die Messmethoden der Studien aus Gründen der Übersichtlichkeit auf Scores limitiert. Nur eine Minderheit betrachtet andere Faktoren wie sensorische Auffälligkeiten, das WS-Level der SCI sowie die empfundene Schmerzintensität. Ebenso wenig werden Beschwerden im Alltag oder psychologische Parameter berücksichtigt. Im Folgenden wird eine dementsprechende Ergänzung durch die Beschreibung einiger relevanter Verlaufparameter am Beispiel der Studienpopulation vorgenommen. Hierbei werden neben der Medikation und den individuell angegebenen Beschwerden im Alltag die Ergebnisse der Pain-VAS und des ODI diskutiert. Aufgrund des retrospektiven Designs der Studie wurden die Parameter im Verlauf erhoben.

Betrachtet man die Einnahme von Medikamenten in den Folgejahren von SCIWORA, widerspiegeln die Angaben der Studienpopulation den günstigen Verlauf des Krankheitsbildes. Bis auf zwei der 25 Patient\*Innen (8%) war keiner auf eine regelmäßige Schmerzmedikation angewiesen. Die Mehrheit nahm im Verlauf entweder keine Medikation (68%) oder Schmerzmittel bei Bedarf (16%) ein. Eine Ausnahme stellten zwei weitere Patient\*Innen (8%) dar. Ein Patient gab an, regelmäßig Cannabis zu konsumieren und eine Patientin war seit einigen Jahren abhängig von Psychopharmaka bzw. Psychoaktiva. Man kann allerdings nicht darauf schließen, dass der Grund des Drogenabusus auf das SCIWORA Syndrom zurückzuführen war. Neben der Medikation fand auch die subjektive Schmerzempfindung im Rahmen der Nachuntersuchung Beachtung, um einen besseren Eindruck über das „Overall Outcome“ zu gewinnen. Dadurch, dass 84% der Patient\*Innen im Alltag keine maßgeblichen Schmerzen (Pain-VAS: 0-1) wahrnahmen, unterstreicht dies eine günstige Prognose. Die restlichen vier Patient\*Innen (16%) gaben an, entweder leichte Schmerzen (Pain-VAS 2-3, n=2) oder moderate Schmerzen (Pain-VAS 4-5, n=2) im Alltag zu verspüren. Bei genauerer Nachforschung ergab sich, dass die Schmerzen beispielsweise bei Überbelastung auftraten oder durch chronische Leiden entstanden sind und daher nicht auf den Verlauf nach SCIWORA zurückzuführen waren.

Anhand der Berücksichtigung der individuellen Beschwerden konnte das subjektive physische Outcome der Patient\*Innen genauer betrachtet werden. Es fiel auf, dass 10 von 25 Patient\*Innen (40%) Beschwerden in Form von Kopf- oder Rückenschmerzen äußerten. Weitere fünf Patient\*Innen (20%) hatten sowohl regelmäßige Kopf- als auch Rückenschmerzen. Das ergab einen Gesamtanteil von 60% mit wiederkehrender Migräne- und/oder Rücken-Symptomatik trotz des jungen Altersdurchschnitts des Kollektivs. Weitere Forschungen müssen die Tatsache eingehend überprüfen, denn es ist möglich, dass die Beschwerden bereits vor oder unabhängig von dem Krankheitsbild auftraten. Zehn Patient\*Innen (40%) äußerten keine auffällige Problematik, welche im Zusammenhang mit SCIWORA stehen könnte. Hinzukam, dass drei Patient\*Innen (12%) anmerkten, unter Psychopathologien zu leiden, welche zum Teil mit Kopfschmerzen einhergingen. In einem Fall (4%) davon war ein Zusammenhang mit übermäßigem Drogen- bzw. Psychopharmaka-Abusus wahrscheinlich.

Der körperliche Zustand wurde zusätzlich anhand des ODI eingeschätzt. Bei der funktionalen Analyse mithilfe des ODI zeigten sich nur minimale Einschränkungen im Alltag. Im Hinblick auf mögliche Einschränkungen im Alltag gaben nämlich 96% der Patient\*Innen an, keine bzw. minimale (0-20%) Limitationen zu bemerken. Nur in einem Fall (4%) wurde von moderaten Einschränkungen im Alltag berichtet, zu welchen Rücken- und Kopfschmerzen gehörten. Es wurde ein durchschnittlicher Indexwert von 6,04% berechnet. Somit präsentierten die Ergebnisse des ODI exzellente Werte im Hinblick auf die Analyse der physischen Prognose der Kohorte.

Allgemeine Forschungen zur Mortalität nach SCIWORA kamen zu dem Ergebnis, dass diese niedrig sei. Die Krankenhausmortalität von Kindern mit diagnostiziertem SCIWORA betrug bei einer epidemiologischen Studie von Knox et al. 2% [20]. Demgegenüber stand eine Mortalitätsrate von 4,9% nach allgemeinen pädiatrischen HWS-Verletzungen, welche auch Frakturen beinhalteten [23]. Eine weitere Studie ermittelte eine Krankenhausmortalität von durchschnittlich 0,9% bei Erwachsenen mit SCIWORA, welche aber insbesondere in Fällen von kompletten Tetra- oder Paraplegien mit einer Rate von 3,7% höher war [92]. Demzufolge wird ersichtlich, dass die Mortalität nach SCIWORA - im Vergleich zu anderen WS-Verletzungen mit Frakturen - sehr gering ist. Im Rahmen der Nachuntersuchung der vorliegenden Kohorte wurde keine erhöhte Mortalität nach SCIWORA festgestellt.

Die Erkenntnisse zum mittelfristigen Outcome heben erneut die Notwendigkeit eines eindeutigen Diagnose-Algorithmus, einschließlich eines hochauflösenden MRT-Scans, hervor, um die Diagnose des „echten SCIWORA“ zum Ausschluss jeglicher anderen Pathologie zu sichern. Bei auffälliger Bildgebung sollte eine spezifischere Diagnose als SCIWORA gestellt werden [42], denn dadurch verändert sich gleichsam die Prognose des physischen Outcomes.

#### **4.4.7.2 Prognose des psychischen Outcomes**

Neben der Prognose des physischen Therapieerfolgs wird auch das psychische, mittelfristige Outcome betrachtet. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit gibt es kaum aussagekräftige Studien über den mittelfristigen Therapieerfolg von „echten SCIWORA“ Patient\*Innen in Bezug auf deren psychische Entwicklung. Meist



beschränkt sich die Fachliteratur zur Thematik darauf, die traumabezogenen und diagnostischen Daten in Relation mit dem kurzfristigen Outcome zu setzen. Dementsprechend werden anhand limitierter Scores in Bezug auf die körperliche Verfassung (z.B. AIS oder Frankel Grad) Rückschlüsse auf die allgemeine Genesung gezogen. Dabei wird das sog. „Overall Outcome“, also die ganzheitliche Genesung, kaum untersucht. Allerdings geht aus einer Vielzahl von Publikationen hervor, dass Psychopathologien nach SCI häufiger vorkommen, zumal Neigungen zu Angststörungen oder zu PTBS hinreichend beschrieben werden [88–90]. Zur weiteren Charakterisierung des Studienkollektivs wurden daher Daten in Bezug auf die psychologische Einwirkung des Traumas gesammelt, wie resultierende Depression oder Ängstlichkeit. Die vorliegende Studie stellt somit durch die Erhebung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mittels des EQ-5D und der Erforschung von mentalen Beeinträchtigungen im Sinne von PTBS eine Besonderheit dar.

Es wird beschrieben, dass eine veränderte Resilienz nach SCI mit einem Verlust an Lebenszufriedenheit und einer beginnenden Depression einhergehen könne [99]. Vor allem während der Rehabilitationsphase, das bedeutet die ersten sechs Monate nach SCI, haben psychische Probleme sowie erhöhte Stresslevel einen nachweislichen Effekt auf die QoL der Patient\*Innen. Deswegen beobachtet man während dieser Phase mit bis zu 63,9% eine erhöhte Rate an Depressionen [99]. Um dem entgegenzuwirken, setzen manche Autor\*Innen auf die verbesserte QoL als eigentliches Ziel der Genesung und als Schlüsselfaktor zur Outcome-Bewertung nach SCI. Die Prävalenz von neu einsetzender Angst und Depression von Patient\*Innen im Krankenhaus und nach Entlassung nach (traumatischen) SCI beträgt nach Angaben der Literatur 9,8-63,9% [89, 100, 101]. Schönenberg et al. untersuchten in einer retrospektiven Studie 102 Patient\*Innen rund vier Jahre nach einer SCI. Dabei berichteten mit 46,1% nahezu die Hälfte des Kollektivs über klinisch relevante depressive Symptome unverzüglich nach der Entlassung und ein Anteil von 12,7% zeigte Anzeichen einer präsenten depressiven Erkrankung [101].

Auch die Ergebnisse des quantitativen Reviews von Le et al. belegten, dass eine signifikante Anzahl von Patient\*Innen mit SCI Symptome einer Angststörung erlebte, welche über eine gewisse Dauer persistierten. Anhand deren Metaanalyse wurde die Prävalenz von fünf Kategorien des „Diagnostic and Statistical Manual of Mental

Disorders“ (DSM) für Angststörungen erfasst. Dazu zählen spezifische und soziale Phobien, Panikstörungen, Agoraphobie sowie generalisierte Angststörungen (GAD). Im Rahmen von Selbsteinschätzungs-Umfragen über klinisch signifikante Symptome von Ängstlichkeit entsprach im Mittel ein Anteil von 27% der Teilnehmer\*Innen den Kriterien dafür, dabei betrug die Prävalenz von GAD und Panikstörungen nach SCI 5% [90]. Shin et al. fanden heraus, dass vor allem motorische komplette Verletzungen einen signifikanten Effekt auf Depressionen, die QoL und das Stresslevel hatten [99]. Analog dazu ermittelte man eine insgesamt reduzierte QoL nach SCI im Vergleich zu Kontrollgruppen und der Norm, wenn die physikalischen Funktionen limitiert waren. Obwohl das Erleiden von Tetra- und Paraplegien einen negativen Einfluss auf die psychologische Entwicklung habe, ist der exakte Einfluss des Läsionslevels und der Vollständigkeit der Lähmung durch die SCI auf die QoL mangels longitudinaler Studien ungewiss [102]. Andere Autor\*Innen stützen die Annahme, dass die Entwicklung von milden bis schweren Depressionen auch mit pathophysiologischen, demographischen und sozioökonomischen Faktoren verknüpft sei [88]. Zu den sozioökonomischen Parametern zählen weibliches Geschlecht, Suizidgedanken in der Vorgeschichte, geringes Bildungsniveau oder die Versorgung von anderen Familienmitgliedern als den Partner\*Innen oder den Eltern. In jedem Fall geht aus den Studien hervor, dass eine Entwicklung von Psychopathologien nach traumatischen SCI geprüft werden soll [88–90, 102]. Dabei ist anzumerken, dass die eigene mentale Gesundheit der Patient\*Innen ein signifikanter Prädiktor für die berichtete HR-QoL ist [103]. Zusätzlich werden Zusammenhänge der HR-QoL mit dem Alter zum Zeitpunkt der Verletzung sowie der allgemeinen Ängstlichkeit von Eltern und Kindern oder Depressionen beschrieben.

In Anbetracht dieser Erkenntnisse wurde die vorliegende Kohorte bezüglich sich entwickelnder Psychopathologien analysiert. Die erhobenen Daten der 25 Patient\*Innen mit „echtem SCIWORA“, welche im Folgenden diskutiert werden, beziehen sich - ebenso wie die Daten zum physischen Outcome - auf die Nachuntersuchung nach durchschnittlich 6,9 Jahren. Um eine möglichst objektive Einschätzung zu erzielen, wurden der EQ-5D und die BSSS zur Bewertung herangezogen. Anhand der vorliegenden Analyse der gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurden keine Unterschiede zwischen der Kohorte der „echten SCIWORA“ Patient\*Innen und der Deutschen Bevölkerungsnorm [104] aufgedeckt,

weder bei der EQ-5D-VAS noch beim EQ-5D Indexwert. Mit einem Durchschnitt von 98,48 auf der VAS zur QoL lag der Wert nahe an 100, dem bestmöglichen Zustand. Zum Vergleich dokumentierte man bei Deutschen im Alter von 18 bis 44 Jahren Werte zwischen 83 bis 86. Auch beim Index-Wert, der mit 1,0 die bestmögliche Lebensqualität darstellt, erzielten die Patient\*Innen im Rahmen der Nachuntersuchung einen sehr günstigen Durchschnitts-Indexwert von 0,957. Damit lag dieses Ergebnis innerhalb des Spektrums der ermittelten Lebensqualität von Deutschen zwischen 18 und 34 Jahren, die Werte von 0,949 bis 0,973 aufweisen. Die guten Werte des EQ-5D der „echten SCIWORA“ Patient\*Innen waren durch die geringfügigen Einschränkungen in den fünf abgefragten Kategorien bedingt. Nach durchschnittlich 6,9 Jahren mangelte es im vorliegenden Kollektiv weder an Mobilität, an der Fähigkeit zur Selbstversorgung noch an Möglichkeiten den gewohnten Aktivitäten nachzugehen. Ebenso wenig zeigten sich hohe Werte an Schmerz, Niedergeschlagenheit oder Ängstlichkeit. Passend zu den Erkenntnissen des physischen Therapieerfolgs legen die Resultate des EQ-5D dar, dass die Prognose des „echten SCIWORA“ in Bezug auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität exzellent ist. Der schnelle Symptomregress in einer Vielzahl der Fälle trug zur unproblematischen Wiederherstellung der mentalen Gesundheit bei. Eine persistierende, komplette SCI - wie es zum Teil in anderen Studien zu Psychopathologien nach SCI der Fall war - würde sicherlich ein erhöhtes Risiko für eine veränderte Lebensqualität mit sich bringen, zumal ein Zusammenhang mit kompletten Symptomen beschrieben wurde. In der vorliegenden Studie zog sich dagegen keine/r der Patient\*Innen nachträglich anhaltende körperliche Schäden aufgrund der Diagnose zu. Nichtsdestotrotz bleibt festzuhalten, dass fünf Patient\*Innen eine deutlich geringere QoL als der Durchschnitt angaben. Dabei lagen die ermittelten EQ-5D-VAS-Werte zwischen 70 und 85. Betrachtet man die fünf Einzelfälle, standen zum einen Ängstlichkeit und zum anderen regelmäßige Leiden wie Kopf- oder Rückenschmerzen im Vordergrund. Deren EQ-5D-Indexwert, der sich, wie oben beschrieben, anhand der individuellen Bewertung der fünf Kategorien ergab, war dabei nicht zwangsläufig niedriger als der Durchschnittswert des Kollektivs. Man konnte keine Zusammenhänge zwischen niedrigen Werten der QoL-Analogskala und dem ODI-Wert oder dem initialen Frankel-Score erkennen, denn bei den fünf Patient\*Innen waren alle Frankel Ausprägungsgrade von A bis D vorhanden.

Ebenso wenig war ein direkter Zusammenhang der Resultate mit dem Alter zum Traumazeitpunkt gegeben, da die erwähnten Patient\*Innen zwischen 14 und 20 Jahre alt waren.

Aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie war kein Vergleich mit der gesundheitsbezogenen Lebensqualität direkt nach dem Trauma möglich. Zudem war die Limitation des Literaturvergleichs gegeben, der auf Angaben zur QoL nach allgemeinen SCI basierte und demnach auf einer oftmals schwerwiegenderen Krankheitsgeschichte. Die detaillierte Analyse des ganzheitlichen Outcomes war zwar durch die erwähnten Gesichtspunkte limitiert, dennoch zeichnet sich die vorliegende Arbeit durch eine umfassende Beurteilung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität aus. Insgesamt bestätigt der Durchschnittswert zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität das Ergebnis des exzellenten mittelfristigen Outcomes.

An dieser Stelle ist dennoch anzumerken, dass sich in drei von fünf Fällen mit niedrigen QoL-Werten, Auffälligkeiten bezüglich einer PTBS-Symptomatik zeigten. Gemäß einigen Publikationen sei wegen des traumatischen Ereignisses bei Patient\*Innen nach SCI - neben einer Neigung zu neu einsetzenden Angststörungen und Depressionen - das Risiko für die Entwicklung einer PTBS erhöht. Die typische persistierende Symptomatik einer PTBS lässt sich in fünf Kategorien einteilen, nämlich in wiederkehrende Erinnerungen an das Trauma, Vermeidungsverhalten von Stimuli in Verbindung mit dem Ereignis, Übererregbarkeit, Desinteresse und negative Gedanken über mindestens vier Wochen hinweg. Je nachdem wie viele der Symptome persistieren, ist die Diagnose einer kompletten oder partiellen PTBS (nach DSM IV) gerechtfertigt. Die Rate von PTBS nach SCI betrage 7-44% [91]. Laut einer Studie von Otis et al. entsprachen in deren Kollektiv 11% den Kriterien einer kompletten PTBS und zusätzliche 20% erfüllten die Kriterien einer partiellen PTBS [91]. Krause et al. ermittelten im Rahmen einer Nachuntersuchung mit weniger als 10% eine geringere Rate an Patient\*Innen mit PTBS [105]. In einer retrospektiven Studie von Schönenberg et al. berichteten nicht nur 58,8% der 102 untersuchten Patient\*Innen von depressiven Symptomen, zusätzliche 8,8% klagten vier Jahre im Nachhinein über klinisch relevante Symptome einer PTBS nach der Entlassung [101]. Zudem wurden mit einer Rate von 2% Patient\*Innen mit einer chronischen PTBS-

Symptomatik identifiziert. Außerdem konnte ein starker Zusammenhang zwischen der Zeit seit der Verletzung, der negativen Bewertung des Traumas und der aktuellen Psychopathologie festgestellt werden.

Es gibt diverse Analysen über die stärksten Einflussfaktoren auf die Entstehung einer PTBS. Eine Publikation von Otis et al. legte offen, dass vor allem ein Zusammenhang zwischen peritraumatischen Faktoren und dem Risiko einer PTBS nach SCI hergestellt werden könne [91]. Dabei wird die Relevanz der Trauma-Geschichte und der peritraumatischen Reaktionen (wie beispielsweise Dissoziationsreaktionen) für die Entwicklung von PTBS-Symptomen hervorgehoben. Andere Autor\*Innen halten beispielsweise bestimmte Traumamechanismen wie MVA oder Stürze (im Vergleich zu Sportunfällen) für größere Risikofaktoren [106]. Zu den relevanten prä- und posttraumatischen Faktoren zählen wenig soziale Unterstützung, anhaltende Schmerzen, die Intoleranz gegenüber Ungewissheit sowie eine vorherige Traumaexposition [91]. Im Hinblick auf andere prätraumatische Parameter, wie die soziodemographischen Charakteristiken, differieren die Studienerkenntnisse.

Während Otis et al. den Einfluss prä- und posttraumatischer Parameter auf das Auftreten von PTBS geringschätzten, wiesen Pollock et al. auf Verknüpfungen mit prä- und posttraumatischen Charakteristiken hin. Demnach bestünde beispielsweise eine Korrelation mit der psychiatrischen Vorgeschichte [107]. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass posttraumatische Faktoren den stärksten Effekt hätten. Denn Charakteristiken wie depressive Verstimmung, negative Einschätzungen, Belastungen, Ängstlichkeit oder eine hohe Schmerzintensität seien mit sich verschlimmernden Symptomen einer PTBS verbunden [107]. In einer Reihe von Studien wird beschrieben, dass prä- und posttraumatische Faktoren in Form von Gemütsstörungen, Angststörungen oder Suchterkrankungen die Symptome einer PTBS beeinflussen [107]. Befunde der Fachliteratur bestätigen, dass die psychische Gesundheit maßgeblich von der Persönlichkeit beeinflusst wird [108, 109, 110, 111, 112, 113, 114], vor allem wenn bereits diagnostizierte, mentale Erkrankungen vorliegen [100]. Bei Untersuchungen in der Akutsituation nach SCI in einem Level I Trauma-Center dokumentierten Warren et al. sogar bei einem Anteil von 52,2% der Patient\*Innen (n=23) diesen Zusammenhang [115]. Auch Migliorini et al. verdeutlichten die Relevanz eines Screenings auf Psychopathologien nach

traumatischen SCI, denn anhand einer Studienpopulation wiesen sie bei einem Anteil von 48,5% der Patient\*Innen mentale gesundheitliche Probleme nach. Dazu zählten Depressionen (zu 37%), Ängstlichkeit (zu 30%), ein klinisch relevantes Stressniveau (zu 25%) und Symptome einer PTBS (zu 8,4%). Dabei hatten diejenigen mit einer vorhandenen Psychopathologie ein bis zu 56% höheres Risiko eine psychische Komorbidität zu erleiden [100]. Im Vergleich dazu waren eine initial bessere Gesundheit und ein längerer Zeitraum nach der SCI mit einem geringerem Risiko verbunden, denn die Population ohne vorbekannte Psychopathologien entwickelte zu einem geringeren Anteil von 4% Symptome. Ungewiss sei dagegen, ob sich die Erkenntnisse über posttraumatische Aspekte auf soziale Unterstützung im weiteren Sinne übertragen lassen. In Anbetracht dessen, dass ein Großteil der Patient\*Innen nach SCI die ersten Tage und Wochen im Krankenhaus oder Rehabilitationseinrichtungen verbringt, ist damit die Unterstützung durch Angestellte oder andere Patient\*Innen in diesen Institutionen gemeint [91].

Die erwähnten Aspekte werden im Folgenden für die nachuntersuchte Studienpopulation betrachtet. Im Rahmen der vorliegenden Analyse ergab die BSSS, dass vier von 25 Patient\*Innen Zeichen einer relevanten PTBS aufzeigten. Auch wenn posttraumatisch keinerlei strukturelle Läsionen vorhanden waren und alle Patient\*Innen eine vollständige Erholung von den neurologischen Symptomen erreichten, wurde im Kollektiv mit einer Rate von 16% über Symptome einer PTBS berichtet. Dieser ermittelte Anteil liegt zum Teil über den Einschätzungen der zuvor zitierten Studien [91, 100, 101]. Wenn man bedenkt, dass sich depressive Symptome sowie PTBS für gewöhnlich nach einiger Zeit verbessern [100, 101, 105, 116], litt nach durchschnittlich 6,9 Jahren mit 16% eine beträchtliche Rate der Patient\*Innen an relevanten PTBS-Symptomen. Die betroffenen Patient\*Innen berichteten insbesondere von Schlafstörungen, Vermeidungsverhalten sowie von Angstzuständen, welche im Zusammenhang mit peritraumatischen Situationen auftraten. Dazu zählte beispielsweise wiederkehrende Höhenangst nach einem Sturz aus großer Höhe. Im Rahmen der Ermittlung von sich entwickelnden Psychopathologien klagten die vier herausgefilterten Patient\*Innen des vorliegenden Kollektivs über richtungsweisende prä- und posttraumatische Beschwerden. Zu den Beschwerden zählten extreme Ängstlichkeit, eine verminderte QoL im Vergleich zur Bevölkerungsnorm, Antriebslosigkeit, Schlafstörungen, Desinteresse sowie ein

eingeschränktes Sozialleben. Des Weiteren kamen berufliche Belastungen sowie häufige Kopf- und Rückenschmerzen oder Schmerzen bei Überbelastung hinzu. Auch vorbekannte Psychopathologien, aufgrund welcher teilweise psychiatrische Behandlungen in Anspruch genommen wurden, gehörten zu den prätraumatischen Risikofaktoren. Denn drei der vier Patient\*Innen, die Symptome einer PTBS aufzeigten, gaben an, vorbekannte Neigungen zu Psychopathologien aufzuweisen. Dementsprechend war bei einem Anteil des Kollektivs von einem erhöhten Risiko zur Entwicklung einer PTBS auszugehen. Als weiterer posttraumatischer Risikofaktor wurde in einem Fall der Tod eines Familienmitglieds dokumentiert. Die erwähnten Gegebenheiten legen dar, dass in dieser Kohorte gewisse Risiken zur Entwicklung von Psychopathologien in Form von vorbekannten oder posttraumatischen Einflussfaktoren vorlagen [115, 117]. Im nachuntersuchten Kollektiv kam es in einem Fall zur psychologischen Nachsorge in Form einer mehrwöchigen Therapie in einer Rehabilitationseinrichtung. Bei einer weiteren Patientin folgte ein stationärer Aufenthalt in der Psychiatrie aufgrund von Depressionen.

Um potenzielle Risikofaktoren für die Entwicklung einer PTBS zu erkennen, sollte man demnach nicht nur den sozialen Support und peritraumatische Gegebenheiten berücksichtigen, sondern auch die Prädisposition der Persönlichkeit und den mentalen Zustand der Patient\*Innen [103, 116]. Auch wenn die Ergebnisse dieser Kohorte im Rahmen der Betrachtung der HR-QoL insgesamt sehr zufriedenstellend sind, sollte man zum Ausschluss von neu einsetzenden Psychopathologien die Empfehlungen der Autor\*Innen umsetzen. Denn das psychische Outcome der herausgefilterten Patient\*Innen mit relevanten Anzeichen einer PTBS war nachweislich gemindert. Wegen des erhöhten Risikos für neu einsetzende Angst und Depression nach SCI wird die Relevanz einer routinemäßigen psychologischen Beurteilung während des gesamten Rehabilitationsprozesses ausdrücklich empfohlen [89, 90]. Da die Patient\*Innen nach einer SCI vulnerabel für eine Entwicklung von psychopathologischen Symptomen sind, sollte in der akuten Trauma-Situation für eine spezielle kognitive Verhaltenstherapie gesorgt werden. Insbesondere, wenn eine Prädisposition durch die psychologische Vorgeschichte vorhanden ist [115].

Angesichts des dargelegten Sachverhalts ist das SCIWORA Syndrom zwar eine seltene, aber gravierende Diagnose. Insbesondere für die Patient\*Innen stellt die Symptomatik nicht nur eine körperliche, sondern unter Umständen auch eine psychische Belastung dar. Demnach sollten Fachkräfte der Rehabilitationseinrichtungen sowohl nach Depressionen als auch nach PTBS screenen, wenn eines der beiden vorbekannt ist. Innerhalb der ersten Monate nach dem Trauma sollte eine psychologische Betreuung im Vordergrund stehen. Aufgrund dessen, dass Depressionen vor allem bei Patient\*Innen mit bestimmten, primären Indikatoren höchst prävalent nach SCI seien, sollten die prädikativen Faktoren früh erkannt werden [88]. Vor allem wenn jemand eine komplette Querschnittssymptomatik hatte, wird zur Beurteilung des mentalen Zustands geraten, da die funktionelle Unabhängigkeit während der Rehabilitation gemindert ist [99]. Um den Effekt der kurzzeitigen funktionellen Einschränkung im Rahmen von SCIWORA auf die psychologischen Variablen festzustellen, ist eine frühzeitige Evaluation während der Genesung notwendig. Neben der notwendigen zeitnahen Unterstützung kann zudem die QoL der Patient\*Innen verbessert werden und Komplikationen können vermieden werden [88]. Auch Le et al. heben die Relevanz der Früherkennung und Behandlung der Subgruppen mit erlebten chronischen Symptomen hervor, um die SCI-Rehabilitation zu optimieren [90]. Es sollte ein besseres Verständnis und Bewusstsein bei den behandelnden Mediziner\*Innen geschaffen werden, um die langfristigen Risikofaktoren nach traumatischen SCI im Rahmen der Behandlungsprotokolle zu berücksichtigen [89]. Die Leitlinie dafür sollte durch intensive Forschung angepasst werden [90], auch um die Auswahl der psychologischen Messmethoden zu vereinheitlichen.

Da es von großer Relevanz ist, ein erhöhtes Interventionsbedürfnis zur Vermeidung einer Psychopathologie festzustellen, beinhaltet der aktuelle Behandlungsalgorithmus des UKR ein psychologisches Mitbehandlungsangebot für „echte SCIWORA“ Patient\*Innen. Um Patient\*Innen, die zu PTBS neigen und Hilfe benötigen, ins Management miteinzubeziehen, kann es nützlich sein, routinemäßige Follow-Up-Kontakte nach der Entlassung zu vereinbaren. Durch den psychologischen Screening-Algorithmus können Patient\*Innen von einer psychotherapeutischen Behandlung unmittelbar nach dem Trauma profitieren. Trotz



der Hinweise auf die Relevanz der frühen Identifikation, benötigt man weitere Forschung, um ausschlaggebende Faktoren und wichtige Zusammenhänge bestätigen zu können.

#### **4.5 Ausblick**

Zunächst ist festzuhalten, dass das „echte SCIWORA“ Syndrom trotz der geringen Inzidenz generell als mögliche Verdachtsdiagnose bei Kindern und Jugendlichen mit neurologischen Defiziten nach Traumata bedacht werden sollte. Das „echte SCIWORA“ Syndrom ist eine *Diagnosis per exclusionem*, die ein vollständiges spinales MRT erfordert, um strukturelle und möglicherweise schwerwiegende Gründe der neurologischen Beeinträchtigung auszuschließen. Aufgrund dessen, dass Patient\*Innen mit unauffälligen Befunden eine sehr gute Prognose aufweisen, ist die Identifikation des „echten SCIWORA“ Syndroms - ohne Pathologien, auch in der hochauflösenden MRT - bedeutend. Demzufolge ist zur Diagnosesicherung des „echten SCIWORA“ Syndroms in jedem Fall ein MRT der gesamten WS erforderlich. Die unauffällige Bildgebung wirkt sich auf die Einschätzung der Prognose aus, welche im Allgemeinen bei „echtem SCIWORA“ sehr günstig ist. Dagegen unterscheidet sich das Outcome von Patient\*Innen mit auffälliger Bildgebung (kein „echtes SCIWORA“), welches oftmals ungünstiger sein kann.

In der vorliegenden Studie werden verschiedene trauma- und diagnostikbezogene Faktoren ermittelt, die das Outcome beeinflussen können. Dabei gilt es herauszufiltern, welche Parameter durch eine adäquate Vorgehensweise im Rahmen der Diagnostik und der weiteren Behandlung zu beeinflussen sind. Um das Outcome zu verbessern, sollte man diese beeinflussbaren Faktoren optimieren. Dazu zählen zum einen das Management während des Transports und im Schockraum sowie zum anderen die weitere intensivmedizinische und stationäre Behandlung. Die initiale WS-Immobilisation ist unabdingbar. Hinsichtlich der Diagnostik ist sowohl eine klinisch-neurologische Untersuchung als auch eine radiologische Bildgebung mittels MRT essenziell. Eine präzise Anamnese des Unfallhergangs ist von Vorteil, allerdings bei präverbalen Kindern oder anfänglich bewusstlosen Patient\*Innen nicht immer ohne weiteres möglich. Für den Fall, dass verschiedene Krankenhäuser zur

Auswahl stehen, ist es empfehlenswert, sich für das mit den benötigten diagnostischen Modalitäten (Level I Trauma Center) zu entscheiden. Die Verfügbarkeit einer MRT ist dabei maßgeblich [42]. Dementsprechend sollte auch das behandelnde Personal für pädiatrische Notfälle geschult sein.

Zusätzlich ist eine bedarfsgerechte Analgesie zu verabreichen und rechtzeitig mit physiotherapeutischer Beübung zu beginnen. Im Verlauf liegt der Fokus auf der Beobachtung der neurologischen Defizite sowie auf der psychologischen Betreuung der Patient\*Innen. Eine weitere klinische Neubewertung ist unerlässlich. Der optimale Zeitpunkt dafür variiert zwar je nach Einzelfall, eine weitere Bildgebung als Follow-Up zur Neubewertung kann aber meist hilfreich sein.

In Anbetracht der Ergebnisse dieser Analyse, scheint die psychologische Unterstützung ebenso unerlässlich zu sein. Das erlebte Trauma und die resultierenden körperlichen Defizite können ohne adäquate Therapie zu langfristigen Psychopathologien führen, was das ganzheitliche Outcome negativ beeinflussen würde. Sowohl die Ergebnisse der Fachliteratur als auch die Erkenntnisse der vorliegenden Studie implizieren, dass Risikopatient\*Innen frühzeitig während des Genesungsprozesses anhand von Risikofaktoren identifiziert werden können und sollten.

Die Limitation dieser Studie liegt vor allem in ihrem retrospektiven Charakter. Trotz des langen Beobachtungszeitraums ist das Patientenkollektiv aufgrund der niedrigen Inzidenz klein. Angesichts der Größe der Kohorte ist eine statistisch aussagekräftige Testung nur eingeschränkt durchführbar. Zum Teil sind die Werte deshalb nicht zwangsläufig repräsentativ für die Gesamtheit der SCIWORA-Fälle. Eine weitere Einschränkung stellen die fehlenden Daten zum subjektiven Empfinden (in Form des ODI und EQ-5D) zum Zeitpunkt des Krankenhausaufenthaltes dar. Durch das retrospektive Design der Studie kann kein ähnliches Instrumentarium zur Erhebung des subjektiven Befindens in der Akutsituation genutzt werden, sodass die Analyse auf die damalige Dokumentation der neurologischen und radiologischen Befunde beschränkt ist.

Um die Erkenntnisse der vorliegenden Studie zu bestätigen und um Verzerrungen (bedingt durch das retrospektive Design sowie das kleine Patientenkollektiv) zu vermeiden, wäre eine multizentrische, prospektive Studie mit der gleichen

Zielsetzung wünschenswert. Somit könnten allgemeine Rehabilitationsprozesse verglichen werden und Berichte über therapeutische Behandlungen eingeschlossen werden. Anhand einer derartigen Analyse könnte beispielsweise nachgewiesen werden, ob der Einsatz bestimmter Medikamente zum Therapieerfolg beiträgt. Die weitere Entwicklung der MRT-Technik wird sich auf die Diagnostik des Syndroms auswirken, da sich die Fähigkeit zur Erkennung von Rückenmarksläsionen verbessert [42]. Dennoch sollten geeignete MRT-Sequenzen und Follow-Up Intervalle zur Bildgebung bestimmt werden, um den Ärzt\*Innen beim Management der Diagnose zu assistieren [42]. Zukünftig wären somit Studien in Bezug auf spezifische Algorithmen des Protokolls relevant. Diese sollten auf das Timing der MRT in der (sub-)akuten Trauma-Situation, auf die optimale Behandlung, die Immobilisationsdauer sowie auf prognostische Methoden Bezug nehmen [42]. Nicht zuletzt spricht ein weiterer Gesichtspunkt für die bessere Verfügbarkeit evidenzbasierter Informationen, nämlich die Vermittlung von Prognosen an die Patient\*Innen selbst. Denn mit Hilfe einer besseren Kenntnis des Therapieerfolgs und Charakteristiken von SCIWORA wären diese prognostisch zuverlässiger [19].

## 5 Zusammenfassung

---

Diese retrospektive Studie berichtet über die bisher umfangreichste Patientenkohorte an „echten SCIWORA“ Fällen in der Literatur. Im Rahmen dessen wurden 32 Patient\*Innen, die im Zeitraum von 2007 bis 2019 am Universitätsklinikum Regensburg versorgt wurden, analysiert. 25 Patient\*Innen konnten für eine eingehende Nachuntersuchung gewonnen werden.

Das SCIWORA Syndrom tritt vor allem bei Kindern und Heranwachsenden nach Verkehrsunfällen, Sportunfällen oder Stürzen auf. Die Inzidenzangaben der allgemeinen Literatur weichen, aufgrund der Verwendung des Akronymes als Sammelbegriff, voneinander ab. Angesichts inkonsistenter Diagnosen und Definitionen wird auch die Versorgung des „echten SCIWORA“ Syndroms in der Fachliteratur nicht einheitlich protokolliert. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird deshalb ein Behandlungsalgorithmus vorgestellt, der vom UKR routinemäßig für „echte SCIWORA“ Fälle angewandt wird.

Nachdem das Traumaregister anhand der Diagnosen „Contusio Spinalis“, „Querschnitt“ sowie „SCIWORA“ durchsucht worden war, wurden alle Patient\*Innen anhand der definierten Kriterien überprüft. Patient\*Innen, die zum Zeitpunkt des Traumas älter als 25 Jahre alt waren, Frakturen hatten oder eine auffällige Bildgebung vorwiesen, wurden ausgeschlossen. Von den verbleibenden Patient\*Innen wurden nicht nur die personen- und traumabezogenen Daten erhoben, sondern auch die klinischen Untersuchungsparameter bestimmt. Anschließend wurden Angaben in Bezug auf die Behandlung, den Verlauf und die Entlassung aller 32 Patient\*Innen ausgewertet. Überdies konnten 25 Patient\*Innen nach durchschnittlich 6,9 Jahren nachuntersucht werden. Dabei wurde eine Neubewertung des körperlichen und mentalen Gesundheitszustands vorgenommen. Die physische Reevaluation erfolgte im Jahr 2020 mit Hilfe des Frankel Grads, der visuellen analogen Schmerzskala und des ODI. Weiterhin wurde die mentale Gesundheit anhand des EQ-5D und der BSSS untersucht. Die posttraumatischen Charakteristiken wurden im Zusammenhang mit den Ergebnissen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und mit dem Auftreten relevanter Symptome einer PTBS betrachtet.

Nach dem zwingenden Ausschluss posttraumatischer Pathologien mit Hilfe einer hochauflösenden MRT, beobachteten wir bei allen Patient\*Innen eine vollständige Genesung. Um diese Ausschlussdiagnose zu gewährleisten, wurde in jedem Fall ein komplettes spinales MRT benötigt. Obwohl sich alle Patient\*Innen von der neurologischen Symptomatik erholten, war es von entscheidender Bedeutung jeden Einzelfall auszuwerten. Somit wurde sichergestellt, dass sowohl strukturelle als auch potenziell schwerwiegendere Ursachen der neurologischen Defizite ausgeschlossen wurden. Ebenso waren die psychologischen Konsequenzen angesichts des Traumas und der neurologischen Einschränkungen zu beachten. Denn im Rahmen der Identifikation von posttraumatischen Psychopathologien zeigten vier von 25 nachuntersuchten Patient\*Innen Anzeichen einer relevanten PTBS-Symptomatik auf. Demzufolge ist eine psychologische Betreuung empfehlenswert, um die Entwicklung einer PTBS frühzeitig erkennen und therapieren zu können. Im Allgemeinen ist neben diesen primären Untersuchungen eine sekundäre klinische Reevaluation essenziell.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das „echte SCIWORA“ Syndrom - nach Traumata mit neurologischen Erscheinungen - als Verdachtsdiagnose im Fokus der Untersuchenden stehen sollte. Zusätzlich stellen die Durchführung entsprechender Bildgebungsmethoden sowie ein anerkannter Algorithmus zum Ausschluss weiterer Pathologien den Schlüssel zum Erfolg in der Versorgung pädiatrischer SCIWORA-Patient\*Innen dar.

## 6 Anhang

---

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sagittalansicht der WS [3].....	9
Abbildung 2: Wirbel [5].....	11
Abbildung 3: Flexions-Distraktions-Verletzung durch Zusammenstoß [8] .....	13
Abbildung 4: Altersverteilung der Patient*Innen nach Geschlecht in Jahren .....	35
Abbildung 5: Geschlechterverteilung.....	35

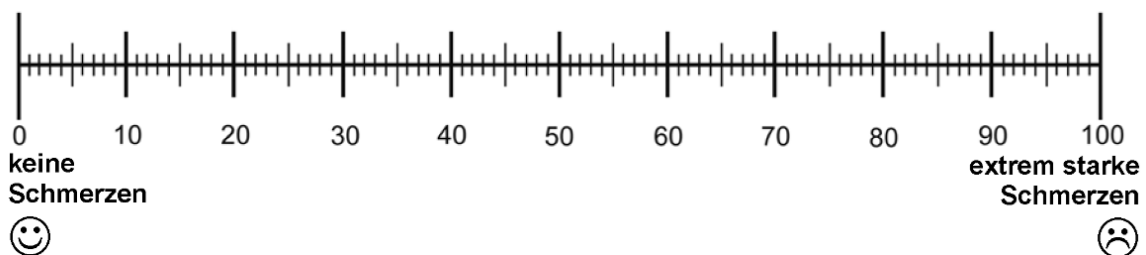
### 6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Personenbezogene Daten der 32 Patient*Innen.....	34
Tabelle 2: Angaben zum initialem Frankel Grad, zur Erholungsdauer und zum Frankel Grad nach der Erholungsphase .....	39
Tabelle 3: mittelfristige Ergebnisse des ODI, der QoL und der BSSS .....	42

## 6.3 Frankel Klassifikation

Frankel Grad	Lähmungsgrad	Beschreibung
Grad A	Komplett	Vollständige motorische und sensorische Lähmung.
Grad B	Nur Sensorik erhalten	Vollständige motorische Lähmung mit teilweise erhaltener Sensibilität unterhalb des Läsionslevels.
Grad C	Starke inkomplette Motoriklähmung	Ein Teil der Motorik ist unterhalb des Läsionslevels erhalten, jedoch nicht ausreichend für einen praktischen Nutzen für den Patienten.
Grad D	Inkomplette Motoriklähmung	Dieser Grad impliziert, dass eine inkomplette Lähmung der Motorik unterhalb des Läsionslevels vorliegt. Patientin in dieser Gruppe konnten die untere Extremität bewegen. Viele hiervon konnten mit oder ohne Hilfe gehen.
Grad E	Neurologisch intakt	Keine neurologischen Defizite. Abnormale Reflexe können in dieser Gruppe jedoch vorkommen

## 6.4 VAS-Schmerzskala



## 6.5 ODI

### The Revised Oswestry Disability Index (for low back pain/dysfunction)

Patient name: \_\_\_\_\_ File # \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

This questionnaire has been designed to give the doctor information as to how your back pain has affected your ability to manage everyday life. Please answer every section and mark in each section only the ONE box that applies to you. We realize that you may consider that two of the statements in any one section relate to you, but please just mark the box that most closely describes your problem.

#### SECTION 1-PAIN INTENSITY

- The pain comes and goes and is very mild.
- The pain is mild and does not vary much.
- The pain comes and goes and is moderate.
- The pain is moderate and does not vary much.
- The pain comes and goes and is very severe.
- The pain is severe and does not vary much.

#### SECTION 2-PERSONAL CARE

- I would not have to change my way of washing or dressing in order to avoid pain.
- I do not normally change my way of washing or dressing even though it causes some pain.
- Washing and dressing increases the pain, but I manage not to change my way of doing it.
- Washing and dressing increases the pain and I find it necessary to change my way of doing it.
- Because of the pain, I am unable to do some washing and dressing without help.
- Because of the pain, I am unable to do any washing and dressing without help.

#### SECTION 3-LIFTING

- I can lift heavy weights without extra pain.
- I can lift heavy weights, but it causes extra pain.
- Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor, but I manage if they are conveniently positioned (e.g., on a table).
- Pain prevents me from lifting heavy weights off the floor.
- Pain prevents me from lifting heavy weights, but I can manage light to medium weights if they are conveniently positioned.
- I can only lift very light weights at the most.

#### SECTION 4-WALKING

- I have no pain on walking.
- I have some pain on walking, but it does not increase with distance.
- I cannot walk more than one mile without increasing pain.
- I cannot walk more than 1/2 mile without increasing pain.
- I cannot walk more than 1/4 mile without increasing pain.
- I cannot walk at all without increasing pain.

#### SECTION 5-SITTING

- I can sit in any chair as long as I like.
- I can only sit in my favorite chair as long as I like.
- Pain prevents me from sitting more than one hour.
- Pain prevents me from sitting more than 1/2 hour.
- Pain prevents me from sitting more 10 minutes.
- I avoid sitting because it increases pain right away.

#### SECTION 6-STANDING

- I can stand as long as I want without pain.
- I have some pain on standing, but it does not increase with time.
- I cannot stand for longer than one hour without increasing pain.
- I cannot stand for longer than 1/2 hour without increasing pain.
- I cannot stand for longer than 10 minutes without increasing pain.
- I avoid standing because it increases the pain right away.

#### SECTION 7-SLEEPING

- I get no pain in bed.
- I get pain in bed, but it does not prevent me from sleeping well.
- Because of pain, my normal night's sleep is reduced by less than 1/4.
- Because of pain, my normal night's sleep is reduced by less than 1/2.
- Because of pain, my normal night's sleep is reduced by less than 3/4.
- Pain prevents me from sleeping at all.

#### SECTION 8-SOCIAL LIFE

- My social life is normal and gives me no pain.
- My social life is normal, but increases the degree of pain.
- Pain has no significant effect on my social life apart from limiting my more energetic interests, e.g., dancing, etc.
- Pain has restricted my social life and I do not go out very often.
- Pain has restricted my social life to my home.
- I have hardly any social life because of the pain.

#### SECTION 9-TRAVELLING

- I get no pain while travelling.
- I get some pain while travelling, but none of my usual forms of travel makes it any worse.
- I get extra pain while travelling, but it does not compel me to seek alternative forms of travel.
- I get extra pain while travelling, which compels me to seek alternative forms of travel.
- Pain restricts all forms of travel.
- Pain prevents all forms of travel except that done lying down.

#### SECTION 10-CHANGING DEGREE OF PAIN

- My pain is rapidly getting better.
- My pain fluctuates, but is definitely getting better.
- My pain seems to be getting better, but improvement is slow at present.
- My pain is neither getting better nor worse.
- My pain is gradually worsening.
- My pain is rapidly worsening.



## 6.6 EQ-5D-3L Fragebogen und EQ-VAS

Bitte kreuzen Sie in jeder Gruppe das **eine** Kästchen an, das **am besten** auf Sie zutrifft.

### **A Beweglichkeit / Mobilität:**

- Ich habe keine Probleme herumzugehen .....
- Ich habe einige Probleme herumzugehen .....
- Ich bin ans Bett gebunden .....

### **B Für sich selbst sorgen:**

- Ich habe keine Probleme, für mich selbst zu sorgen .....
- Ich habe einige Probleme, mich selbst zu waschen oder mich anzuziehen .....
- Ich bin nicht in der Lage, mich selbst zu waschen oder anzuziehen .....

### **C Allgemeine Tätigkeiten: (z.B. Arbeit, Studium, Hausarbeit, Familien- oder Freizeitaktivitäten)**

- Ich habe keine Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen .....
- Ich habe einige Probleme, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen .....
- Ich bin nicht in der Lage, meinen alltäglichen Tätigkeiten nachzugehen .....

### **D Schmerzen / Körperliche Beschwerden:**

- Ich habe keine Schmerzen oder Beschwerden .....
- Ich habe mäßige Schmerzen oder Beschwerden .....
- Ich habe extreme Schmerzen oder Beschwerden .....

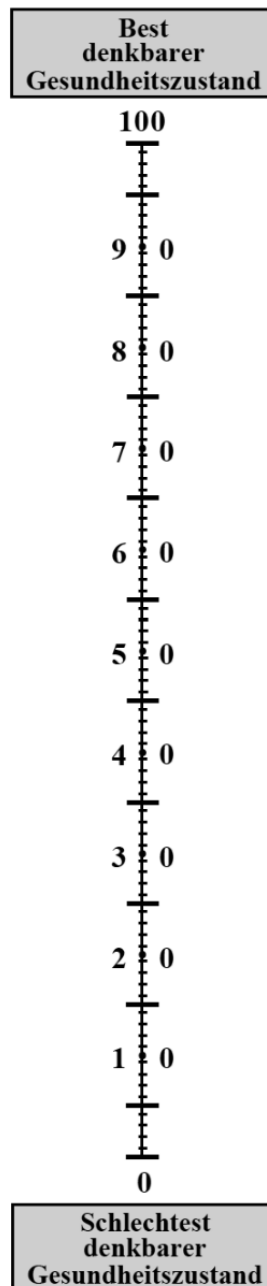
### **E Angst / Niedergeschlagenheit:**

- Ich bin nicht ängstlich oder deprimiert .....
- Ich bin mäßig ängstlich oder deprimiert .....
- Ich bin extrem ängstlich oder deprimiert .....

Um Sie bei der Einschätzung, wie gut oder wie schlecht Ihr Gesundheitszustand ist, zu unterstützen, haben wir eine Skala gezeichnet, ähnlich einem Thermometer. Der best denkbare Gesundheitszustand ist mit einer "100" gekennzeichnet, der schlechteste mit "0".

Wir möchten Sie nun bitten, auf dieser Skala zu kennzeichnen, wie gut oder schlecht Ihrer Ansicht nach Ihr persönlicher Gesundheitszustand heute ist. Bitte verbinden Sie dazu den untenstehenden Kasten mit dem Punkt auf der Skala, der Ihren heutigen Gesundheitszustand am besten wiedergibt.

**Ihr heutiger  
Gesundheitszustand**



## 6.7 BSSS

### Kurze Screening-Skala für PTSD (engl. Breslau et al., 1999; deutsche Version 2009)

Im Folgenden wird nach einer Reihe von **schwerwiegenden oder traumatischen Lebensereignissen** gefragt, wie z.B. Erfahrungen mit Verbrechen, Katastrophen und körperlichen oder seelischen Übergriffen. Geben Sie bitte für jedes Ereignis an, ob es passiert ist, und wenn ja, wie oft es passierte, und Ihr ungefähres Alter, als es passierte (wenn Sie sich nicht sicher sind, geben Sie Ihre beste Schätzung an).

#### Liste von traumatischen Ereignissen

... kann an die jeweilig zu untersuchenden Traumata angepasst werden

Während des schlimmsten Erlebnisses ...		Ja	Nein
1.	...fühlten Sie sich hilflos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	... hatten Sie starke Angst oder waren voller Entsetzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den **letzten Monat**:

		überhaupt nicht	einmal pro Woche oder seltener/ manchmal	2–4 mal pro Woche/ die Hälfte der Zeit	5 mal pro Woche/ fast immer
3.	Haben Sie sich bemüht, Aktivitäten, Menschen oder Orte zu meiden, die Sie an das Erlebnis erinnern?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Haben Sie deutlich weniger Interesse an Aktivitäten, die vor dem Erlebnis wichtig für Sie waren, oder haben Sie sie deutlich seltener unternommen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Fühlten Sie sich den Menschen Ihrer Umgebung deswegen entfremdet und anders?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Fühlten Sie sich abgestumpft oder taub (z.B. nicht weinen können oder sich unfähig fühlen, liebevolle Gefühle zu erleben)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Hatten Sie das Gefühl durch das Erlebnis, dass sich Ihre Zukunftspläne und Hoffnungen nicht erfüllen werden (z.B. dass Sie keine Kinder haben oder dass Sie keinen Erfolg im Beruf haben würden)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Hatten Sie Ein- oder Durchschlafstörungen seit dem Erlebnis (d. h., vorher noch nicht)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Waren Sie nervös oder schreckhaft (z.B. wenn jemand hinter Ihnen Geräusche macht)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 7 Literaturverzeichnis

---

### Referenzen

1. Pang D, Wilberger JE. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *Journal of Neurosurgery*. 1982;57:114–29. doi:10.3171/jns.1982.57.1.0114.
2. Pang D. Spinal cord injury without radiographic abnormality in children, 2 decades later. *Neurosurgery*. 2004;55:1325-42; discussion 1342-3. doi:10.1227/01.NEU.0000143030.85589.E6.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 182 Tabellen*. 3rd ed. Stuttgart, New York, Stuttgart: Georg Thieme Verlag; Thieme; 2011.
4. Amboss: Anatomie der Wirbelsäule. <https://www.amboss.com/de/library#xid=R60lkS&term=wirbels%C3%A4ule+anatomie>.
5. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, et al. *Anatomie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
6. Weinberg A-M, Tscherne H. *Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter 2 Untere Extremität Körperhöhlen Besonderheiten des kindlichen Skelettes*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2006.
7. Leventhal HR. Birth injuries of the spinal cord. *The Journal of Pediatrics*. 1960;56:447–53. doi:10.1016/s0022-3476(60)80356-3.
8. Rolfe K, Beck A, Kovach T, Mayeda B, Liu C. Non-locality and the misdiagnosis of Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality: proof of concept. *Spinal Cord Ser Cases*. 2019;5:114. doi:10.1038/s41394-019-0148-1.
9. Burke DC. Traumatic spinal paralysis in children. *Paraplegia*. 1974;11:268–76. doi:10.1038/sc.1973.39.
10. Hirsh LF, Duarte L, Wolfson EH. Thoracic spinal cord injury without spine fracture in an adult: Case report and literature review. *Surgical Neurology*. 1993;40:35–8. doi:10.1016/0090-3019(93)90167-Y.

11. Kulkarni MV, McArdle CB, Kopanicky D, Miner M, Cotler HB, Lee KF, Harris JH. Acute spinal cord injury: MR imaging at 1.5 T. *Radiology*. 1987;164:837–43. doi:10.1148/radiology.164.3.3615885.
12. Grabb PA, Pang D. Magnetic resonance imaging in the evaluation of spinal cord injury without radiographic abnormality in children. *Neurosurgery*. 1994;35:406-14; discussion 414. doi:10.1227/00006123-199409000-00007.
13. Como JJ, Samia H, Nemunaitis GA, Jain V, Anderson JS, Malangoni MA, Claridge JA. The misapplication of the term spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA) in adults. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;73:1261–6. doi:10.1097/TA.0b013e318265cd8c.
14. Martinez-Perez R, Munarriz PM, Paredes I, Cotrina J, Lagares A. Cervical Spinal Cord Injury without Computed Tomography Evidence of Trauma in Adults: Magnetic Resonance Imaging Prognostic Factors. *World Neurosurg*. 2017;99:192–9. doi:10.1016/j.wneu.2016.12.005.
15. Mahajan P, Jaffe DM, Olsen CS, Leonard JR, Nigrovic LE, Rogers AJ, et al. Spinal cord injury without radiologic abnormality in children imaged with magnetic resonance imaging. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013;75:843–7. doi:10.1097/TA.0b013e3182a74abd.
16. Boese CK, Oppermann J, Siewe J, Eysel P, Scheyerer MJ, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormality in children: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg*. 2015;78:874–82. doi:10.1097/TA.0000000000000579.
17. Yucesoy K, Yuksel KZ. SCIWORA in MRI era. *Clin Neurol Neurosurg*. 2008;110:429–33. doi:10.1016/j.clineuro.2008.02.004.
18. Dietz HG. *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Berlin: Springer; 2011.
19. Dreizin D, Kim W, Kim JS, Boscak AR, Bodanapally UK, Munera F, Stein DM. Will the Real SCIWORA Please Stand Up? Exploring Clinicoradiologic Mismatch in Closed Spinal Cord Injuries. *AJR Am J Roentgenol*. 2015;205:853–60. doi:10.2214/AJR.14.13374.

20. Knox J. Epidemiology of spinal cord injury without radiographic abnormality in children: a nationwide perspective. *J Child Orthop*. 2016;10:255–60. doi:10.1007/s11832-016-0740-x.
21. Carroll T, Smith CD, Liu X, Bonaventura B, Mann N, Liu J, Ebraheim NA. Spinal cord injuries without radiologic abnormality in children: a systematic review. *Spinal Cord*. 2015;53:842–8. doi:10.1038/sc.2015.110.
22. Sharma S, Singh M, Wani IH, Sharma S, Sharma N, Singh D. Adult Spinal Cord Injury without Radiographic Abnormalities (SCIWORA): Clinical and Radiological Correlations. *J Clin Med Res*. 2009;1:165–72. doi:10.4021/jocmr2009.08.1256.
23. Shin JI, Lee NJ, Cho SK. Pediatric Cervical Spine and Spinal Cord Injury: A National Database Study. *Spine*. 2016;41:283–92. doi:10.1097/brs.0000000000001176.
24. Szwedowski D, Walecki J. Spinal Cord Injury without Radiographic Abnormality (SCIWORA) - Clinical and Radiological Aspects. *Pol J Radiol*. 2014;79:461–4. doi:10.12659/PJR.890944.
25. Tewari MK, Gifti DS, Singh P, Khosla VK, Mathuriya SN, Gupta SK, Pathak A. Diagnosis and prognostication of adult spinal cord injury without radiographic abnormality using magnetic resonance imaging: analysis of 40 patients. *Surgical Neurology*. 2005;63:204-9; discussion 209. doi:10.1016/j.surneu.2004.05.042.
26. van Buul G, Oner FC. Thoracic spinal cord injury without radiographic abnormality in an adult patient. *Spine J*. 2009;9:e5-8. doi:10.1016/j.spinee.2008.03.003.
27. Pang D, Pollack IF. Spinal cord injury without radiographic abnormality in children--the SCIWORA syndrome. *J Trauma*. 1989;29:654–64. doi:10.1097/00005373-198905000-00021.
28. Atesok K, Tanaka N, O'Brien A, Robinson Y, Pang D, Deinlein D, et al. Posttraumatic Spinal Cord Injury without Radiographic Abnormality. *Adv Orthop*. 2018;2018:7060654. doi:10.1155/2018/7060654.

29. Khatri K, Farooque K, Gupta A, Sharma V. Spinal cord injury without radiological abnormality in adult thoracic spinal trauma. *Arch Trauma Res.* 2014;3:e19036. doi:10.5812/at.19036.
30. Ouyang J, Zhu Q, Zhao W, Xu Y, Chen W, Zhong S. Biomechanical assessment of the pediatric cervical spine under bending and tensile loading. *Spine.* 2005;30:E716-23. doi:10.1097/01.brs.0000192280.53831.70.
31. Platzer P, Jaindl M, Thalhammer G, Dittrich S, Kutscha-Lissberg F, Vecsei V, Gaebler C. Cervical spine injuries in pediatric patients. *J Trauma.* 2007;62:389-96; discussion 394-6. doi:10.1097/01.ta.0000221802.83549.46.
32. Schellenberg M, Islam O, Pokrupa R. Traumatic spinal cord injury without initial MRI abnormality: SCIWORA revisited. *Can J Neurol Sci.* 2011;38:364–6. doi:10.1017/s0317167100011641.
33. Kriss VM, Kriss TC. SCIWORA (spinal cord injury without radiographic abnormality) in infants and children. *Clin Pediatr (Phila).* 1996;35:119–24. doi:10.1177/000992289603500302.
34. Kalra V, Gulati S, Kamate M, Garg A. SCIWORA-Spinal Cord Injury Without Radiological Abnormality. *Indian J Pediatr.* 2006;73:829–31. doi:10.1007/BF02790395.
35. Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med.* 2011;34:535–46. doi:10.1179/204577211X13207446293695.
36. Pettiford JN, Bikhchandani J, Ostlie DJ, St Peter SD, Sharp RJ, Juang D. A review: the role of high dose methylprednisolone in spinal cord trauma in children. *Pediatr Surg Int.* 2012;28:287–94. doi:10.1007/s00383-011-3012-3.
37. Agrawal SK, Fehlings MG. Mechanisms of secondary injury to spinal cord axons in vitro: role of Na<sup>+</sup>, Na<sup>(+)</sup>-K<sup>(+)</sup>-ATPase, the Na<sup>(+)</sup>-H<sup>+</sup> exchanger, and the Na<sup>(+)</sup>-Ca<sup>2+</sup> exchanger. *J. Neurosci.* 1996;16:545–52. doi:10.1523/jneurosci.16-02-00545.1996.

38. Ergun A, Oder W. Pediatric care report of spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA): case report and literature review. *Spinal Cord*. 2003;41:249–53. doi:10.1038/sj.sc.3101442.
39. Adams HA, Rüter A, Rüter-Trentz-Wagner. *Unfallchirurgie*. 2nd ed. München: Urban & Fischer; 2004.
40. Kim SH, Yoon SH, Cho KH, Kim SH. Spinal cord injury without radiological abnormality in an infant with delayed presentation of symptoms after a minor injury. *Spine*. 2008;33:E792-4. doi:10.1097/BRS.0b013e3181878719.
41. Shah K, Tikoo A, Kothari MK, Nene A. Current Concepts in Pediatric Cervical Spine Trauma. *Open Orthop J*. 2017;11:346–52. doi:10.2174/1874325001711010346.
42. Farrell CA, Hannon M, Lee LK. Pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality in the era of advanced imaging. *Curr Opin Pediatr*. 2017;29:286–90. doi:10.1097/MOP.0000000000000481.
43. Talbott JF, Huie JR, Ferguson AR, Bresnahan JC, Beattie MS, Dhall SS. MR Imaging for Assessing Injury Severity and Prognosis in Acute Traumatic Spinal Cord Injury. *Radiol Clin North Am*. 2019;57:319–39. doi:10.1016/j.rcl.2018.09.004.
44. Bozzo A, Marcoux J, Radhakrishna M, Pelletier J, Goulet B. The role of magnetic resonance imaging in the management of acute spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2011;28:1401–11. doi:10.1089/neu.2009.1236.
45. Machino M, Yukawa Y, Ito K, Nakashima H, Kanbara S, Morita D, Kato F. Can magnetic resonance imaging reflect the prognosis in patients of cervical spinal cord injury without radiographic abnormality? *Spine*. 2011;36:E1568-72. doi:10.1097/BRS.0b013e31821273c0.
46. Ouchida J, Yukawa Y, Ito K, Katayama Y, Matsumoto T, Machino M, et al. Delayed Magnetic Resonance Imaging in Patients With Cervical Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality. *Spine*. 2016;41:E981-6. doi:10.1097/BRS.0000000000001505.



47. Herzenberg JE, Hensinger RN, Dedrick DK, Phillips WA. Emergency transport and positioning of young children who have an injury of the cervical spine. The standard backboard may be hazardous. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71:15–22.
48. Bosch PP, Vogt MT, Ward WT. Pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA): the absence of occult instability and lack of indication for bracing. *Spine.* 2002;27:2788–800. doi:10.1097/00007632-200212150-00009.
49. Rozzelle CJ, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Ryken TC, et al. Spinal cord injury without radiographic abnormality (SCIWORA). *Neurosurgery.* 2013;72 Suppl 2:227–33. doi:10.1227/NEU.0b013e3182770ebc.
50. Wang MY, Hoh DJ, Leary SP, Griffith P, McComb JG. High rates of neurological improvement following severe traumatic pediatric spinal cord injury. *Spine.* 2004;29:1493-7; discussion E266. doi:10.1097/01.brs.0000129026.03194.0f.
51. Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR, Leo-Summers L, Aldrich EF, Fazl M, et al. Methylprednisolone or tirilazad mesylate administration after acute spinal cord injury: 1-year follow up. Results of the third National Acute Spinal Cord Injury randomized controlled trial. *Journal of Neurosurgery.* 1998;89:699–706. doi:10.3171/jns.1998.89.5.0699.
52. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia. 1969;7:179–92. doi:10.1038/sc.1969.30.
53. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. 2018. [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-011l\\_S1\\_Verletzungen-der-oberen-HWS\\_2018-09.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-011l_S1_Verletzungen-der-oberen-HWS_2018-09.pdf).
54. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. 2018. [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-028l\\_S1\\_Verletzungen-der-thorakolumbalen-Wirbels%C3%A4ule\\_2019-02\\_.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-028l_S1_Verletzungen-der-thorakolumbalen-Wirbels%C3%A4ule_2019-02_.pdf).
55. Mann FA, Cohen WA, Linnau KF, Hallam DK, Blackmore CC. Evidence-based approach to using CT in spinal trauma. *European Journal of Radiology.* 2003;48:39–48. doi:10.1016/S0720-048X(03)00196-7.

56. Vogl TJ, Reith W, Rummeny E-J. Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011.
57. Zimmer-Brossy M, Bošnjaković-Büscher S, Bast B, Riegler-Bubeck C. Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik. Berlin: Springer; 1998.
58. Deutsche Röntgengesellschaft. Röntgen - bewährt und unverzichtbar  
|&nbsp;DRG.de. 06/20/2020 15:58:57. <https://www.drg.de/de-DE/3933/roentgen/>.  
Accessed 20 Jun 2020.
59. W. Ertel, O. Trentz. Neue diagnostische Strategien beim Polytrauma. Chirurg. 1997;68:1071–5. doi:10.1007/s001040050325.
60. H. Häuser, K. Bohndorf. Radiologisches Notfallmanagement polytraumatisierter Patienten. Radiologe. 1998;38:637–44. doi:10.1007/s001170050404.
61. Gale SC, Gracias VH, Reilly PM, Schwab CW. The inefficiency of plain radiography to evaluate the cervical spine after blunt trauma. J Trauma. 2005;59:1121–5. doi:10.1097/01.ta.0000188632.79060.ba.
62. Felber, SR. Radiologische Diagnostik bei Wirbelsäulenerkrankungen.
63. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. Kurzversion der S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. 2016.  
[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-019k\\_S3\\_Polytrauma\\_Schwerverletzten-Behandlung\\_2017-03.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019k_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-03.pdf).
64. Bücheler E, Götsche T, editors. Einführung in die Radiologie: Diagnostik und Interventionen ; 116 Tabellen. 11th ed. Stuttgart: Thieme; 2006.
65. Deutsche Röntgengesellschaft. Schicht für Schicht - Computertomografie (CT)  
|&nbsp;DRG.de. 06/20/2020 17:17:13. <https://www.drg.de/de-DE/3922/ct/>.  
Accessed 20 Jun 2020.
66. Deutsche Röntgengesellschaft. Magnetresonanztomografie (MRT) - voll im Bilde  
|&nbsp;DRG.de. 06/20/2020 18:23:46. <https://www.drg.de/de-DE/3919/mrt/>.  
Accessed 20 Jun 2020.
67. Uhlenbrock D, Brechtelsbauer D. MR imaging of the spine and spinal cord. Stuttgart, New York: Thieme; 2004.

68. Deutsche Gesellschaft für Neurologie. Beschleunigungstrauma der Halswirbelsäule. 2012.
69. Lustrin ES, Karakas SP, Ortiz AO, Cinnamon J, Castillo M, Vaheesan K, et al. Pediatric cervical spine: normal anatomy, variants, and trauma. *Radiographics*. 2003;23:539–60. doi:10.1148/rg.233025121.
70. Grünhagen J, Egbers H-J, Heller M, Reuter M. Vergleichende computertomographische und kernspintomographische Beurteilung von Wirbelsäulenverletzungen der BWS und LWS anhand der Magerl-Klassifikation. [Comparison of spine injuries by means of CT and MRI according to the classification of Magerl]. *Rofo*. 2005;177:828–34. doi:10.1055/s-2005-858198.
71. Kauffmann GW, Moser E, Sauer R. Radiologie: Mit 115 Tabellen ; Fragen und Antworten. 3rd ed. München: Elsevier Urban & Fischer; 2006.
72. Weishaupt D, Koechli V, Froehlich JM. How Does MRI Work?: An Introduction to the Physics and Function of Magnetic Resonance Imaging. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006.
73. Le May S, Ballard A, Khadra C, Gouin S, Plint AC, Villeneuve E, et al. Comparison of the psychometric properties of 3 pain scales used in the pediatric emergency department: Visual Analogue Scale, Faces Pain Scale-Revised, and Colour Analogue Scale. *Pain*. 2018;159:1508–17. doi:10.1097/j.pain.0000000000001236.
74. Carlsson AM. Assessment of chronic pain. I. Aspects of the reliability and validity of the visual analogue scale. *Pain*. 1983;16:87–101. doi:10.1016/0304-3959(83)90088-X.
75. Huskisson EC. MEASUREMENT OF PAIN. *The Lancet*. 1974;304:1127–31. doi:10.1016/S0140-6736(74)90884-8.
76. Bombardier C. Outcome assessments in the evaluation of treatment of spinal disorders: summary and general recommendations. *Spine*. 2000;25:3100–3. doi:10.1097/00007632-200012150-00003.
77. Mannion AF, Junge A, Fairbank JCT, Dvorak J, Grob D. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural

- adaptation, reliability, and validity. *Eur Spine J.* 2006;15:55–65.  
doi:10.1007/s00586-004-0815-0.
78. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy.* 1980;66:271–3.
79. Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index. *Spine.* 2000;25:2940-52; discussion 2952. doi:10.1097/00007632-200011150-00017.
80. Koller M, Ernstberger A, Zeman F, Loss J, Nerlich M. Outcome after polytrauma in a certified trauma network: comparing standard vs. maximum care facilities concept of the study and study protocol (POLYQUALY). *BMC Health Serv Res.* 2016;16:242. doi:10.1186/s12913-016-1468-5.
81. FAQs – EQ-5D. 06/19/2020 17:20:29. <https://euroqol.org/eq-5d-instruments/eq-5d-3l-about/faqs/>. Accessed 19 Jun 2020.
82. Rabin R, Charro F de. EQ-5D: a measure of health status from the EuroQol Group. *Ann Med.* 2001;33:337–43. doi:10.3109/07853890109002087.
83. Greiner W, Claes C, Busschbach JJV, Schulenburg J-MG von der. Validating the EQ-5D with time trade off for the German population. *Eur J Health Econ.* 2005;6:124–30. doi:10.1007/s10198-004-0264-z.
84. EuroQol Research Foundation. EQ-5D-3L User Guide. 2018.  
<https://euroqol.org/publications/user-guides/>.
85. Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ). Calculating the U.S. Population-based EQ-5D Index Score | AHRQ Archive. 11/08/2018 19:52:36.  
<https://archive.ahrq.gov/professionals/clinicians-providers/resources/rice/EQ5Dscore.html>. Accessed 19 Jun 2020.
86. Breslau N, Peterson EL, Kessler RC, Schultz LR. Short screening scale for DSM-IV posttraumatic stress disorder. *Am J Psychiatry.* 1999;156:908–11.  
doi:10.1176/ajp.156.6.908.
87. Philip Siegrist, Andreas Maercker. Deutsche Fassung der Short Screening Scale for DSM-IV Posttraumatic Stress Disorder. *tg.* 2010;4:208–13.

88. Khazaeipour Z, Taheri-Otaghsara S-M, Naghdi M. Depression Following Spinal Cord Injury: Its Relationship to Demographic and Socioeconomic Indicators. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015;21:149–55. doi:10.1310/sci2102-149.
89. Sher-Wei Lim, Yow-Ling Shiue, Chung-Han Ho, Shou-Chun Yu, Pei-Hsin Kao, Jhi-Joung Wang, Jinn-Rung Kuo. Anxiety and Depression in Patients with Traumatic Spinal Cord Injury: A Nationwide Population-Based Cohort Study. *PLOS ONE.* 2017;12:e0169623. doi:10.1371/journal.pone.0169623.
90. J Le, D Dorstyn. Anxiety prevalence following spinal cord injury: a meta-analysis. *Spinal Cord.* 2016;54:570–8. doi:10.1038/sc.2016.15.
91. Otis C, Marchand A, Courtois F. Risk factors for posttraumatic stress disorder in persons with spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2012;18:253–63. doi:10.1310/sci1803-253.
92. Boese CK, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg.* 2013;75:320–30. doi:10.1097/TA.0b013e31829243c9.
93. Launay F, Leet AI, Sponseller PD. Pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality: a meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2005:166–70. doi:10.1097/01.blo.0000151876.90256.bf.
94. Dickman CA, Zabramski JM, Hadley MN, Rekate HL, Sonntag VK. Pediatric spinal cord injury without radiographic abnormalities: report of 26 cases and review of the literature. *J Spinal Disord.* 1991;4:296–305. doi:10.1097/00002517-199109000-00006.
95. Piatt JH. Pediatric spinal injury in the US: epidemiology and disparities. *J Neurosurg Pediatr.* 2015;16:463–71. doi:10.3171/2015.2.PEDS1515.
96. Liu Q, Zhao J, Yu H, Ma X, Wang L. Early MRI finding in adult spinal cord injury without radiologic abnormalities does not correlate with the neurological outcome: a retrospective study. *Spinal Cord.* 2015;53:750–3. doi:10.1038/sc.2015.45.
97. Parashari UC, Khanduri S, Bhadury S, Kohli N, Parihar A, Singh R, et al. Diagnostic and prognostic role of MRI in spinal trauma, its comparison and correlation with clinical profile and neurological outcome, according to ASIA

- impairment scale. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2011;2:17–26.  
doi:10.4103/0974-8237.85309.
98. Dare AO, Dias MS, Li V. Magnetic resonance imaging correlation in pediatric spinal cord injury without radiographic abnormality. *Journal of Neurosurgery*. 2002;97:33–9. doi:10.3171/spi.2002.97.1.0033.
99. Shin JC, Goo HR, Yu SJ, Kim DH, Yoon SY. Depression and Quality of Life in Patients within the First 6 Months after the Spinal Cord Injury. *Ann Rehabil Med*. 2012;36:119–25. doi:10.5535/arm.2012.36.1.119.
100. Migliorini C, Tonge B, Taleporos G. Spinal cord injury and mental health. *Aust N Z J Psychiatry*. 2008;42:309–14. doi:10.1080/00048670801886080.
101. Schöenberg M, Reimitz M, Jusyte A, Maier D, Badke A, Hautzinger M. Depression, posttraumatic stress, and risk factors following spinal cord injury. *Int J Behav Med*. 2014;21:169–76. doi:10.1007/s12529-012-9284-8.
102. Boakye M, Leigh BC, Skelly AC. Quality of life in persons with spinal cord injury: comparisons with other populations. *J Neurosurg Spine*. 2012;17:29–37. doi:10.3171/2012.6.AOSpine1252.
103. Garma SI, Kelly EH, Daharsh EZ, Vogel LC. Health-related quality of life after pediatric spinal cord injury. *J Pediatr Psychol*. 2011;36:226–36. doi:10.1093/jpepsy/jsq037.
104. Janssen B, Szende A. *Self-Reported Population Health: An International Perspective based on EQ-5D: Population Norms for the EQ-5D*. Dordrecht (NL); 2014.
105. Krause JS, Saunders LL, Newman S. Posttraumatic stress disorder and spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91:1182–7. doi:10.1016/j.apmr.2010.05.012.
106. Nielsen MS. Prevalence of Posttraumatic Stress Disorder in Persons With Spinal Cord Injuries: The Mediating Effect of Social Support. *Rehabilitation Psychology*. 2003;48:289–95. doi:10.1037/0090-5550.48.4.289.

107. Pollock K, Dorstyn D, Butt L, Prentice S. Posttraumatic stress following spinal cord injury: a systematic review of risk and vulnerability factors. *Spinal Cord*. 2017;55:800–11. doi:10.1038/sc.2017.45.
108. Rasmussen HN, Scheier MF, Greenhouse JB. Optimism and physical health: a meta-analytic review. *Ann Behav Med*. 2009;37:239–56. doi:10.1007/s12160-009-9111-x.
109. Arthur W, Graziano WG. The five-factor model, conscientiousness, and driving accident involvement. *J Pers*. 1996;64:593–618. doi:10.1111/j.1467-6494.1996.tb00523.x.
110. Watson D, Gamez W, Simms LJ. Basic dimensions of temperament and their relation to anxiety and depression: A symptom-based perspective. *Journal of Research in Personality*. 2005;39:46–66. doi:10.1016/j.jrp.2004.09.006.
111. Ogle CM, Siegler IC, Beckham JC, Rubin DC. Neuroticism Increases PTSD Symptom Severity by Amplifying the Emotionality, Rehearsal, and Centrality of Trauma Memories. *J Pers*. 2017;85:702–15. doi:10.1111/jopy.12278.
112. Breslau N, Schultz L. Neuroticism and post-traumatic stress disorder: a prospective investigation. *Psychol Med*. 2013;43:1697–702. doi:10.1017/S0033291712002632.
113. Burger JM. *Personality*. Princeton, N.J.: Recording for the Blind & Dyslexic; 2008.
114. Roesch SC, Wee C, Vaughn AA. Relations between the Big Five personality traits and dispositional coping in Korean Americans: Acculturation as a moderating factor. *International Journal of Psychology*. 2006;41:85–96. doi:10.1080/00207590544000112.
115. Warren AM, Reynolds M, Driver S, Bennett M, Sikka S. Posttraumatic Stress Symptoms Among Spinal Cord Injury Patients in Trauma: A Brief Report. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2016;22:203–8. doi:10.1310/sci2016-00032.
116. Hatcher MB, Whitaker C, Karl A. What predicts post-traumatic stress following spinal cord injury? *Br J Health Psychol*. 2009;14:541–61. doi:10.1348/135910708X373445.

117. Block JH, Gjerde PF, Block JH. Personality antecedents of depressive tendencies in 18-year-olds: A prospective study. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1991;60:726–38. doi:10.1037//0022-3514.60.5.726.



## **8 Danksagung**

---

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Doktorarbeitsbetreuerin, Frau PD Dr. med. Viola Freigang, für die Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken. Auch für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens möchte ich mich herzlich bedanken.

Herrn Prof. Dr. med. Florian Baumann, Leiter des Instituts für Becken- und Hüftchirurgie und Kindertraumatologie, danke ich für die Ermöglichung der Promotion in der Abteilung für Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Regensburg.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden für die uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung während meines Studiums, ohne die diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre.