

Aus der Klinik für Neurochirurgie
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. M. Synowitz)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Die Magnetresonanztomographie in der primären Diagnostik des kindlichen Schädelhirntraumas

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Nils Felix Groll, geb. Niemczyk
aus Itzehoe (Schleswig-Holstein)
Kiel (2021)

1. Berichterstatterin: Prof. Dr. Friederike Friedel Knerlich-Lukoschus

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Andreas van Baalen

Tag der mündlichen Prüfung: 21.03.2022

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 10.12.2021

gez.: Prof. Dr. Ann-Kristin Helmers

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Das Schädelhirntrauma im Kindes- und Jugendalter	1
1.1.1 Inzidenz	1
1.1.2 Klinische Aspekte	1
1.1.3 Typische Ursachen	2
1.1.4 Symptomatik	3
1.1.5 Diagnostik	4
1.1.5.1 Klinischer Befund und körperliche Untersuchung	4
1.1.5.2 Apparative bildgebende Diagnostik	4
1.1.5.3 Problematik der Computertomographie	6
1.1.5.4 Magnetresonanztomographie	7
1.1.6 Traumafolgen	9
1.1.7 Stationäre Überwachung	10
1.2 Zielsetzung	10
2 Methoden	12
2.1 Votum der Ethikkommission	12
2.2 Patientenkollektiv und Datenerhebung	12
2.3 Bildgebung und Aufnahmeprotokolle	12
2.4 Statistische Verfahren	13
3 Ergebnisse	14
3.1 Charakterisierung des Patientenkollektivs	14
3.1.1 Alter der Patienten	14
3.1.2 Geschlechterverteilung	14
3.1.3 GCS Werte	15
3.1.4 Symptome	16
3.1.5 Nicht auswertbare Symptome	17
3.1.6 Traumaursachen	18
3.1.7 Fahrradsturz behelmt/unbehelmt	18
3.1.8 Klinischer Überwachungszeitraum	19

3.1.9 Bildgebung	19
3.1.9.1 Zeitintervall bis zur MRT Bildgebung	19
3.1.9.2 MRT Protokolle	20
3.1.9.3 Dauer der Aufnahmen	21
3.1.9.4 Zusätzliche computertomographische Aufnahmen	22
3.1.9.5 Sedierung zur Bildgebung	23
3.1.9.6 MRT Befunde	23
3.1.9.7 Zufallsbefunde	25
3.1.10 Operative Interventionen	26
3.2 Univariate binäre logistische Regression	26
3.2.1 Neurologische Symptome	27
3.2.2 Befunde der körperlichen Untersuchung	27
3.2.3 Altersgruppen	27
3.2.4 Unfallursachen	28
3.3 Multivariate binäre logistische Regression	28
4 Diskussion	30
4.1 Voraussetzungen für die geplanten Analysen	30
4.1.1 Charakteristika der untersuchten Patientenkohorte	30
4.1.2 Bildgebung und Befunde in dem untersuchten Patientenkollektiv	32
4.1.3 Indikation	32
4.1.4 MRT Bildgebung	32
4.1.5 Traumafolgen	34
4.1.6 Operative Interventionen	35
4.1.7 Potentielle Folgen der MRT Bildgebung	36
4.2 Prädiktive Faktoren für Traumafolgen	37
5 Zusammenfassung	41
6 Literaturverzeichnis	43
7 Anhang	53
8 Danksagung	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Alter und Geschlecht	15
Abbildung 2: Zeit bis zur Bildgebung nach Altersgruppen	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: GCS modifiziert für Kinder	2
Tabelle 2: Altersgruppen	14
Tabelle 3: GCS Werte	15
Tabelle 4: GCS Wert nach Altersgruppen	16
Tabelle 5: Symptome bei Patientenvorstellung in der Notaufnahme	16
Tabelle 6: Symptome bei Patientenvorstellung aufgeteilt nach Altersgruppen	17
Tabelle 7: Nicht auswertbare Symptome	17
Tabelle 8: Ursachen für das leichte SHT	18
Tabelle 9: Ursachen nach Altersgruppen	18
Tabelle 10: Sturz mit dem Fahrrad behelmt/unbehelmt	19
Tabelle 11: Überwachungszeiträume	19
Tabelle 12: MRT Aufnahmeprotokolle	21
Tabelle 13: Dauer der MRT Sequenzen	22
Tabelle 14: CT Befunde	22
Tabelle 15: Sedierung	23
Tabelle 16: MRT Befunde nach leichtem SHT	24
Tabelle 17: MRT Befunde nach Altersgruppen	25
Tabelle 18: MRT Zufallsbefunde	26
Tabelle 19: Operative Interventionen	26
Tabelle 20: Univariate binäre logistische Regression	28
Tabelle 21: Multivariate logistische Regression	29

Abkürzungsverzeichnis

AVPU	Alert, Voice, Pain, Unresponsive
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BOLD	Blood oxygenation level dependent
CATCH	Canadian Assessment for Childhood Head Injury
cCT	Kraniale Computertomographie
CHALICE	Children`s Head Injury Algorithm for the Prediction of Important Clinical Events
CT	Computertomographie
DAI	Diffuse axonal injury
DWI	Diffusion weight imaging
EDH	Epiduralhämatom
FLAIR	Fluid attenuated inversion recovery
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
GCS	Glasgow coma scale
Gy	Gray
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MRT	Magnetresonanztomographie
OR	Odds Ratio
PCA	Phasen Kontrast Angiographie
PECARN	Pediatric Emergency Care Applied Research Network
SAB	Subarachnoidalblutung
SDH	Subduralhämatom
SHT	Schädelhirntrauma
STIR	Short tau inversion recovery
SWI	Suszeptibilitätsgewichtete Bildgebung
TI	Time for inversion
TOF	Time of flight
tSAB	traumatische Subarachnoidalblutung
UKSH	Universitätsklinikum Schleswig-Holstein

1 Einleitung

1.1. Das Schädelhirntrauma im Kindes- und Jugendalter

1.1.1 Inzidenz

Das Schädelhirntrauma (SHT) ist eine häufige Unfallfolge im Kindes- und Jugendalter und stellt eine bedeutende Ursache für Mortalität und Morbidität dar (Kuppermann et al. 2009). In Deutschland erleiden jährlich 332 von 100.000 Kindern unter 16 Jahren ein SHT, bei 90,2% handelt es sich um ein leichtes SHT (Rickels et al. 2010). In den USA versterben jährlich 52.000 Menschen an den Folgen eines SHT. Der Anteil der Kinder unter 14 Jahren von den 1,7 Millionen Betroffenen liegt bei 474.000. Dabei ist in 35.000 Fällen eine stationäre Aufnahme in ein Krankenhaus notwendig. Es versterben ca. 2.200 Kinder infolge des SHT. Die Altersgruppe der Kinder unter 4 Jahren ist die am häufigsten betroffene. Jungen sind mit 55% bis 77% häufiger betroffen als Mädchen (Faul et al. 2010).

1.1.2 Klinische Aspekte

Die klinische Einteilung der Schweregrade eines SHT erfolgt u.a. nach dem initialen (also am Unfallort erhobenen) Bewusstseinszustand des Betroffenen. Dieser wird mittels der Glasgow Coma Scale (GCS), einer international anerkannten Skala (Teasdale et al. 1976; Teasdale et al. 2014) erhoben. Dabei werden drei Qualitäten (Augen öffnen, beste verbale Antwort und beste motorische Antwort) überprüft und mittels Punktevergabe gewichtet: Bei einem leichten SHT beträgt der Wert bei der neurologischen Untersuchung zwischen 13 und 15 Punkte. Bei 9-12 Punkten liegt ein mittelschweres und bei 3-8 Punkten ein schweres SHT vor (Teasdale et al. 2014).

Bei Kindern unter 5 Jahren wird eine modifizierte GCS angewandt (siehe Tabelle 1). Diese unterscheidet sich in den Punkten „motorische Antwort“ und „verbale Antwort“ von der ursprünglichen GCS. Als Beispiel wird der Punkt „orientiert“ bei der verbalen Antwort bei Kindern über einem Jahr mit „verständliche Worte“ und unter einem Jahr mit „plappern“ ersetzt. Bei der besten motorischen Antwort wird der Punkt „befolgt Aufforderungen“ durch „Spontanbewegungen“ ersetzt. Als Ersatz für die GCS kann bei der Gruppe der jüngeren Kinder das vereinfachte AVPU-Schema (AVPU=alert/voice/pain/unresponsive) verwendet werden.

Bei diesem Schema wird der neurologische Zustand in die vier Stadien „wach“, „adäquate Reaktion“ auf eine „verbale Ansprache“, „adäquate Reaktion auf einen Schmerzstimulus“ und „keine Reaktion“ auf einen Stimulus eingeteilt (Lehner et al. 2013).

Tabelle 1: GCS modifiziert für Kinder nach Lehner et al. (Lehner et al. 2013)

5 Jahre	>1Jahr	<1Jahr
Augenöffnen		
4 Spontan		
3 Auf Ansprache		
2 Auf Schmerzreiz		
1 Fehlend		
Beste motorische Antwort		
6 Befolgt Aufforderungen		Spontanbewegung
5 gezielte Schmerzabwehr		
4 ungezielte Schmerzabwehr		
3 Flexion auf Schmerz		
2 Extension auf Schmerz		
1 Fehlend		
Beste verbale Antwort		
5 Orientiert	Verständliche Worte	Plappern
4 Verwirrt	Unverständliche Worte	Weinen, kann beruhigt werden
3 unzusammenhängende Wörter	Andauerndes Weinen	Kann nicht beruhigt werden
2 Unverständlich	Stöhnen	
1 Fehlend		

1.1.3 Typische Ursachen

Je nach Alter der Kinder oder Jugendlichen unterscheiden sich die Ursachen des leichten SHT. Häufigste Ursache bei Kindern unter einem Jahr sind Stürze, welche unter anderem durch die geringen motorischen Fähigkeiten sich abzufangen und der fehlenden kognitiven Fähigkeit, räumliche Aspekte wie die Höhe einzuschätzen resultiert (Pal'a et al. 2015). Die Stürze können nach der Fallhöhe in drei Kategorien eingeteilt werden. Am häufigsten stürzen Kinder aus mittlerer Höhe wie z.B. von einem Wickeltisch (Fischer et al. 2007). Bei 5- bis 14-jährigen Kindern werden vermehrt Tätigkeiten wie sportliche Aktivität und der Gebrauch von Fahrrädern ausgeübt. Dadurch sind die Ursachen des SHT zunehmend Verkehrsunfälle mit

Kraftfahrzeugen, Sportunfälle, Kollisionen gegen bewegte und unbewegte Objekte und körperliche Auseinandersetzungen (Faul et al. 2010; Keenan et al. 2006).

Die Gruppe der 15- bis 19-jährigen Jugendlichen weist als häufigste Ursache Verkehrsunfälle mit Kraftfahrzeugen wie Autos und Motorrädern sowie Fahrrädern auf (Faul et al. 2010).

1.1.4 Symptomatik

Anders als bei einem moderaten oder schweren SHT zeigen mehr als die Hälfte der Kinder nach einem leichtem SHT keinerlei Symptomatik (Fischer et al. 2007). Kommt es zu Symptomen, können diese vielfältig sein. Direkt nach dem Trauma kann es zu subjektiven Symptomen wie Kopfschmerzen, Übelkeit mit und ohne Erbrechen, Schwindel und Doppelbildern kommen. Als objektive Symptome können Hämatome, Schwellungen, Platzwunden, Skalpierungsverletzungen, Deformitäten des Schädels, Impressionen und Austritt von Blut oder Liquor beobachtet werden. Zudem können eine Amnesie, Vigilanzstörungen, Paresen, Reflexveränderungen, Sprachstörungen, Krampfanfälle, vegetative Störungen und Bewusstseinsstörungen auftreten (Andrade et al. 2016; Boran et al. 2006; Lehner et al. 2013; Jorch et al. 2011).

Bei Kindern unter zwei Jahren können sich Bewusstseinsstörungen durch auffälliges Verhalten wie verminderte Spontanmotorik, Schläfrigkeit, Spielunlust und Inappetenz zeigen. Um diese Symptome zu diagnostizieren muss eine Fremdanamnese über die Bezugsperson des Kindes erhoben werden (Jorch et al. 2011; Schnadower et al. 2007; Kuppermann et al. 2009).

Wie bei Erwachsenen können als Spätfolgen nach einem leichten SHT chronische Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen auftreten (Mollayeva et al. 2017). Weitere Kontrollen im ambulanten Bereich ggf. mit Durchführung neuropsychologischer Testungen sind daher auch nach leichten SHT dringend indiziert.

1.1.5 Diagnostik

1.1.5.1 Klinischer Befund und körperliche Untersuchung

Goldstandard der SHT Diagnostik ist die körperliche Untersuchung inklusive neurologischer Statuserhebung während des Notfallmanagements im Schockraum bzw. in der Ambulanz (Levin et al. 2015; Jorch et al. 2011).

Dabei erfolgt die Anamneseerhebung in der Regel während des Übergabeprotokolls in Rücksprache mit dem einliefernden Notarzt, den begleitenden Personen (Eltern, Beteiligte) und, je nach Alter und Grades des SHT, über den Patienten selbst.

1.1.5.2 Apparative bildgebende Diagnostik

Neben o.g. körperlicher Untersuchung erfolgt bei der initialen Abklärung nach einem Trauma ggf. weitere apparative Diagnostik. Behandlungswürdige Folgen nach einem leichten SHT sind selten. Es muss sinnvoll abgewogen werden, ob eine Bildgebung notwendig ist. Wird auf diese verzichtet besteht die Gefahr, dass Traumafolgen nicht erkannt werden. Dadurch kann es zu Komplikationen im weiteren Verlauf der Behandlung kommen. Im Rahmen eines SHTs steht für die kraniale und spinale Traumaabklärung in erster Linie die Computertomographie (CT) im Vordergrund. Bei Säuglingen zudem die Sonographie. Die Magnetresonanztomographie (MRT) hat in der Notfallversorgung demgegenüber noch keinen festen Platz in der Diagnostikkette. Wird eine Bildgebung durchgeführt, müssen in der Regel die Folgen der ionisierenden Strahlung in Kauf genommen werden. Dabei sollte der Nutzen der Bildgebung das Risiko, welches durch die ionisierende Strahlung entsteht, übersteigen.

Wann eine Bildgebung indiziert ist hängt von verschiedenen Faktoren ab. Bei dem mittelschweren und schweren SHT bei Erwachsenen und Kindern existieren akzeptierte Richtlinien, welche eine Hilfestellung geben können. So ist z.B. nach der Leitlinie des National Institute for Health and Care Excellence (kurz NICE, Vereinigtes Königreich, 2007) eine CT Bildgebung innerhalb einer Stunde nach einem Trauma indiziert, wenn Risikofaktoren wie der Verdacht auf Kindesmisshandlung, GCS Werte unter 14 Punkten, Verdacht auf eine Schädelbasisfraktur, ein posttraumatischer Krampfanfall, offene oder Impressionsfrakturen, fokale neurologische Defizite und Wunden mit einer Größe von mehr als 5cm bei Kindern unter einem Jahr vorliegen (Davis et al. 2015).

Die Empfehlungen für eine Bildgebung in dieser Leitlinie bauen auf der Arbeit des Children's Head Injury Algorithm for the prediction of Clinically Important Events (CHALICE, Vereinigtes Königreich, 2006) auf (Davis et al. 2015; Dunning et al. 2006).

Die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.v. (AWMF, Deutschland) nennt in ihrer Leitlinie für das SHT im Kindesalter von 2011 (<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/024-018.html>) als obligate Indikation für eine Bildgebung mittels CT Befunde wie Koma, eine anhaltende Bewusstseinsstrübung, fokale neurologische Defizite und wenn der Verdacht auf eine Schädelbasisfraktur, eine Impressionsfraktur oder offene Verletzungen besteht.

Als fakultative Indikation werden ein schwerer Unfallmechanismus, anhaltende Kopfschmerzen, mehrfaches Erbrechen, Intoxikationen und das Vorliegen einer Gerinnungsstörung genannt. Eine Röntgenaufnahme des Schädels wird nicht empfohlen, da mit dieser Methode intrakranielle Verletzungen nicht ausgeschlossen werden können (Jorch et al. 2011).

Nach Untersuchung von großen Patientenkohorten in den USA hat das Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN) im Jahr 2009 Risikofaktoren herausgearbeitet, die Hinweise auf mögliche, in einer Bildgebung sichtbare SHT Folgen geben können (z.B. veränderter mentaler Status, Vorliegen eines Skalphämatoms, initialer Bewusstseinsverlust, die Schwere des Unfallherganges, Verdacht auf eine Schädelfraktur, Erbrechen und starke Kopfschmerzen) (Kuppermann et al. 2009).

In Kanada wurde 2010 ebenfalls eine Leitlinie entwickelt, welche sich mit der Entscheidung, wann eine CT Aufnahme nach einem leichten SHT bei Kindern erfolgen sollte, befasst. Die CATCH (Canadian Assessment of Tomography for Childhood Head Injury) Leitlinie. Dort wurden als stärkste Risikofaktoren für intrakranielle Verletzungen ein GCS Punktwert unter 15 in den ersten zwei Stunden nach Trauma, der Verdacht auf eine offene oder Impressionsfraktur, Anstieg von Kopfschmerzen, persistierende Erregbarkeit, Zeichen einer Schädelbasisfraktur, ein großes Skalphämatom und gefährliche Unfallmechanismen genannt (Osmond et al. 2010). Bei Vorliegen eines oder mehrerer dieser Risikofaktoren (je nach Risikofaktor) ist nach diesen Studien eine CT Bildgebung gerechtfertigt.

1.1.5.3 Problematik der Computertomographie

Aktuell ist der Goldstandard der SHT Diagnostik bei Erwachsenen und auch bei Kindern in der Akutsituation die Bildgebung mittels CT (Jorch et al. 2011; Kuppermann et al. 2009; Fischer et al. 2007).

Nach der AWMF Leitlinie für das SHT im Kindesalter sollte eine kraniale CT bei Aufnahme erfolgen, wenn Befunde wie Koma, fokale Defizite, anhaltende Bewusstseinsstrübung oder der Verdacht einer Kalotten- oder Schädelbasisfraktur bestehen. Die Leitlinie bezieht sich auf die Diagnostik des SHT bei Kindern mit schwerem, moderatem und leichtem SHT (Jorch et al. 2011). Auch bei der Aktualisierung von internationalen Leitlinien ist die CT Mittel der ersten Wahl zur Diagnostik (Davis et al. 2015).

Neueren Studien zufolge kommt es zu einem deutlichen Anstieg von CT Aufnahmen in den letzten Jahren (Berdahl et al. 2013; Brenner, D. J. et al. 2007). Dieses zeigt sich auch bei der CT Bildgebung bei Kindern (Miglioretti et al. 2013). Das liegt unter anderem daran, dass in den genannten Leitlinien keine Alternative zur CT Bildgebung wie die MRT empfohlen wird. Zudem ist die CT Bildgebung eine schnelle Methode um Pathologien mit hoher Spezifität und Sensitivität ausschließen zu können. Zudem ist sie in vielen Krankenhäusern verfügbar (Buttram et al. 2015; Missios et al. 2008).

Ein wesentlicher Nachteil der CT ist die damit verbundene Exposition des Patienten mit ionisierender Strahlung und deren Folgen. Da insbesondere Kinder eine hohe Lebenszeit vor sich haben, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, an Folgen der ionisierenden Strahlung zu erkranken (Brenner, D. et al. 2001; Brenner, D. J. et al. 2007). Die Strahlenbelastung pro CT Untersuchung des Kopfes liegt dabei zwischen 16mGy und 31mGy. Mit zunehmendem Alter der Kinder wird eine höhere Dosis zur Untersuchung verwendet (Kim et al. 2016). Aus dieser Strahlenbelastung können solide Tumore wie Gliome, Schwannome, Meningeome aber auch hämatologische Erkrankungen wie das myelodysplastische Syndrom und akute lymphatische Leukämie resultieren (Brenner, D. et al. 2001; Brenner, D. J. 2002; Pearce et al. 2012). Das Risiko an einem Hirntumor zu erkranken verdreifacht sich nach zwei bis drei CT Untersuchungen des Kopfes mit 60mGy. Das Risiko an einer Leukämie zu erkranken verdreifacht sich nach fünf bis zehn CT Untersuchungen des Kopfes mit 50mGy. Diese Erhöhung des Hirntumor- und Leukämierisikos betrifft Kinder unter 15 Jahren (Pearce et al. 2012). Bei Mädchen im Kleinkindalter ist das Risiko einer

Krebserkrankung als Folge einer kranialen, abdominellen, thorakalen und spinalen CT Untersuchung am höchsten (Miglioretti et al. 2013).

Es kann sowohl bei der Entscheidung für eine Bildgebung als auch bei der Entscheidung gegen eine Bildgebung zu einem der genannten Nachteile für das Kind kommen. Als eine Lösung dieses Dilemmas können alternative Möglichkeiten der Bildgebung in Erwägung gezogen werden.

1.1.5.4 Magnetresonanztomographie

Eine mögliche Alternative zur CT Bildgebung ist die MRT. Durch diese Untersuchung wird der Patient keiner ionisierenden Strahlung ausgesetzt (Cohen et al. 2015).

Ein weiterer Vorteil neben der Vermeidung von ionisierender Strahlung ist die höhere anatomische Auflösung von Strukturen des zentralen Nervensystems. Intraparenchymale Läsionen wie axonale Scherverletzungen (DAI) sowie Kontusionen und ischämische Veränderungen können mit höherer Sensitivität mit der MRT detektiert werden als mit der CT (Lee et al. 2008; Buttram et al. 2015).

Durch die hohe Lautstärke, engere Räumlichkeiten und die längere Untersuchungszeit bei der Bildgebung kann es bei jüngeren Kindern zu einer verminderten Compliance kommen was zu Bewegungsartefakten führt. Um diese zu vermeiden, wird häufig die Indikation zur Sedierung oder Narkose gestellt (Piven et al. 1995). Problematisch dabei ist das mögliche assoziierte Risiko einer Allgemeinnarkose für das Auftreten von zukünftigen Entwicklungsstörungen im Bereich des Lesens, des Schreibens und des Rechnens (Wilder et al. 2009). Das Risiko für Aufmerksamkeitsstörungen, eine verzögerte Entwicklung und Sprach- und Leseschwächen erhöhen sich, je häufiger ein Kind eine Allgemeinnarkose erhält (DiMaggio et al. 2011). Repetitive Allgemeinnarkosen erhöhen das Risiko für genannte Störungen stärker als der zeitliche Aspekt der einzelnen Narkose (Wang et al. 2014).

Aufgrund dieser Bedenken wurden bereits verschiedene Ansätze verfolgt, um die Aufnahmedauer der MRT Bildgebung durch optimierte schnellere Untersuchungsprotokolle deutlich zu verkürzen. Zu dem aktuellen Zeitpunkt sind diese Untersuchungsmethoden nicht standardisiert und es wird in den Leitlinien für die Diagnostik des SHT davon abgeraten. Sollte die CT bei neurologischen Symptomen keine wegweisenden Befunde liefern, wird eine MRT Bildgebung empfohlen (Jorch et al. 2011).

Als Beispiel aus einem anderen Bereich wird die sogenannte „fast brain MRI“ Technik beispielsweise bei Kindern, die mit einem Shuntsystem zur Behandlung eines Hydrozephalus versorgt wurden, regelhaft zur Detektion von Shunt Dysfunktionen eingesetzt. Dabei kann bei einer Aufnahmedauer von bis zu 40 Sekunden auf eine Allgemeinanästhesie verzichtet werden. Dieser Aufnahmemodus hat zwar eine schlechte Kontrastauflösung, eignet sich aber dennoch, um die inneren und äußeren Liquorräume so ausreichend darzustellen, dass daraus therapeutische Konsequenzen abzuleiten sind (Rozovsky et al. 2013). Young et al. entwickelten mit dem „rapid MRI“ eine Untersuchungsmethode, bei der mit einer Aufnahmedauer von 2 Minuten und einer Schnittbreite von 3 mm Gehirnläsionen wie Epiduralhämatome (EDH), Subduralhämatome (SDH) und Subarachnoidalblutungen (SAB) detektiert werden konnten. Die Detektionsrate war dabei genauso hoch wie bei einer Bildgebung mittels CT (Young et al. 2016). Zudem besteht die Möglichkeit, ein „Quick brain MRI“ durchzuführen. Bei dieser Aufnahmemethode wurde eine Schnittbreite von 5 mm durchgeführt. Die Aufnahmedauer lag unter 2,5 Minuten. Dadurch war nur bei 0,2% der Aufnahmen eine Sedierung notwendig. Bei nur 5,3% der Aufnahmen musste eine zusätzliche Bildgebung aufgrund von nicht eindeutigen Ergebnissen erfolgen. Aus gesundheitsökonomischer Sicht ist das „Quick brain MRI“ um 42% günstiger als eine Standard MRT (Missios et al. 2008). Die Sensitivität und Spezifität für die Erkennung von intrakraniellen Läsionen lag bei 85% und bei 100% (Sheridan et al. 2017).

Es gibt verschiedene Sequenzen bei der MRT Aufnahme. Welche der Sequenzen gewählt wird, hängt von denjenigen Pathologien ab, welche ausgeschlossen werden sollen. Der T2 Wert beschreibt die transversale Relaxation der synchronisiert kreisenden Atome (Oestmann 2005). Hypokute Blutungen, welche vor weniger als 6 Stunden entstanden sind, werden als Hyperintensität dargestellt (Forsting et al. 2014). Da Flüssigkeiten hyperintens dargestellt werden, kann so zwischen soliden und flüssigen Anteilen unterschieden werden.

Um Blutabbauprodukte nachzuweisen ist es möglich, eine Gradient-Echo-Sequenz zu benutzen, welche einen T2*w Kontrast liefert. Diese sind weniger anfällig für Liquorflussartefakte, allerdings deutlich anfälliger für Feldinhomogenitäten und Suszeptibilitätsartefakte. Durch die Anfälligkeit können mit der T2* Wichtung kleine Hämorrhagien durch lokale Magnetfeldstörungen nachgewiesen werden (Forsting et

al. 2014). Bei der FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) Technik wird das Signal des Liquors unterdrückt. So können parenchymale Läsionen nahe den Liquorräumen zuverlässig beurteilt werden. Zudem ist die Verwendung von Kontrastmittel nicht immer notwendig (Krome 2004). Bei der DWI (diffusion weighted imaging) wird die Brown'sche Molekularbewegung im Extrazellularraum gemessen. Kommt es bei einer Ischämie zu einem intrazellulären Ödem, verringert sich das Volumen des Extrazellularraums und die Diffusionsbewegung in diesem nimmt ab. Durch die verminderte Diffusionsfähigkeit wird ein höheres Signal erzeugt und somit können Hyperintensitäten als diffusionsgestörtes Gewebe identifiziert werden (Forsting et al. 2014). Mittels der suszeptibilitätsgewichteten Bildgebung (SWI) kann durch das BOLD (blood oxygen level dependend) fMRT (funktionelle Magnetresonanztomographie), oxygeniertes von nicht oxygeniertem Blut unterschieden werden. Dadurch können Hirnareale kontrastreich dargestellt werden und somit die neuronale Aktivität beurteilt werden (Giesel et al. 2005). Bei der STIR (short tau inversion recovery) wird mit einem 180° Puls die Nettomagnetisierung umgekehrt. Das Fettgewebe benötigt eine bestimmte Zeit TI (time for inversion, tau), um aus der Inversion den Nulldurchgang wieder zu erreichen. Sobald das geschehen ist, folgt der eigentliche Anregungspuls. Da bei den Fettprotonen keine longitudinale Magnetisierung zu diesem Zeitpunkt vorliegt, wird von diesen kein Signal in die transversale Achse gekippt und das Fettgewebe stellt sich dunkel dar (Fischbach et al. 2016). Damit lassen sich Flüssigkeiten wie Ödeme in Knochen und Weichteilen sicher darstellen (Nitz et al. 2011).

1.1.6 Traumafolgen

Die Verletzungsrate bei Kindern mit einem leichten SHT ist gering (Mastrangelo et al. 2017). Kommt es jedoch durch das vorangegangene Trauma zu Verletzungen, können diese intrakraniell und extrakraniell auftreten. Kommt es intrakraniell zur Verletzung von Blutgefäßen, resultieren daraus epidurale, subdurale, subarachnoidale, intraventrikuläre und intraparenchymale Blutungen (Ament et al. 2017). Diese treten am häufigsten in den ersten sechs Stunden nach dem Trauma auf (Hamilton et al. 2010). Durch Rotations- und Beschleunigungskräfte auf das Gehirn kann es zu axonalen Verletzungen kommen (Lee et al. 2008). An dem Schädelknochen selbst kann es zu dislozierten und nicht dislozierten Frakturen kommen (Ament et al. 2017). Durch die anatomischen Nähe der Halswirbelsäule

kann es zu extrakraniellen Begleitverletzungen wie Frakturen, Luxationen und Bandverletzungen der Halswirbelsäule kommen (Thesleff et al. 2017).

Durch die genannten Verletzungen kommt es zu einer Mortalität von 2% bis 8,2%. Sie steigt an, sobald die Indikation zu einer neurochirurgischen Intervention festgestellt wird (Lewis et al. 2017).

1.1.7 Stationäre Überwachung

Die AWMF Leitlinie empfiehlt eine stationäre Einweisung zur weiteren Diagnostik und Überwachung wenn Symptome wie Koma, Bewusstseinsbeeinträchtigung, neurologische Defizite, Krampfanfälle, Zeichen einer Schädelfraktur und der Verdacht auf eine Liquorfistel vorliegen (Jorch et al. 2011).

Sollte es zu Symptomen wie anhaltender Bewusstlosigkeit, GCS Verschlechterung, Pupillenstörungen, motorischen Defiziten oder Krampfanfällen kommen, sollte die Einweisung in ein Krankenhaus erfolgen, in dem intrakranielle Verletzungen operativ versorgt werden können und eine Kinderintensivstation vorhanden ist (Gabriel et al. 2002). Der zeitliche Aspekt der Überwachung richtet sich nach der Dauer der Symptomatik, den Befunden in der weiterführenden Diagnostik und dem Unfallhergang (Jorch et al. 2011).

1.2 Zielsetzung

Das leichte kindliche und jugendliche SHT stellt den Kliniker bezüglich der diagnostischen Abklärung unverändert vor einige Herausforderungen. Zum einen darf eine mögliche kraniale oder spinale Folgeverletzung nicht übersehen werden, zum anderen müssen aus strahlenhygienischer und medizinischer Sicht (Notwendigkeit einer Sedierung/Narkose) mögliche Risiken und der Nutzen einer Bildgebung überlegt abgewogen werden. Diesbezüglich gibt es bisher keine verbindlichen und evidenzbasierten Richtlinien, lediglich Empfehlungen, die den verantwortlichen Ärzten viel individuellen Spielraum und Unsicherheit lassen. Die MRT als ein hoch sensitives bildgebendes Verfahren wäre durch das Fehlen von ionisierender Strahlung eine vielversprechende Alternative zur herkömmlichen Röntgen und CT Diagnostik.

Die primären Ziele der vorgelegten Arbeit waren daher die Anwendbarkeit der MRT als primäre bildgebende Diagnostik des leichten Schädelhirntraumas im Kindes- und

Jugendalter in der Notfallsituation unter Berücksichtigung unterschiedlicher Altersgruppen (0 bis einschließlich 18. Lebensjahr) zu überprüfen.

Durch retrospektive Analysen sollten MRT Protokolle identifiziert werden, welche in potentiellen prospektiven Studien weiter evaluiert werden könnten, um in Zukunft optimiert in der klinischen Routinediagnostik Anwendung zu finden.

Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen sollte anhand der elektronisch geführten Datenbank der Universitätsklinik Schleswig-Holstein (UKSH) Kiel (Januar 2009 bis Juli 2017) entsprechende Fakten der Patientengruppe mit den Merkmalen „*0. bis 18. Lebensjahr, leichtes SHT, primäre Bildgebung MRT*“ retrospektiv erhoben und statistisch analysiert werden. Dabei lag der Schwerpunkt auf folgenden Punkten:

- Initialer Glasgow-Coma-Score und die primäre klinische Symptomatik in der Notaufnahme
- Initial durchgeführte MRT Protokolle (Wichtungen, Methoden, Zeiten)
- Notwendigkeit der Sedierung oder Narkose
- Erhobene Befunde in der MRT Bildgebung
- Klinischer Verlauf (stationäre Aufnahme, Dauer der weiteren Beobachtung, evtl. Therapie)

Mittels univariater und multivariater binärer logistischer Regressionsanalyse sollten abschließend Zusammenhänge zwischen klinischen und bildgebenden Befunden ermittelt werden. Zudem sollten daraus klinische Faktoren mit prädiktivem Wert ermittelt werden die zur Entwicklung von zukünftigen Entscheidungslogarithmen, ob eine Bildgebung bei einem leichten SHT sinnvoll ist oder nicht, genutzt werden könnten.

2 Methoden

2.1 Votum der Ethikkommission

Der Studienplan wurde am 03.03.2015 bei der Ethikkommission des UKSH Campus Kiel eingereicht und am 10.03.2015 unter dem Aktenzeichen D 431/15 genehmigt.

2.2 Patientenkollektiv und Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte in dem Zeitraum von Januar 2009 bis Juli 2017 im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein Campus Kiel (UKSH Kiel). Es besteht durchgehend die Möglichkeit eine MRT Diagnostik durchzuführen. Da dort diese Art der Untersuchung regelhaft zur initialen Bildgebung bei Kindern im Rahmen der SHT-Abklärung zum Einsatz kommt, stand eine entsprechend große Kohorte für statistische Auswertungen zur Verfügung. Die Daten wurden in dem klinischen Patientendatenmanagementsystem gespeichert und stehen so für retrospektive Analysen zur Verfügung.

Eingeschlossen in die Studie wurden Patienten, welche maximal 18 Jahre alt oder jünger waren und bei denen ein leichtes SHT diagnostiziert wurde. Zudem musste als initiale Bildgebung eine MRT durchgeführt worden sein. Ausgeschlossen wurden Kinder bei denen der Verdacht auf Kindesmisshandlung vorlag.

In die Datenbank wurden unterschiedliche Faktoren aufgenommen. Das Alter der Kinder gruppiert in Säugling, Kleinkind, Schulkind und Jugendliche. Der Unfallhergang wurde dokumentiert sowie die daraus entstandenen Verletzungen und Symptome.

2.3 Bildgebung und Aufnahmeprotokolle

Die Aufnahmen wurden mit einem 1,5 und einem 3 Tesla MRT durchgeführt (Achieva; Philips Healthcare, Best, Niederlande).

Es wurden drei verschiedene Aufnahmesequenzen genutzt. Die Einzelbildaufnahme, die Schnellaufnahme und eine hochauflösende Aufnahme als Routineprotokoll. Die Protokolle enthalten DWI, T2, T2 FLAIR oder SWI und bei einem Verdacht auf Mittelgesichtsverletzungen zusätzlich STIR Sequenzen. In den Fällen, bei denen Zufallsbefunde diagnostiziert wurden, folgten zusätzliche, dem Befund entsprechende Sequenzen. Alle MRT Aufnahmen wurden von einem Neuroradiologen beurteilt.

2.4 Statistische Verfahren

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem statistischen Analyseprogramm SPSS (Version 22; IBM Inc., Somers, NY, USA) und dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel (Version 2011; Microsoft Corporation, Redmond, USA).

Zur Beschreibung der charakteristischen Merkmale der Kohorte wurde eine deskriptive Analyse der erhobenen Daten durchgeführt und in Tabellen mit Absolut- und Prozentzahlen dargestellt. Ausgewählte Charakteristika wurden zudem in Grafiken abgebildet.

Mit einer logistischen Regressionsanalyse wurde die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Ereignisses in Abhängigkeit von den Werten einer oder mehrerer unabhängiger Variablen berechnet und durch Odds Ratios angegeben. In dieser Arbeit war die abhängige Variable das Vorhandensein von kranialen Verletzungsfolgen, welche nach einem leichten SHT durch eine MRT Untersuchung diagnostiziert wurden. Die unabhängigen Variablen waren die Symptome, der Unfallhergang und die Altersgruppe. Die univariate logistische Regression arbeitet mit einer einzigen unabhängigen Variablen. Die multivariate logistische Regression arbeitet mit mehreren unabhängigen Variablen, welche schrittweise gleichzeitig untersucht werden. Durch diese Berechnungen wurde die prognostische Relevanz der unabhängigen Variablen geprüft. Das Konfidenzintervall wurde mit einem Konfidenzniveau von 95% angegeben.

Bei allen statistischen Berechnungen wurden p-Werte unter 0,05 als statistisch signifikant beurteilt.

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung des Patientenkollektivs

3.1.1 Alter der Patienten

Insgesamt wurden 569 Kinder in die Studie eingeschlossen. Das Alter der Kinder betrug 9,45 +/- 4,43 Jahre (Modalwert 11, Median 10 Jahre).

Es wurden Altersgruppen gebildet, eingeteilt in Säuglinge, Kleinkinder, Schulkinder, Jugendliche. Die Gruppe der Säuglinge umfasste das Alter von unter 0-12 Monaten, Kleinkinder 1-5 Jahre, Schulkinder 6-11 Jahre und Jugendliche 12-18 Jahre. Wie in Tabelle 2 beschrieben war die am häufigsten betroffene Altersgruppe die der Jugendlichen direkt gefolgt von den Schulkindern. Am seltensten waren Säuglinge betroffen gefolgt von der Gruppe der Kleinkinder.

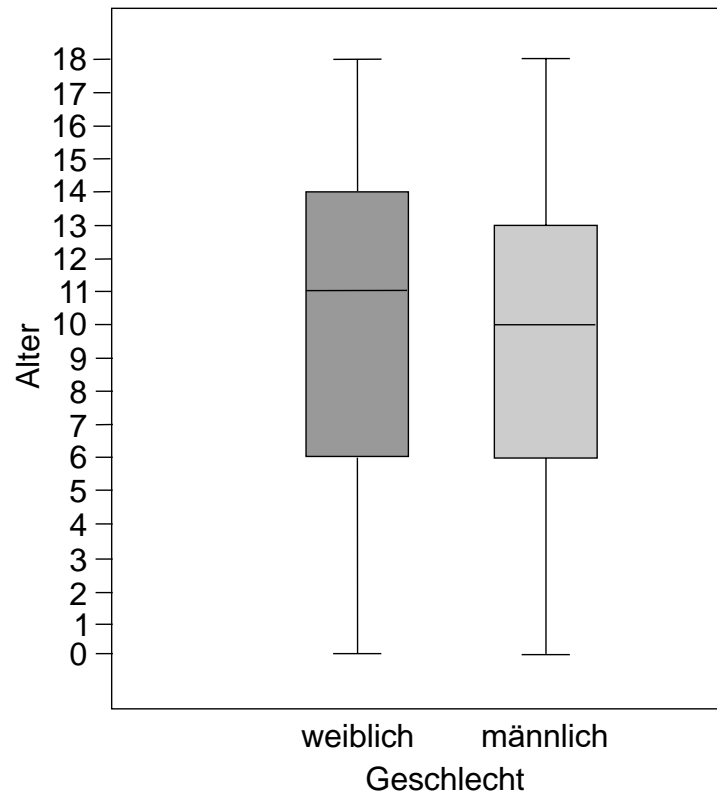
Tabelle 2: Altersgruppen

Altersgruppen	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Säuglinge	13	2,3%
Kleinkinder	122	21,4%
Schulkinder	216	38%
Jugendliche	218	38,3%
Gesamt	569	100%

3.1.2 Geschlechterverteilung

Von den 569 in die Studie eingeschlossenen Kindern waren 322 (56,59%) männlich und 247 (43,41%) weiblich. Wie im Boxplot in Abbildung 1 dargestellt, betrug der Mittelwert des Alters bei den männlichen Patienten 9,2 Jahre, bei den weiblichen Patienten lag er etwas höher mit 9,79 Jahre. Der Median unterschied sich um ein Jahr, bei den männlichen Patienten betrug er 10 Jahre, bei den weiblichen Patienten lag er erneut höher mit 11 Jahren. Der Modalwert unterschied sich stärker, bei den männlichen Patienten betrug er 11 Jahre, bei den weiblichen Patienten 13 Jahre.

Abbildung 1: Alter und Geschlecht



3.1.3 GCS Werte

Der häufigste initial diagnostizierte GCS Wert betrug 15 Punkte. Die Werte 14 und 13 waren mit 27 und 24 Fällen nahezu gleichhäufig vorhanden. In Tabelle 3 sind die GCS Werte in absoluter und relativer Häufigkeit aufgetragen. Eine Verschlechterung des GCS Wertes wurde bei 5 Patienten diagnostiziert.

Tabelle 3: GCS Werte

GCS Wert	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
15	518	91,0%
14	27	4,7%
13	24	4,2%

In Tabelle 4 sind die initialen GCS Werte nach der Altersgruppe aufgetragen. Bei der Gruppe der 1-5 Jahre alten Kinder war der Anteil der GSC Werte mit weniger als 15 Punkten am höchsten. 12 Kinder hatten einen Wert von 14 Punkten, 13 Kinder einen Wert von 13 Punkten. Bei den 6-11-Jährigen den 12-18-Jährigen hatten wenige Kinder einen GCS Wert unter 15.

Tabelle 4: GCS Wert nach Altersgruppen

GCS Wert	0-12 Monate n (%)	1-5 Jahre n (%)	6-11 Jahre n (%)	12-18 Jahre n (%)
15	11 (84,6)	97 (79,5)	201 (93)	209 (95,9)
14	0 (0)	12 (9,8)	9 (4,2)	6 (2,8)
13	2 (15,4)	13 (10,7)	6 (2,8)	3 (1,4)

3.1.4 Symptome

Die häufigen Symptome bei den untersuchten Patienten waren Kopfschmerzen, Skalphämatome, Bewusstseinsverlust, Erbrechen, Amnesie und die Wesensveränderung. Zu den selten vorkommenden Symptomen gehörten Sprachstörungen und motorische Defizite wie zum Beispiel Paresen und Ataxien. Auch sensible Defizite wie Hypästhesien, Krampfanfälle und Zeichen einer Schädelbasisfraktur wie Brillenhämatome, ein Hämatotympanon und Liquorrhoe aus Nase, Mund und Ohren waren selten. Diese Symptome traten nicht nur solitär auf, sondern auch in Kombination. Die diagnostizierten Symptome sind in Tabelle 5 in absoluter und relativer Häufigkeit dargestellt.

Tabelle 5: Symptome bei Patientenvorstellung in der Notaufnahme

Symptom	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Kopfschmerzen	208	36,6%
Skalphämatom	197	34,6%
Bewusstseinsverlust	160	28,1%
Erbrechen	137	24,01%
Amnesie	130	22,9%
Wesensveränderung	110	19,3%
Zeichen einer Schädelfraktur	35	6,2%
Sehbeeinträchtigung	31	5,5%
Zeichen einer Schädelbasisfraktur	18	2,2%
Sensorisches Defizit	12	2,1%
Krampfanfall	11	1,9%
Motorisches Defizit	8	1,4%
Sprachstörungen	4	0,7%

Aufgegliedert in die einzelnen Altersgruppen unterschieden sich die Symptome wie in Tabelle 6 dargestellt. Im Säuglingsalter waren die häufigsten Symptome das Skalphämatom und Anzeichen einer Schädelfraktur.

Bei Kleinkindern kamen am häufigsten das Skalphämatom und die Wesensveränderung, bei Schulkindern und Jugendlichen Kopfschmerzen, Amnesie, das Skalphämatom und die Wesensveränderung vor.

Tabelle 6: Symptome bei Patientenvorstellung aufgeteilt nach Altersgruppen

Symptom	0-12 Monate n (%)	1-5 Jahre n (%)	6-11 Jahre n (%)	12-18 Jahre n (%)
Kopfschmerzen	-/-	17 (13,9)	89 (41,2)	102 (46,8)
Skalphämatom	8 (61,5)	52 (42,6)	77 (35,7)	60 (27,5)
Bewußtseinsverlust	2 (15,4)	27 (22,1)	51 (23,6)	80 (36,7)
Erbrechen	4 (30,8)	32 (26,2)	48 (22,2)	53 (24,3)
Amnesie	-/-	4 (3,3)	51 (23,6)	75 (34,4)
Wesensveränderung	3 (23,1)	40 (32,8)	34 (15,7)	33 (15,1)
Zeichen einer Kalottenfraktur	6 (46,2)	9 (7,4)	9 (4,2)	11 (5,0)
Sehbeeinträchtigung	0 (0,0)	4 (3,3)	14 (6,5)	13 (6,0)
Zeichen einer Schädelbasisfraktur	1 (7,7)	6 (4,9)	6 (2,8)	5 (2,3)
Sensorisches Defizit	0 (0,0)	1 (0,8)	4 (1,8)	7 (3,2)
Krampfanfall	0 (0,0)	4 (3,3)	3 (1,4)	4 (1,8)
Motorisches Defizit	0 (0,0)	2 (1,6)	2 (0,9)	4 (1,8)
Sprachbeeinträchtigung	1 (7,7)	1 (0,8)	1 (0,5)	1 (0,5)

3.1.5 Nicht auswertbare Symptome

Bei Säuglingen und Kleinkindern (62 Fälle) konnten die Symptome Amnesie und Kopfschmerzen aufgrund der altersentsprechenden kognitiven Leistungen nicht sicher ausgewertet werden. In Tabelle 7 sind die nicht auswertbaren Symptome in absoluter und relativer Häufigkeit in den Altersgruppen der Säuglinge und Kleinkinder aufgezeigt.

Tabelle 7: Nicht auswertbare Symptome

Symptom	0-12 Monate n (%)	1-5 Jahre n (%)	0-18 Jahre n (%)
Amnesie/Kopfschmerzen	9 (14,5)	47 (75,8)	56 (90,3)
Kopfschmerz	1 (1,69)	2 (3,2)	3 (4,8)
Amnesie	0 (0,0)	3 (4,8)	3 (4,8)

3.1.6 Traumaursachen

Die häufigsten Ursachen für ein leichtes SHT bei der gesamten untersuchten Kohorte waren Stürze gefolgt von Sportunfällen (siehe Tabelle 8). Beispiele für Sportunfälle waren unter anderem Rodelunfälle, Trampolinunfälle und Stürze mit einem Skateboard.

In Tabelle 9 werden die Ursachen nach Altersgruppe in relativer und absoluter Häufigkeit beschrieben. Bei Schulkindern folgte auf den Sturz der Unfallhergang Kraftfahrzeug vs. Fußgänger und der Sportunfall. Bei der Gruppe der Jugendlichen folgte auf den Sturz der Sportunfall und der Fahrradunfall.

Tabelle 8: Ursachen für das leichte SHT

Ursache	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Sturz	261	45,9%
Sportunfall	79	13,9%
KFZ vs. Fußgänger	59	10,4%
Autounfall	43	7,6%
Fahrradunfall	39	6,9%
Reitunfall	36	6,3%
Andere	35	6,2%
Körperverletzung	17	3%

Tabelle 9: Ursachen nach Altersgruppen

Ursache	0-12 Monate n (%)	1-5 Jahre n (%)	6-11 Jahre n (%)	12-18 Jahre n (%)
Sturz	9 (69,2)	83 (68,0)	101 (46,8)	68 (31,2)
Sportunfall	1 (7,7)	4 (3,3)	28 (13,9)	46 (21,1)
KFZ vs. Fußgänger	1 (7,7)	9 (7,4)	31 (14,4)	18 (8,3)
Autounfall	0 (0,0)	8 (6,6)	14 (4,5)	21 (9,6)
Fahrradunfall	0 (0,0)	4 (3,3)	14 (6,5)	21 (9,6)
Reitunfall	0 (0,0)	7 (5,7)	8 (3,7)	21 (9,6)
Andere	2 (15,4)	6 (6,9)	15 (6,9)	12 (5,5)
Körperverletzung	0 (0,0)	1 (0,8)	6 (2,8)	10 (4,6)

3.1.7 Fahrradsturz behelmt/unbehelmt

In der Kohorte kam es zu 39 Fahrradstürzen. Wie in Tabelle 10 dargestellt, trugen von den 39 Kindern 13 einen Helm. Bei zweien fehlte die Angabe, ob ein Helm getragen wurde oder nicht.

Es wurden von den unbehelmt stürzenden Kindern bei sechs, von den behelmt stürzenden Kindern bei zwei Patienten ein pathologischer Traumabefund in der MRT Bildgebung diagnostiziert.

Tabelle 10: Sturz mit dem Fahrrad behelmt/unbehelmt

Sturz mit einem Fahrrad	Anzahl	Befund
Gesamt	39	8
Ohne Helm	24	6
Mit Helm	13	2
Fehlende Werte	2	0

3.1.8 Klinischer Überwachungszeitraum

Es wurden 92,8% der Kinder stationär in die Klinik zur Überwachung aufgenommen. Diese erfolgte über unterschiedliche lange Zeiträume. Die Mehrheit der Kinder (69,6%) wurde 24h überwacht (siehe Tabelle 11). Die Kinder mit Traumafolgen in der MRT wurden häufig für mehr als 48h überwacht. Bei Kindern ohne Traumafolgen in der Bildgebung erfolgte die Überwachung 28,56h (\pm 23,41h). Wurde Traumafolgen bei der Bildgebung diagnostiziert, verlängerter sich die Überwachung auf 86,49h (\pm 54,38h).

Tabelle 11: Überwachungszeiträume

Überwachungs-zeit	Gesamt n(%)	Mit Traumafolgen n(%)	Ohne Traumafolgen n(%)
24h	396 (69,60)	9 (1,58)	387 (68,01)
48h	59 (10,34)	16 (2,81)	43 (7,56)
> 48h	74 (13,01)	47 (8,26)	27 (4,75)
Keine Überwachung	40 (7,03)	0 (0,0)	40 (7,03)

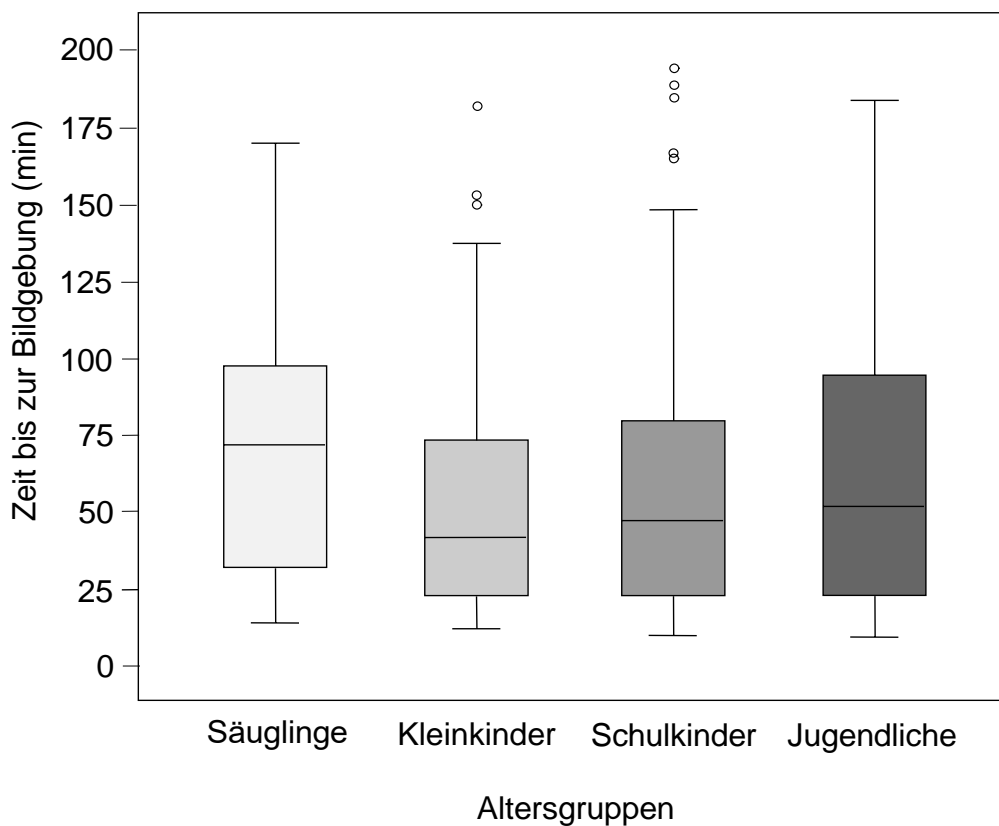
3.1.9 Bildgebung

3.1.9.1 Zeitintervall bis zur MRT Bildgebung

Die Zeit von der Triagierung bis zur Bildgebung betrug im Mittel 60 Minuten. Das kürzeste Zeitintervall betrug 10 Minuten, der längste Zeitraum 194 Minuten. Das 95%-Konfidenzintervall reichte von 46,34 bis 106,66 Minuten.

Bei den Kleinkindern dauerte es 52,7 Minuten, das 95%-Konfidenzintervall reichte von 46,22 bis 59,18 Minuten. Bei den Schulkindern 59,16 Minuten und das 95%-Konfidenzintervall reichte von 53,86 bis 64,45 Minuten. Bei der Gruppe der Jugendlichen 64 Minuten und das 95%-Konfidenzintervall 58,56 bis 69,43 Minuten. Zu Verzögerungen bei der Bildgebung kam es durch Belegung des MRT. Zudem war radiologisches Personal durch Untersuchungen bei anderen Patienten nicht immer zeitnah verfügbar.

Abbildung 2: Zeit bis zur Bildgebung nach Altersgruppen



3.1.9.2 MRT Protokolle

Bei der Bildgebung mittels MRT wurden drei verschiedene Protokolle verwendet. Ein Routine Protokoll, ein Schnellaufnahme Protokoll und Einzelbildaufnahmen. Das Routine Protokoll umfasste die Sequenzen T2 gewichtet, FLAIR, T2* gewichtet, SWI und DWI. Das Schnellaufnahme Protokoll T2 gewichtete, FLAIR, T2* gewichtete und DWI Sequenzen. Das dritte Protokoll, die Einzelbildaufnahme T2 gewichtet, FLAIR, T2* gewichtet und DWI.

In Tabelle 12 ist dargestellt, welche Protokolle die jeweilige Altersgruppe zur Bildgebung erhielten. Am häufigsten wurden das Schnellaufnahmeprotokoll und das Routineprotokoll durchgeführt.

Die Einzelbildaufnahme wurde nur bei 3% der Kinder genutzt. Bei 46 Kindern (8%) wurde zusätzlich eine STIR Sequenz zur Diagnosesicherung bei dem Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur angewendet. Als weitere zusätzliche Sequenzen wurde eine T1 gewichtete Aufnahme bei 43 Kindern, eine Time of flight (TOF)-Angiographie bei 6 Kindern, eine Phasen Kontrast Angiographie (PCA) bei 4 Kindern, hochauflösende T2 Aufnahmen bei 3 Kindern und eine MR-Angiographie bei einem Kind durchgeführt.

Tabelle 12: MRT Aufnahmeprotokolle

Altersgruppe		0-12 Monate	1-5 Jahre	6-12 Jahre	12-18 Jahre	0-18 Jahre
n		12	122	216	218	569
% des Patientenkollektivs		2,3	21,4	38	38,3	100
Routine Protokoll	T2 w	6	36	76	98	216
	FLAIR	5	39	90	125	260
	T2* w	5	29	57	76	167
	SWI	2	15	10	32	59
	DWI	6	33	71	101	211
Schnellaufnahme Protokoll	T2 w	5	80	139	122	346
	FLAIR	6	81	111	93	291
	T2* w	5	89	150	117	361
	DWI	5	78	138	114	335
Einzelaufnahme Protokoll	T2 w	1	11	4	2	18
	FLAIR	3	3	4	1	11
	T2* w	0	1	0	0	1
	DWI	1	0	4	1	6

3.1.9.3 Dauer der Aufnahmen

Die Aufnahmezeit betrug im Durchschnitt 07:54 Minuten. Die reine Routine Aufnahme ohne zusätzliche Sequenzen benötigte 14:54 Minuten, die Schnellaufnahme 04:32 Minuten und die Einzelbildaufnahme 02:09 Minuten. Die längste Aufnahmedauer betrug 34:39 Minuten mit zwei T2 Routine Sequenzen, jeweils einer FLAIR, T2* und DWI Routine Sequenz, drei T1 Routine Sequenzen und

einer T1 Sequenz mit multiplanarer Rekonstruktion bei einem sieben jährigen Mädchen, welches auf den Kopf gestürzt war.

Die kürzeste Aufnahmedauer betrug 00:30 Minuten mit nur einer T2 Sequenz in der Einzelbildaufnahme bei einem zwei jährigen Mädchen. Die Dauer der einzelnen Sequenzen ist in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Dauer der MRT Sequenzen

Routine	Dauer min	Schnell- aufnahme	Dauer min	Einzelbild- aufnahme	Dauer min
T2	03:48	T2	00:42	T2	00:30
FLAIR	03:20	FLAIR	01:30	FLAIR	00:44
T2*	03:15	T2*	00:57	T2*	00:30
DWI	01:23	DWI	01:23	DWI	00:25
SWI	03:08				

3.1.9.4 Zusätzliche computertomographische Aufnahmen

Zusätzlich zu den initialen MRT Aufnahmen wurden in 17 Fällen eine CT des Neurocraniums durchgeführt, da bei den MRT Aufnahmen eine Verletzung knöcherne Strukturen nicht sicher ausgeschlossen oder diagnostiziert werden konnte. Häufig kam dies bei nicht dislozierten Mittelgesichtsfrakturen vor.

In Tabelle 14 sind die einzelnen CT Befunde aufgetragen. Am häufigsten wurde die Mittelgesichtsfraktur diagnostiziert, gefolgt von der nichtdislozierten Kalottenfraktur. Zudem wurden zwei dislozierte Frakturen diagnostiziert sowie jeweils ein Zufallsbefund, eine Hirnkontusion, eine Augenverletzung und ein Epiduralhämatom.

Tabelle 14: CT Befunde

Befund	Absolute Häufigkeit
Zufallsbefund	1
dislozierte Kalottenfraktur	2
Nichtdislozierte Kalottenfraktur	4
Mittelgesichtsfraktur	7
Kontusion	1
Augenverletzung	1
Epiduralhämatom	1

3.1.9.5 Sedierung zur Bildgebung

Eine Sedierung der Kinder zur Bildgebung war bei zehn Patienten und eine Allgemeinanästhesie bei acht Patienten notwendig.

Bei der jüngsten Altersgruppe benötigte jeweils ein Kind eine Sedierung und ein Kind eine Allgemeinanästhesie. In der Gruppe der 1-5 Jahre alten Kinder war bei fünf eine Sedierung und bei vier eine Allgemeinanästhesie notwendig. In der Altersgruppe der 6-11-jährigen Kinder mussten vier sediert und bei dreien eine Allgemeinanästhesie durchgeführt werden. Als einzige Altersgruppe benötigten die 12-18-jährigen Patienten weder Sedierung noch eine Allgemeinanästhesie. In der Tabelle 15 sind relative und absolute Häufigkeit der benötigten Sedierung und Allgemeinanästhesie untergeteilt in die Altersgruppen zusammengefasst.

Tabelle 15: Sedierung

Altersgruppe	0-12 Monate	1-5 Jahre	6-11 Jahre	12-18 Jahre	0-18 Jahre
n	13	122	216	218	569
% des Patientenkollektivs	2,3	21,4	38	38,3	100
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Sedierung	1 (7.7%)	5 (4.1%)	4 (1.9%)	0 (0%)	10 (1.8%)
Allgemeinanästhesie	1 (7.7%)	4 (3.3%)	3 (1.4%)	0 (0%)	8 (1.4%)

3.1.9.6 MRT Befunde

Bei 99 der 569 Kinder (17,4%) wurde mittels MRT ein pathologischer Befund erhoben. Als häufigster Befund wurden bei 27 Patienten Zufallsbefunde diagnostiziert, welche in Tabelle 18 genauer beschrieben sind. Es folgten die Mittelgesichtsverletzung, sowie die axonalen Schäden (DAI). Tabelle 16 beschreibt die MRT Befunde mit absoluter und relativer Häufigkeit. Ausgewählte MRT Befunde mit unterschiedlichen Sequenzen sind in Anhang 1 dargestellt.

Tabelle 16: MRT Befunde nach leichtem SHT

MRT Befunde	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Gesamt	99	17,4%
Zufallsbefunde	27	4,7%
Mittelgesichtsverletzung	15	2,6%
DAI	10	1,8%
Kontusion	6	1,1%
Epiduralhämatom (EDH)	6	1,1%
Kalottenfraktur (nicht disloziert)	4	0,7%
Impressions Schädelfraktur	4	0,7%
Subduralhämatom (SDH)	3	0,5%
Kalottenfraktur + EDH	3	0,5%
Felsenbeinfraktur + EDH	3	0,5%
Traumatische Subarachnoidalblutung (tSAB)	2	0,4%
Kalottenfraktur + SDH	2	0,4%
Kontusion + DAI	2	0,4%
Schädelknochenprellung	2	0,4%
Flüssigkeitsansammlung Mastoid, V.a. Felsenbeinfraktur	2	0,4%
Intrazerebrale Blutung	1	0,2%
Kontusion + EDH	1	0,2%
Kontusion + tSAB	1	0,2%
Kalottenfraktur + tSAB	1	0,2%
Kalottenfraktur + tSAB + SDH	1	0,2%
Kalottenfraktur + EDH + SDH	1	0,2%
DAI + tSAB + SDH	1	0,2%
Orbitafraktur + SDH + EDH	1	0,2%

In Tabelle 17 sind die einzelnen Befunde nach Altersgruppe dargestellt. Bei den Kleinkindern wurden häufig DAI, Epiduralhämatome und Zufallsbefunde diagnostiziert. Bei den Schulkindern am häufigsten Zufallsbefunde, gefolgt von Mittelgesichtsverletzungen. Auch bei den Jugendlichen stand an erster Stelle der Zufallsbefund gefolgt von der Kontusion, der Mittelgesichtsverletzung und DAI.

Tabelle 17: MRT Befunde nach Altersgruppen

Diagnose	0-12 Monate	1-5 Jahre	6-11 Jahre	12-18 Jahre
Gesamte Befunde	6	26	39	28
Zufallsbefund	0	3	13	11
Mittelgesichtsverletzung	0	3	8	4
Diffuser axonaler Schaden (DAI)	0	4	2	4
Kontusion	0	1	0	5
Epiduralhämatom (EDH)	0	4	1	1
Kalottenfraktur (nicht disloziert)	1	1	2	0
Impressionsfraktur	1	1	2	0
Subduralhämatom (SDH)	1	0	1	1
Kalottenfraktur + EDH	1	0	2	0
Felsenbeinfraktur + EDH	0	0	3	0
Traumatische Subarachnoidalblutung (tSAB)	0	1	1	0
Kalottenfraktur + SDH	1	1	0	0
Kontusion + DAI	0	1	0	1
Schädelknochenprellung	0	2	0	0
Flüssigkeitsansammlung Mastoid, V.a. Felsenbeinfraktur	0	2	0	0
Intrazerebrale Blutung	0	1	0	0
Kontusion + EDH	0	0	1	0
Kontusion + tSAB	0	0	1	0
Kalottenfraktur + tSAB	0	0	0	1
Kalottenfraktur + SDH + SAB	0	0	1	0
Kalottenfraktur + SDH + EDH	1	0	0	0
DAI + SAB + SDH	0	0	1	0
Orbitafraktur + SDH + EDH	0	1	0	0

3.1.9.7 Zufallsbefunde

Als häufigster Zufallsbefund wurden intrakranielle Zysten (supratentorielle Arachnoidalzysten, Pinealzysten und infratentorielle Arachnoidalzysten) diagnostiziert. Darauf folgen Gefäßveränderungen, gliotische Läsionen und das pilozytische Astrozytom. Diese Befunde sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Bei keinem der Kinder bestand die Indikation zur Notfalloperation. Die beiden Kinder mit pilozytischem Astrozytom und dem Kind mit Kavernom wurden im weiteren Verlauf elektiv operiert.

Tabelle 18: MRT Zufallsbefunde

MRT Zufallsbefunde	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Supratentorielle Arachnoidalzyste	6	1,1%
Pinealiszyste	4	0,7%
Gliotische Läsion	3	0,5%
Pilozytisches Astrozytom	2	0,4%
Infratentorielle Arachnoidalzyste	2	0,4%
Singuläres supratentorielles Kavernom	2	0,4%
Hyperintensität in T2w Sequenzen	2	0,4%
Entwicklungsbedingte venöse Anomalie (DVA)	2	0,4%
Periventrikuläre Heterotopie	1	0,4%
Neuroepitheliale Zyste	1	0,2%
Kavernom	1	0,2%
Dermoid	1	0,2%

3.1.10 Operative Interventionen

Eine operative Versorgung war bei 33 Patienten (5,8%) notwendig. Davon waren bei fünf Patienten neurochirurgische Interventionen notwendig und bei 28 Patienten anderweitige Operationen (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Operative Interventionen

Intervention	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Neurochirurgie	5	0,9%
Extrakranielle Chirurgie	28	4,9%

3.2 Univariate binäre logistische Regressionsanalysen

Die univariate binäre logistische Regressionsanalyse analysiert den Zusammenhang von verschiedenen unabhängigen Variablen zu einer abhängigen Variablen. Die abhängige Variable war in dem hier vorgelegten Studiendesign das Vorkommen von mittels MRT diagnostizierten Verletzungen nach leichtem SHT.

Die unabhängigen Variablen waren die GCS Verschlechterung, das Skalphämatom, die klinischen Zeichen einer Schädelbasisfraktur, die klinischen Zeichen einer Kalottenfraktur, Reitunfälle, Sportunfälle, Kopfschmerzen und das Alter der Kinder aufgeteilt in die Altersgruppen. Der Einfluss auf die abhängige Variable wurde mit jeder unabhängigen Variablen einzeln untersucht.

In Tabelle 20 sind die unabhängigen Variablen mit den dazugehörigen Odds Ratios (OR), den Konfidenzintervallen und den p-Werten beschrieben.

3.2.1 Neurologische Symptome

Die Verschlechterung des initial erhobenen GCS Wertes korrelierte signifikant mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für positive Traumabefunde in der MRT. Die Odds Ratio betrug 10,415 mit einem Konfidenzintervall zwischen 1,711 und 63,415. Der p-Wert betrug 0,011. Die Verschlechterung des GCS Wertes hatte die höchste Odds Ratio aller untersuchten unabhängigen Variablen.

Kopfschmerzen korrelierten signifikant mit einer erniedrigten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde in der MRT. Die Odds Ratio betrug 0,435 und das Konfidenzintervall reichte von 0,243 bis 0,779. Der p-Wert lag bei 0,005.

3.2.2 Befunde der körperlichen Untersuchung

Die drei unabhängigen Variablen bei der körperlichen Untersuchung korrelierten alle signifikant mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, in der MRT klinisch relevante Traumabefunde zu diagnostizieren. Bei dem Hinweis auf eine Schädelbasisfraktur betrug die Odds Ratio 7,477, das Konfidenzintervall 2,864 bis 19,518 und der p-Wert war kleiner als 0,001. Bei dem Zeichen einer Kalottenfraktur wie z.B. eine tastbare Stufenbildung oder einer Impression betrug die Odds Ratio 3,972, das Konfidenzintervall reichte von 1,883 bis 8,379. Der p-Wert war kleiner als 0,001. Bei dem Vorhandensein eines Skalphämatoms betrug die Odds Ratio 1,845. Das Konfidenzintervall lag zwischen 1,126 und 3,022. Der p-Wert betrug 0,015.

3.2.3 Altersgruppen

Die Altersgruppe der Säuglinge korrelierte signifikant mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde. Die Odds Ratio betrug 8,515, das Konfidenzintervall reichte von 2,778 bis 26,095. Der p-Wert war kleiner als 0,001. Es wurde bei dieser Gruppe die höchste Odds Ratio berechnet.

Die Altersgruppe der Kleinkinder korrelierte ebenfalls signifikant mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde. Die Odds Ratio lag deutlich niedriger und betrug 1,804, das Konfidenzintervall lag zwischen 1,052 und 3,093. Der p-Wert betrug 0,032. Die Altersgruppe der Schulkinder korrelierte nicht signifikant mit einer erniedrigten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde.

Die Odds Ratio betrug 0,758, das Konfidenzintervall reichte von 0,451 bis 1,273. Der p-Wert betrug 0,294 und lag damit über dem gewählten Signifikanzniveau von 0,05.

Die Altersgruppe der Jugendlichen korrelierte als einzige Altersgruppe signifikant mit einer erniedrigten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde. Die Odds Ratio betrug 0,556, das Konfidenzintervall reichte von 0,323 bis 0,957. Der p-Wert betrug 0,034.

3.2.4 Unfallursachen

Die beiden Unfallursachen, welche als unabhängige Variable untersucht wurden, korrelierten beide signifikant mit Traumfolgen in der MRT. Der Reitunfall korrelierte mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Traumabefunde, die Sportverletzung mit einer erniedrigten Wahrscheinlichkeit. Beim Reitunfall betrug die Odds Ratio 3,427 mit einem Konfidenzintervall zwischen 1,602 und 7,331. Der p-Wert betrug 0,002. Bei der Sportverletzung war die Odds Ratio 0,223, das Konfidenzintervall reichte von 0,072 bis 0,759. Der p-Wert lag bei 0,016.

Tabelle 20: Univariate binäre logistische Regression

Unabhängige Variablen	OR	Konfidenzintervall		p-Wert
GCS Verschlechterung	10,415	1,711	63,415	0,011
Skalphämatom	1,845	1,126	3,022	0,015
Zeichen einer Schädelbasisfraktur	7,477	2,864	19,518	<0,001
Zeichen einer Kalottenfraktur	3,972	1,883	8,379	<0,001
Sportunfall	0,233	0,072	0,759	0,016
Kopfschmerzen	0,435	0,243	0,779	0,005
Reitunfall	3,427	1,602	7,331	0,002
0-12 Monate	8,515	2,778	26,095	<0,001
1-5 Jahre	1,804	1,052	3,093	0,032
6-11 Jahre	0,758	0,451	1,273	0,294
12-18 Jahre	0,556	0,323	0,957	0,034

3.3 Multivariate binäre logistische Regression

Bei der multivariaten binären logistischen Regression wurde die Wahrscheinlichkeit untersucht, welchen Einfluss verschiedene unabhängige Variablen auf die abhängige Variable gleichzeitig haben. Es wurde untersucht, ob eine Kombination von Faktoren möglicherweise mehr Varianz erklären würde.

Die unabhängigen Variablen waren hier die GCS Verschlechterung, das Zeichen einer Schädelbasisfraktur, der Reitunfall, das Skalphämatom und die Kopfschmerzen, also alle Variablen, welche einen signifikanten Effekt bei der univariaten Regression gezeigt haben. Die Variablen Altersgruppe und Kopfschmerzen wurden nicht bei der multivariaten logistischen Regression mitberechnet. Die abhängige Variable war wie auch bei der univariaten logistischen Regression der positive Traumabefund bei der MRT Untersuchung.

Bei der GCS Verschlechterung stieg die Odds Ratio von 10,415 auf 10,499 im Vergleich zur univariaten logistischen Regression leicht an. Beim Zeichen einer Schädelbasisfraktur änderte sich die Odds Ratio von 7,477 zu 7,863. Bei Reitunfällen reduzierte sich die Odds Ratio von 3,427 auf 3,244 ab. Wenn ein Skalphämatom vorlag stieg die Odds Ratio von 1,845 auf 1,889. Gab das Kind Kopfschmerzen an, so stieg auch hier die Odds Ratio und zwar von 0,435 auf 0,494. Somit zeigten all diese Variablen einen Einfluss auf die abhängige Variable. Die Odds Ratios, Konfidenzintervalle und p-Werte sind in Tabelle 21 dargestellt. Demnach erhöhte sich die Wahrscheinlichkeit diskret für Traumabefunde in der MRT, wenn die oben genannten unabhängigen Variablen gleichzeitig auftreten.

Tabelle 21: Multivariate logistische Regression

Unabhängige Variablen	OR	Konfidenzintervall		p-Wert
GCS Verschlechterung	10,499	1,325	83,19	0,026
Zeichen einer Schädelbasisfraktur	7,863	2,924	21,144	0,001
Reitunfall	3,244	1,434	7,337	0,005
Skalphämatom	1,889	1,118	3,188	0,017
Kopfschmerzen	0,494	0,269	0,910	0,024

4 Diskussion

Aktuell wird als bildgebendes Verfahren zur Diagnostik des leichten SHT, wenn als indiziert erachtet, das cCT empfohlen (Jorch et al. 2011; Kuppermann et al. 2009; Osmond et al. 2010; Dunning et al. 2006). Dieses ist bei der aktuellen Evidenzlage bzgl. der Indikation zur Bildgebung bei leichten SHT aufgrund der Strahlenbelastung im Kindesalter umstritten. Entsprechend sinnvoll erscheint es, alternative Verfahren zur Bildgebung in dieser Situation zu prüfen und zu etablieren.

In der vorgelegten Arbeit sollte daher untersucht werden, ob die kraniale MRT als geeignetes bildgebendes Verfahren zur initialen diagnostischen Abklärung des leichten kindlichen SHT eingesetzt werden könnte. Dieses Verfahren ist nicht strahlenbelastend. Es wird allerdings allgemein oft als zu aufwendig betrachtet (erforderliche Sedierung, längere Untersuchungszeiten, ggf. geringere Sensitivität gewisser Traumafolgen). Im Folgenden werden diese Aspekte vor dem Hintergrund der Befunde/Daten, die im Rahmen der vorgelegten Arbeit erhoben wurden, diskutiert.

4.1 Voraussetzungen für die geplanten Analysen:

4.1.1 Charakteristika der untersuchten Patientenkohorte

Es wurden 569 Patienten in die Untersuchungen eingeschlossen (0-18 Jahre), die weiter in vier Gruppen unterteilt wurden. So wurden Säuglinge (0-12 Monate), Kleinkinder (1-5 Jahre), Schulkinder (6-12 Jahre) und Jugendliche (13-18 Jahre) separat und vergleichend betrachtet. Die größte Altersgruppe war die der Kleinkinder gefolgt von Jugendlichen. Insgesamt waren mehr männliche als weibliche Patienten betroffen. Diese Verteilung entsprach den Ergebnissen anderer Studien zu diesem Themengebiet (Pal'a et al. 2015; Schneier et al. 2006).

Das Spektrum der SHT assoziierten Symptome variierte erwartungsgemäß mit dem Alter der Patienten. Bei den Altersgruppen der Schulkinder und Jugendlichen waren Kopfschmerzen das häufigste Symptom. Darauf folgten die Bewusstlosigkeit und die Wesensveränderung. Kuppermann et al. sowie Dayan et al. beschrieben ebenfalls Kopfschmerzen mit einer Inzidenz von 46% als häufigstes Symptom (Kuppermann et al. 2009; Dayan et al. 2015).

Bei den Kindern unter sechs Jahren wurde am häufigsten das Galeahämatom als Traumafolge diagnostiziert. Bei Kindern mit einem Alter von unter vier Jahren konnten Symptome wie Amnesie und Kopfschmerzen nicht sicher diagnostiziert werden. Kinder in dieser Altersgruppe können Schmerzen häufig nicht lokalisieren und eine Amnesie nicht benennen. In anderen Studien wurde das Symptom Kopfschmerzen nach einem SHT bei Kindern erst ab einem Alter von zwei Jahren untersucht (Dayan et al. 2015). Ein weiteres häufiges Symptom war das Erbrechen. In der untersuchten Kohorte waren 20% der Kinder davon betroffen. Es gab nur geringfügige Unterschiede der Verteilung in den Altersgruppen. In anderen Studien wurden ähnlich hohe Inzidenzen beschrieben (Hamilton et al. 2010; Lenstra et al. 2017; Dayan et al. 2014).

Seltene Symptome waren fokale neurologische Defizite wie Sprachstörungen, sensorische und motorische Defizite. Auch Krampfanfälle und GCS Verschlechterungen traten jeweils mit zwei und einem Prozent auf. Diese Symptome lassen auf eine schwere Verletzung schließen und sind bei einem leichten SHT selten (Ohbuchi et al. 2017; Hamilton et al. 2010). Sollten diese Symptome auftreten, empfehlen Kuppermann et al. in der Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN) Leitlinie eine Bildgebung mittels CT (Kuppermann et al. 2009).

Die Ursachen des leichten SHT unterschieden sich ebenfalls je nach Altersgruppe. Der häufigste ursächliche Mechanismus war wie auch in anderen Studien der Sturz mit 46% (Keenan et al. 2006; Pal'a et al. 2015; Fischer et al. 2007). Dieser war auch bei der Gruppe der Säuglinge mit 69% die häufigste Ursache. Kinder unter sechs Jahren sind motorisch noch nicht so weit entwickelt und können Gefahrensituationen nicht immer adäquat einschätzen. Dadurch fallen sie häufiger vom Sofa, Bett oder auch Stuhl (Pal'a et al. 2015). Je älter die Kinder waren, desto seltener stürzten sie. Diese Kinder nahmen vermehrt am Straßenverkehr teil, dadurch erhöhte sich die Anzahl der Fahrradunfälle, der Unfälle von KFZ gegen Fußgänger und der Autounfälle. Auch Sportunfälle sowie die Körperverletzungen stiegen mit zunehmendem Lebensalter an.

Bei den Charakteristika der untersuchten Kohorte gab es keine wesentlichen Unterschiede zu anderen internationalen Studien, welche sich mit dem leichten kindlichen SHT beschäftigten.

4.1.2 Bildgebung und Befunde in dem untersuchten Patientenkollektiv

Auch wenn bei einem leichten SHT die Verletzungsgefahr geringer ist als bei einem mittleren oder schweren SHT, kann es zu Verletzungen kommen, welche im Verlauf eine operative Intervention notwendig machen. Um auch diese Fälle adäquat zu diagnostizieren erhielten die Patienten, die in dieser Studie untersucht wurden, eine MRT-Bildgebung des Neurocraniums.

4.1.3 Indikation

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es in Deutschland keine aktuellen Leitlinien, wann eine Bildgebung nach leichtem SHT tatsächlich indiziert ist. Die AWMF Leitlinie zum kindlichen SHT von 2011 befindet sich in der Überarbeitung. In dieser wird beschrieben, wann eine Bildgebung mittels CT indiziert ist (Jorch et al. 2011). Dabei wird in zwei Kategorien unterteilt. Eine CT soll unter anderem bei dem Verdacht auf Impressionsfraktur, Schädelbasisfraktur und offene Verletzungen durchgeführt werden. Bei einem schwereren Unfallmechanismus, Erbrechen oder anhaltenden starken Kopfschmerzen kann die Durchführung einer CT erwogen werden. Eine Bildgebung mittels MRT in der Akutsituation wird aufgrund des hohen apparativen Aufwandes nicht empfohlen. Diese wird aktuell lediglich für Verlaufskontrollen empfohlen (Jorch et al. 2011). In dem untersuchten Patientenkollektiv wurde die Indikation für eine Bildgebung nach der AWMF Leitlinie gestellt.

Da die MRT Bildgebung eine etablierte Möglichkeit ist, um kraniale Pathologien bei Kindern zu erkennen und sie dabei nicht der ionisierenden Strahlung einer CT Untersuchung auszusetzen, gibt es die Bestrebung, die CT Bildgebung durch die MRT Bildgebung auch in der Akutsituation zu ersetzen. Mehrere Studien verfolgten diesen Ansatz mit dem Einsatz von unterschiedlichen MRT Protokollen (Young et al. 2016; Mehta et al. 2016; Sheridan et al. 2017; Kralik et al. 2017).

4.1.4 MRT Bildgebung

Die Dauer zwischen erstem ärztlichem Kontakt (diensthabender Neurochirurg) bis zur Durchführung der MRT dauerte durchschnittlich 60 Minuten. Je niedriger der GCS Wert war, desto schneller wurde die Bildgebung durchgeführt. In einer Arbeit aus Neuseeland wurde ebenfalls eine mittlere Dauer bis zur CT Bildgebung nach einem kindlichen SHT von über 65 Minuten angegeben (Jones et al. 2017).

Bei den in der vorgelegten Arbeit untersuchten Kindern wurden zur initialen Bildgebung, die im Rahmen der Akutversorgung in der Notaufnahme durchgeführt wurde, T2, DWI, FLAIR und T2* gewichtete Sequenzen durchgeführt und beurteilt. Bisher wurde kein standardisiertes MRT-Protokoll für die Akutdiagnostik des leichten kindlichen SHT erstellt. Die gewählten Aufnahmetechniken und Sequenzen in der Klinik für Radiologie des USKH Kiel waren im Wesentlichen abhängig von der Kooperationsbereitschaft der Kinder, der vorangegangenen Anamnese und neurologischen Untersuchung. Es wurden drei unterschiedliche Protokolle für die Bildgebung ausgearbeitet und genutzt:

1. das Routineprotokoll, welches zusätzlich zu T2, T2*, DWI und FLAIR noch eine SWI Sequenz enthielt.
2. das Schnellaufnahmeprotokoll, welches T2, T2*, DWI und FLAIR Sequenzen enthielt.
3. das Einzelbildaufnahmeprotokoll, welches T2, T2* und FLAIR Sequenzen enthielt.

In den drei Protokollen ist die STIR Sequenz nicht standardmäßig enthalten. Diese wurde nur bei begründetem Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur durchgeführt. Die drei Protokolle wurden innerhalb von 14:54 Minuten, 4:43 Minuten und 2:09 Minuten durchgeführt. Die durchschnittliche Aufnahmedauer betrug 7:54 Minuten. Am häufigsten wurde das Schnellaufnahmeprotokoll durchgeführt.

Ähnliche Protokolle wurden in anderen Studien zur Bildgebung beim leichten kindlichen SHT durchgeführt. Dabei handelte es sich um sogenannte „rapid MRI“ (2,5-3 Minuten) (Mehta et al. 2016), „quick brain MRI“ (1-3 Minuten) (Sheridan et al. 2017) und „ultra fast brain MRI“ (1,5-2 Minuten) (Young et al. 2016) Aufnahmen. Da ein Ziel in diesen Studien das Erreichen einer möglichst kurzen Aufnahmezeit war, unterschieden sich diese von der Kieler Kohorte. Diese wurde dadurch erreicht, dass entweder single shot Aufnahmen (Young et al. 2016; Mehta et al. 2016) oder nur T2 gewichtete Sequenzen (Sheridan et al. 2017) genutzt wurden. Die Ergebnisse dieser Studien erscheinen nicht direkt vergleichbar, da zum Teil initial eine CT Untersuchung erfolgte und die MRT erst eine Verlaufsuntersuchung darstellte.

4.1.5 Traumafolgen

In der untersuchten Kohorte der vorgelegten Arbeit wurden bei 17,4% der Kinder pathologische Befunde mittels MRT diagnostiziert. Die häufigste solitäre Diagnose war die Mittelgesichtsverletzung (n = 15) gefolgt von diffusen axonalen Scherverletzungen mit 10 diagnostizierten Fällen. Kontusionen und EDH wurden bei 6 Fällen diagnostiziert. Bei 4 Kindern wurden Kalotten- bzw. Impressionsfrakturen diagnostiziert. Selten waren Kombinationsverletzungen wie Kalottenfraktur mit gleichzeitiger traumatischer SAB und Kontusion mit gleichzeitigem EDH. Damit wurden die gängigen möglichen Traumafolgen eines leichten SHT (Schutzman et al. 2001) mittels MRT-Untersuchungen diagnostiziert.

Bei 4,7% der Kinder wurde ein Zufallsbefund (z.B. intrakranielle Zysten, Astrozytome und Kavernome) erkannt. Keines der Kinder musste aufgrund eines Zufallsbefundes in der Akutsituation einer chirurgischen Therapie unterzogen werden. Lediglich bei drei Kindern war der Befund klinisch relevant (Astrozytome und Kavernom) und wurden im weiteren Verlauf operativ therapiert. Wie auch in anderen Studien wurden inzidentell am häufigsten intrakranielle Zysten diagnostiziert (Gupta et al. 2016). Ortega et al. beschrieben eine Inzidenz von 26% für Zufallsbefunde, 7% für Traumabefunde. Eine klinische Relevanz ergab sich bei 6,6% der Patienten (Ortega et al. 2012). Diese Ergebnisse zeigten, dass Zufallsbefunde im Vergleich zu Traumabefunden beim leichten SHT häufig sind, allerdings sind viele der Befunde klinisch nicht relevant.

In drei Prozent der Fälle wurde eine zusätzliche CT-Bildgebung des Neurocraniums durchgeführt, da in der vorausgegangenen MRT eine knöcherne Verletzung nicht sicher auszuschließen oder zu beurteilen war. Bei 1,2% der Fälle wurde mittels CT eine Mittelgesichtsfraktur und bei 0,7% eine nichtdislozierte Kalottenfraktur diagnostiziert. Diese Ergebnisse deckten sich mit Arbeiten, welche eine niedrige Sensitivität des MRT bei Kalottenfrakturen und nichtdislozierten Kalottenfrakturen beschrieben (Young et al. 2016; Roguski et al. 2015; Mehta et al. 2016). Daraus lässt sich ableiten, dass es bei dem Verdacht auf eine Mittelgesichtsfraktur oder nichtdislozierte Kalottenfrakturen von Vorteil sein kann, eine CT Bildgebung in Erwägung zu ziehen. Für diese Art der Verletzung besteht als alternative Möglichkeit zur CT die Sonographie. Diese weist eine nahezu identische Sensitivität und Spezifität einer CT Untersuchung auf (Dehbozorgi et al. 2020).

Zudem kann diese Art der Diagnostik schnell, ohne Sedierung und ionisierende Strahlung durchgeführt werden.

Andere Arbeiten zeigten differierende Inzidenzzahlen pathologischer Befunde. Vor allem wurden dort mehr epidurale und subdurale Hämatome sowie intraparenchymale Blutungen diagnostiziert. Für diese Verletzungsfolgen bietet die MRT eine hohe Sensitivität und Spezifität (Young et al. 2016; Buttram et al. 2015; Lee et al. 2008).

Aus strahlenhygienischen Gründen wurde im untersuchten Kollektiv dieser Arbeit neben der MRT keine zusätzliche CT durchgeführt. Daher war ein direkter Vergleich der beiden diagnostischen Möglichkeiten nicht möglich. Aufgrund dessen könnten knöcherne Verletzungen übersehen worden sein, besonders wenn die Kinder keine spezifischen Symptome dafür zeigten. Im weiteren Verlauf kam es bei den in die Studie eingeschlossenen Kindern nicht zu Komplikationen wie verspäteten Traumafolgen, welche eine neurochirurgische Intervention notwendig machten. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass keine signifikanten oder klinisch relevanten Traumafolgen bei den untersuchten Kindern übersehen wurden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass nach einem leichten SHT Verletzungen auftreten, welche mittels der MRT Bildgebung mit einer ausreichenden Sensitivität diagnostiziert werden können. Um diese Aussage bestätigen zu können sind prospektive Studien notwendig, in denen unterschiedliche Protokolle angewandt und miteinander verglichen werden.

4.1.6 Operative Intervention

Bei 33 der Patienten wurde die Indikation zur operativen Versorgung gestellt. Fünf Kinder mussten aufgrund von Epiduralhämatomen mit Kalottenfrakturen und Impressionsfrakturen der Kalotte operiert werden. 28 Kinder mussten z.B. bei Frakturen der Extremitäten von anderen Fachdisziplinen operiert werden. Somit lag der Prozentwert der neurochirurgischen Interventionen bei 0,8%. In anderen Studien lag die Anzahl neurochirurgischer Interventionen bei einem leichten SHT zwischen 4% und 10% (Lewis et al. 2017; Andrade et al. 2016; Tallapragada et al. 2017). Diese Ergebnisse zeigten Unterschiede in der Inzidenz für behandlungsbedürftige neurochirurgische Pathologien. Ursächlich dafür könnte das Alter der Kinder in den Kohorten sowie unterschiedliche Indikationsstellung gewesen sein.

Behandlungswürdige pathologische Befunde kommen nach einem leichten SHT selten vor und dürfen dennoch nicht übersehen werden. Mit einer entsprechenden operativen Versorgung werden negative Folgen für die Kinder verhindert. Dadurch ist eine Bildgebung bei dem begründeten Verdacht auf intrakranielle Traumafolgen sinnvoll, sollte aber immer individuell evaluiert werden (z.B. mit Leitlinien), da eine MRT Untersuchung auch negative Folgen für Kinder haben.

4.1.7 Potentielle Folgen der MRT Bildgebung

Insbesondere bei Kindern stellt die Immobilisation bei länger dauernder Bildgebung ein Problem dar. Je länger eine Bildgebung dauert, desto geringer ist die Compliance der zu untersuchenden Kinder. Dadurch kann es zu Artefakten kommen welche die Auswertung der Aufnahmen erschweren. Eine Möglichkeit dies zu verhindern ist die Sedierung, diese ist jedoch mit verschiedenen Nachteilen verbunden. Es besteht die Schwierigkeit ein Kind valide neurologisch zu überwachen, da durch die Medikamente Symptome maskiert werden können. Auch kann es darunter zu Atemdepressionen, Kreislaufdysregulationen sowie zur Aspiration kommen (Malviya et al. 2000; Sanborn et al. 2005; Newman et al. 2003). Für wiederholte Narkosen wurde in der medizinischen Literatur ein erhöhtes Risiko für das Auftreten späterer kognitiver Defizite (u.a. Konzentrationsstörungen) beschrieben (Malviya et al. 2000; Wang et al. 2014). Die Food and Drug Administration der USA warnt vor dem Einsatz von Sedativa und Narkotika bei Kindern. Die Verwendung dieser Medikamente für einen längeren Zeitraum oder bei wiederholtem Einsatz könnte möglicherweise einen negativen Effekt auf die Hirnentwicklung bei Kindern mit einem Alter unter drei Jahren haben (<https://www.fda.gov/drugs/drugsafety/ucm554634.htm>, Abruf 27.04.2017)(FDA 2017). Trotz der erhöhten Schwierigkeit der MRT Bildgebung durch eine längeren Aufnahmedauer und der erhöhten Lautstärke im Vergleich zur CT Bildgebung mussten nur 1,8% der Kinder eine Sedierung und 1,4% eine Narkose für die Untersuchung erhalten. Dieser niedrige Prozentsatz wurde unter anderem durch die kurze durchschnittliche Aufnahmedauer von nur acht Minuten erreicht. Zudem war ein entscheidender Faktor dabei der Umgang mit den Kindern während der MRT Aufnahme. Durch die Unterstützung von Eltern, Angehörigen, Ärzten und technischen Assistenten tolerierten die meisten Kinder die Bildgebung ohne Sedierung. Das Alter der Kinder in der untersuchten Kohorte spielte dabei ebenfalls eine Rolle. Der Großteil der Kinder war älter als sechs Jahre (76,3%). Die

Altersgruppen der Schulkinder und Jugendlichen benötigten seltener eine Sedierung oder Allgemeinanästhesie, da sie eher in der Lage waren, die Notwendigkeit einer Bildgebung zu erkennen und sich dementsprechend zu verhalten.

In anderen Arbeiten wurde die Sedierungsnotwendigkeit bei der Durchführung einer CT mit der bei „quick brain MRI“ Bildgebung verglichen. Bei beiden Verfahren mussten jeweils 4% der Kinder sediert werden. (Yue et al. 2015). Hoyle et al. untersuchten die medikamentöse Sedierung bei Kinder nach einem leichten SHT während der CT Bildgebung. Dabei lag die Sedierungsrate mit 3% geringfügig niedriger als bei der MRT Bildgebung in der Kieler Kohorte (Hoyle et al. 2014). Diese Ergebnisse zeigen, dass der oft beschriebene Nachteil der Sedierung für die MRT Bildgebung ebenfalls bei der CT besteht. Daher sollten generell bei der Indikationsstellung für eine Bildgebung nach leichtem SHT Leitlinien angewandt werden, welche sich mit der Fragestellung beschäftigen, ob eine Bildgebung notwendig ist oder ob auf diese verzichtet werden kann.

Mit der vorgelegten Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz von kurzen und schnellen MRT Protokollen sowie der Einbindung von Eltern im Notfallsetting eine Sedierung selten notwendig ist. Somit scheint die MRT Bildgebung der CT Bildgebung in diesem Punkt ebenbürtig und eine Alternative ohne Strahlenbelastung zur Abklärung der Folgen eines leichten SHT bei Kindern zu sein.

4.2 Prädiktive Faktoren für Traumafolgen

Ein weiteres Ziel neben der Frage, ob sich die MRT als initiale Bildgebung beim leichten kindlichen SHT eignet, war es herauszufinden, wann eine Bildgebung notwendig ist oder ob damit eventuell unnötige Diagnostik durchgeführt wird. Es wurden aus den klinischen Symptomen und den vorangegangenen Traumamechanismen retrospektiv Indikatoren für strukturelle intra- und extrakranielle Verletzungen der Kinder identifiziert. Dafür wurden unterschiedliche Parameter mittels univariater und multivariater logistischer Regressionsanalyse betrachtet und mittels Odds Ratios dargestellt.

Bei der univariaten binären logistischen Regression korrelierten die Variablen GCS Verschlechterung, klinische Zeichen einer Schädelbasisfraktur, Vorhandensein eines Skalphämatoms, klinische Zeichen einer Kalottenfraktur, Reitunfälle, die Gruppe der Säuglinge und die der Kleinkinder positiv mit diagnostizierten Befunden in der MRT Untersuchung. Der stärkste Prädiktor war die GCS Verschlechterung. Dieses

Symptom kommt häufig bei schweren neurologischen Pathologien mit Anstieg des Hirndruckes vor, beispielsweise bei einem Hirnödem oder einer intrakraniellen Blutung. Kommt es nach einem SHT zu einem GCS Wert von unter 14, steigt die Wahrscheinlichkeit für eine intrakranielle Blutung (Lichenstein et al. 2012). Symptome wie Ausfluss von Liquor aus Nase oder Ohr deuten auf eine Liquorfistel hin und sind sehr spezifisch für eine Schädelbasisfraktur (Firsching et al. 2015). Dies zeigte sich auch in der untersuchten Kohorte mit einer Odds Ratio von 7,4.

Auch die Zeichen einer Kalottenfraktur wie eine Impression oder palpable Stufenbildung sind sehr spezifisch und es wurde eine erhöhte Odds Ratio berechnet. Mehrere Arbeiten haben sich mit der prognostischen Aussagekraft eines Skalphämatoms nach einem kindlichen SHT beschäftigt. Diese zeigten je nach Lokalisation und Größe des Hämatoms eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine kraniale Pathologie in der Bildgebung (Bin et al. 2010; Di et al. 2017; Ohbuchi et al. 2017). Unabhängig von der Lokalisation des Hämatoms zeigten auch die in der Kieler Kohorte erhobenen Daten eine erhöhte Odds Ratio.

Die Altersgruppe der Säuglinge schien mit einer Odds Ratio von 8,5 eine stark erhöhte Wahrscheinlichkeit für Traumafolgen zu haben. Das könnte die Schlussfolgerung nahelegen, dass die jüngste Altersgruppe stark von MRT Aufnahmen profitieren könnte. Allerdings muss hier eine mögliche statistische Verzerrung durch den Untersucher bedacht werden, da hier die Patienten anders selektiert worden sein könnten. Gründe dafür könnten die möglichen Folgen der Bildgebung (z.B. notwendige Allgemeinanästhesie, welche häufiger bei jüngeren Kindern durchgeführt werden muss) sein. Daher zeigten jüngere Kinder deutlich schwerwiegendere Symptome als ältere Kinder. Aufgrund dessen wurde diese Altersgruppe nicht mit in die Berechnung der multivariaten logistischen Regression mit einbezogen. Die Altersgruppe der Kleinkinder hatte mit einer Odds Ratio von 1,8 ein erhöhtes Risiko für pathologische Befunde.

Kopfschmerzen, Sportunfälle und die Gruppe der Jugendlichen und Schulkinder korrelierten negativ mit Befunden in der MRT. Da Kinder unter 4 Jahren nicht zuverlässig Auskunft über das Vorhandensein von Kopfschmerzen geben können und Sportunfälle nur in den Altersgruppen der Schulkinder und Jugendlichen auftraten, kam es so zu einer Stichprobenverzerrung.

Aufgrund dieser Schwäche der Studie ist es aktuell nicht möglich, die altersabhängigen Prädiktoren wie Kopfschmerzen und sportliche Aktivitäten als

Prädiktor für positive MRT Befunde zuverlässig zu bewerten. In der Children`s head injury algorithm for prediction of clinically important events (CHALICE) Leitlinie konnte für das Symptom Kopfschmerzen ebenfalls keine erhöhte Aussagekraft für intrakranielle Traumafolgen nachgewiesen werden (Dunning et al. 2006). Die Odds Ratio der Schulkinder betrug 0,8, zeigte aber keine ausreichende Signifikanz. Für die Gruppe der Jugendlichen wurde eine Odds Ratio von 0,56 berechnet.

Bei Berechnung der multivariaten logistischen Regression zeigt sich, dass eine Kombination aus der GCS Verschlechterung, dem Skalphämatom, der klinischen Zeichen einer Schädelbasisfraktur, Reitunfälle und Kopfschmerzen am aussagekräftigsten sind um positive MRT Befunde vorherzusagen. Bei Einbeziehung der Altersgruppenvariablen zeigt sich keine weitere Veränderung der Ergebnisse.

Die stärksten Prädiktoren für einen positiven MRT Befund nach einem leichten SHT in der untersuchten Kohorte waren demnach die GCS Verschlechterung, die Symptome einer Mittelgesichtsfraktur, die Symptome der Kalottenfraktur und als Traumaursache der Reitunfall. In der PECARN Leitlinie wurden als stärkste Prädiktoren für einen positiven CT Befund die Verschlechterung des Mentalstatus sowie die palpable Schädelfraktur herausgearbeitet (Kuppermann et al. 2009).

Da viele Kinder mit einem leichten SHT keinerlei Symptomatik zeigen (Fischer et al. 2007), haben sich Greenes et al. mit dem Thema auseinandergesetzt ob asymptomatische Kinder mit einem Alter von unter zwei Jahren nach einem SHT kraniale und intrakranielle Verletzungen davontragen. Bei 13% der Kinder wurde eine Schädelfraktur diagnostiziert und bei 3% intrakranielle Verletzungen (Greenes et al. 2001). Dies zeigt, dass nicht nur die Symptomatik wichtig ist, sondern ebenfalls die Anamnese bezüglich der Traumaursache.

In der Vergangenheit wurden große Studien angelegt, welche sich damit beschäftigten, Kindern eine unnötige Bildgebung nach einem SHT zu ersparen. Es wurden ebenfalls Prädiktoren für eine kraniale Traumafolge untersucht. Diese Studien waren PECARN aus den USA, CATCH aus Kanada und CHALICE aus dem vereinigten Königreich. Easter et al. verglichen die drei großen Studien in Hinblick auf das leichte SHT bei Kindern. PECARN zeigte eine Sensitivität von 100%, CATCH 91% und CHALICE 84% bei der Identifizierung der Traumafolgen.

Die höchste Spezifität zeigte CHALICE mit 85% gefolgt von PECARN mit 62% und CATCH mit 44% (Easter et al. 2014). In den drei Arbeiten wurde mit einer Bildgebung mittels CT gearbeitet und hatten das Ziel, eine unnötige Bildgebung zu

vermeiden um ionisierende Strahlung einzusparen. Überträgt man diese Erkenntnisse auf die Bildgebung mittels MRT, besteht somit eine Möglichkeit, die Sedierungsrate und die daraus möglicherweise entstehenden Komplikationen weiter zu reduzieren.

Diese Studien sind lediglich Empfehlungen, aber keine Leitlinien. Um ein verbindliches Ablaufschema für die Notwendigkeit einer MRT Bildgebung implementieren zu können, müssen die potentiell identifizierten Prädiktoren für verschiedene Altersgruppen in weiteren prospektiven Studien evaluiert werden. Daraus könnte eine Leitlinie entwickelt werden, welche den Klinikern mehr Sicherheit bei der Diagnostik beim leichten kindlichen SHT in der Akutsituation gibt. Damit wäre es leichter zu entscheiden, wann eine MRT Bildgebung mit standardisierten Protokollen notwendig ist und wann auf diese verzichtet werden kann, ohne dass relevante Traumafolgen übersehen werden. Dadurch könnten negative Folgen für Kinder aufgrund der Bildgebung oder dem Nichterkennen von Traumafolgen reduziert werden.

5 Zusammenfassung

Das leichte SHT ist eine häufige Unfallfolge bei Kindern. Folgeschwere Verletzungen sind bei diesem Krankheitsbild selten, dürfen dennoch nicht übersehen werden. Daher muss bei jedem Kind mit diesem Krankheitsbild evaluiert werden, ob eine Bildgebung zur Erkennung und Therapie von traumabedingten Folgen notwendig ist oder nicht. Die bestehenden Leitlinien geben als Goldstandard derzeit noch die CT Bildgebung an. Eine Möglichkeit auf ionisierende Strahlung zu verzichten ist die MRT.

In der vorgelegten Arbeit wurde die Fragestellung bearbeitet, ob sich die MRT als primäre bildgebende Diagnostik des leichten SHT im Kindesalter eignet. Dazu wurden retrospektiv verschiedene MRT Protokolle und die daraus resultierenden Diagnosen ausgewertet. Zudem wurden zur Vermeidung von unnötiger Bildgebung aussagekräftige Indikatoren für potentielle kraniale Traumafolgen erarbeitet. Zu diesem Zweck wurden im UKSH Kiel im Zeitraum von 2009 bis 2017 die Daten von 569 Kindern in einem Alter von 0-18 Jahren mit einem leichten SHT (GCS 15-13 Punkte), welche in der Akutsituation eine kraniale MRT erhielten, ausgewertet. Zur Charakterisierung des Patientenkollektives wurden die Daten Alter (aufgeteilt in vier Gruppen), Geschlecht, GCS, Symptome und die Unfallursachen erhoben und mittels deskriptiver Statistik ausgewertet.

Es wurden drei MRT Protokolle mit unterschiedlicher Aufnahmedauer (14:54, 04:32 und 02:09 Minuten), welche T2, T2*, FLAIR, SWI und DWI Sequenzen enthielten, erarbeitet. Es konnten bei 17% der Patienten pathologische Befunde diagnostiziert werden. Bei 1% der Kinder wurde die Indikation zur neurochirurgischen Versorgung gestellt. Da häufig kein Traumabefund diagnostiziert wurde, könnte dies den Schluss nahelegen, dass die MRT Bildgebung ein Überdiagnostizieren beim leichten kindlichen SHT ist. Ohne die Bildgebung würden wichtige Befunde übersehen werden und es könnten daraus negativen Folgen für die Kinder resultieren.

Häufig wird als Nachteil der MRT die Sedierung angegeben. Diese musste lediglich bei 3,2% der Kinder durchgeführt werden. In den Punkten Verfügbarkeit der Bildgebung und Sedierungsrate zeigte der Vergleich mit anderen internationalen Studien keinen Vorteil bezüglich einer CT Bildgebung. Die Sensitivität war ebenfalls ausreichend, lediglich bei nichtdislozierten Kalottenfrakturen war die CT überlegen. Diese können sicher mittels Sonografie diagnostiziert werden.

Daher könnte die MRT eine praktikable Möglichkeit der Bildgebung in der Akutsituation bei Kindern mit einem leichten SHT und auch als eine Alternative für eine CT Bildgebung sein.

Die niedrige neurochirurgische Operationsrate zeigte die Schwierigkeit bezüglich der Indikationsstellung für eine Bildgebung. Zur Vermeidung von unnötiger Bildgebung wurden zur Identifizierung von aussagekräftigen Indikatoren für kraniale Traumafolgen die univariate und multivariate binärer logistischer Regressionsanalyse und damit Zusammenhänge zwischen klinischen und bildgebenden Befunden ermittelt. Es wurde die GCS-Verschlechterung, das Skalphämatom, klinische Zeichen einer Schädelbasisfraktur und Reitunfälle herausgearbeitet. Diese könnten für die Entwicklung von Entscheidungslogarithmen, ob eine Bildgebung bei einem leichten SHT sinnvoll ist oder nicht, genutzt werden. Dadurch würde sich die Anzahl der durchgeführten MRT Untersuchungen beim leichten SHT bei Kindern reduzieren und somit Kindern die negativen Folgen der Bildgebung erspart bleiben.

6 Literaturverzeichnis

Ament, J. D., Greenan, K. N., Tertulien, P., Galante, J. M., Nishijima, D. K., Zwienenberg, M. (2017): Medical necessity of routine admission of children with mild traumatic brain injury to the intensive care unit. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 19, 668-674

Andrade, F. P., Montoro, R. N., Oliveira, R., Loures, G., Flessak, L., Gross, R., Donnabella, C., Puchnick, A., Suzuki, L., Regacini, R. (2016): Pediatric minor head trauma: do cranial CT scans change the therapeutic approach? *Clinics (Sao Paulo)*, 71, 606-610

Berdahl, C. T., Vermeulen, M. J., Larson, D. B., Schull, M. J. (2013): Emergency department computed tomography utilization in the United States and Canada. *Annals of emergency medicine*, 62, 486-494 e483

Bin, S. S., Schutzman, S. A., Greenes, D. S. (2010): Validation of a clinical score to predict skull fracture in head-injured infants. *Pediatric emergency care*, 26, 633-639

Boran, B. O., Boran, P., Barut, N., Akgun, C., Celikoglu, E., Bozbuga, M. (2006): Evaluation of mild head injury in a pediatric population. *Pediatric neurosurgery*, 42, 203-207

Brenner, D., Elliston, C., Hall, E., Berdon, W. (2001): Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR American Journal Roentgenology*, 176, 289-296

Brenner, D. J. (2002): Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative. *Pediatr Radiol*, 32, 228-221; discussion 242-224

Brenner, D. J., Hall, E. J. (2007): Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *New England Journal of Medicine*, 357, 2277-2284

Buttram, S. D., Garcia-Filion, P., Miller, J., Youssfi, M., Brown, S. D., Dalton, H. J., Adelson, P. D. (2015): Computed tomography vs magnetic resonance imaging for identifying acute lesions in pediatric traumatic brain injury. *Hospital pediatrics*, 5, 79-84

Cohen, A. R., Caruso, P., Duhaime, A. C., Klig, J. E. (2015): Feasibility of "rapid" magnetic resonance imaging in pediatric acute head injury. *American Journal of Emergency Medicine*, 33, 887-890

Davis, T., Ings, A. (2015): Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in children, young people and adults (NICE guideline CG 176). *Arch Dis Child Educ Pract Ed*, 100, 97-100

Dayan, P. S., Holmes, J. F., Atabaki, S., Hoyle, J., Jr., Tunik, M. G., Lichenstein, R., Alpern, E., Miskin, M., Kuppermann, N. (2014): Association of traumatic brain injuries with vomiting in children with blunt head trauma. *Annals of emergency medicine*, 63, 657-665

Dayan, P. S., Holmes, J. F., Hoyle, J., Jr., Atabaki, S., Tunik, M. G., Lichenstein, R., Miskin, M., Kuppermann, N. (2015): Headache in traumatic brain injuries from blunt head trauma. *Pediatrics*, 135, 504-512

Dehbozorgi, A., Mousavi-Roknabadi, R. S., Hosseini-Marvast, S. R., Sharifi, M., Sadegh, R., Farahmand, F., Damghani, F. (2020): Diagnosing skull fracture in children with closed head injury using point-of-care ultrasound vs. computed tomography scan. *European Journal of Pediatrics*, 1-8

Di, G., Liu, H., Hu, X., Chen, S., Wang, Z., Liu, H. (2017): Clinical predictors of intracranial injuries on CT in infants younger than 2 years old with mild traumatic brain injury. *Oncotarget*, 8, 92615-92620

DiMaggio, C., Sun, L. S., Li, G. (2011): Early childhood exposure to anesthesia and risk of developmental and behavioral disorders in a sibling birth cohort. *Anesth Analg*, 113, 1143-1151

Dunning, J., Daly, J. P., Lomas, J. P., Lecky, F., Batchelor, J., Mackway-Jones, K. (2006): Derivation of the children's head injury algorithm for the prediction of important clinical events decision rule for head injury in children. Arch Dis Child, 91, 885-891

Easter, J. S., Bakes, K., Dhaliwal, J., Miller, M., Caruso, E., Haukoos, J. S. (2014): Comparison of PECARN, CATCH, and CHALICE rules for children with minor head injury: a prospective cohort study. Annals of emergency medicine, 64, 145-152, 152 e141-145

Faul, M., Xu, L., Wald, M., Coronado, V. (2010): Traumatic brain injury in the United States: emergency department visits, hospitalizations, and deaths. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. National Center for Injury Prevention and Control

FDA (2017: 27.04.2017). "FDA Drug Safety Communication: FDA approves label changes for use of general anesthetic and sedation drugs in young children." Retrieved 27.04.2017, 2017.

Firsching, R., Rickels, E., Mauer, U., Sakowitz, O., Messing-Jünger, M., Engelhard, K., Schwenkreis, P., Linn, J., Biberthaler, P., Schwerdtfeger, K. (2015): Leitlinie Schädel-Hirn-Trauma im Erwachsenenalter. Update, 7

Fischbach, F., Fischbach, K. (2016): Grundlagen der MR-Bildgebung. In: F. Fischbach, K. Fischbach, MRT der Leber, Georg Thieme Verlag

Fischer, B., Wit, J. (2007): Das Schädel-Hirn-Trauma des Kindes in der Notfallambulanz. Der Unfallchirurg, 110, 226-232

Forsting, M., Jansen, O., Müller, A., von Kummer, R. (2014): MRT des Zentralnervensystems. In: M. Forsting, O. Jansen, MRT des Zentralnervensystems, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Gabriel, E. J., Ghajar, J., Jagoda, A., Pons, P. T., Scalea, T., Walters, B. C. (2002): Guidelines for prehospital management of traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 19, 111-174

Giesel, F. L., Hohmann, N., Seidl, U., Kress, K. R., Schonknecht, P., Kauczor, H. U., Schroder, J., Essig, M. (2005): Working memory in healthy subjects and schizophrenics: studies using BOLD fMRT. *Radiologe*, 45, 144-152

Greenes, D. S., Schutzman, S. A. (2001): Clinical significance of scalp abnormalities in asymptomatic head-injured infants. *Pediatric emergency care*, 17, 88-92

Gupta, S. N., Gupta, V. S., White, A. C. (2016): Spectrum of intracranial incidental findings on pediatric brain magnetic resonance imaging: What clinician should know? *World journal of clinical pediatrics*, 5, 262-272

Hamilton, M., Mrazik, M., Johnson, D. W. (2010): Incidence of delayed intracranial hemorrhage in children after uncomplicated minor head injuries. *Pediatrics*, 126, e33-39

Hoyle, J. D., Jr., Callahan, J. M., Badawy, M., Powell, E., Jacobs, E., Gerardi, M., Melville, K., Miskin, M., Atabaki, S. M., Dayan, P., Holmes, J. F., Kuppermann, N. (2014): Pharmacological sedation for cranial computed tomography in children after minor blunt head trauma. *Pediatric emergency care*, 30, 1-7

Jones, P. G., Kool, B., Dalziel, S., Shepherd, M., Le Fevre, J., Harper, A., Wells, S., Stewart, J., Curtis, E., Reid, P., Ameratunga, S. (2017): Time to cranial computerised tomography for acute traumatic brain injury in paediatric patients: Effect of the shorter stays in emergency departments target in New Zealand. *J Paediatr Child Health*, 53, 685-690

Jorch, G., Fitze, G., Kieslich, M., Firsching, R., Skalej, M., Alzen, G., Schreiber, M., Marzi, I., Markewitz, M. (2011): Das Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter. AWMF Online. AWMF Online. 024/018.

Keenan, H. T., Bratton, S. L. (2006): Epidemiology and outcomes of pediatric traumatic brain injury. *Developmental Neuroscience*, 28, 256-263

Kim, M., Chang, K., Hwang, J., Nam, Y., Han, D., Yoon, J. (2016): Radiation dose for pediatric and young adult CT: a survey to establish age-based reference levels of 2015-2016 in Korea *Radiat Prot Dosimetry*

Kralik, S. F., Yasrebi, M., Supakul, N., Lin, C., Netter, L. G., Hicks, R. A., Hibbard, R. A., Ackerman, L. L., Harris, M. L., Ho, C. Y. (2017): Diagnostic Performance of Ultrafast Brain MRI for Evaluation of Abusive Head Trauma. *AJNR American Journal Neuroradiologie*, 38, 807-813

Krome, S. (2004): Guter Einblick - FLAIR-Sequenzen bei zerebraler MRT. *roefo*, 176, 1362-1363

Kuppermann, N., Holmes, J. F., Dayan, P. S., et al. (2009): Identification of children at very low risk of clinically-important brain injuries after head trauma: a prospective cohort study. *Lancet (London, England)*, 374, 1160-1170

Lee, H., Wintermark, M., Gean, A. D., Ghajar, J., Manley, G. T., Mukherjee, P. (2008): Focal lesions in acute mild traumatic brain injury and neurocognitive outcome: CT versus 3T MRI. *Journal of Neurotrauma*, 25, 1049-1056

Lehner, M., Krohn, C. (2013): Leichtes Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 161, 49-56

Lenstra, J. J., Pikstra, A. R. A., Fock, J. M., Metting, Z., van der Naalt, J. (2017): Influence of guidelines on management of paediatric mild traumatic brain injury: CT-assessment and admission policy. *Eur J Paediatr Neurol*, 21, 816-822

Levin, H. S., Diaz-Arrastia, R. R. (2015): Diagnosis, prognosis, and clinical management of mild traumatic brain injury. *Lancet Neurol*, 14, 506-517

Lewis, P. R., Dunne, C. E., Wallace, J. D., Brill, J. B., Calvo, R. Y., Badiee, J., Sise, M. J., Bansal, V., Sise, C. B., Shackford, S. R. (2017): Routine neurosurgical consultation is not necessary in mild blunt traumatic brain injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*

Lichenstein, R., Glass, T. F., Quayle, K. S., Wootton-Gorges, S. L., Wisner, D. H., Miskin, M., Muizelaar, J. P., Badawy, M., Atabaki, S., Holmes, J. F., Kuppermann, N. (2012): Presentations and outcomes of children with intraventricular hemorrhages after blunt head trauma. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 166, 725-731

Malviya, S., Voepel-Lewis, T., Eldevik, O. P., Rockwell, D. T., Wong, J. H., Tait, A. R. (2000): Sedation and general anaesthesia in children undergoing MRI and CT: adverse events and outcomes. *British journal of anaesthesia*, 84, 743-748

Mastrangelo, M., Midulla, F. (2017): Minor Head Trauma in the Pediatric Emergency Department: Decision Making Nodes. *Curr Pediatr Rev*, 13, 92-99

Mehta, H., Acharya, J., Mohan, A. L., Tobias, M. E., LeCompte, L., Jeevan, D. (2016): Minimizing Radiation Exposure in Evaluation of Pediatric Head Trauma: Use of Rapid MR Imaging. *AJNR American Journal of Neuroradiology*, 37, 11-18

Miglioretti, D. L., Johnson, E., Williams, A., Greenlee, R. T., Weinmann, S., Solberg, L. I., Feigelson, H. S., Roblin, D., Flynn, M. J., Vanneman, N., Smith-Bindman, R. (2013): The use of computed tomography in pediatrics and the associated radiation exposure and estimated cancer risk. *JAMA pediatrics*, 167, 700-707

Missios, S., Quebada, P. B., Forero, J. A., Durham, S. R., Pekala, J. S., Eskey, C. J., Duhaime, A. C. (2008): Quick-brain magnetic resonance imaging for nonhydrocephalus indications. *Journal of Neurosurgery Pediatrics*, 2, 438-444

Mollayeva, T., Cassidy, J. D., Shapiro, C. M., Mollayeva, S., Colantonio, A. (2017): Concussion/mild traumatic brain injury-related chronic pain in males and females: A diagnostic modelling study. *Medicine (Baltimore)*, 96, e5917

Newman, D. H., Azer, M. M., Pitetti, R. D., Singh, S. (2003): When is a patient safe for discharge after procedural sedation? The timing of adverse effect events in 1367 pediatric procedural sedations. *Annals of emergency medicine*, 42, 627-635

Nitz, W. R., Runge, V. M., Schmeets, S. H., Attenberger, U., Birkemeier, K. L., Chien, D., Fries, P., Giesel, F., Schürholz, H., Stieltjes, B. (2011): Fettunterdrückung: STIR – Short Tau Inversion Recovery. In: S. H. Schmeets, V. M. Runge, W. R. Nitz, *Praxiskurs MRT*

Oestmann, J. W. (2005): Radiologie vom Fall zur Diagnose. In: J. W. Oestmann, *Radiologie*, Georg Thieme Verlag

Ohbuchi, H., Hagiwara, S., Hirota, K., Koseki, H., Kuroi, Y., Arai, N., Kasuya, H. (2017): Clinical Predictors of Intracranial Injuries in Infants with Minor Head Trauma. *World Neurosurgery*, 98, 479-483

Ortega, H. W., Vander Velden, H., Reid, S. (2012): Incidental findings on computed tomography scans in children with mild head trauma. *Clinical Pediatrics*, 51, 872-876

Osmond, M. H., Klassen, T. P., Wells, G. A., Correll, R., Jarvis, A., Joubert, G., Bailey, B., Chauvin-Kimoff, L., Pusic, M., McConnell, D., Nijssen-Jordan, C., Silver, N., Taylor, B., Stiell, I. G. (2010): CATCH: a clinical decision rule for the use of computed tomography in children with minor head injury. *CMAJ*, 182, 341-348

Pal'a, A., Kapapa, M., Posovszky, C., Roderer, G., Konig, R., Woischneck, D., Wirtz, C. R., Kapapa, T. (2015): Head Injury in Children: Has a Change in Circumstances Caused an Increase in Treatment Numbers? *Journal of child neurology*, 30, 1153-1158

Pearce, M. S., Salotti, J. A., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., Howe, N. L., Ronckers, C. M., Rajaraman, P., Sir Craft, A. W., Parker, L., Berrington de Gonzalez, A. (2012): Radiation exposure from CT scans in childhood and

subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* (London, England), 380, 499-505

Piven, J., Arndt, S., Bailey, J., Haverkamp, S., Andreasen, N. C., Palmer, P. (1995): An MRI study of brain size in autism. *American Journal of Psychiatry*, 152, 1145-1149

Rickels, E., von Wild, K., Wenzlaff, P. (2010): Head injury in Germany: A population-based prospective study on epidemiology, causes, treatment and outcome of all degrees of head-injury severity in two distinct areas. *Brain Injury*, 24, 1491-1504

Roguski, M., Morel, B., Sweeney, M., Talan, J., Rideout, L., Riesenburger, R. I., Madan, N., Hwang, S. (2015): Magnetic resonance imaging as an alternative to computed tomography in select patients with traumatic brain injury: a retrospective comparison. *Journal of Neurosurgery Pediatrics*, 15, 529-534

Rozovsky, K., Ventureyra, E. C., Miller, E. (2013): Fast-brain MRI in children is quick, without sedation, and radiation-free, but beware of limitations. *Journal of Clinical Neuroscience*, 20, 400-405

Sanborn, P. A., Michna, E., Zurakowski, D., Burrows, P. E., Fontaine, P. J., Connor, L., Mason, K. P. (2005): Adverse cardiovascular and respiratory events during sedation of pediatric patients for imaging examinations. *Radiology*, 237, 288-294

Schnadower, D., Vazquez, H., Lee, J., Dayan, P., Roskind, C. G. (2007): Controversies in the evaluation and management of minor blunt head trauma in children. *Current opinion in pediatrics*, 19, 258-264

Schneier, A. J., Shields, B. J., Hostetler, S. G., Xiang, H., Smith, G. A. (2006): Incidence of pediatric traumatic brain injury and associated hospital resource utilization in the United States. *Pediatrics*, 118, 483-492

Schutzman, S. A., Greenes, D. S. (2001): Pediatric minor head trauma. *Annals of emergency medicine*, 37, 65-74

Sheridan, D. C., Newgard, C. D., Selden, N. R., Jafri, M. A., Hansen, M. L. (2017): QuickBrain MRI for the detection of acute pediatric traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgery Pediatrics*, 19, 259-264

Tallapragada, K., Peddada, R. S., Dexter, M. (2017): Paediatric mild head injury: is routine admission to a tertiary trauma hospital necessary? *ANZ J Surg*

Teasdale, G., Jennett, B. (1976): Assessment and prognosis of coma after head injury. *Acta Neurochirurgie (Wien)*, 34, 45-55

Teasdale, G., Maas, A., Lecky, F., Manley, G., Stocchetti, N., Murray, G. (2014): The Glasgow Coma Scale at 40 years: standing the test of time. *Lancet Neurology*, 13, 844-854

Thesleff, T., Kataja, A., Ohman, J., Luoto, T. M. (2017): Head injuries and the risk of concurrent cervical spine fractures. *Acta Neurochir (Wien)*

Wang, X., Xu, Z., Miao, C. H. (2014): Current clinical evidence on the effect of general anesthesia on neurodevelopment in children: an updated systematic review with meta-regression. *PloS one*, 9, e85760

Wilder, R. T., Flick, R. P., Sprung, J., Katusic, S. K., Barbaresi, W. J., Mickelson, C., Gleich, S. J., Schroeder, D. R., Weaver, A. L., Warner, D. O. (2009): Early exposure to anesthesia and learning disabilities in a population-based birth cohort. *Anesthesiology*, 110, 796-804

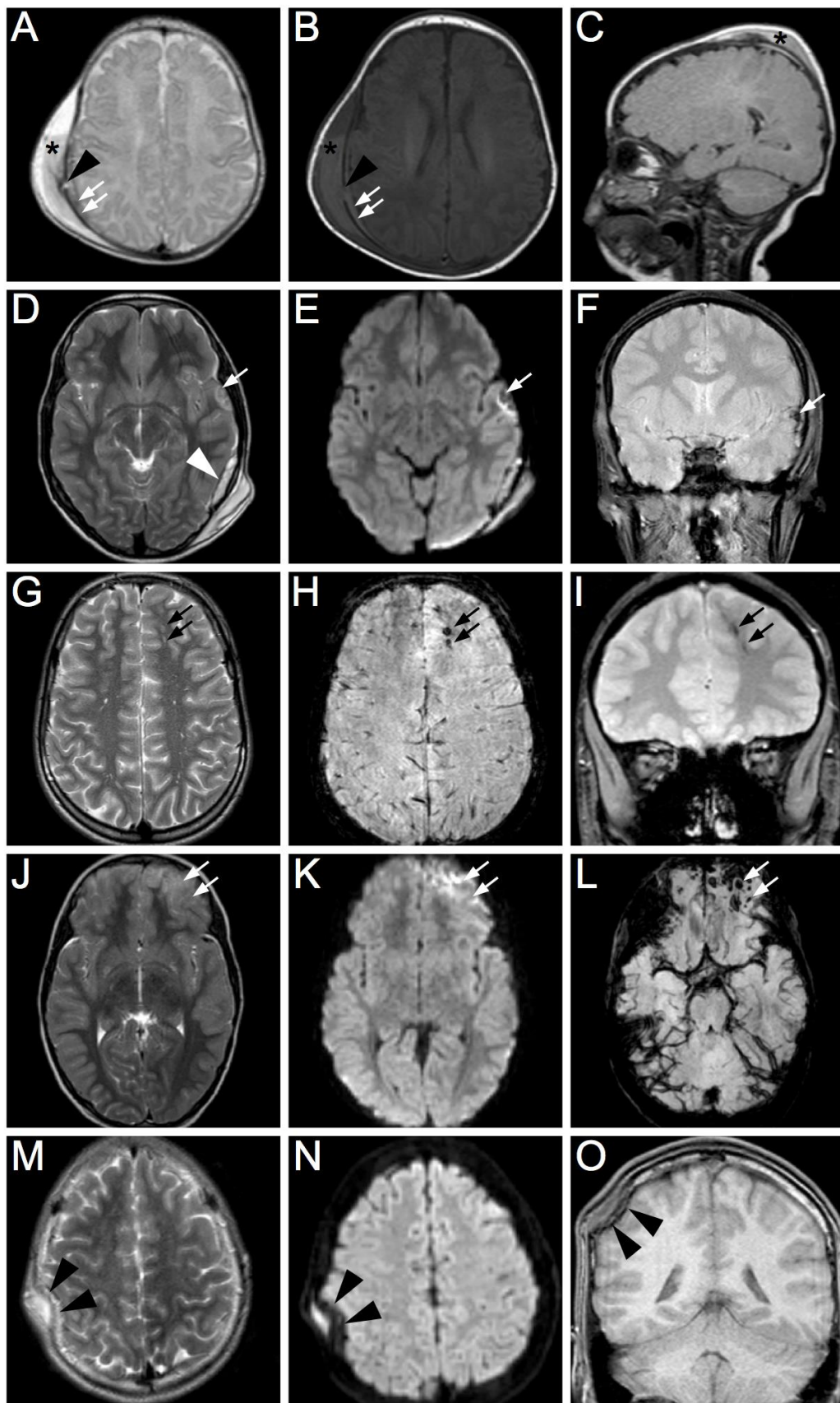
Young, J. Y., Duhaime, A. C., Caruso, P. A., Rincon, S. P. (2016): Comparison of non-sedated brain MRI and CT for the detection of acute traumatic injury in children 6 years of age or less. *Emergency radiology*, 23, 325-331

Yue, E. L., Meckler, G. D., Fleischman, R. J., Selden, N. R., Bardo, D. M., Chu O'Connor, A. K., Vu, E. T., Fu, R., Spiro, D. M. (2015): Test characteristics of quick

brain MRI for shunt evaluation in children: an alternative modality to avoid radiation.
Journal of Neurosurgery Pediatrics, 15, 420-426

7 Anhang

Anhang 1: Beispiele MRT Aufnahmen



A bis C zeigt die MRT Aufnahmen von einem 6 Wochen alten Säugling, welcher von dem Schoß der Mutter fiel. A: axiale T2 Wichtung, B: T1 Wichtung, C: sagittale FLAIR Aufnahme. Die Sequenzen zeigen eine parietotemporale Schädelfraktur (Pfeilspitze in A und B) mit einem 5mm messendem parietalem Subduralhämatom (Pfeil in A und B) und einem großen subgaleal gelegenen Hämatom (Stern in A, B und C).

D bis F, Aufnahmen eines 11-jährigen Mädchens, welches von einer Schaukel stürzte. D: Diffusionsgewichtete Aufnahme mit einer Diffusionsverzögerung im Gyrus temporalis superior (Pfeil in D) und einem Epiduralhämatom (Pfeilspitze in D).

E: die korrespondierenden Veränderungen in der T2 Wichtung (Pfeil in E). F: die Korrelate in der koronaren SWI Sequenz (Pfeil in F).

G bis I, 15-jähriges Mädchen nach einem Pferdesturz. A: axiale T2 gewichtete Sequenz, H: axiale suszeptibilitätsgewichtete Sequenz, I: koronare SWI Sequenz. Es zeigen sich Signaländerungen im Bereich des Frontallappens (Pfeile in G, H und I).

J bis L, Aufnahmen eines 6-jährigen Mädchen nach Pferdesturz. J: axiale T2 Wichtung, K: Diffusionsgewichtete Aufnahme, L: suszeptibilitätsgewichtete Aufnahme. Es zeigen sich Signalveränderungen, welche auf eine Kontusion im Frontallappen hindeuten (Pfeile in J, K und L).

M bis O, Aufnahme eines 15-jährigen Jungen, welcher von einem Stein am Kopf getroffen wurde. M: axiale T2 Wichtung, N: Diffusionsgewichtete Aufnahme, O: SWI Sequenz. Es zeigt sich eine Impressionsfraktur des Schädels (Pfeile in M.N und O).

8 Danksagung

Diese Arbeit entstand an der Klinik für Neurochirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel (Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. M. Synowitz). Für das Gelingen dieser Arbeit möchte ich mich bei den folgenden Personen bedanken:

Prof. Dr. Friederike Knerlich-Lukoschus, für das Überlassen des Themas dieser Arbeit und die gute Betreuung, welche auch nach Weggang vom UKSH weiter verlässlich stattfand. Zudem für die konstruktiven Korrekturen und für Anregungen für die Umsetzung der Arbeit.

Dr. Gesa Cohrs, durch die ich erst von der Möglichkeit dieser Arbeit erfahren habe. Zudem für die Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit und für das zur Verfügung stehen für Fragen und Ratschläge.

Corinna Groll, für die mentale Unterstützung sowie die entbehrte Zeit. Zudem für die ausgeprägte Entlastung im privaten Umfeld und die Rücksichtnahme und das Verständnis, was die Prioritätensetzung anbelangte.

Theresa Maria Groll, für die Kraft, welche Du mir gegeben hast.

Dr. Monika Huhndorf, für die Beantwortung MRT spezifischer Fragen.

Silvia Groll und Dr. Andrea Kuppe, für die Korrekturen der Arbeit.