

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie

der Universität Würzburg

Direktorin: Professor Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer

Kopforthesentherapie bei Patienten mit

lagerungsbedingtem Plagiozephalus:

Einfluss von Alter und Schweregrad der Asymmetrie bei Therapiebeginn

auf die Therapiedauer und das Therapieergebnis

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Jessica Kunz

aus Würzburg

Würzburg, Juli 2019

Referentin: Prof. Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer
Korreferent / -in: Prof. Dr. Tilmann Schweitzer
Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 08.07.2020

Die Promovendin ist Zahnärztin

**Meiner Familie in Liebe
und Dankbarkeit gewidmet**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Lagerungsbedingte Kopfanomalien bei Säuglingen	1
1.1.1	Prävalenz des LP	2
1.1.2	Ursachen und Risikofaktoren für einen LP	3
1.1.2.1	Prä- & Perinatale Risikofaktoren	3
1.1.2.2	Postnatale Risikofaktoren	4
1.1.3	Klinische Veränderungen des Neuro- und Viszerokraniums bei Patienten mit LP	6
1.1.4	Differentialdiagnostik / Synostosen	7
1.1.4.1	Differentialdiagnostik: Unilaterale Lambdanahtsynostose	7
1.1.4.2	Differentialdiagnostik: Unilaterale Koronarnahtsynostose	9
1.1.5	Mögliche Risiken und Langzeitfolgen	9
1.1.5.1	Entwicklungsverzögerungen und motorische Einschränkungen	9
1.1.5.2	Ästhetische Beeinträchtigung – Gefahr auf psychosoziale Probleme	11
1.1.5.3	Asymmetrien des Unterkiefers und dentale Auswirkungen	11
1.1.5.4	Sehbeeinträchtigung	12
1.1.5.5	Spontanverlauf	12
1.2	Diagnostik und Analyse der Asymmetrie	12
1.2.1	Diagnostik des LP	12
1.2.2	Analyse der Asymmetrie	13
1.2.2.1	Zweidimensionale anthropometrische Vermessungen	13
1.2.2.2	Dreidimensionale stereophotogrammetrische Vermessung	14
1.2.3	Klassifikation des LP	16
1.2.3.1	Klassifikation nach Moss	16
1.2.3.2	Klassifikation nach Loveday & de Chalain	16
1.2.3.3	Klassifikation nach Argenta et al.	17
1.3	Therapieformen	18
1.3.1	Prävention durch Elternberatung	18
1.3.2	Aktive Lagerungstherapie	19
1.3.3	Physiotherapie	20
1.3.4	Kopforthesentherapie	21
1.3.5	Chirurgische Therapie	24

1.4	Einfluss des Alters bei Therapiebeginn auf den Therapieerfolg der Helmtherapie.....	24
1.5	Ziel der vorliegenden Untersuchung.....	27
2	Material und Methoden.....	28
2.1	Patientenkohorte	28
2.1.1	Patientenakquise und Studienablauf	28
2.1.2	Einschlusskriterien.....	29
2.2	Methoden	29
2.2.1	3D-Stereophotogrammetrie	29
2.2.1.1	Aufnahme der Säuglingsschädel	29
2.2.1.2	Aufbereitung der dreidimensionalen Datensätze.....	30
2.2.2	Auswertung der 3D-Datensätze	31
2.2.2.1	Allgemeine Grundlagen	31
2.2.2.2	Dreidimensionale Orientierung der Datensätze.....	32
2.2.2.3	Definition der Analyseparameter.....	34
2.2.3	Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen.....	42
2.2.4	Statistische Auswertung	43
3	Ergebnisse.....	45
3.1	Reliabilität der Messmethode	45
3.2	Deskriptive Ergebnisse.....	46
3.3	Hauptkenntnisse	47
3.3.1	Symmetrieparameter	47
3.3.2	Behandlungsdauer.....	49
3.3.3	Behandlungserfolg.....	51
3.4	Subgruppeneffekte.....	52
3.4.1	Symmetrieparameter	52
3.4.2	Behandlungsdauer.....	53
3.4.3	Behandlungserfolg.....	56
3.5	Regressionsanalyse.....	57

4	Diskussion	58
4.1	Diskussion der Methodik	59
4.1.1	Patientenkohorte.....	59
4.1.2	Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen	60
4.1.3	Diskussion der Behandlungsmethode	61
4.1.4	Diskussion der Aufnahmetechnik	62
4.1.5	Diskussion des Analyseschemas	62
4.2	Diskussion der Messergebnisse	64
4.2.1	Reliabilität der Messergebnisse.....	64
4.2.2	Einfluss des Alters auf die Reduktion der Asymmetrie und die Behandlungsdauer.....	64
4.2.3	Einfluss der initialen Asymmetrie auf die Reduktion der Asymmetrie und die Behandlungsdauer.....	66
4.2.4	Einfluss auf den Behandlungserfolg	66
4.2.5	Prognose der Asymmetrie-Reduktion.....	67
4.2.6	Diskussion der Ergebnisse im Kontext der aktuellen Therapieempfehlungen	68
5	Zusammenfassung	69
6	Publikation	71
7	Literaturverzeichnis.....	72
8	Abkürzungsverzeichnis	83
9	Tabellenverzeichnis.....	84
10	Abbildungsverzeichnis	86
11	Danksagung.....	89

1 Einleitung

Im Jahr 1992 veröffentlichte die American Academy of Pediatrics die Empfehlung Säuglinge während des Schlafens auf dem Rücken zu lagern, um das Risiko des plötzlichen Kindstodes (SIDS = sudden infant death syndrome) zu reduzieren [1]. Diese sogenannte „Back-to-Sleep“-Kampagne führte tatsächlich in den darauffolgenden Jahren zu einer deutlichen Reduktion des plötzlichen Kindstodes [1, 2], allerdings konnte zeitgleich durch die vermehrte Lagerung der Säuglinge auf dem Rücken ein erheblicher Anstieg lagerungsbedingter Kopfdeformitäten festgestellt werden [3-5]. Dieser Zusammenhang wird damit erklärt, dass der Schädel der Säuglinge noch „weich und flexibel“ ist, sodass die bei der Rückenlagerung auf den Hinterkopf einwirkenden Kräfte zu einer Verformung der Säuglingsschädel führen können [6, 7].

1.1 Lagerungsbedingte Kopfanomalien bei Säuglingen

Grundsätzlich können zwei verschiedene Arten von lagerungsbedingten Kopfdeformitäten mit typischen Formveränderungen des Kopfes unterschieden werden: zum einen kann es zu einer symmetrischen Veränderung der Kopfform, auch lagerungsbedingter Brachyzephalus genannt, oder zum anderen zu einer asymmetrischen Veränderung der Kopfform, dem sogenannten lagerungsbedingten Plagiozephalus (LP), kommen. Da asymmetrische Lagerungsdeformitäten deutlich häufiger auftreten [8, 9] wird im Folgenden insbesondere auf den LP eingegangen.

Von diesen lagerungsbedingten Kopfdeformitäten müssen streng genommen intrauterin oder unter der Geburt entstandene Deformierungen der Kopfform abgegrenzt werden. In vielen Fällen bilden sich diese nach der Geburt rasch zurück, allerdings ist ein Übergang in eine lagerungsbedingte Kopfverformung ebenfalls möglich. Es wird daher empfohlen, erst ab der 6. Lebenswoche von einem Lagerungsplagiozephalus bzw. Lagerungsbrachyzephalus zu sprechen [10].

1.1.1 Prävalenz des LP

Der LP stellt die häufigste Veränderung der Kopfform im Säuglingsalter dar [11]. Es wurde geschätzt, dass vor der Einführung der „Back-to-Sleep“-Kampagne im Jahre 1992 bei etwa einem von 300 Säuglingen eine lagerungsbedingte Kopfveränderung festgestellt werden konnte [12]. Durch die Lagerungsempfehlung konnte allerdings ein deutlicher Anstieg der Prävalenz des LP beobachtet werden [3-5].

Bezüglich der genauen Angaben zur Prävalenz werden in der Literatur kontroverse Diskussionen geführt– die Angaben reichen von etwa 0,3% (2007) [13] bis hin zu 46,6% (2013) [14]. Für diese ausgeprägten Unterschiede in den Prävalenzangaben gibt es verschiedene Erklärungen, die meist im verwendeten Studiendesign begründet sind. Insbesondere sind hier (1) Unterschiede bezüglich der Definition der lagerungsbedingten Kopfasymmetrien, (2) Unterschiede bezüglich der Größe der untersuchten Patientenkohorte, (3) Unterschiede bezüglich der Vorselektion der untersuchten Patienten oder (4) Unterschiede bezüglich des Alters der Patienten bei der Diagnosestellung der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie zu nennen [15]. Bezüglich des Alters fanden Hutchison et al. in einer prospektiven Kohortenstudie mit 200 Kindern heraus, dass sich die Prävalenz einer lagerungsbedingten Schädeldeformität im Verlauf der ersten Lebensmonate zu verändern scheint: bei Säuglingen im Alter von sechs Wochen betrug die Prävalenz zunächst 16%, stieg im Alter von vier Monaten auf den höchsten Wert von 19,7% an und verringerte sich daraufhin im Alter von acht Monaten auf 9,2% bzw. im Alter von 12 Monaten auf 6,8%. Weiterhin reduzierte sich die Prävalenz bei Kindern im Alter von 24 Monaten auf etwa 3,3% [10].

Ähnliche Ergebnisse lieferten die Untersuchungen von van Vlimmeren et al., die bei sieben Wochen alten Neugeborenen eine Prävalenz für lagerungsbedingte Kopfasymmetrien von 22,1% beobachteten. Die Autoren stellten zudem fest, dass auch noch im Alter von 5,5 Jahren bei etwa 19% der Kinder eine mild ausgeprägte und bei 1% eine moderate bis schwere Kopfasymmetrie vorlag [16].

Die Prävalenzangaben bezüglich lagerungsbedingter Kopfanomalien scheinen im Verlauf der letzten Jahre zu steigen. Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, dass sowohl die Ärzteschaft, als auch die Eltern unter anderem über die Medien (z.B.: Internetforen etc.) vermehrt Kenntnisse über lagerungsbedingte Deformitäten erlangen und daher im Gegensatz zu früher lagerungsbedingte Kopfasymmetrien eher diagnostiziert werden [17, 18].

1.1.2 Ursachen und Risikofaktoren für einen LP

Für die Entstehung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien werden verschiedene Ursachen kontrovers diskutiert. Grundsätzlich scheinen jedoch als Hauptursache für die Formveränderung der Säuglingsschädel immer extern auf die noch weichen Schädelknochen über einen längeren Zeitraum einwirkende Kräfte zu sein [19-21].

Für eine bessere Übersicht sollen hierzu die in der Literatur diskutierten möglichen Ursachen in prä- bzw. perinatale Risikofaktoren sowie in postnatale Risikofaktoren unterteilt werden.

1.1.2.1 Prä- & Perinatale Risikofaktoren

Intrauterine Kräfte können bereits pränatal zu Kopfverformungen führen [18, 22]. Ursprung dieser Kräfte können entweder intrauterine Zwangslagen [23-25] oder ein vermindertes intrauterines Platzangebot, beispielsweise aufgrund einer Mehrlingsgeburt, sein [23, 25-28]. Insbesondere bei erstgebärenden Müttern ist aufgrund der noch nicht vorgedehnten Strukturen das Risiko für bereits intrauterin entstehende Kopfverformungen erhöht [19, 23, 25, 27, 29, 30].

Perinatal kommt es bei der Passage durch den engen Geburtskanal regelmäßig zu einer natürlichen Verformung des kindlichen Schädels [28]. Besonders traumatische Geburten (z.B.: Saugglocken- oder Zangengeburt) scheinen vermehrt Auswirkungen auf die Kopfform zu haben [23, 27, 31], da ein muskuläres Ungleichgewicht im Bereich der Halsmuskulatur entstehen kann und die Säuglinge den Kopf dadurch bevorzugt zu einer Seite drehen, wodurch sich das Risiko zur Ausbildung eines LP deutlich erhöht [31-33].

Im Gegensatz dazu kommt es bei in ihrer Motorik uneingeschränkten Kindern in vielen Fällen zu einer spontanen Verbesserung oder sogar Rückbildung prä- bzw. perinatal entstandener Veränderungen der Kopfform innerhalb der ersten sechs Lebenswochen [28, 34, 35]. Daher sollte die Diagnosestellung für eine lagerungsbedingte Kopfasymmetrie erst im Alter von mindestens sechs Wochen erfolgen [34].

Auch hat das Geschlecht Auswirkungen und eine einseitige lagerungsbedingte Asymmetrie tritt häufiger bei männlichen Neugeborenen auf [23, 26-28, 30, 31, 36]. Joganic et al. geben an, dass die Inzidenz bei männlichen Säuglingen etwa um den Faktor 2 erhöht ist [25]. Losee et al. vermuten, dass die Ursache hierfür die Größe und die geringere Flexibilität männlicher Säuglingsschädel im Vergleich zu weiblichen Säuglingen ist. Dieser Umstand macht männliche Säuglingsschädel anfälliger für Kompressionen innerhalb der Gebärmutter sowie die Kräfte, die beim Geburtsvorgang auf den Schädel einwirken [26].

1.1.2.2 Postnatale Risikofaktoren

Wie bereits dargestellt, wird in der Literatur insbesondere eine einseitige Lagerung des Kindes für die asymmetrische Abflachung des Hinterkopfes verantwortlich gemacht. Vor allem seit der Empfehlung der AAP (American Academy of Pediatrics) von 1992, Säuglinge innerhalb des ersten Lebensjahres zur Vermeidung des plötzlichen Kindstodes konsequent auf dem Rücken zu lagern, konnte ein deutlicher Anstieg der Inzidenz lagerungsbedingter Kopfasymmetrien beobachtet werden [7, 18, 19, 23].

Da allerdings nicht alle Säuglinge, die dauerhaft auf dem Rücken gelagert werden, einen LP aufweisen, scheinen weitere Faktoren einen Einfluss auf das Risiko zur Ausbildung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien zu haben. Durch die intrauterine Enge und damit verbundenen Zwangslagen kann es zu muskulären Ungleichgewichten kommen, die zur Ausbildung eines muskulären Schiefhalses, auch Torticollis genannt, führen können [32]. Ebenso können aber auch Einblutungen in den Musculus sternocleidomastoideus im Rahmen eines Geburtstraumas eine muskuläre Dysbalance verursachen, da die

Säuglinge die betroffenen Muskeln zur Schmerzreduktion entlasten. Als Folge dreht der Säugling den Kopf bevorzugt zu einer Seite, sodass sich das Risiko zur Ausbildung einer asymmetrischen Abflachung des Hinterkopfes deutlich erhöht [18, 22, 32, 33, 37, 38]. Die häufiger rechtsseitig auftretenden Deformitäten erklären Losee et al. anhand der typischen Lage des ungeborenen Kindes zum Ende der Schwangerschaft, wenn der Kopf bereits tief im mütterlichen Becken liegt und vornehmlich auf den rechten Anteil des kindlichen Hinterkopfes Druck ausgeübt wird. Eine so bereits bestehende leichte Deformität wird im Folgenden postnatal durch konsequente Rückenlagerung beim Schlafen und einer bevorzugten rechtsseitigen Liegeposition des Kopfes weiter verstärkt [26]. Ebenso scheint auch der motorische Entwicklungsstand eines Kindes Einfluss auf die Entstehung eines LP zu haben. So berichten van Vlimmeren et al., dass Kinder, die frühzeitig den Kopf in Bauchlage sicher halten können, folglich auch weniger anfällig für lagerungsbedingte Deformitäten am Hinterkopf sind [30].

Als weiterer postnataler Risikofaktor gelten einseitige Reize, wie beispielsweise eine gleichbleibende Fütterungsposition bei der Flaschenernährung, welche im weiteren Verlauf zu einer Seitenbevorzugung des Säuglings führen können [30, 39]. Da die Mehrheit der Eltern Rechtshänder ist, wird von einigen Autoren auch diese Tatsache als Grund für die häufiger auftretenden rechtsseitigen LP's angenommen [6]. Im Gegensatz zur Ernährung mit der Flasche wird dem Stillen von Säuglingen aufgrund des natürlichen Wechsels der Brustseiten eine eher protektive Wirkung zugesprochen [26].

Des Weiteren werden auch eine Frühgeburtlichkeit bzw. ein geringes Geburtsgewicht als Risikofaktoren für einen LP gesehen [7, 25, 27, 40, 41]. Hierfür gibt es verschiedene Erklärungen: zum einen sind die knöchernen Strukturen des Hirnschädels im Vergleich zu reifgeborenen Kindern noch deutlich weicher und verformbarer [42, 43] und somit anfälliger für lagerungsbedingte Verformungen [44-46]. Zum anderen ist die Motorik von frühgeborenen Säuglingen meist unterentwickelt [46]. Hinzu kommt, dass häufig längere Aufenthalte auf einer neonatalen Intensivstation erforderlich sind, wobei

die Behandlung bzw. die Versorgung der Kinder hierbei bevorzugt von einer Seite erfolgt [6, 7, 27, 41].

Bezüglich des Bildungslevels der Eltern, insbesondere der Mutter, gibt es in der Literatur kontroverse Diskussionen. So wurde einerseits beobachtet, dass Kinder von Müttern mit einem niedrigeren Bildungsniveau häufiger einen LP aufweisen. Dies wird dadurch erklärt, dass weniger gebildete Mütter ihre Säuglinge häufiger mit der Flasche füttern, dabei weniger Positionswechsel durchgeführt werden und das Kind meist auf der gleichen Seite im Arm gehalten wird. Zudem werden diese Kinder meist erst später zur motorischen Förderung regelmäßig in Bauchlage (im überwachten Zustand) gebracht [30]. Somit vereinen sich ein gleichbleibender einseitig gesetzter Reiz, das Fehlen des als präventiv betrachteten Stillens sowie eine spätere motorische Förderung des Kindes. Andererseits wird jedoch diskutiert, dass Eltern mit einem hohen Bildungsniveau, ebenso wie Eltern höheren Alters häufiger die Empfehlungen zur Rückenlagerung konsequenter beachten und umsetzen, sodass das Risiko zur Entwicklung eines LP bei deren Kindern erhöht ist [26, 38].

1.1.3 Klinische Veränderungen des Neuro- und Viszerokraniums bei Patienten mit LP

Das auffälligste Merkmal des LP ist die unilaterale Abflachung des Hinterkopfes [47]. In Abhängigkeit vom Schweregrad der lagerungsbedingten Asymmetrie können jedoch weitere Auswirkungen auf verschiedene Bereiche des Viszero- und Neurokraniums bei betroffenen Patienten beobachtet werden.

In vielen Fällen kommt es durch die posteriore Schädeldeformität zusätzlich zu einer Asymmetrie im Bereich der Schädelbasis [48] mit einer anterioren Verlagerung des knöchernen Gehörganges und somit des Ohres (auch ear shift oder ear offset genannt) auf der betroffenen Seite [47, 49, 50]. Durch die enge anatomische Nachbarschaft zum knöchernen Gehörgang sind meist auch das Kiefergelenk und folglich die Mandibula ipsilateral ebenfalls nach anterior

verlagert [47]. Asymmetrien im Bereich des Viszerokraniums sowie laterale Kreuzbisse sind mögliche Folgen [51-53].

Häufig setzt sich die lagerungsbedingte Asymmetrie auch bis in den Bereich der vorderen Schädelgrube mit einer ipsilateralen Vorwölbung der Stirn (frontal bossing) fort [47-49, 54, 55]. Dies kann letztlich auch noch zur Ausbildung einer Gesichtsskoliose führen [47, 50, 51, 56, 57]. In besonders ausgeprägten Fällen kommt es zu einer Vorwölbung im Bereich der Temporalregion (temporal bossing) oder zu einem kompensatorischen Vertikalwachstum des Hinterkopfes [47].

Als Resultat ist bei kranialer Betrachtung betroffener Patienten meist eine klinisch typische parallelogrammähnliche Verformung der Säuglingsschädel als wichtiges diagnostisches Kriterium zu erkennen [6, 32, 47].

1.1.4 Differentialdiagnostik / Synostosen

Neben den häufig vorkommenden lagerungsbedingten Kopfasymmetrien können Veränderungen der Kopfform in seltenen Fällen allerdings auch aufgrund eines vorzeitigen Verschlusses einer oder mehrerer Schädelnähte (sogenannte Kraniosynostosen) auftreten. Klinische Ähnlichkeit besteht insbesondere bei der unilateralen Lambdanahtsynostose sowie der unilateralen Koronarnahtsynostose. Die Therapie von Kraniosynostosen unterscheidet sich jedoch maßgeblich von der Therapie eines lagerungsbedingten Plagiozephalus, sodass eine sichere differenzialdiagnostische Abgrenzung essentiell ist.

1.1.4.1 Differentialdiagnostik: Unilaterale Lambdanahtsynostose

Insbesondere die Kopfveränderungen der sehr seltenen unilateralen Lambdanahtsynostosen erscheinen durch eine posteriore Abflachung klinisch zunächst sehr ähnlich zu denen eines LP [58]. Jedoch gibt es typische Charakteristika einer unilateralen Lambdanahtsynostose, anhand derer die klinische Diagnosestellung ermöglicht wird.

Zunächst findet sich meist, wie auch zum Teil bei anderen Synostosen, ein dicker palpierbarer und manchmal sogar sichtbarer Wulst über der fusionierten

Lambdanaht, der bei einem LP nicht auftritt [50]. Zusätzlich zeigt sich bei unilateralen Lambdanahtsynostosen eine ipsilaterale Aufwölbung des Okzipitomastoids [50]. Auch die Position des Ohres vom Scheitel aus betrachtet ist hilfreich bei der Diagnosestellung, da das Ohr bei einem lagerungsbedingten Plagiozephalus ipsilateral nach vorn verlagert ist, während bei einer Lambdanahtsynostose hingegen das Ohr nach posterior und kaudal verlagert ist [50].

Bei der Betrachtung des Schädels von posterior sorgen bei einer bestehenden Lambdanahtsynostose die kontralaterale parietale und die ipsilaterale okzipitomastoidale Vorwölbung in Kombination mit der Neigung der Schädelbasis für eine parallelogrammähnliche Kopfform. Bei einem LP hingegen sind die ipsilaterale okzipitoparietale Abflachung und kontralaterale okzipitale Vorwölbung nicht so prominent und deshalb erscheint der Kopf von posterior betrachtet überwiegend symmetrisch.

Hingegen von kranial aus betrachtet hat der Kopf bei einem LP durch die Kombination von ipsilateraler frontaler und kontralateraler okzipitaler Vorwölbung die Form eines Parallelogramms. Im Gegensatz dazu ist bei einer unilateralen Lambdanahtsynostose die frontale Vorwölbung, falls vorhanden, weniger stark ausgeprägt oder befindet sich auf der kontralateralen Seite. Daher kommt es bei einer unilateralen Lambdanahtsynostose zu einer trapezförmigen Erscheinung durch die kontralaterale posteriore und frontale Vorwölbung [6, 50].

Differentialdiagnostisch gibt auch die Lage der Schädelbasis Aufschluss, da diese bei einer unilateralen Lambdanahtsynostose geneigt ist und ipsilateral weiter inferior liegt. Entsprechend kommt es zu einer inferioren und posterioren Verlagerung des ipsilateralen Ohres. Zusätzlich entsteht eine kompensatorische Drehung der Halswirbelsäule. Von ventral betrachtet manifestiert sich als Folge der Schädelbasisneigung bei einer unilateralen Lambdanahtsynostose somit eine sekundäre Neigung des Gesichts [50].

1.1.4.2 Differentialdiagnostik: Unilaterale Koronarnahtsynostose

Zu differentialdiagnostischen Schwierigkeiten kann es auch zwischen einer einseitigen Koronarnahtsynostose und einem LP kommen [59]. Bei einem unliateralen Verschluss der Koronarnaht befindet sich jedoch ähnlich wie bei der bereits erwähnten Lambdanahtsynostose im Bereich der Synostose ein tastbarer Grat, der bei einer lagerungsbedingten Deformität nicht zu finden ist.

Betrachtet man den Schädel von oben, so zeigt sich bei einer unliateralen Synostose der Koronarnaht auf der betroffenen Seite eine Reduktion der sagittalen Schädelänge [60]. Die Vorwölbung der kontralateralen sowie Abflachung der ipsilateralen Stirn sind ebenfalls differentialdiagnostisch wegweisende Merkmale [61]. Des Weiteren kommt es auf der betroffenen Seite zu einer „Harlequin-Augendeformität“. Dabei ist der Keilbeinflügel höhergestellt, der Keilbein-Felsenbeinwinkel vermindert und die Orbita verschmälert. Die Nasenwurzel weicht zur betroffenen Seite ab.

1.1.5 Mögliche Risiken und Langzeitfolgen

Bei lagerungsbedingten Kopfasymmetrien standen lange Zeit insbesondere kosmetische Aspekte im Vordergrund [35]. Allerdings gibt es in der Literatur vermehrt Hinweise, dass lagerungsbedingte Kopfasymmetrien neben diesen kosmetischen Beeinträchtigungen auch Nachteile in der Entwicklung der Säuglinge bzw. funktionelle Beeinträchtigungen mit sich bringen [62-65].

Im Folgenden soll ein Überblick über mögliche Langzeitfolgen gegeben werden.

1.1.5.1 Entwicklungsverzögerungen und motorische Einschränkungen

In der Literatur wird ein möglicher Zusammenhang zwischen lagerungsbedingten Kopfasymmetrien bei Säuglingen und Entwicklungsverzögerungen bzw. motorischen Einschränkungen kontrovers diskutiert.

Im Jahr 2000 untersuchten Miller und Clarren Schulkinder, die eine lagerungsbedingte Kopfdeformität aufwiesen, auf Entwicklungsverzögerungen. Die Autoren stellten fest, dass von 63 Kindern, bei denen ein LP diagnostiziert wurde, 39,7% weiterführende Hilfestellungen von Sonderpädagogen, Physiotherapeuten, Ergotherapeuten oder Logopäden während der Grundschulzeit benötigten, wohingegen nur 7,7% ihrer „gesunden“ Geschwister (die als Kontrollgruppe dienten) auf ähnliche Hilfe bzw. Lernunterstützung angewiesen waren [62]. Diese Ergebnisse werden von den Untersuchungen von Kordestani et al. (2006) sowie Panchal et al. (2001) unterstützt, die mittels der Bayley Scale 2 (einer kognitiven und motorischen Entwicklungsskala, die die frühe Gedächtnisleistung, die sprachliche Kompetenz, die frühen sozialkommunikativen Fähigkeiten und die fein- und grobmotorische Koordination überprüft) zeigen konnten, dass die psychomotorischen und geistigen Entwicklungsindizes von Kindern mit lagerungsbedingten Schädelasymmetrien von denen der „Normalbevölkerung“ abweichen [49, 66, 67].

Häufig taucht in der Literatur jedoch die Frage auf, ob ein LP die Ursache für diese Entwicklungsverzögerungen ist oder ob vielmehr frühe neurologische und motorische Entwicklungsverzögerungen die Entstehung lagerungsbedingter Schädelasymmetrien begünstigen [7, 62, 65, 67-70]. In diesem Zusammenhang erklärten Kordestani et al., dass Entwicklungsstörungen häufig nicht nur auf die lagerungsbedingte Kopfasymmetrie, sondern eher auf andere Faktoren wie beispielsweise eine Frühgeburt, eine Mehrlingsgeburt oder einen Torticollis zurückzuführen sein könnten und diese wiederum auch die Entstehung eines LP begünstigen [67]. Ergänzend hierzu sind nach Auffassung von Kennedy et al. Kinder, die weniger Zeit in Bauchlage verbringen, nicht nur einem höheren Risiko für die Entstehung eines LP ausgesetzt, sondern auch risikoanfälliger für motorische Entwicklungsverzögerungen [69].

Insgesamt bleibt also festzustellen, dass die Datenlage bezüglich der Frage nach der Ursache für den angenommenen Zusammenhang zwischen Entwicklungsverzögerungen bzw. motorischen Einschränkungen und

lagerungsbedingten Kopfasymmetrien noch dürftig ist und nach weiteren Untersuchungen gefordert wird [7, 71, 72].

1.1.5.2 Ästhetische Beeinträchtigung – Gefahr auf psychosoziale Probleme

Grundsätzlich werden von einigen Autoren lagerungsbedingte Kopfasymmetrien hauptsächlich als ästhetische Beeinträchtigung betrachtet [7, 63, 73]. Diese primär ästhetischen Beeinträchtigungen können jedoch möglicherweise im weiteren Verlauf negative psychologische oder psychosoziale Auswirkungen haben [68, 73]. Es kann hierbei sowohl die Eltern-Kind-Beziehung als auch das eigene Selbstverständnis der betroffenen Patienten negativ beeinflusst werden [62, 66, 74, 75]. Im sozialen Bereich kann es zu einer Stigmatisierung und zu Hänseleien kommen, die sowohl für die betroffenen Kinder, als auch deren Familien sehr belastend sein kann [10, 39, 62, 76, 77]. Langwierige und kostenintensive psychologische Behandlungen können möglicherweise erforderlich werden [27].

1.1.5.3 Asymmetrien des Unterkiefers und dentale Auswirkungen

Wie bereits in Kapitel 1.1.3 beschrieben, gehen lagerungsbedingte Kopfdeformitäten häufig mit Asymmetrien im Bereich der Schädelbasis einher. Diese sind klinisch durch eine anteriore Verschiebung des knöchernen Gehörganges auf der abgeflachten Hinterhauptseite zu erkennen. Durch die enge Nachbarschaft des knöchernen Gehörganges mit dem Kiefergelenk liegt die Vermutung nahe, dass sich die Asymmetrie auch im Bereich des Unterkiefers sowie der Dentition fortsetzt und sich als lateraler Kreuzbiss manifestieren kann [51-53, 78-80]. Kluba et al. stellten fest, dass Patienten mit LP eine höhere Prävalenz von seitlichen Kreuzbissen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aufwiesen [52]. Diese Ergebnisse wurden von Kunz et al. bestätigt [51]. Zudem zeigten beide Arbeitsgruppen übereinstimmend, dass das Risiko eines seitlichen Kreuzbisses insbesondere auf der in Relation zur Asymmetrie des Hinterkopfes kontralateralen Seite bestand [51, 52].

1.1.5.4 Sehbeeinträchtigung

Eine Studie von Siatkowski et al. zeigte, dass bei bis zu 35% der Kinder mit LP Beeinträchtigungen des Sichtfeldes gefunden werden konnten. Da jedoch weder ein Zusammenhang zwischen der Seite der Abflachung noch dem Grad der Ausprägung der Schädelasymmetrie mit dem Ausmaß der Sehfeldbeeinträchtigung festgestellt werden konnte, ist der kausale Zusammenhang zwischen der Sehfeldbeeinträchtigung und der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie nicht nachgewiesen [81].

1.1.5.5 Spontanverlauf

Es gibt unterschiedliche Berichte darüber, ob sich ein LP bei Säuglingen mit voranschreitendem Alter selbstständig ausgleicht [10, 82] oder ob die Deformität langfristig erhalten bleibt [50, 83-90]. Boere-Boonekamp und van der Linden-Kuiper berichteten von einer Persistenz der lagerungsbedingten Abflachung bei etwa der Hälfte der untersuchten Säuglinge bis zu einem Alter von zwei Jahren [39]. Kunz et al. konnten zudem zeigen, dass sich die Asymmetrie von Patienten mit LP zwar auch ohne Koporthesen-therapie bis zum 4. Lebensjahr reduzierte, jedoch im Vergleich zu Patienten, die mit einer Koporthese behandelt wurden, eine signifikant geringere Reduktion der Asymmetrie erzielt wurde [51]. Grundsätzlich gilt allerdings zu berücksichtigen, dass sich mit fortschreitendem Wachstum ein besseres optisches Erscheinungsbild ergibt, da die Asymmetrie in Relation zum insgesamt größer werdenden Kopf abnimmt und zudem durch das Haarwachstum insbesondere die okzipitale Asymmetrie kaschiert wird [71, 83].

1.2 Diagnostik und Analyse der Asymmetrie

1.2.1 Diagnostik des LP

Für die Diagnosestellung eines lagerungsbedingten Plagiozephalus ist zunächst die ärztliche klinische Untersuchung inklusive einer ausführlichen

Anamneseerhebung erforderlich [49, 91]. Das klinische Erscheinungsbild (siehe Kapitel 1.1.3 und 1.1.4) ist bei lagerungsbedingten Asymmetrien meist bereits wegweisend für die Diagnosestellung [92].

In unsicheren Fällen kann zur Differentialdiagnostik - vor allem zum Ausschluss von Kraniosynostosen – eine zusätzliche sonographische Untersuchung indiziert sein [7, 60, 91-93]. In den ersten 13 Lebensmonaten ist die Sonographie eine sehr aussagekräftige Ergänzung zur klinischen Diagnostik [94].

Radiologische Untersuchungen sind zur Diagnosestellung von lagerungsbedingten Kopfasymmetrien nicht notwendig und somit nur in absoluten Ausnahmefällen medizinisch indiziert [91-93, 95].

1.2.2 Analyse der Asymmetrie

Neben der Diagnostik lagerungsbedingter Schädeldeformitäten ist insbesondere für wissenschaftliche Untersuchungen auch die Quantifizierung der vorhandenen Asymmetrie von Interesse. In der Literatur wurden verschiedene Methoden zur Quantifizierung der Kopfasymmetrien beschrieben [96], wobei hier vorzugsweise zweidimensionale anthropometrische und dreidimensionale stereophotogrammetrische Vermessungen Anwendung finden.

1.2.2.1 Zweidimensionale anthropometrische Vermessungen

In einer Vielzahl an Studien werden vorwiegend zweidimensionale anthropometrische Messungen zur Quantifizierung der Asymmetrie verwendet [17, 71, 79, 84, 88, 97, 98]. Mittels Beckenzirkel, Maßband oder Schieblehre können die Zirkumferenz, die Länge, die Breite sowie die Schrägdurchmesser des Kopfes gemessen werden [52, 92]. Insbesondere die Schrägdurchmesser beider Seiten bzw. deren Differenz dienen zur zweidimensionalen Quantifizierung der Asymmetrie (siehe Kapitel 1.2.3).

Anthropometrische Messungen zur Quantifizierung der Kopfasymmetrie zeichnen sich in erster Linie dadurch aus, dass sie non-invasiv sind und sehr

einfach ohne großen apparativen oder finanziellen Aufwand durchführbar sind [28, 32, 34, 84, 88, 99, 100].

Allerdings haben diese zweidimensionalen anthropometrischen Messungen gegenüber anderen Verfahren auch Nachteile. Zu nennen sind hier vor allem die Reliabilität bzw. Reproduzierbarkeit anthropometrischer Messungen, die in der Literatur in Frage gestellt werden [73, 101, 102]. Da die Messungen an Säuglingen und Kleinkindern durchgeführt werden, wird die Qualität der Anthropometrie maßgeblich durch die Kooperation der Kinder beim Vermessen beeinflusst [53, 103]. So können bei sehr aktiven Kindern die Messunterschiede bei wiederholten Messungen mehrere Millimeter betragen [12, 53]. Um die Reliabilität anthropometrischer Messungen zu erhöhen, wird daher empfohlen, die Messungen mehrfach zu wiederholen [84, 89]. Littlefield et al. und Kolar et al. konnten zeigen, dass durch dreifache Vermessung und Bildung des Durchschnitts dieser Einzelmessungen eine Messgenauigkeit mit einer Abweichung von $\pm 1\text{mm}$ erreicht werden konnte [100, 104]. Zudem ist die Genauigkeit von der Erfahrung des Untersuchers und einem standardisierten Untersuchungsablauf abhängig [103]. Als weiteres Problem anthropometrischer Messungen wird die Reduzierung der dreidimensionalen Kopfasymmetrie auf zweidimensionale Messungen gesehen, da nicht alle Bereiche des Schädels und somit der Asymmetrie erfasst werden und folglich einige Bereiche unvermessen bleiben [73, 105].

1.2.2.2 Dreidimensionale stereophotogrammetrische Vermessung

Für die Quantifizierung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien hat sich im Verlauf der letzten Jahre die sogenannte 3D-Stereophotogrammetrie durchgesetzt [51, 106]. Hierbei handelt es sich um ein non-invasives, dreidimensionales Aufnahmeverfahren [60, 106]: auf die Säuglingsköpfe wird bei der Aufnahme ein Lichtmuster projiziert, welches von mehreren zueinander synchronisierten Kameras aufgenommen wird. Durch Verrechnung der durch die einzelnen Kameras aufgenommenen Lichtmuster ist es möglich, Oberflächenpunkte der Säuglingsköpfe zu erfassen und so ein virtuelles dreidimensionales Abbild zu erzeugen [107, 108]. Die Datensätze der

Säuglingsköpfe können dann sowohl mittels spezialisierter Software ausgerichtet und diagnostisch vermessen werden, als auch zur Herstellung individuell hergestellter Kopforthesen im Rahmen der Therapie lagerungsbedingter Kopfasymmetrien genutzt werden [106].

Als Nachteile der 3D-Stereophotogrammetrie werden die Kosten für die Soft- und Hardware sowie die räumlichen Anforderungen für die Bereitstellung der aufwendigen Geräte gesehen. Zudem können durch Reflexionen des projizierten Lichtmusters durch das Kopfhaar Artefakte entstehen. Diese können zwar durch Verwendung einer dünnen Nylonmütze vermieden werden, jedoch können auch hierdurch die Messwerte leicht verfälscht werden [34].

Andererseits bietet die 3D-Stereophotogrammetrie eine Vielzahl an Vorteilen gegenüber anderen Verfahren zur Quantifizierung der Kopfasymmetrie [109]. Zum einen können non-invasiv 3D-Aufnahmen erstellt werden, sodass die dreidimensionale Kopfasymmetrie nicht mehr nur auf eine zweidimensionale Datenerhebung und insbesondere Datenauswertung reduziert wird [73, 104, 109]. Zum anderen können aufgrund der sehr kurzen Aufnahmezeit von unter 1,5ms Aufnahmen frei von Bewegungsartefakten erstellt werden, die im Anschluss unabhängig von der Compliance der kleinen Patienten reproduzierbar am Computer ausgewertet werden können [12, 17, 91, 106].

Computertomographien sind als weitere Möglichkeit der dreidimensionalen Bildgebung aufgrund der hohen Strahlenbelastung und der Notwendigkeit zur Sedierung der Säuglinge zur Vermeidung von Bewegungsartefakten absolut kontraindiziert [7, 57, 90-93, 95]!

Zusammenfassend stellt die non-invasive 3D-Stereophotogrammetrie aufgrund der Möglichkeit zur dreidimensionalen Vermessung, der Aufnahmegeschwindigkeit, der Messgenauigkeit und der Reliabilität der Messergebnisse aktuell das Aufnahmeverfahren der Wahl zur Quantifizierung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien dar [47, 110-112].

1.2.3 Klassifikation des LP

Zur Klassifikation lagerungsbedingter Kopfasymmetrien wurden in der Literatur verschiedene Schemata beschrieben.

1.2.3.1 Klassifikation nach Moss

Im Jahre 1997 schlug Moss ein Klassifikationsschema vor, welches auch heute noch weit verbreitet angewendet wird. Bei diesem Schema werden zunächst der kleinste Schrägdurchmesser des Schädels auf der abgeflachten Seite und der größte Schrägdurchmesser auf der entgegengesetzten Seite des Schädels mittels Beckenzirkel auf der Horizontalebene gemessen. Die Differenz dieser beiden Diagonalen ist die sogenannte Cranial Vault Asymmetry (= CVA).

Diagonalendifferenzen von 12mm oder weniger gelten als leichte bis mäßige (mild-to-moderate) Asymmetrie, während bei Werten über 12mm eine mäßige bis starke (moderate-to-severe) Deformität vorliegt [32].

Etwa 9 Jahre später erweiterten Mortenson und Steinbok diese Schweregrad-Einteilung um eine weitere Kategorie: Säuglinge mit einer CVA < 3mm gelten als symmetrisch [73].

1.2.3.2 Klassifikation nach Loveday & de Chalain

Das Klassifikationsschema nach Loveday et al. aus dem Jahr 2001 stellt eine Überarbeitung der CVA nach Moss (1997) dar. Es werden allerdings nicht die kürzeste und die längste Diagonale gemessen, sondern die Diagonalen beider Schädelseiten, die in einem festen Winkel von 30° zur Median-Sagittalebene stehen. Zusätzlich wird die Längendifferenz dieser beiden Diagonalen in Relation zur größeren der beiden Diagonalen gesetzt (= die Diagonalendifferenz wird durch die Länge der größeren Diagonale dividiert) und mit 100 multipliziert. Hierdurch erhält man den sogenannten Cranial Vault Asymmetry Index (= CVAI)

$$CVAI = \frac{\text{größere Diagonale} - \text{kleinere Diagonale}}{\text{größere Diagonale}} * 100$$

Ein perfekt symmetrischer Kopf hat somit einen CVAI von 0%. Ein CVAI von >3,5% wird als signifikante Asymmetrie definiert [57].

Der Vorteil dieser relativen Angabe der Asymmetrie durch den CVAI im Vergleich zur absoluten Angabe der Asymmetrie beim CVA liegt darin, dass beim CVAI die Kopfgröße der Säuglinge berücksichtigt und somit die wahrgenommene Asymmetrie besser wiedergegeben wird. Hierdurch können die Asymmetrien verschiedener Säuglinge besser miteinander verglichen werden [57]. Allerdings reduziert sich im Verlauf des Wachstums durch die Größenzunahme des gesamten Kopfes der CVAI, sodass Vergleiche im longitudinalen Verlauf eingeschränkt sind [15].

1.2.3.3 Klassifikation nach Argenta et al.

Im Gegensatz zu den beiden bisher genannten quantitativen Klassifikationsschemata teilt die Klassifikation nach Argenta et al. die lagerungsbedingten Schädeldeformitäten qualitativ anhand klinischer Befunde in fünf verschiedene Typen ein. Diese fünf Typen sind als aufeinander aufbauende Schweregrade anzusehen, da mit jedem weiteren Typ auch weitere klinische Merkmale der lagerungsbedingten Asymmetrie auftreten [47].

Bei Typ 1 bezieht sich die Asymmetrie ausschließlich auf den posterioren Bereich des Schädels, variiert jedoch in ihrer Ausprägung.

Bei Typ 2 kommt es zusätzlich zur Hinterhauptsabflachung ipsilateral zu einer Verlagerung des Ohres nach anterior.

Typ 3 zeichnet sich durch eine parallelogrammartige Form des Schädels aus, die durch eine ipsilaterale Vorwölbung der Stirn in Kombination mit der ipsilateralen Abflachung des Hinterkopfes hervorgerufen wird. Die bei Typ 2 beschriebene ipsilaterale Vorverlagerung des Ohres bleibt dabei bestehen.

Tritt zu den erwähnten Charakteristika zusätzlich eine Gesichtsasymmetrie auf, so liegt ein Plagiozephalus des Typ 4 vor. Hervorgerufen wird diese durch Hyperplasien im Bereich des Jochbogens und überschüssiges Fettgewebe. Sie ist zwar hauptsächlich weichgeweblich bedingt, kann aber in ausgeprägten Fällen auch zu einer knöchernen Asymmetrie führen.

Bei Typ 5 der Klassifikation nach Argenta et al. liegt die schwerste Form eines LP vor. Neben den bereits erwähnten klinischen Merkmalen wird dieser Typ

entweder durch eine zusätzliche temporale Vorwölbung oder ein kompensatorisches Vertikalwachstum des Schädels charakterisiert.

Diese qualitative Einteilung der lagerungsbedingten Kopfasymmetrien erweist sich insbesondere im klinischen Alltag als sehr nützlich. Allerdings wird von manchen Autoren kritisiert, dass nicht jeder Patient mit einem LP die Typen exakt nach dem von Argenta et al. vorgeschlagenen Schema durchläuft. Auch sind Verlaufsbeurteilungen erschwert, da die Ausprägung bzw. das Ausmaß der einzelnen klinischen Merkmale nicht beurteilt wird [47, 92, 113].

1.3 Therapieformen

Für die Behandlung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien gibt es verschiedene Therapieoptionen. Im ersten Schritt sollten Elternberatungen zu prophylaktischen Maßnahmen sowie aktive Lagerungstherapien erfolgen. Bei Bewegungseinschränkungen sind physiotherapeutische und osteopathische Maßnahmen indiziert. Zeigen diese Therapieoptionen keine zeitnahe Verbesserung der Asymmetrie, so ist eine apparative Therapie mittels Kopforthese eine weitere Therapieoption [22, 85, 87, 89, 90, 114, 115]. Häufig sind auch Kombinationen der oben genannten Therapieformen sinnvoll. In der Literatur wird über den Nutzen und die Indikationen der einzelnen Therapieformen kontrovers diskutiert [12, 17, 32, 77, 99, 116-119]. Ebenfalls ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht eindeutig geklärt, inwiefern sich eine Asymmetrie mit fortschreitendem Alter selbstständig verwächst. Während Hutchison et al. der Ansicht sind, dass weniger stark ausgeprägte Kopfasymmetrien sich mit der Zeit verbessern [65], sind andere Autoren der Ansicht, dass sich auch im Langzeitverlauf unbehandelte Schädeldeformitäten nicht von selbst ausgleichen [39, 120]. Somit ist es besonders bei ausgeprägten Asymmetrien wichtig, eine adäquate Behandlung anzustreben.

1.3.1 Prävention durch Elternberatung

Besondere Aufmerksamkeit sollte der Prävention lagerungsbedingter Kopfanomalien geschenkt werden, da ein LP insbesondere durch eine

umfassende Aufklärung der Eltern häufig vermieden werden kann [3, 92, 121, 122]. Bei der Elternaufklärung ist es entscheidend, dass die Personen, die die meiste Zeit mit dem Kind verbringen, über die Entstehung der lagerungsbedingten Deformitäten und die Wichtigkeit der richtigen Lagerung unterrichtet werden. Dies können neben den Eltern auch Gesundheits- und Kinderpfleger oder Betreuer der Säuglinge sein [123, 124].

Grundsätzlich sollten die Säuglinge in Rückenlage möglichst regelmäßig die Lageposition des Kopfes verändern und nicht dauerhaft in einer Position verharren. Hierzu bietet es sich an, das Reizangebot für die Säuglinge regelmäßig zu verändern. Dies beinhaltet nicht nur eine wechselnde Kontaktaufnahme beim Spielen, sondern auch beim Halten und Füttern der Säuglinge. Auch eine Veränderung der Position des Kinderbettes kann dabei helfen, die Aufmerksamkeit der Säuglinge und somit die Lageposition auf dem Hinterkopf auf verschiedene Seiten zu lenken [91, 92, 122].

Zusätzlich wird zur Vorbeugung einer permanenten Rückenlagerung tagsüber empfohlen, die Säuglinge unter Beobachtung mehrfach täglich auf dem Bauch zu lagern. Diese sogenannte „Tummy Time“ sollte bereits ab dem ersten Tag 2 - 3x täglich für eine Dauer von 3 – 5 Minuten wiederholt werden und kann im Laufe der Zeit, wenn das Kind Begeisterung hierfür zeigt, erhöht werden [3, 121]. Durch diese Maßnahme verringert sich nicht nur der permanente Druck auf den Hinterkopf durch die Rückenlagerung, sondern es erfolgt auch eine Stärkung der Halsmuskulatur, die dem Säugling dabei hilft, den Kopf frühzeitig selbstständig sicher zu halten und zu drehen [97, 125]. Hierdurch konnte eine deutliche Reduktion der Prävalenz des LP beobachtet werden [126, 127].

1.3.2 Aktive Lagerungstherapie

Die aktive Lagerungstherapie stellt einen sehr einfachen und kostengünstigen, konservativen Therapieansatz zur Behandlung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien dar [68, 119]. Der Kopf des Säuglings wird bei der aktiven Lagerung während des Liegens oder Schlafens auf dem Rücken von den Eltern regelmäßig auf die nicht abgeflachte Seite des Hinterkopfes gedreht [49, 68].

Die Eltern können bereits frühzeitig mit der wechselseitigen Lagerung des Kopfes beginnen [126] und hierdurch häufig eine Normalisierung von moderat ausgeprägten Deformitäten erreichen [127]. Je früher mit der aktiven Lagerungstherapie begonnen wird, desto besser kann die Kopfasymmetrie der Säuglinge allein durch diese Therapiemethode ausgeglichen werden [128].

Im Kontext dieser aktiven Lagerungstherapie bewerten einige Autoren den Einsatz von zusätzlichen Lagerungshilfen wie beispielweise speziell geformter Kissen als sinnvoll [128, 129]. Allerdings raten die aktuellen Leitlinien explizit von diesen Lagerungshilfen ab, da das Kinderbett zur Prävention des plötzlichen Kindstodes frei von Kissen oder Decken sein sollte [2, 91, 130].

1.3.3 Physiotherapie

Wie bereits in Kapitel 1.1.2.2 gezeigt, stellen Einschränkungen der Kopfbeweglichkeit eine der Hauptursachen zur Entstehung eines LP dar. Diese meist muskulär bedingten Bewegungseinschränkungen können mittels Physiotherapie und / oder Osteopathie behandelt werden [12, 56, 127, 131]. Ziel dieser Therapieform ist es, die Halsmuskulatur zu stärken und mit aktiven Übungen Hilfestellungen zu geben, um motorische Meilensteine frühzeitig zu erreichen [125]. Insbesondere die passive Dehnung und Physiotherapie nach Bobath oder Vojta werden in der Literatur empfohlen [132].

Bezüglich des idealen Zeitpunktes für den Beginn physiotherapeutischer Behandlungen gibt es keine allgemeingültigen Angaben in der Literatur, allerdings empfehlen Steinberg et al. grundsätzlich einen frühzeitigen Therapiebeginn, besonders bei Vorliegen eines Torticollis. Die Autoren konnten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine ausgedehnte Deformität und das Scheitern der konservativen Therapie steigt, wenn ein Torticollis über den 6. Monat hinaus persistiert [125]. Daher sollten Bewegungseinschränkungen möglichst früh therapiert werden, damit diese nicht die Ausbildung oder die Progredienz einer lagerungsbedingten Asymmetrie begünstigen [133].

In der Literatur findet man unterschiedliche Aussagen bezüglich des Nutzens physiotherapeutischer Behandlungen. Flannery et al. bewerten den Nutzen

physiotherapeutischer Maßnahmen zur Behandlung des LP als ebenso effektiv wie die aktive Lagerung unter Zuhilfenahme von Lagerungskissen. Allerdings sollte die Physiotherapie bevorzugt werden, um nach den Empfehlungen der AAP eine sichere Schlafumgebung zu gewährleisten [91]. Bei Säuglingen ab einem Alter von mehr als sieben Wochen wird die Physiotherapie der alleinigen Lagerung sogar vorgezogen, um die Prävalenz des LP zu reduzieren [91].

Häufig werden physiotherapeutische Maßnahmen zur Behandlung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien insbesondere in Kombination mit anderen Therapieoptionen empfohlen. So konnte in Verbindung mit einer Lagerungs- oder Helmtherapie beispielsweise beobachtet werden, dass sich die Therapiedauer durch eine begleitende Physiotherapie verkürzt und bessere Ergebnisse insbesondere bei schwergradigen Ausprägungen eines LP erzielt werden können [26, 33, 91, 134]. Daher ist eine physiotherapeutische Behandlung bei allen lagerungsbedingten Schädelasymmetrien sinnvoll und sehr zu empfehlen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass sowohl die aktive Umlagerung als auch die Physiotherapie, kostengünstige und einfache Behandlungsmethoden zur Therapie lagerungsbedingter Kopfasymmetrien darstellen. Allerdings sind beide Therapieoptionen sehr zeitaufwendig und der Behandlungserfolg ist unter anderem von der Compliance der Eltern abhängig [7, 125].

1.3.4 Kopforthesentherapie

Eine weitere Therapieoption zur Behandlung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien stellt die Kopforthesentherapie dar, die erstmals 1979 von Clarren et al. beschrieben wurde [135]. Bei dieser Therapieform wird eine individuell angefertigte Kopforthese dazu verwendet, das weitere Wachstum des Säuglingsschädels gezielt zu steuern, sodass sich die bestehende Asymmetrie im Verlauf des weiteren Wachstums ausgleicht. Die sogenannten Helme liegen dabei an den prominenten Bereichen des Kopfes passiv an, wodurch an diesen Stellen das weitere Wachstum eher gehemmt wird. Gleichzeitig besteht an den abgeflachten Arealen ein Freiraum zwischen dem

Säuglingsschädel und der Kopforthese, sodass das weitere Wachstum sich besonders in diesen Arealen abspielt [6, 57, 71, 136].

Kopforthesen werden von verschiedenen Herstellern angeboten, wobei das Design meist sehr ähnlich und das grundsätzliche Funktionsprinzip gleich ist [12]. In den meisten Fällen bestehen die Helme aus thermoplastischen Kunststoffen, die mit einem hypoallergenen, medizinischen Schaum ausgekleidet sind [89, 115] und ein geringes Eigengewicht von etwa 150–180g aufweisen [137].

Im Verlauf der Therapie wird die Kopforthese im Rahmen der regelmäßigen Kontrolluntersuchungen durch individuelle Einschleifmaßnahmen an den Wachstumsverlauf angepasst [97, 138]. Wie bereits dargestellt kann durch die Ausnutzung des körpereigenen Wachstums eine Harmonisierung der Kopfform erreicht werden [139]. Die Dauer der Therapie ist maßgeblich vom Grad der Asymmetrie sowie dem Alter des Kindes bei Therapiebeginn abhängig. In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben bezüglich des idealen Alters für den Therapiebeginn, wobei meist ein Alter der Säuglinge zwischen zwei und sechs Monaten empfohlen wird (siehe Kapitel 1.4) [12, 17, 57, 68, 77, 106].

Auch bezüglich der täglichen Tragezeiten variieren die Angaben in der Literatur. Thompson et al. konnten bereits bei einer täglichen Tragedauer von etwa 12 Stunden einen positiven Effekt der Helmtherapie nachweisen, wobei jedoch bei längerer Tragezeit bessere Ergebnisse durch die Kopforthesentherapie erzielt werden konnten [83]. Allgemein wird von den meisten Autoren eine tägliche Tragedauer von 23 Stunden empfohlen [57, 68, 70]. Als Nebenwirkungen der Kopforthesentherapie werden Hautirritationen und Druckstellen beschrieben [71, 137, 140].

Bei Säuglingen mit schweren Formen lagerungsbedingter Kopfasymmetrien scheint die Kopforthesentherapie den anderen konservativen Therapieoptionen wie der aktiven Lagerung oder der Physiotherapie überlegen zu sein [12, 15, 17, 76, 97, 110, 117, 125, 141, 142]. Vor allem Säuglinge mit stark ausgeprägten Asymmetrien profitieren besonders von der Helmtherapie, da durch die Kopforthese eine deutlich bessere Korrektur der Kopfform im

Vergleich zu den anderen Therapiemethoden erreicht werden kann [83, 143]. Die Helmtherapie scheint sowohl effizienter als auch schneller als die Physio- oder Lagerungstherapie zu sein [57, 117, 125, 143].

Allerdings wird die Therapie mittels Koporthese von anderen Autoren kritisch hinterfragt. So finden sich in der Literatur ebenfalls Studien, die die Überlegenheit der Koporthesentherapie gegenüber den anderen Therapiemethoden in Frage stellen [32, 57, 90, 114, 144]. In diesem Zusammenhang ist vor allem die randomisierte und kontrollierte Untersuchung von van Wijk et al. zu diskutieren, die keinen zusätzlichen Nutzen der Koporthese im Vergleich zu andern konservativen Behandlungsmethoden nachweisen konnten [145]. Trotz der Randomisierung sind die Ergebnisse dieser Untersuchung jedoch sehr kritisch zu hinterfragen, da das Studiendesign mehrere methodische Einschränkungen aufweist: so wurden beispielsweise ausgeprägte Asymmetrien sowie Patienten mit einem muskulären Torticollis aus der Untersuchung ausgeschlossen. Allerdings profitiert genau diese Patientengruppe in besonderem Maße von der Helmtherapie. Somit kann die Aussage dieser Untersuchung, dass die Koporthesentherapie nur ähnliche Therapieergebnisse erzielen kann wie andere konservative Therapieoptionen, lediglich für moderate Kopfasymmetrien ohne Beteiligung eines muskulären Torticollis gelten [51].

Kritik wird gegenüber der Koporthesentherapie teilweise aufgrund der erhöhten Kosten geäußert – je nach Autoren schwanken die Angaben für die Kosten einer Koporthesentherapie zwischen 1000 bis 3000 US-Dollar [68, 126, 146, 147]. Diese Kosten werden meist nicht von den Krankenversicherungen übernommen [32, 68, 126, 146, 147]. Somit ist die Helmtherapie häufig Familien mit höherem Einkommen vorbehalten [126]. Zudem ist die Helmanfertigung nur durch wenige Spezialisten möglich [68], sodass je nach Wohnort möglicherweise längere Fahrtwege erforderlich sind und somit erhöhte Fahrtkosten sowie ein erheblicher zeitlicher Aufwand zu berücksichtigen sind [126].

Zusammenfassend gibt die Arbeitsgruppe um Steinberg et al. eine allgemeine Empfehlung bezüglich der Indikation zur Kopforthesentherapie [125]: jüngere Säuglinge mit einem Lebensalter von weniger als 6 Monaten und einer moderaten lagerungsbedingten Kopfasymmetrie (Diagonalendifferenz von weniger als 10mm) sollten zunächst mittels aktiver Lagerung sowie Physiotherapie behandelt werden [125]. Bei älteren Säuglingen, bei ausgeprägten Kopfasymmetrien, bei Vorliegen eines muskulären Torticollis sowie bei Säuglingen, bei denen eine bereits stattgefundene konservative Behandlung nicht zeitnah zu einer deutlichen Verbesserung der Asymmetrie geführt hat, sollte eine Kopforthesentherapie zur Behandlung der Kopfdeformität durchgeführt werden [6, 17, 91, 125, 141, 148].

1.3.5 Chirurgische Therapie

Für die chirurgische Korrektur einer lagerungsbedingten Schädeldeformität finden sich in der aktuellen Literatur kaum Indikationsstellungen [58, 77]. Als Ausnahme wurden Indikationsstellungen bei schweren progressiven Deformitäten, die sich resistent gegenüber nicht-chirurgischen Therapieoptionen zeigten, beschrieben [50, 85, 139]. Insgesamt ist jedoch die chirurgische Korrektur aus rein kosmetischen bzw. sozialen Überlegungen bei Säuglingen mit LP nicht indiziert [70, 92].

1.4 Einfluss des Alters bei Therapiebeginn auf den Therapieerfolg der Helmtherapie

Wie bereits geschildert ist die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Therapie lagerungsbedingter Kopfasymmetrien mittels Koporthese ein ausreichendes Restwachstum des Säuglingsschädels [136]. Die Grundlage des neurokraniellen Wachstums stellt das noch wachsende Gehirn dar, welches von der Geburt bis zum Alter von 6 Monaten etwa 200% wächst. In den darauffolgenden 24 Monaten erfolgt nur noch ein Wachstum von zusätzlich 50%. Bereits im Alter von zwei Jahren hat das das Schädelvolumen ungefähr 70% seiner endgültigen Größe erreicht [149]. Da sich das Hirnwachstum bereits

innerhalb des ersten Lebensjahres deutlich verlangsamt, muss folglich davon ausgegangen werden, dass sich die Korrekturmöglichkeiten lagerungsbedingter Asymmetrien mit zunehmendem Patientenalter verschlechtern [7, 38, 97, 118, 136, 150, 151].

Bezüglich des Einflusses des Alters bei Beginn einer Kopforthesentherapie auf den Therapieerfolg finden sich in der Literatur verschiedene Studien mit teilweise widersprüchlichen Ergebnissen [15, 17, 22, 57, 83-85, 87, 97, 100, 117, 136, 140, 152]. So konnte die Arbeitsgruppe um Teichgraeber et al. anhand von 111 Kindern mit LP keinen Einfluss des Alters bei Therapiebeginn auf das Therapieergebnis feststellen [87]. Diese Ergebnisse stehen allerdings im Widerspruch zu den meisten anderen Studien, die einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Alter bei Therapiebeginn und dem Behandlungserfolg nachweisen, wobei ein früher Therapiebeginn immer mit einem besseren Behandlungsergebnis einhergeht [17, 76, 83, 97, 136, 152, 153]. Je früher die Kopforthesentherapie gestartet wurde, desto besser waren die erzielten Ergebnisse und desto schneller wurden die Therapieziele erreicht [15, 17, 76, 84, 154]. Folglich führt ein verzögerter Therapiestart zu einer reduzierten Korrekturrate der Asymmetrie und einer verlängerten Therapiedauer [17, 83, 97]. Nach Kluba et al. ist der Zeitpunkt des Therapiebeginns der vermutlich wichtigste Einflussfaktor auf das Therapieergebnis [17].

Freudlsperger et al. konnten im Rahmen ihrer Untersuchungen zudem zeigen, dass neben dem Alter zu Therapiebeginn auch der Schweregrad der Asymmetrie vor Beginn der Therapie mittels Kopforthese einen entscheidenden Einfluss auf das Therapieergebnis zu haben scheint [76]. Insbesondere bei ausgeprägten Asymmetrien wird ein frühzeitiger Beginn der Kopforthesentherapie empfohlen [76, 91, 125].

Eine untere Altersgrenze für den Beginn einer Helmtherapie wird in der Literatur nicht genau definiert. Diesbezüglich empfehlen Mortenson et al. allerdings mit der Therapie erst dann zu beginnen, wenn der Säugling den Kopf selbst sicher und kontrolliert halten kann, also etwa ab dem 4. Lebensmonat [126]. Bezüglich

einer oberen Altersgrenze, ab der eine Kopforthesentherapie nicht mehr effektiv zur Reduktion der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie eingesetzt werden kann, gibt es keine einheitlichen Aussagen. Prinzipiell kann der Therapiestart bis zum Ende des ersten Lebensjahres erfolgen, jedoch möglicherweise unter Beeinträchtigung des Therapieerfolges [76, 91, 92, 125]. Nach dem 12. Lebensmonat scheint die Reduktion der Asymmetrie nicht mehr zufriedenstellend zu sein [57, 97, 136], wobei andere Autoren noch bis zum 15. Lebensmonat Verbesserungen der Kopfasymmetrien durch eine Helmtherapie nachweisen konnten [15]. Ab einem Alter von 18 Monaten scheint das Korrekturpotential der Kopforthese allerdings nahezu vollständig erschöpft zu sein [126]. Zudem sollte in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden, dass mit steigendem Alter der Patienten sich möglicherweise auch die notwendige Compliance einschränkt, sodass auch dieser Faktor zu einem reduzierten Behandlungserfolg beitragen kann [15].

1.5 Ziel der vorliegenden Untersuchung

Aufgrund der dargestellten Uneinigkeit bezüglich des Einflusses des Alters auf die Effektivität der Koporthesentherapie wurden folgende Fragestellungen definiert, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit analysiert und bewertet werden sollen:

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Alter zu Beginn einer Koporthesentherapie und der Reduktion der Asymmetrie bzw. der Therapiedauer?
- Beeinflusst der Asymmetriegrad zu Behandlungsbeginn das Ausmaß der Reduktion der Asymmetrie und die Therapiedauer?
- Kann (in Abhängigkeit des Alters bei Therapiebeginn bzw. in Abhängigkeit des Schweregrades der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie) mit Abschluss einer Koporthesentherapie eine Normalisierung der Messwerte erreicht werden?
- Kann das individuell zu erwartende Ausmaß der Reduktion der Asymmetrie, das durch die Koporthesentherapie erreicht werden kann, unter Berücksichtigung des Alters und der Ausgangsasymmetrie abgeschätzt werden?

2 Material und Methoden

Die Studie basierte auf einem prospektiven longitudinalen Studiendesign. Ein positives Votum der Ethikkommission des Universitätsklinikums Würzburg zur Durchführung der Studie lag vor. Die Erziehungsberechtigten erklärten ihre freiwillige Teilnahme an der Studie mittels schriftlicher Einverständniserklärung.

2.1 Patientenkohorte

2.1.1 Patientenakquise und Studienablauf

144 Patienten (35% weiblich, 65% männlich) mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus und Helmtherapie wurden in die Studie einbezogen. Die Eltern der Patienten suchten zur Behandlung der Kopfasymmetrie die Spezialsprechstunde des "Craniofacialen Centrums Würzburg" (CFCW) entweder selbstständig auf oder wurden durch Kinderärzte oder Physiotherapeuten zur Helmtherapie überwiesen.

Zunächst erfolgte bei allen Patienten ein klinischer und sonographischer Ausschluss einer prämaturnen Schädelnahtsynostose durch einen erfahrenen pädiatrischen Neurochirurgen. Anschließend wurde mittels non-invasiver Stereophotogrammetrie durch fünf zueinander synchronisierte Kameras eine dreidimensionale Aufnahme des Kopfes (entspricht Zeitpunkt T1) erstellt (3dMDhead System® - 3dMD LLC, Atlanta, Georgia, USA). Durch virtuelle Modellierung der angefertigten 3D-Datensätze wurde die therapeutische Zielform des Kopfes festgelegt und über ein CAD/CAM-Verfahren eine individuelle Kopforthese hergestellt (Cranioform®, Alpnach, Schweiz).

Nach einer Fertigungszeit von ca. 1 bis 2 Wochen erfolgte die Anpassung der Kopforthese. Die Eltern der Patienten wurden bei diesem Termin ausführlich über die Handhabung, die tägliche Tragedauer von 23 Stunden, die Reinigung von Kopfhaut und Helm sowie die möglichen Komplikationen, wie

beispielsweise Druckstellen oder dermatologische Unverträglichkeitsreaktionen, aufgeklärt.

Bei regelmäßigen 4 bis 5 wöchentlichen Kontrollterminen wurde die Kopforthese durch Einschleifmaßnahmen entsprechend der Wachstumsveränderungen angepasst. Der Therapieerfolg und damit das Therapieende wurden in Absprache zwischen Behandler und Eltern anhand der subjektiv empfundenen symmetrischen Kopfform definiert. Bei Therapieende wurde ein zweiter stereophotogrammetrischer Scan (entspricht Zeitpunkt T2) durchgeführt.

2.1.2 Einschlusskriterien

Für alle Patienten wurden folgende Einschlusskriterien definiert:

- eine kaukasische Herkunft,
- eine regelrechte Geburt zwischen der vollendeten 37. und 42. Schwangerschaftswoche,
- eine lagerungsbedingte Kopfasymmetrie mit einer Diagonalendifferenz (30°-CVA) von >3mm,
- eine gute Compliance während des gesamten Behandlungsverlaufes
- sowie eine abgeschlossene Helmtherapie mit einer Mindestbehandlungsdauer von 8 Wochen bei täglicher Tragezeit von 23 Stunden.

2.2 Methoden

2.2.1 3D-Stereophotogrammetrie

2.2.1.1 Aufnahme der Säuglingsschädel

Zur Quantifizierung der Kopfasymmetrie der Patienten wurden sowohl vor (= Zeitpunkt T1), als auch nach der Kopforthesentherapie (= Zeitpunkt T2)

mittels Stereophotogrammetrie dreidimensionale Datensätze der Säuglingsschädel generiert. Die erste stereophotogrammetrische Aufnahme diente zudem zur Herstellung der Kopforthese durch die Firma Cranioform® (Alpnach, Schweiz).

Hierzu wurde das 3dMDhead System (3dMD®, Atlanta, GA, USA) verwendet, welches zeitgleich durch fünf zueinander synchronisierte Kameras aus verschiedenen Raumrichtungen Fotos der Säuglingsschädel aufnimmt. Dieses Verfahren ist non-invasiv und aufgrund der kurzen Aufnahmezeit von etwa 1,5ms ideal für die Aufnahme der Säuglinge geeignet. Bewegungsartefakte können durch das gleichzeitige Auslösen aller Kameras in Kombination mit der kurzen Aufnahmezeit weitestgehend vermieden werden. Um Artefakte durch Reflexionen an den Haaren sicher vermeiden zu können, trugen die Säuglinge während der Aufnahmen dünne Nylonmützen. Die Kooperation der Säuglinge wurde durch Sichtkontakt zu den Eltern und deren Anwesenheit sichergestellt.

2.2.1.2 Aufbereitung der dreidimensionalen Datensätze

Aus den Aufnahmen der fünf Kameras wurde anschließend durch Triangulation ein virtuelles dreidimensionales Abbild der Säuglingsschädel errechnet. Diese Datensätze wurden im Anschluss daran in mehreren Schritten aufbereitet:

- alle für die Auswertung nicht benötigten Areale (z.B.: Bereiche unterhalb des Halses) wurden entfernt
- kleinere oberflächliche Artefakte durch Reflexionen wurden entfernt
- kleinere Löcher in der Datensatzoberfläche wurden durch Interpolation geschlossen

Die aufbereiteten Datensätze wurden nachfolgend in das 3D-Datenformat „-.stl“ konvertiert.

Abbildung 1 zeigt den Ablauf der Datensatzaufbereitung für die weiteren Analysen.

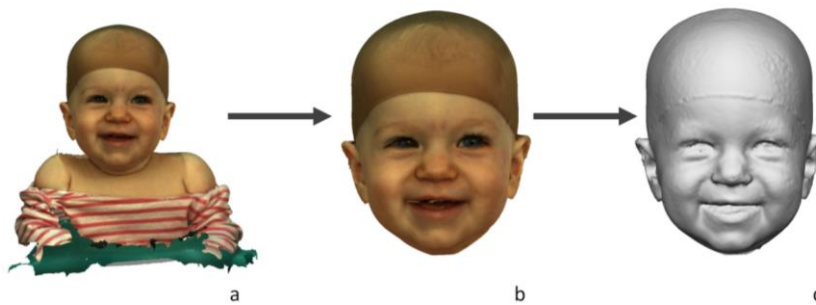


Abbildung 1: Aufbereitung der stereophotogrammetrischen 3D-Datensätze.

- a) Ausgangsdatensatz aus dem 3dMDhead System;
- b) Entfernung aller für die Analyse nicht erforderlichen Areale;
- c) Aufbereiteter Datensatz nach Entfernung der oberflächlichen Artefakte und Reflexionen sowie Verschluss kleinerer oberflächlicher Löcher durch Interpolation. Durch die Konvertierung in eine „-.stl“-Datei gehen zudem die für die Analyse nicht erforderlichen Farbtexturen verloren (eigene Abbildung).

Im Anschluss wurden die fertig bearbeiteten Datensätze mit Hilfe der 3D-Software Cranioform Analytics® 4.0 (Cranioform®, Alpnach, Schweiz) ausgewertet.

2.2.2 Auswertung der 3D-Datensätze

2.2.2.1 Allgemeine Grundlagen

Für longitudinale Vergleiche ist eine reproduzierbare Ausrichtung der 3D-Datensätze erforderlich. Dies stellt die Voraussetzung dar, um die Analyseparameter zwischen zwei verschiedenen Aufnahmen vergleichbar und reproduzierbar bestimmen und visuelle Überlagerungen von verschiedenen Untersuchungszeitpunkten durchführen zu können (Abbildung 2).

Bei der longitudinalen Auswertung der 3D-Datensätze der Säuglingsköpfe ergibt sich eine besondere Herausforderung, da sich zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten alle Oberflächenpunkte durch das Wachstum der Säuglinge verändern, jedoch aufgrund der non-invasiven Aufnahmetechnik der Stereophotogrammetrie ausschließlich Oberflächenpunkte zur Verfügung stehen.



Abbildung 2: Überlagerung der 3D-Datensätze eines Patienten mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus. Der solide dargestellte Datensatz entspricht der Kopfform vor Beginn der Kopforthesentherapie, der transparent dargestellte (größere) Datensatz entspricht der Kopfform nach erfolgreich durchgeführter Kopforthesentherapie (eigene Abbildung).

2.2.2.2 Dreidimensionale Orientierung der Datensätze

Zur Lösung dieses Problems mussten daher die Datensätze anhand eines Koordinatensystems ausgerichtet werden. Mit Hilfe von vier reproduzierbaren Punkten an der Schädeloberfläche wurde ein dreidimensionales Koordinatensystem mit Ursprung im Bereich der Schädelbasis definiert.

Folgende vier Oberflächenpunkte wurden zur Erstellung des Koordinatensystems verwendet (Abbildung 3):

- Traguspunkt rechts (TrR) und links (TrL): anteriorster Punkt des Gehörganges auf beiden Seiten
- Nasionpunkt (N): posteriorster Punkt der Weichteilkontur im Bereich der Nasenwurzel (Median-Sagittal-Ebene)
- Subnasalpunkt (Sn): Übergang von der Oberlippe zur Columella (Median-Sagittal-Ebene)

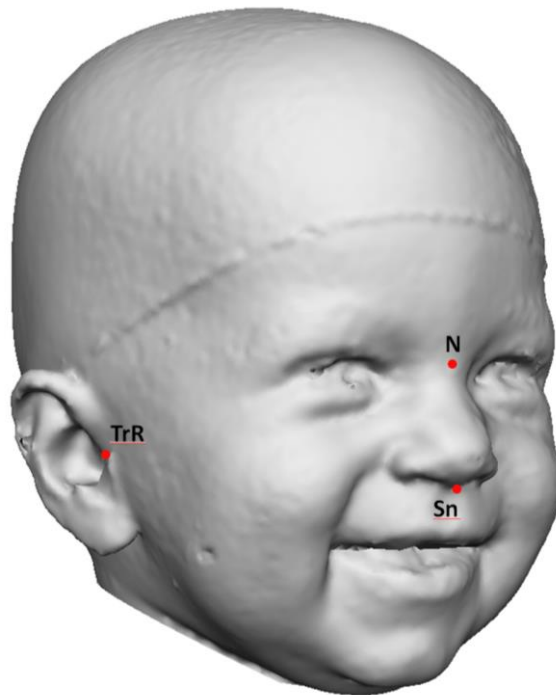


Abbildung 3: Darstellung der für die Erstellung des Koordinatensystems notwendigen Punkte auf der Oberfläche des 3D-Datensatzes eines Säuglingskopfes (eigene Abbildung).

Mithilfe dieser Oberflächenpunkte konnte das Koordinatensystem gemäß folgender Konstruktion erstellt werden (Abbildung 4):

- (1) Der Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen rechtem und linkem Traguspunkt (TrR und TrL) wird als Mittelpunkt M des Koordinatensystems definiert.
- (2) Die Verbindung von Punkt M und dem Punkt N definiert die Y-Achse des Koordinatensystems.
- (3) Durch die Punkte M, N und Sn wird eine Ebene aufgestellt, deren Normalvektor im Punkt M die X-Achse des Koordinatensystems darstellt.
- (4) Die Z-Achse steht senkrecht auf der X-Achse und der Y-Achse und verläuft ebenfalls durch den Mittelpunkt M.

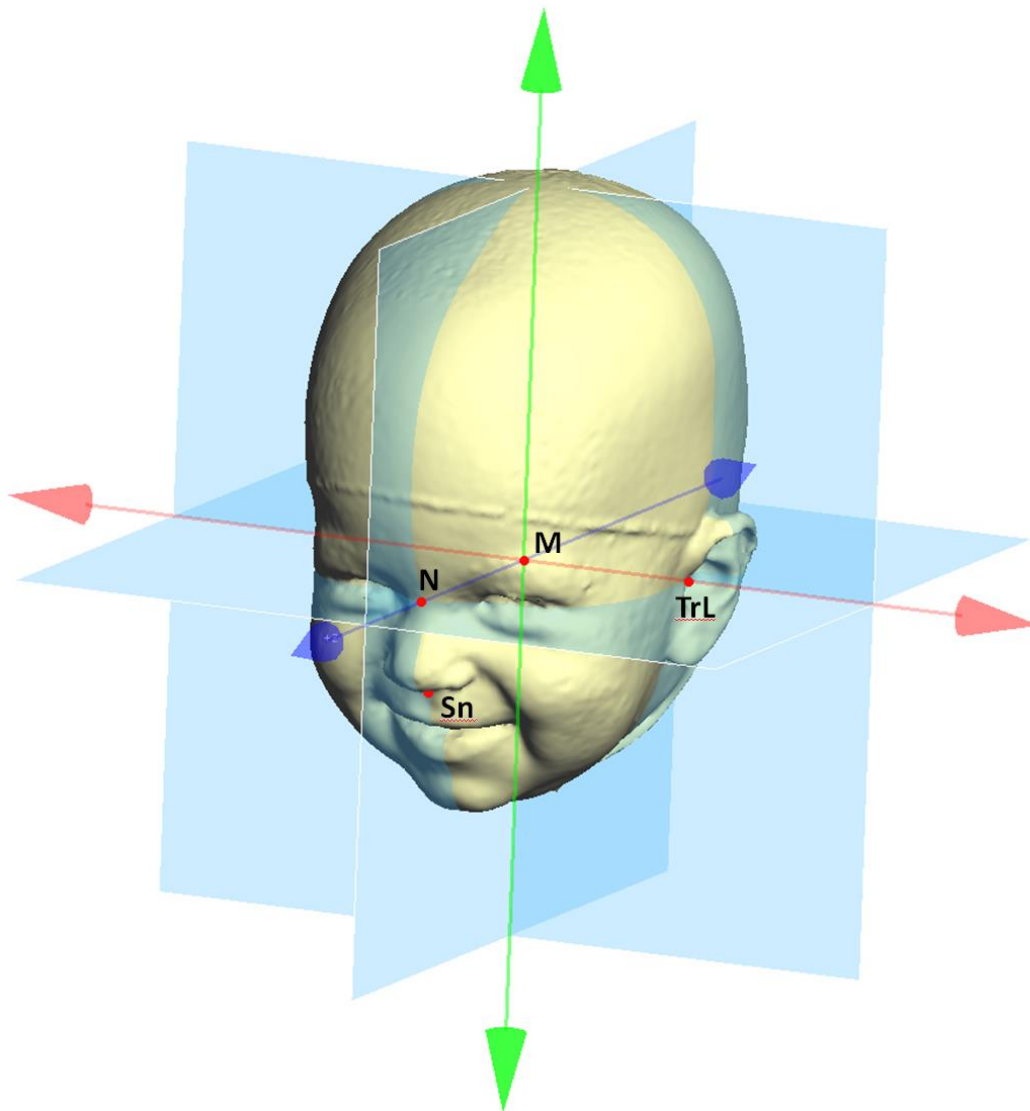


Abbildung 4: Darstellung des Koordinatensystems zur reproduzierbaren Ausrichtung der Datensätze der Säuglingsköpfe. Ansicht von schräg lateral (eigene Abbildung).

2.2.2.3 Definition der Analyseparameter

Neben den Grundebenen des Koordinatensystems musste für die Analyse einzelner Parameter eine zusätzliche Ebene definiert werden. Diese sogenannte Messebene wurde durch Parallelverschiebung der XY-Ebene des Koordinatensystems bis auf die Höhe der maximalen anterior-posterioren Ausdehnung des Säuglingsschädels konstruiert. Dies ist zweidimensional in Abbildung 5 und dreidimensional in Abbildung 6 dargestellt.

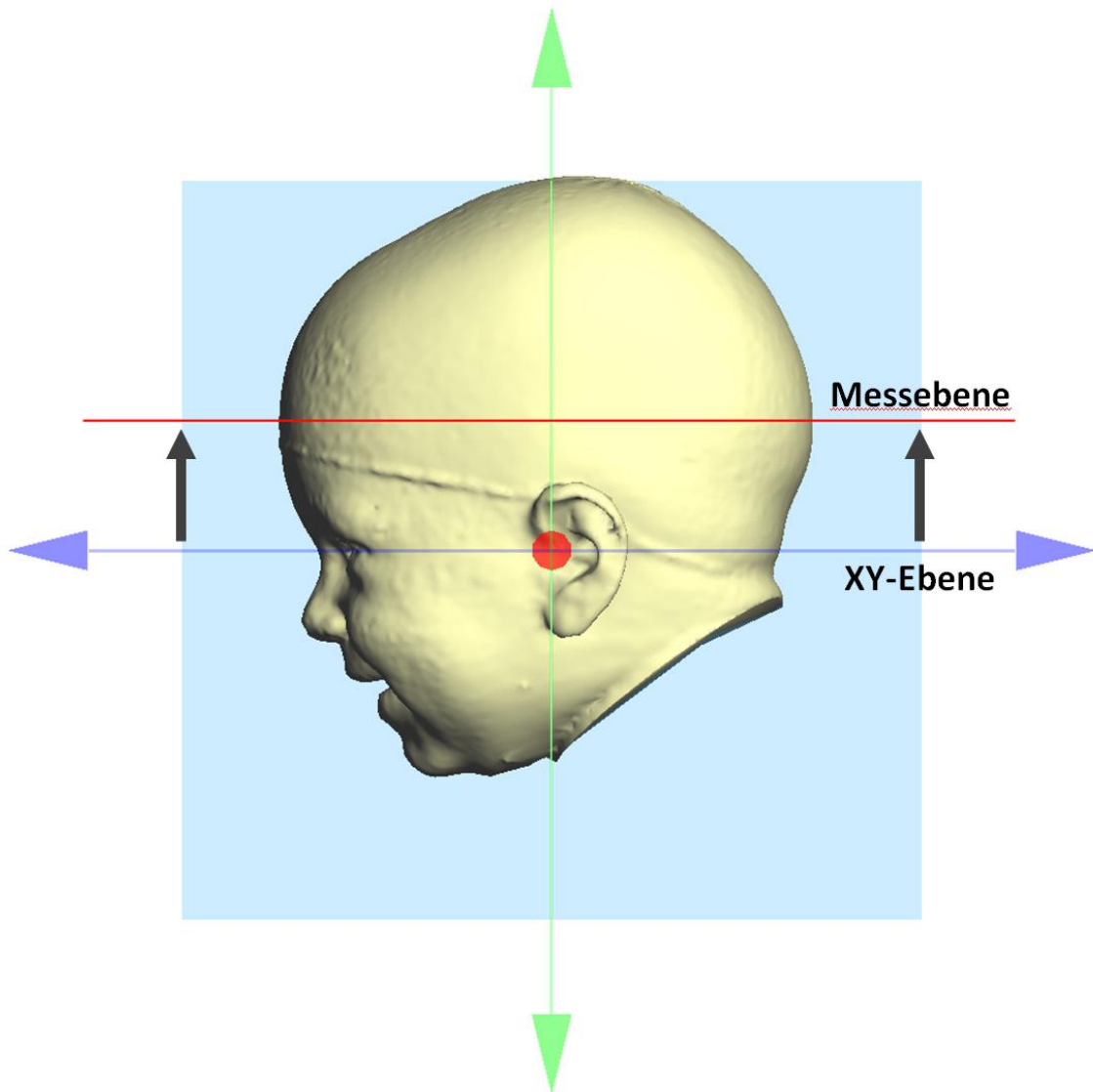


Abbildung 5: Konstruktion der Messebene durch Parallelverschiebung der XY-Ebene nach kranial bis zur Höhe der maximalen anterior-posterioren Ausdehnung. 2D-Ansicht von lateral links (eigene Abbildung).

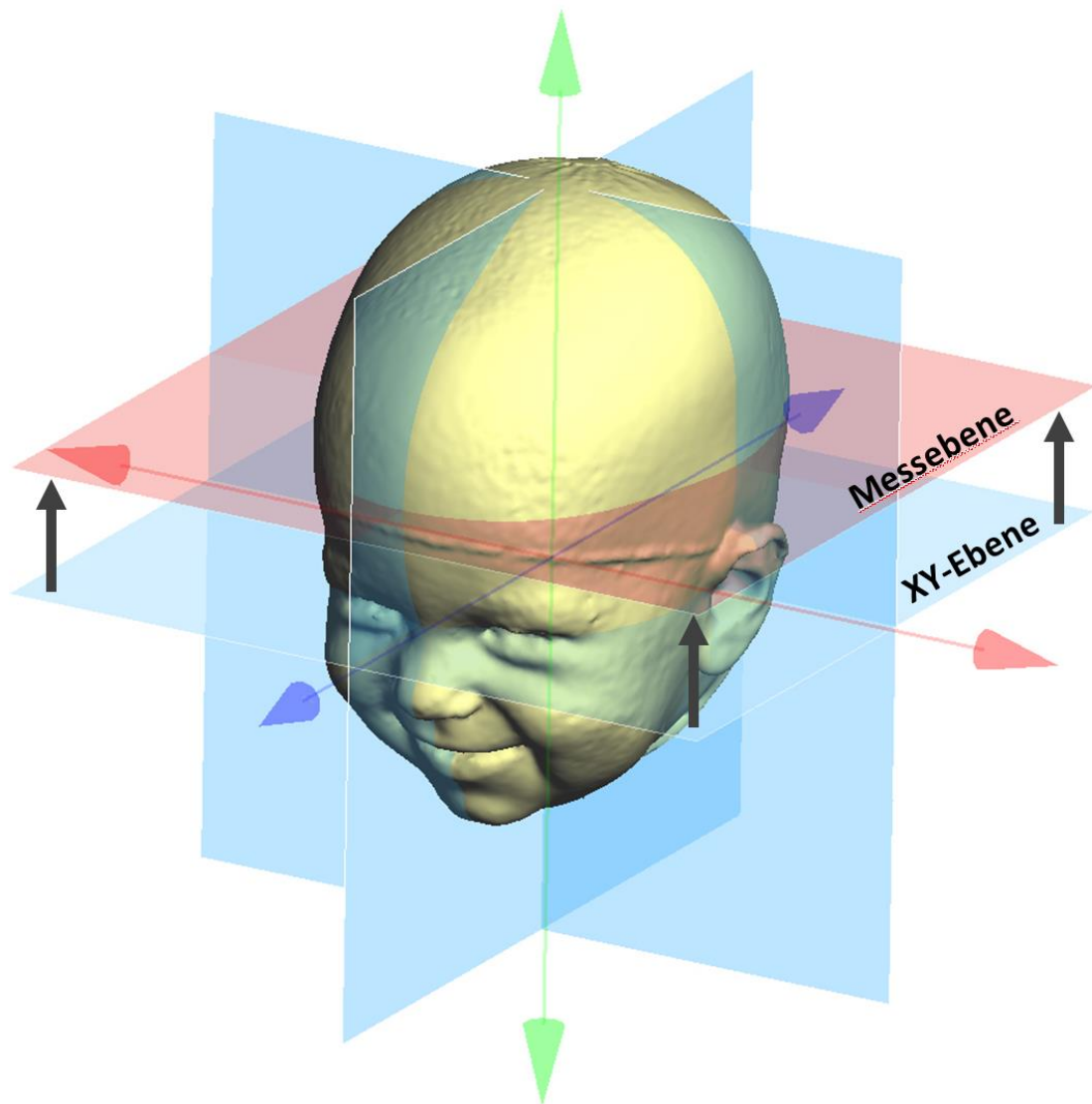


Abbildung 6: Konstruktion der Messebene durch Parallelverschiebung der XY-Ebene nach kranial bis zur Höhe der maximalen anterior-posterioren Ausdehnung. 3D-Ansicht von schräg lateral (eigene Abbildung).

Zudem unterteilen die Grundebenen des Koordinatensystems (XY-Ebene, XZ-Ebene, YZ-Ebene) das Volumen des Säuglingsschädels in vier Volumenquadranten, welche ebenfalls für die Analyse der Asymmetrie der Säuglingsschädel verwendet wurden (Abbildung 7).

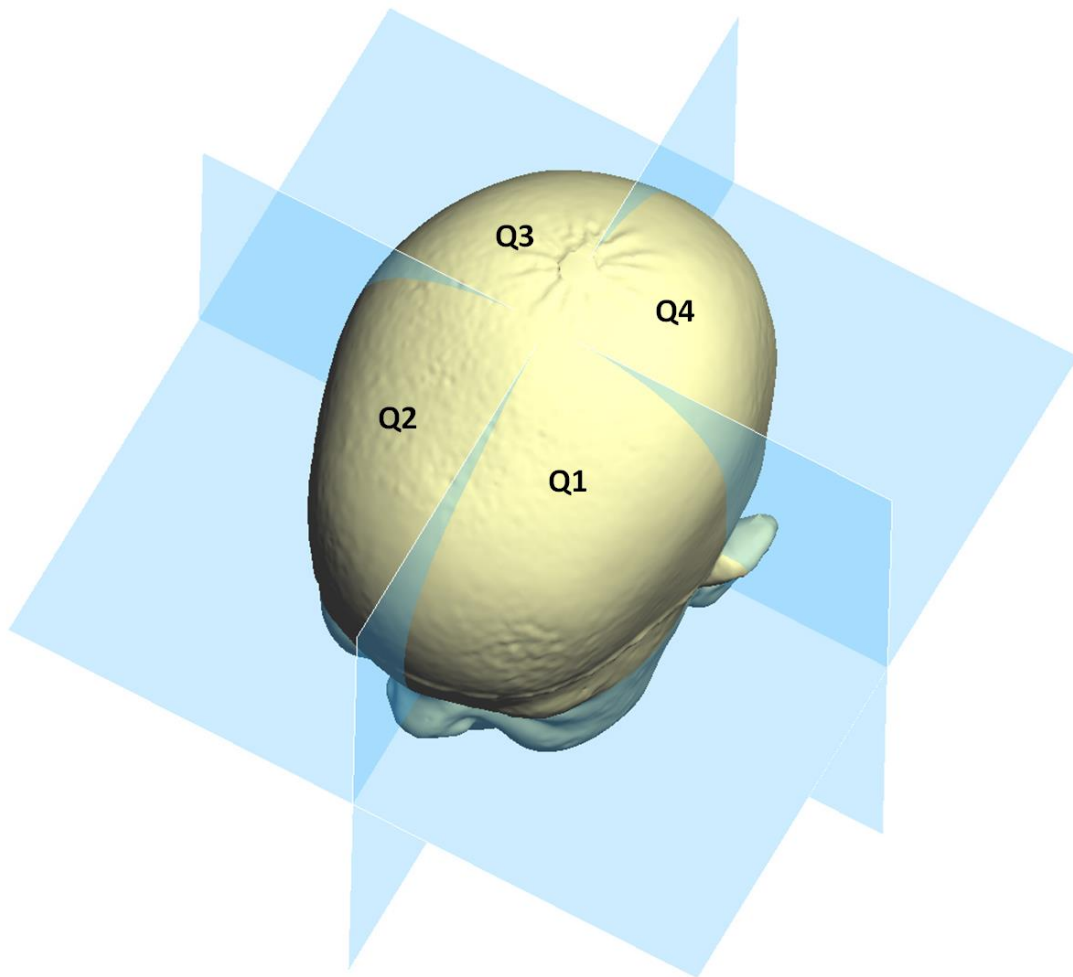


Abbildung 7: Unterteilung des Säuglingsschädels in vier Volumenquadranten (Q1 – Q4).
Ansicht von schräg lateral und kranial (eigene Abbildung).

Die dreidimensionale Analyse der Datensätze erfolgte anhand von insgesamt vier symmetriebezogenen Variablen, die mit Hilfe der oben dargestellten Bezugsebenen ermittelt werden können.

Die Definitionen dieser vier Variablen werden in Tabelle 1 erläutert.

Tabelle 1: Definition der Analyseparameter

Variable	Einheit	Definition
30°- CVA	mm	= 30°-Cranial-Vault-Asymmetry / 30°-Diagonalendifferenz Differenz der metrischen Längen der beiden Diagonalen auf Höhe der Messebene, die im 30°-Winkel zur Y-Achse stehen → absolute metrische Variable der Asymmetrie
30°- CVAI	%	= 30°-Cranial-Vault-Asymmetry-Index 30°-CVA in Relation zur Länge der längeren 30°-Diagonale → relative Variable der Asymmetrie
ACAI	%	= Anterior-Cranial-Asymmetry-Index Vergleich der vorderen Volumenquadranten: $\frac{(\text{größeres vorderes Volumen} - \text{kleineres vorderes Volumen}) * 100}{\text{kleineres vorderes Volumen}}$
PCAI	%	= Posterior-Cranial-Asymmetry-Index Vergleich der hinteren Volumenquadranten: $\frac{(\text{größeres hinteres Volumen} - \text{kleineres hinteres Volumen}) * 100}{\text{kleineres hinteres Volumen}}$

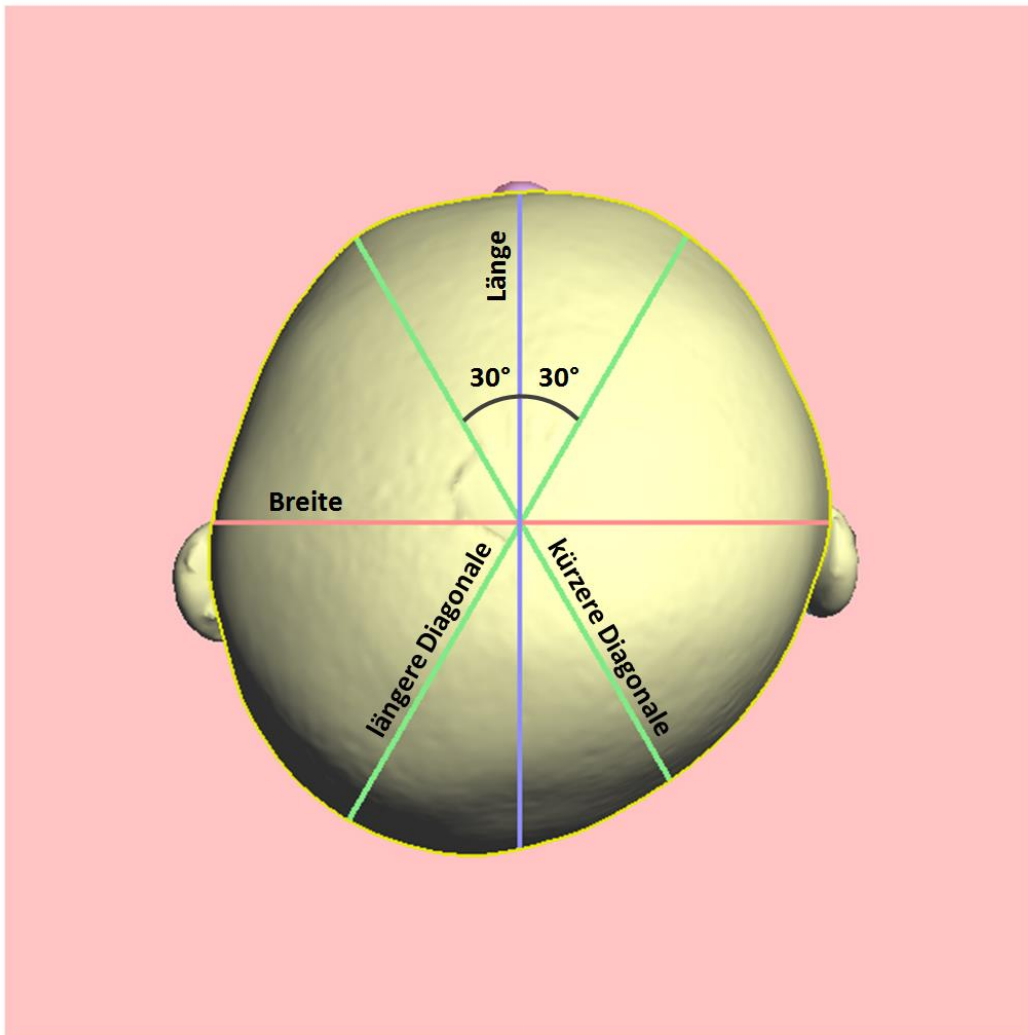


Abbildung 8: Darstellung der Analyse des 30°-CVA und des 30°-CVAI am Beispiel eines Patienten mit rechtsseitigem LP (eigene Abbildung).

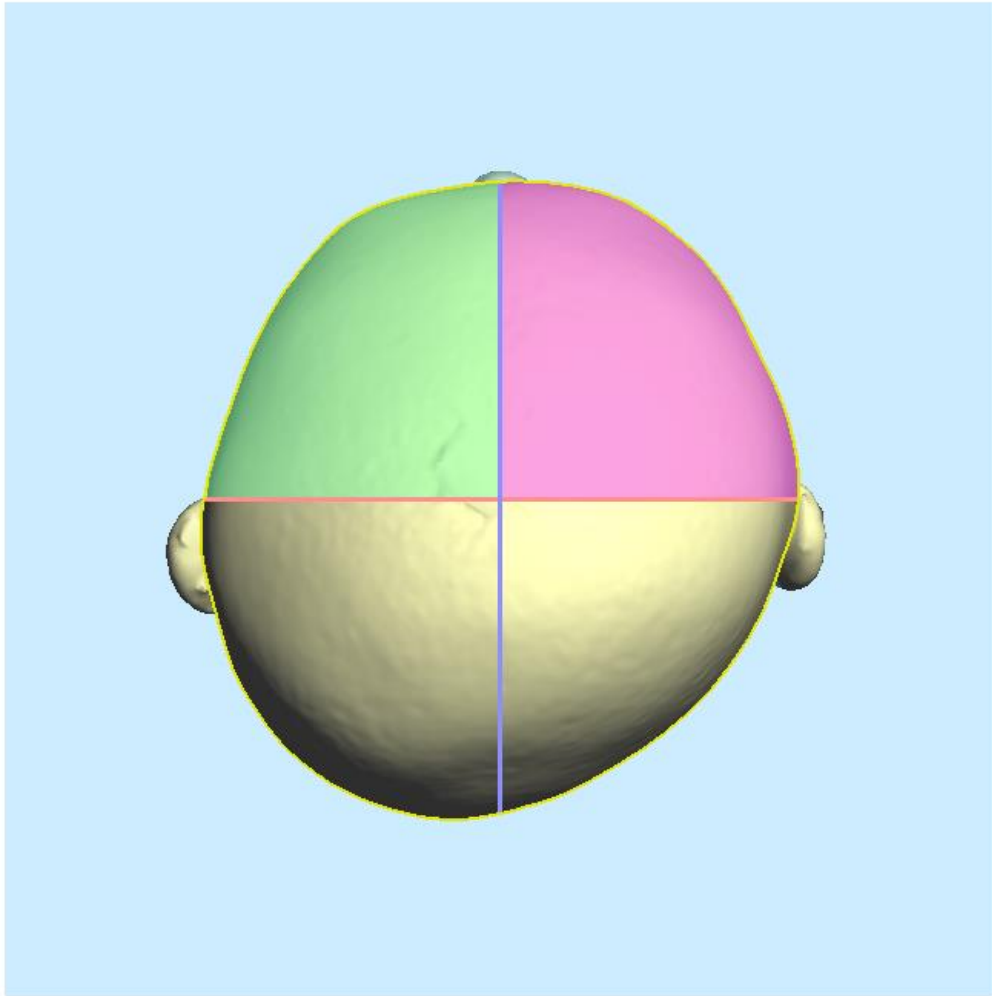


Abbildung 9: Darstellung der Analyse des ACAI. Die Volumina der beiden vorderen Volumenquadranten (farblich hervorgehoben) werden hierbei miteinander verglichen (eigene Abbildung).

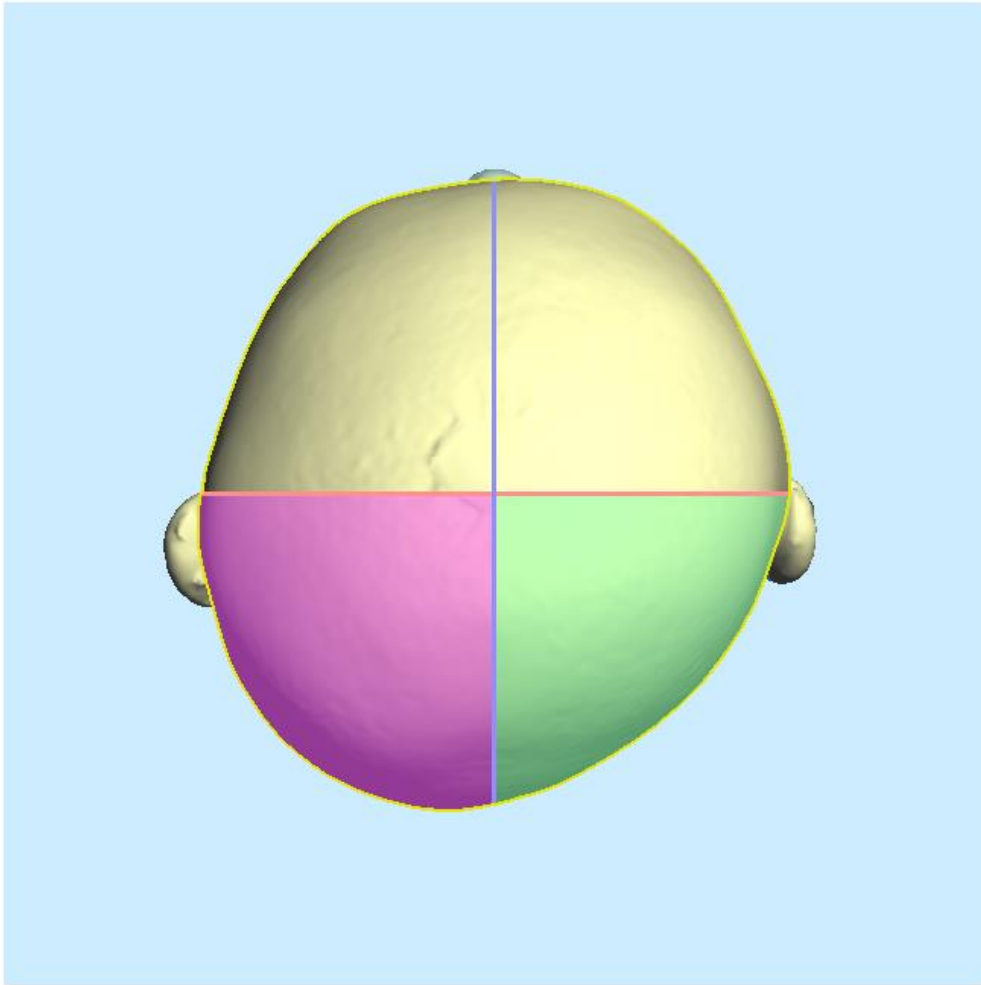


Abbildung 10: Darstellung der Analyse des PCAI. Die Volumina der beiden hinteren Volumenquadranten (farblich hervorgehoben) werden hierbei miteinander verglichen (eigene Abbildung).

2.2.3 Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen

Nach der Auswertung aller Datensätze wurde die Patientenkohorte zur Beantwortung der obigen Fragenstellungen in Subgruppen unterteilt. Zunächst wurde die Patientengruppe anhand des Alters bei Therapiebeginn in drei Altersgruppen eingeteilt:

- Altersgruppe I: < 24 Wochen (38 Säuglinge)
- Altersgruppe II: ≥ 24 bis < 32 Wochen (79 Säuglinge)
- Altersgruppe III: ≥ 32 Wochen (27 Säuglinge)

In einem weiteren Schritt wurden diese Altersgruppen wiederum weiter entsprechend der Ausprägung der lagerungsbedingten Asymmetrie zu Beginn der Behandlung unterteilt. Hierbei erfolgte die Einteilung entsprechend des Klassifikationsschemas von Moss (1997) in zwei Subgruppen:

- Schweregrad I (mild-to-moderate): 30° -CVA $>3\text{mm}$ bis $<12\text{mm}$
- Schweregrad II (moderate-to-severe): 30° -CVA $\geq 12\text{mm}$

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die Einteilung der Patientenkohorte in die Subgruppen.

Tabelle 2: Übersicht über die Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen

	Einteilung in Altersgruppen	Einteilung in Schweregrade
Patientenkohorte (144 Patienten)	Altersgruppe I (38 Patienten)	mild-to-moderate (18 Patienten)
		moderate-to-severe (20 Patienten)
	Altersgruppe II (79 Patienten)	mild-to-moderate (39 Patienten)
		moderate-to-severe (40 Patienten)
	Altersgruppe III (27 Patienten)	mild-to-moderate (13 Patienten)
		moderate-to-severe (14 Patienten)

2.2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit der Software IBM®, SPSS®, Statistics Version 22.0 für Windows (IBM, Ehningen, Deutschland).

Zur Ermittlung der Reliabilität der Messgenauigkeit (Intrarater-Reliabilität) wurden 50 zufällig ausgewählte 3D-Datensätze zu zwei Zeitpunkten vom selben Untersucher erneut vermessen. Die Retest-Reliabilität wurde mit der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson berechnet.

Aufgrund der Stichprobengröße wurde von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen und es wurden parametrische Analyseverfahren verwendet. Der Levene-Test zeigte sich nicht signifikant, weswegen von Varianzhomogenität ausgegangen werden konnte. Zur Untersuchung spezifischer Subgruppen-

Effekte wurden aufgrund fehlender Normalverteilungsannahme non-parametrische Verfahren angewendet.

Zunächst wurde mittels einfaktorieller ANOVA geprüft, ob zum Zeitpunkt T1 signifikante Gruppenunterschiede hinsichtlich der symmetriebezogenen Variablen vorliegen. Anschließend wurde geprüft, ob sich die symmetriebezogenen Parameter (30°-CVA, 30°-CVAI, ACAI, PCAI) von Zeitpunkt T1 zu T2 signifikant verändern. Dieser Mittelwertvergleich der vier symmetriebezogenen Parameter erfolgte für jede Altersgruppe mittels T-Tests (zweiseitig) für verbundene Stichproben. Zusätzlich wurde im Rahmen einer ANOVA geprüft, ob altersgruppenspezifische Unterschiede hinsichtlich (1) der Veränderung der symmetriebezogenen Parameter ($\Delta T1-T2$) sowie (2) der durchschnittlichen Behandlungsdauer, existieren. Die Post-hoc-Analyse erfolgte nach der Scheffé-Prozedur.

In einem weiteren Schritt wurden Subgruppeneffekte (Schweregrad I und II) innerhalb der einzelnen Altersgruppen untersucht. Aufgrund von Subgruppen mit $N < 30$ wurde mittels Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben als non-parametrisches Verfahren geprüft, ob sich die Subgruppen in Hinblick auf Therapiedauer und Therapieergebnis (30°-CVA, 30°-CVAI, ACAI, PCAI) voneinander unterscheiden.

Mittels multipler Regressionsanalyse wurde zusätzlich der Einfluss des Alters bei Therapiebeginn sowie das Ausmaß der Asymmetrie (30°-CVA) zum Zeitpunkt T1 auf die Reduktion des 30°-CVA (= Kriterium) untersucht.

Das gewählte Signifikanzniveau betrug für alle Verfahren 5 %.

3 Ergebnisse

3.1 Reliabilität der Messmethode

Die Reliabilität der Messgenauigkeit war für alle untersuchten Parameter sehr hoch. Daher ist davon auszugehen, dass die Fehler des Analyseverfahrens für die klinische Auswertung als irrelevant einzustufen sind. Die detaillierten Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson zur Überprüfung der Intrarater-Reliabilität sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Überprüfung der Intrarater-Reliabilität.
Fallzahl $N = 50$.

Variable	Pearson-Korrelation	p
30°-CVA	.990	.000**
30°-CVAI	.987	.000**
ACAI	.790	.000**
PCAI	.951	.000**

Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson.

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

3.2 Deskriptive Ergebnisse

Das Durchschnittsalter der 144 Patienten mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus und Helmtherapie betrug zu Therapiebeginn 27.1 ($SD = 6.1$; range: 14.1 - 44.0) Wochen. Bei 38 Patienten wurde die Therapie bis zu der 24. Lebenswoche begonnen (Altersgruppe I: $M = 19.9$; $SD = 2.9$ Wochen; range: 14.1 - 23.9 Wochen), bei 79 Patienten ab der 24. und bis zur 32. Lebenswoche (Altersgruppe II: $M = 27.3$; $SD = 2.3$; range: 24.0 - 31.9) und bei 27 Patienten wurde ab der 32. Lebenswoche begonnen (Altersgruppe III: $M = 36.4$, $SD = 3.5$; range: 32.0 – 44.0) (Abbildung 11).

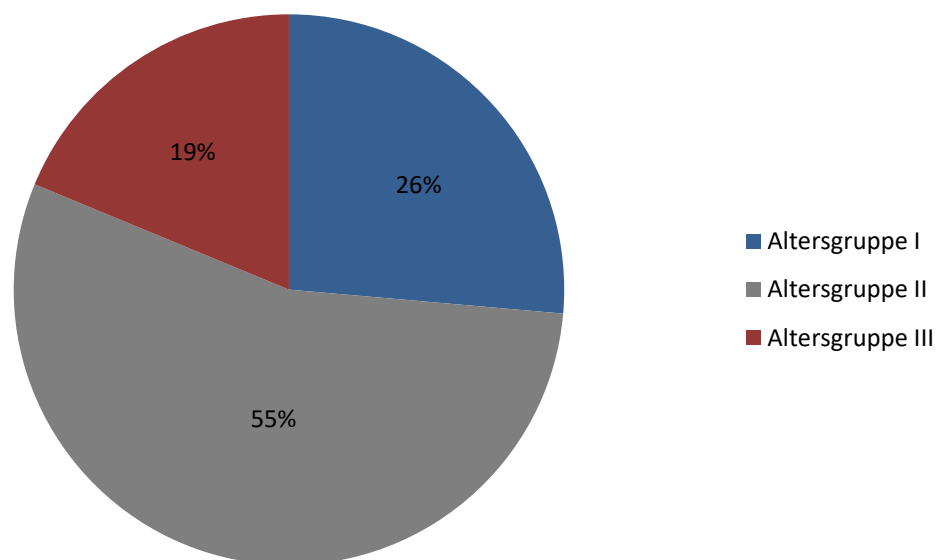


Abbildung 11: Verteilung der Patienten auf die drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).

3.3 Haupterkenntnisse

3.3.1 Symmetrieparameter

Zu Beginn der Koporthesentherapie konnte bei keinem der vier symmetriebezogenen Analyseparameter ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Altersgruppen gefunden werden (alle $p > .306$).

Vergleicht man die symmetriebezogenen Parameter zu den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Altersgruppen, so zeigt sich eine signifikante Reduktion der Asymmetrie bei allen symmetriebezogenen Parametern ($p \leq .004$) (Siehe Tabelle 4, Tabelle 5 und Tabelle 6).

Tabelle 4: Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe I ($N = 38$).

Variable	Einheit	T1		T2		Δ T1-T2			
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Δ	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
30°-CVA	mm	11.55	3.79	4.37	2.90	7.18	13.90	37	.000**
30°-CVAI	%	8.80	2.92	3.00	1.98	5.80	14.66	37	.000**
ACAI	%	5.16	3.69	2.09	3.07	3.07	5.32	37	.004**
PCAI	%	23.79	7.63	6.61	6.95	17.18	18.02	37	.000**

T-Test für verbundene Stichproben. Mittelwert (*M*), Standardabweichung (*SD*), *t*-Wert (*t*), Freiheitsgrade (*df*) und *p*-Wert (*p*).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Tabelle 5: Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe II ($N = 79$).

		T1		T2		Δ T1-T2			
Variable	Einheit	M	SD	M	SD	Δ	t	df	p
30°-CVA	mm	11.68	3.27	5.43	2.85	6.25	21.63	78	.000**
30°-CVAI	%	8.57	2.48	3.67	1.94	4.90	22.25	78	.000**
ACAI	%	5.78	3.20	2.52	3.88	3.26	8.38	78	.000**
PCAI	%	21.17	9.02	9.32	6.58	11.85	15.35	78	.000**

T-Test für verbundene Stichproben. Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), t -Wert (t), Freiheitsgrade (df) und p -Wert (p).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Tabelle 6: Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe III ($N = 27$).

		T1		T2		Δ T1-T2			
Variable	Einheit	M	SD	M	SD	Δ	t	df	p
30°-CVA	mm	12.44	3.70	7.26	2.97	5.18	9.91	26	.000**
30°-CVAI	%	8.84	2.69	4.79	1.95	4.05	10.22	26	.000**
ACAI	%	5.26	3.28	3.49	2.59	1.77	4.09	26	.000**
PCAI	%	21.79	8.79	11.64	5.80	10.15	8.58	26	.000**

T-Test für verbundene Stichproben. Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), t -Wert (t), Freiheitsgrade (df) und p -Wert (p).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Vergleicht man die einzelnen Altersgruppen bezüglich der jeweiligen Veränderungen der symmetriebezogenen Variablen ($\Delta T1-T2$), konnten folgende Gruppenunterschiede beobachtet werden (siehe Tabelle 7 und Tabelle 8 sowie Abbildung 12): Mit Ausnahme des ACAI existieren für alle untersuchten Variablen signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Die Post-Hoc-Analysen zeigten zwischen den Altersgruppen I und II sowie zwischen II und III keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Parameter 30° -CVA und 30° -CVAI, jedoch zwischen der Altersgruppe I und III (30° -CVA: $p = .018$; 30° -CVAI: $p = .005$). Außerdem ist die Reduktion des PCAI zwischen Altersgruppe I und II ($p < .001$) sowie zwischen Altersgruppe I und III ($p < .001$) signifikant, jedoch nicht zwischen Altersgruppe II und III.

3.3.2 Behandlungsdauer

Die durchschnittliche Behandlungszeit des Gesamtkollektivs betrug 20.6 Wochen ($SD = 6.4$, range: 8.3 – 40.1), wobei zwischen den einzelnen Altersgruppen mit steigendem Alter eine Verlängerung der Behandlungszeit beobachtet werden konnte. So wies Altersgruppe I eine durchschnittliche Behandlungszeit von 18.6 ($SD = 5.3$) Wochen, Altersgruppe II von 20.0 ($SD = 5.7$) Wochen und Altersgruppe III von 25.3 ($SD = 7.6$) Wochen auf. Der Unterschied ist sowohl zwischen Altersgruppe I und III ($p < .001$) als auch zwischen Altersgruppe II und III ($p = .001$) signifikant, nicht jedoch zwischen Altersgruppe I und II (siehe Tabelle 7 und Tabelle 8 sowie Abbildung 12).

Tabelle 7: Dauer der Behandlung sowie die Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen.

		<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Behandlungsdauer		10.78	2, 141	.000**
30°-CVA	Δ T1 - T2	4.13	2, 141	.018*
30°-CVAI	Δ T1 - T2	5.54	2, 141	.005**
ACAI	Δ T1 - T2	2.10	2, 141	.126
PCAI	Δ T1 - T2	11.71	2, 141	.000**

Varianzanalyse (ANOVA). *F*-Wert (*F*), Freiheitsgrade (*df*) und *p*-Wert (*p*).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Tabelle 8: Dauer der Behandlung sowie die Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen.

		Altersgruppe I vs. Altersgruppe II	Altersgruppe I vs. Altersgruppe III	Altersgruppe II vs. Altersgruppe III
		<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
Behandlungsdauer		.502	.000**	.001**
30°-CVA	Δ T1 - T2	.238	.018*	.228
30°-CVAI	Δ T1 - T2	.104	.005**	.195
ACAI	Δ T1 - T2	.956	.299	.131
PCAI	Δ T1 - T2	.000**	.000**	.503

Scheffé post-hoc Test.

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

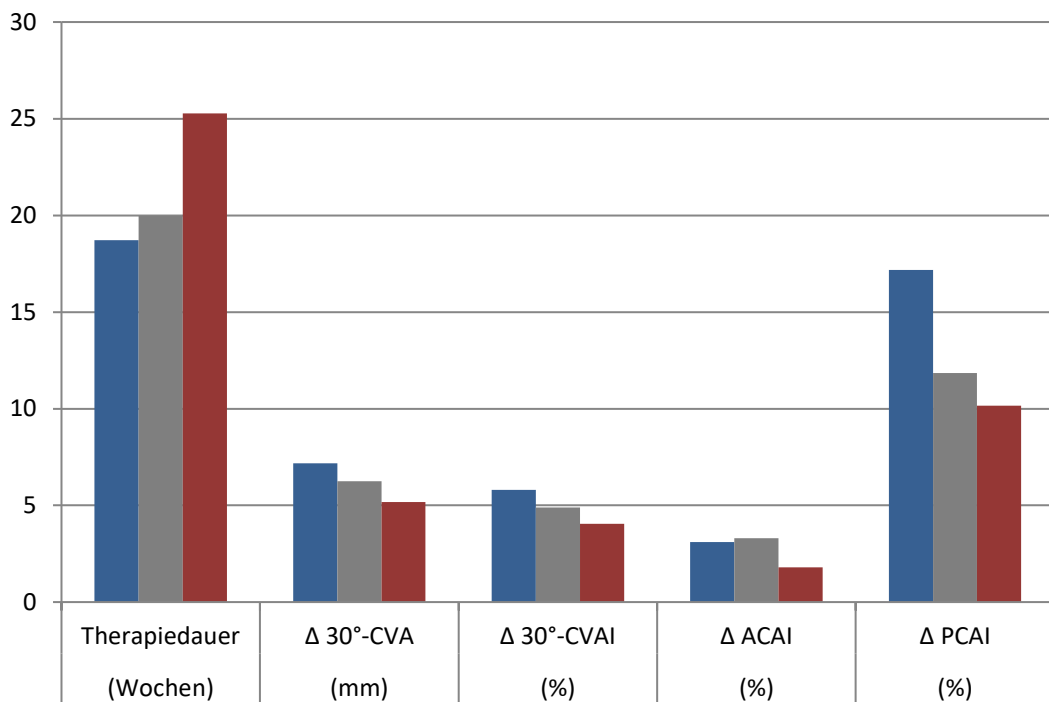


Abbildung 12: Darstellung der Therapiedauer sowie der Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1\text{-}T2$) zwischen den drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).

3.3.3 Behandlungserfolg

In der Literatur wird ein $30^\circ\text{-CVAI} \leq 3.5\%$ als symmetrische Kopfform angesehen [57]. Bei dem in unserer Studie untersuchten Patientenkollektiv konnte bei 49% der Patienten die Asymmetrie unter diesen Wert reduziert werden. Mit steigendem Alter bei Behandlungsbeginn sank die Erfolgsrate von 66% in Altersgruppe I auf 49% in Altersgruppe II und 22% in Altersgruppe III (siehe Abbildung 13).

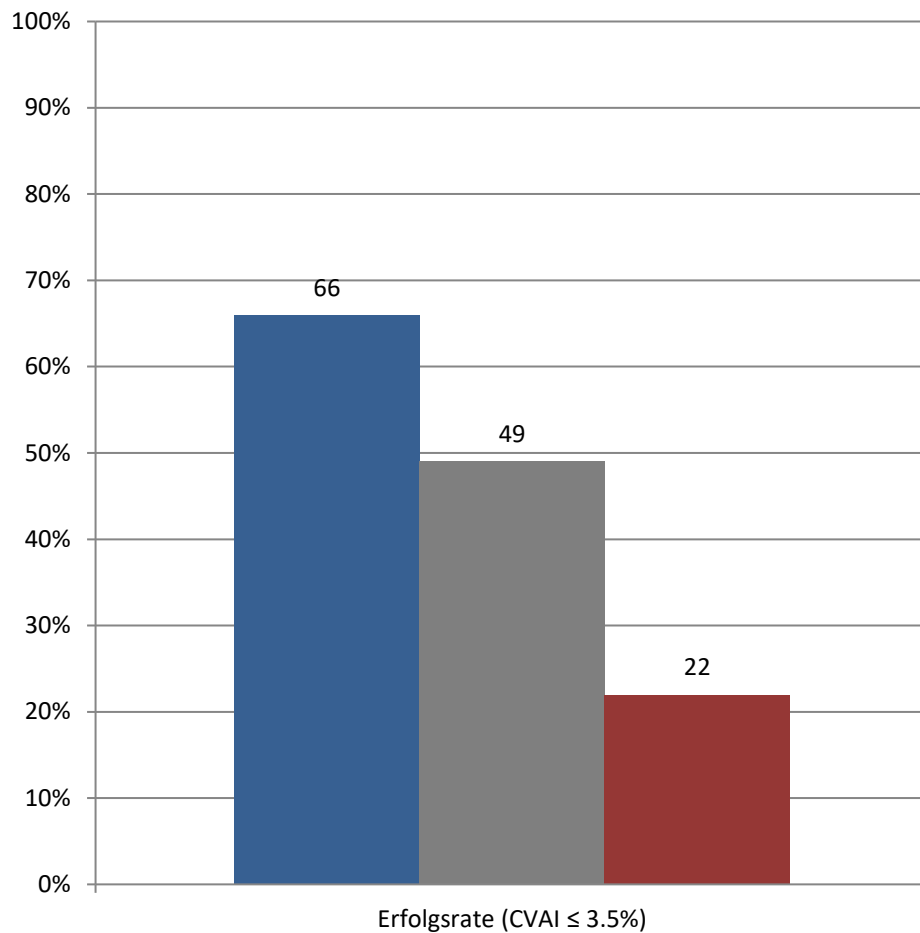


Abbildung 13: Darstellung der Erfolgsraten der Kopforthesentherapie in den drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).

3.4 Subgruppeneffekte

3.4.1 Symmetrieparameter

In allen Altersgruppen wiesen Patienten mit einer moderate-to-severe Asymmetrie gegenüber Patienten mit mild-to-moderate Asymmetrie bei fast allen Parametern eine signifikant größere Reduktion der Asymmetrie auf (alle $p \leq .02$). Lediglich die Reduktion des PCAI in Altersgruppe I sowie des ACAI in Altersgruppe II unterscheiden sich nicht signifikant (siehe Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11 sowie Abbildung 14).

3.4.2 Behandlungsdauer

Hinsichtlich der Therapiedauer zeigten sich in den Altersgruppen I und II keine signifikanten Subgruppeneffekte. In der Altersgruppe III wurde jedoch eine signifikant längere Therapie bei Patienten mit moderate-to-severe Asymmetrie festgestellt ($p = .005$) (siehe Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11 sowie Abbildung 14).

Tabelle 9: Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1-T2$) der verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe I ($N = 38$).

		Schweregrad I			Schweregrad II			
$\Delta T1 - T2$	Einheit	<i>Md</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Md</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Behandlungsdauer	Wochen	17.26	18.18	4.26	17.74	18.99	6.13	.675
30°-CVA	mm	6.00	5.56	1.92	9.00	8.65	3.42	.004**
30°-CVAI	%	4.60	4.38	1.36	7.10	7.06	2.52	.000**
ACAI	%	0.50	1.51	2.95	4.15	4.47	3.52	.009**
PCAI	%	15.00	15.21	4.96	18.65	18.95	6.19	.072

Nicht-parametrischer Mann-Whitney-U-Test. Median (*Md*), Mittelwert (*M*), Standardabweichung (*SD*) und *p*-Wert (*p*).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Tabelle 10: Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1-T2$) der verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe II ($N = 79$).

$\Delta T1 - T2$	Einheit	Schweregrad I			Schweregrad II			p
		Md	M	SD	Md	M	SD	
Behandlungsdauer	Wochen	19.60	19.95	5.67	20.52	20.04	5.72	.757
30°-CVA	mm	5.00	5.15	2.21	7.00	7.33	2.46	.000**
30°-CVAI	%	3.70	3.96	1.58	5.50	5.82	1.87	.000**
ACAI	%	2.50	2.65	3.77	3.15	3.86	3.06	.105
PCAI	%	9.90	9.78	5.39	13.15	13.87	7.58	.020*

Nicht-parametrischer Mann-Whitney-U-Test. Median (Md), Mittelwert (M), Standardabweichung (SD) und p -Wert (p).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

Tabelle 11: Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1-T2$) der verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe III ($N = 27$).

$\Delta T1 - T2$	Einheit	Schweregrad I			Schweregrad II			p
		Md	M	SD	Md	M	SD	
Behandlungsdauer	Wochen	18.68	21.04	6.65	29.86	29.20	6.35	.005**
30°-CVA	mm	4.00	4.00	1.96	5.00	6.29	2.92	.011*
30°-CVAI	%	2.90	3.04	1.40	3.95	4.98	2.17	.001**
ACAI	%	0.10	0.69	2.03	3.00	2.78	2.01	.014*
PCAI	%	6.20	7.12	5.14	12.35	12.96	5.79	.007**

Nicht-parametrischer Mann-Whitney-U-Test. Median (Md), Mittelwert (M), Standardabweichung (SD) und p -Wert (p).

*Signifikanz für $p < .05$ / **Signifikanz für $p < .01$

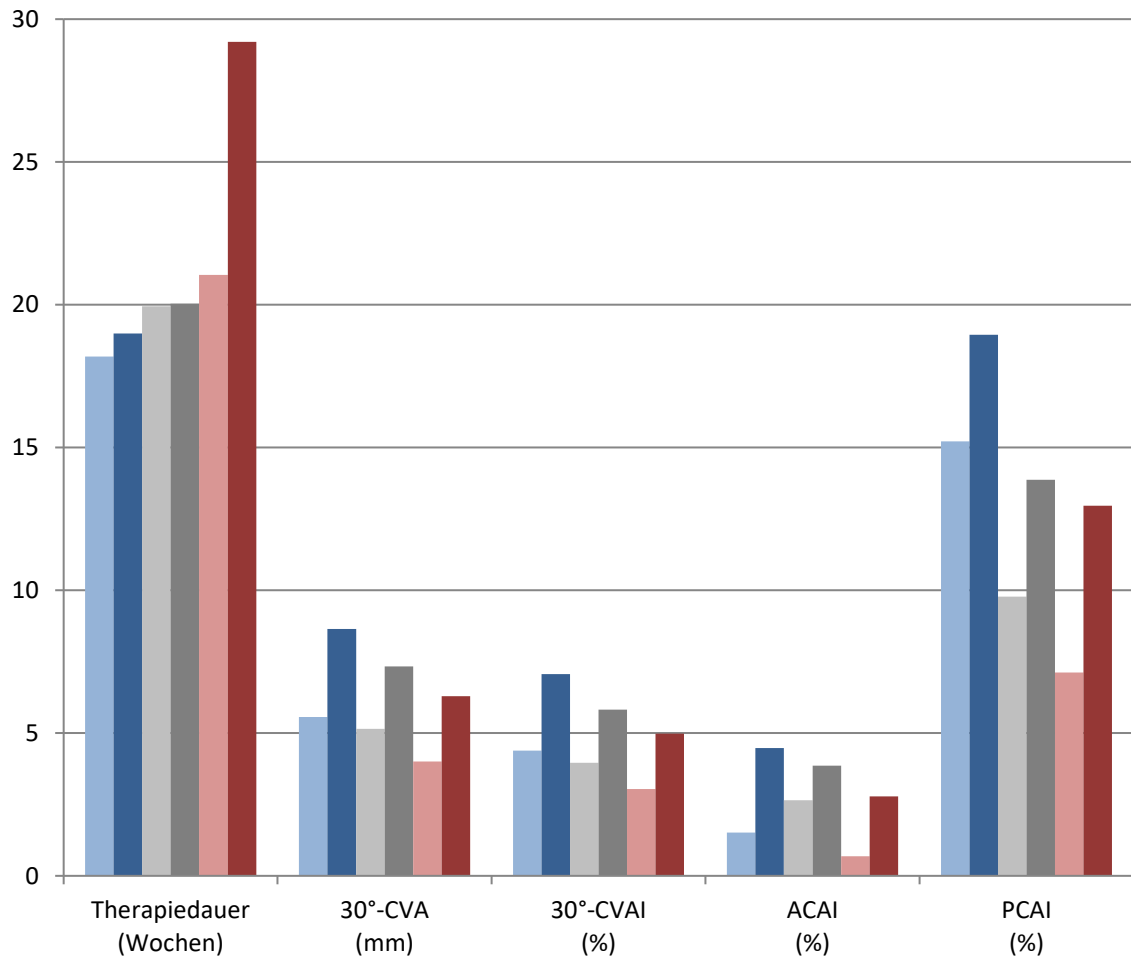


Abbildung 14: Darstellung der Therapiedauer sowie der Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1-T2$) zwischen den drei Altersgruppen unter Berücksichtigung des Schweregrades der Asymmetrie.

(hellblau: Altersgruppe I – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelblau: Altersgruppe I moderate-to-severe Asymmetrie //

hellgrau: Altersgruppe II – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelgrau: Altersgruppe II – moderate-to-severe Asymmetrie //

hellrot: Altersgruppe III – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelrot: Altersgruppe III – moderate-to-severe Asymmetrie) (eigene Abbildung).

3.4.3 Behandlungserfolg

Innerhalb der Altersgruppen war die Erfolgsrate für die Patienten mit einer moderate-to-severe Asymmetrie niedriger als bei den Patienten mit einer mild-to-moderate Asymmetrie. Ebenso sank die Erfolgsrate mit steigendem Alter bei Behandlungsbeginn wie folgt: Bei Patienten mit einer mild-to-moderate Asymmetrie von 83% (Altersgruppe I) auf 69% (Altersgruppe II) und 40% (Altersgruppe III). Bei Patienten mit einer moderate-to-severe Asymmetrie sank die Erfolgsrate von 50% (Altersgruppe I) auf 30% (Altersgruppe II) und 7% (Altersgruppe III) (siehe Abbildung 15).

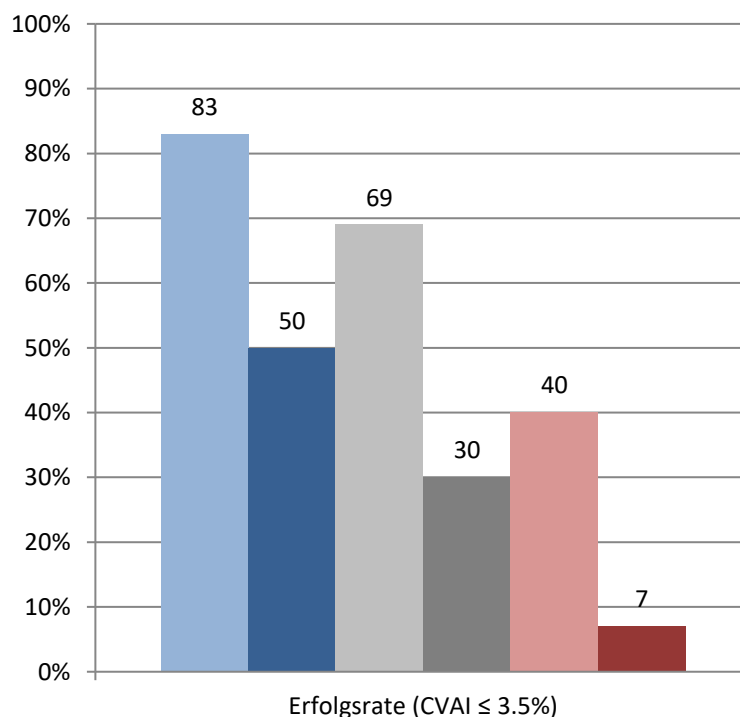


Abbildung 15: Darstellung der Erfolgsraten der Kopforthesentherapie in den drei Altersgruppen unter Berücksichtigung des Schweregrades der Asymmetrie.

(hellblau: Altersgruppe I – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelblau: Altersgruppe I moderate-to-severe Asymmetrie //

hellgrau: Altersgruppe II – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelgrau: Altersgruppe II – moderate-to-severe Asymmetrie //

hellrot: Altersgruppe III – mild-to-moderate Asymmetrie /

dunkelrot: Altersgruppe III – moderate-to-severe Asymmetrie) (eigene Abbildung).

3.5 Regressionsanalyse

Für beide Prädiktoren (Alter bei Therapiebeginn; 30°-CVA bei Therapiebeginn) wurde ein signifikanter Zusammenhang ($p < .001$) in Hinblick auf das Kriterium (Reduktion des 30°-CVA) festgestellt. Für die Ausgangssymmetrie und das Kriterium konnte mit dem Regressionskoeffizienten $B = 0.476$ ($Beta = 0.558$) ein positiver Zusammenhang nachgewiesen werden, wohingegen der Zusammenhang zwischen dem Alter bei Therapiebeginn und dem Kriterium mit $B = -0.166$ ($Beta = -0.360$) negativ war. Hieraus ergab sich folgende Regressionsgleichung:

$$\Delta 30^\circ\text{-CVA [mm]} =$$

$$+5.184 + (+0.476 * 30^\circ\text{CVA}_{T1} [\text{mm}]) + (-0.166 * \text{Alter}_{T1} [\text{Wochen}])$$

Durch die beiden Prädiktoren konnten insgesamt 43 % ($R^2 = .432$) der Varianz des Kriteriums erklärt werden.

4 Diskussion

Die Kopforthesentherapie wird in der Literatur allgemein als sehr effektive Methode zur Behandlung von lagerungsbedingten Kopfasymmetrien angesehen [12, 53, 83, 87, 91, 125, 138, 141, 153]. Durch die individuell angefertigten Kopforthesen soll das weitere Kopfwachstum gezielt in den Bereichen des Kopfes der Säuglinge gefördert werden, an denen beispielsweise aufgrund der Lagerung auf dem Hinterkopf bisher zu wenig Wachstum stattgefunden hat. Die Asymmetrie soll sich also im weiteren Wachstumsverlauf durch gezielte Wachstumslenkung selbstständig ausgleichen [6, 57, 71, 136]. Ein ausreichendes Restwachstum des Säuglingsschädels stellt somit eine unabdingbare Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Kopforthesentherapie dar [136].

Die Dynamik der Größenzunahme des Kopfes nimmt innerhalb des ersten Lebensjahres allerdings deutlich ab [149]. Daher erscheint es naheliegend, dass die Möglichkeit zur Korrektur lagerungsbedingter Kopfasymmetrien mittels Kopforthese maßgeblich vom Alter der Säuglinge bei Therapiebeginn abhängt und sich mit zunehmendem Patientenalter verschlechtert [7, 38, 97, 118, 150, 151].

Bislang finden sich in der Literatur nur wenige Studien, die diesen Einfluss untersuchen [15, 17, 76, 84]. Daher war es das Ziel der vorliegenden Studie, den Zusammenhang zwischen dem Alter bei Beginn der Kopforthesentherapie und der Effektivität dieser Behandlungsmethode genauer zu untersuchen. Da sich in der Literatur Hinweise finden, dass zusätzlich zum Alter bei Therapiebeginn auch der Schweregrad der Asymmetrie einen entscheidenden Einfluss auf das zu erwartende Therapieergebnis hat [56, 76], sollte auch dieser Faktor in der durchgeführten Studie berücksichtigt werden, um zukünftig eine bessere Vorhersage des zu erwartenden Behandlungserfolges einer Kopforthesentherapie bei Säuglingen mit LP treffen zu können.

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Patientenkohorte

Die vorliegende Untersuchung basierte auf einem prospektiven longitudinalen Studiendesign. Bereits vor der Patientenakquise wurden alle erforderlichen Einschluss- und Ausschlusskriterien definiert. Im Unterschied zu früheren Studien zu dieser Fragestellung wurden im Rahmen dieser Untersuchung die Selektionskriterien erweitert [15, 17, 76]. Es wurden neben klassischen Einschlusskriterien wie der Ethnie und einer Mindestasymmetrie weitere wichtige Einflussgrößen wie Frühgeburtlichkeit, eine ausreichende Compliance während der Therapie sowie eine Mindesttragedauer der Koporthese berücksichtigt, da aufgrund der bislang existierenden Literatur nicht ausgeschlossen werden konnte, dass auch diese Faktoren den Erfolg der Koporthesentherapie mit beeinflussen. Durch diese Maßnahmen konnte eine Vielzahl von Bias ausgeschlossen werden, sodass der Einfluss der in dieser Studie untersuchten Zielparameter aussagekräftiger ermittelt werden konnte. Trotz dieser strengen Einschluss- und Ausschlusskriterien konnte eine sehr große Patientenkohorte von insgesamt 144 Säuglingen für die longitudinale Beobachtung akquiriert werden.

Bezüglich der Geschlechterverteilung konnte innerhalb der Kohorte ein Ungleichgewicht festgestellt werden: etwa zwei Drittel der Säuglinge (65%) waren männlich und nur ein Drittel (35%) der Säuglinge waren weiblich. Diesbezüglich muss allerdings berücksichtigt werden, dass lagerungsbedingte Asymmetrien des Hinterkopfes bei männlichen Säuglingen etwa doppelt so häufig auftreten wie bei weiblichen Säuglingen [6, 19, 23, 25, 31, 35]. Somit stimmt das Geschlechterverhältnis unserer Kohorte mit den allgemeinen Inzidenzangaben bezüglich des Geschlechtes bei lagerungsbedingten Kopfasymmetrien überein. Mit dem Ziel, die Studienkohorte sowie die einzelnen Untersuchungsgruppen trotz der oben genannten strengen Einschluss- und Ausschlusskriterien möglichst groß zu halten, wurde dieser Geschlechtseffekt im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Daher

muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass dieses Ungleichgewicht einen Einfluss auf die Ergebnisse der Studie haben könnte.

4.1.2 Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen

Um die Fragestellungen der Untersuchung zu beantworten, mussten verschiedene Subgruppen gebildet werden. Hierbei sollte insbesondere eine Vergleichbarkeit zu diesbezüglich bereits existierenden Studien gegeben werden.

Für die Analyse des Einflusses des Alters auf die Effektivität und Dauer der Koporthesentherapie wurde die gesamte Patientenkohorte zunächst in drei Altersgruppen unterteilt (Altersgruppe I: < 24 Wochen, Altersgruppe II: ≥ 24 bis < 32 Wochen, Altersgruppe III: ≥ 32 Wochen). Diese Einteilung wurde analog zur Publikation von Freudlsperger et al. vorgenommen [76]. Hierbei ergaben sich bezüglich der Patientenzahl unterschiedliche Gruppengrößen von 38 Patienten in Altersgruppe I, 79 Patienten in Altersgruppe II sowie 27 Patienten in Altersgruppe III. Diese Tatsache kann darüber erklärt werden, dass einige Autoren eine Koporthesentherapie um den 6. Lebensmonat als idealen Zeitpunkt für den Beginn einer Koporthesentherapie ansehen und dieses Alter sich mit den Einschlusskriterien für Altersgruppe II deckt [17, 77, 106].

Neben dem Einfluss des Alters auf die Effektivität und Dauer der Koporthesentherapie sollte auch der Einfluss der initialen Asymmetrieausprägung auf die beiden Zielfaktoren untersucht werden. Hierzu wurden die Patienten innerhalb der drei Altersgruppen weiter in zwei Schweregrade unterteilt. An dieser Stelle wurde bewusst von der Einteilung der Schweregrade gemäß der Untersuchung von Freudlsperger et al. abgewichen, da diese Autoren unter Bezugnahme auf Moss bzw. Mortenson et al. den Schweregrad der Asymmetrie fälschlicherweise unter Anwendung des Cranial Vault Asymmetry Index (CVAI, relative Asymmetrie in Bezug zur Kopfgröße in %) eingeteilt haben [76]. Tatsächlich benutzten Moss bzw. Mortenson und Steinbok [32, 73] aber in ihren Vorarbeiten zur Klassifikation die Cranial Vault

Asymmetry (CVA, metrisch gemessene Asymmetrie der Kopfform in mm). Dementsprechend wurde unser Patientenkollektiv ebenfalls anhand des CVA unterteilt: Schweregrad I (mild-to-moderate) mit einem 30°-CVA von >3mm bis <12mm und Schweregrad II (moderate-to-severe) mit einem 30°-CVA \geq 12mm. Durch diese zweite Einteilung wurden alle drei Altersgruppen in nahezu gleich große Schweregrad-Subgruppen unterteilt (Altersgruppe I: 47% zu 53%; Altersgruppe II: 49% zu 51%; Altersgruppe III: 48% zu 52%).

4.1.3 Diskussion der Behandlungsmethode

Sowohl die Akquise als auch die Behandlung aller Patienten erfolgte ausschließlich im Rahmen der sogenannten „Helmsprechstunde“ des CFCW. Bei allen Säuglingen wurden zur Behandlung des LP ausschließlich Kopforthesen desselben Herstellers (Firma Cranioform®, Alpnach, Schweiz) verwendet, um Unterschiede in der Funktionsweise der Helme verschiedener Anbieter ausschließen zu können. Zudem wurde die Therapie aller Patienten von einem Team aus nur drei ärztlichen Mitarbeitern des Universitätsklinikums Würzburg mit langjähriger Erfahrung in der Behandlung lagerungsbedingter Kopfverformungen durchgeführt.

Um den Effekt des Alters bei Therapiebeginn auf die Effektivität und die Dauer der Kopforthesentherapie zu untersuchen, wurde ein longitudinales Studiendesign mit zwei Untersuchungszeitpunkten gewählt. Damit möglichst ausschließlich der Effekt der Kopforthesentherapie bewertet werden konnte, wurde der erste Untersuchungszeitpunkt unmittelbar vor Start der Therapie (Zeitpunkt bei der Bestellung der Kopforthese) und der zweite Untersuchungszeitpunkt mit dem Abschluss der Kopforthesentherapie (letzter Kontrolltermin, an dem die Therapie beendet wurde) gewählt. Somit konnte gezielt der Einfluss der Kopforthesentherapie auf die Entwicklung und das Wachstum des Säuglingsschädels beobachtet werden.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass das Therapieende in Absprache zwischen Behandler und Eltern anhand der subjektiv empfundenen symmetrischen Kopfform definiert wurde und nicht anhand von objektiv

messbaren Parametern. Dieser Endpunkt wurde bewusst in dieser Weise gewählt, da insbesondere die Eltern von Patienten mit fortgeschrittenem Alter oder mit sehr ausgeprägten Asymmetrien zu Behandlungsbeginn nicht mit dem Ziel eines vollständigen Asymmetrieausgleiches die Kopforthesentherapie starten. Diese Tatsache muss daher vor allem bei der Interpretation der Studienergebnisse bezüglich der Therapiedauer und des Therapieerfolges berücksichtigt werden.

4.1.4 Diskussion der Aufnahmetechnik

Innerhalb der letzten Jahre hat sich die 3D-Stereophotogrammetrie aufgrund zahlreicher Vorteile gegenüber anderen Verfahren zur Quantifizierung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien durchgesetzt [47, 110-112]. Die Kopfform kann im Vergleich zu anthropometrischen Vermessungen mittels Maßband und Messzirkel insbesondere bei sich bewegenden Säuglingen genauer und reproduzierbarer analysiert werden [17, 112]. Zudem kann die Asymmetrie durch die dreidimensionale Aufnahme detaillierter erfasst werden [56, 76, 110]. Gegenüber anderen dreidimensionalen Bildgebungsverfahren liegt der besondere Vorteil der 3D-Stereophotogrammetrie außerdem in der sehr kurzen Aufnahmezeit von etwa 1,5ms, sodass keine Sedierung der Säuglinge notwendig ist, und in der Tatsache, dass im Vergleich zu computertomographischen Aufnahmen keine ionisierende Strahlung für die Bildgebung erforderlich ist [101, 102, 155, 156]. Die meisten Autoren sind sich einig, dass aufgrund der deutlichen Strahlenbelastung zur Diagnostik lagerungsbedingter Schädelasymmetrien keine rechtfertigende Indikation für eine Computertomographie gegeben ist [47, 57, 73, 90-93, 95].

4.1.5 Diskussion des Analyseschemas

Um die 3D-stereophotogrammetrischen Aufnahmen reproduzierbar analysieren zu können und um die Auswertungen unterschiedlicher Aufnahmen miteinander vergleichen zu können, müssen die Datensätze zunächst anhand eines Koordinatensystems reliabel ausgerichtet werden. Für die stereophotogrammetrischen Datensätze ergibt sich die besondere

Schwierigkeit, dass für diese Ausrichtung zunächst ausschließlich Oberflächenpunkte zur Verfügung stehen. In der Literatur wurde zur Lösung dieses Problems eine Konstruktionsanleitung für ein solches Koordinatensystem beschrieben, welches sich durch die Oberflächenpunkte Nasion, Subnasale sowie den rechten und linken Traguspunkt konstruieren lässt [51, 106, 156, 157].

Durch die Ausrichtung anhand dieses Koordinatensystems konnte die Auswertung der Kopfasymmetrie anhand einer Auswahl von vier verschiedenen symmetriebezogenen Variablen quantifiziert werden. Dabei wurden zunächst die beiden in der Literatur weit verbreiteten zweidimensionalen Variablen 30°-CVA und 30°-CVAI vermessen, um die Ergebnisse dieser Studie im Kontext der bereits existierenden Literatur diskutieren zu können [32, 73]. Alle bisherigen Studien, die den Einfluss des Alters auf die Effektivität der Koporthesentherapie untersuchten, haben die Asymmetrie anhand von 3D-Datensätzen ausschließlich zweidimensional erfasst bzw. vermessen (CVA, CVAI). [17, 57, 76, 140, 152]. Durch diese Ermittlung von Streckenlängen blieb das Potential der dreidimensionalen Stereophotogrammetrie jedoch ungenutzt [56, 110]. Daher wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zusätzlich die beiden dreidimensionalen Variablen ACAI und PCAI, die in neuerer Literatur ebenfalls vermehrt vermessen wurden, analysiert [51, 106, 156-158]. Somit konnten die dreidimensionalen Schädelveränderungen des LP auch anhand dreidimensionaler Messparameter quantifiziert werden.

4.2 Diskussion der Messergebnisse

4.2.1 Reliabilität der Messergebnisse

Um eine hohe Reliabilität der Messergebnisse gewährleisten zu können, wurde ein in der Literatur etabliertes Verfahren zur Ausrichtung und Analyse der 3D-Datensätze angewendet. Für dieses Verfahren konnte bereits mehrfach eine gute Reliabilität der Messergebnisse nachgewiesen werden [51, 56, 106, 159]. Auch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde anhand von 50 Datensätzen, die vom gleichen Auswerter mit einem zeitlichen Abstand zweifach vermessen wurden, die Reliabilität erneut überprüft. Hierbei konnte mittels der Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson für den ACAI eine hohe Reproduzierbarkeit und für alle anderen symmetriebezogenen Variablen (30°-CVA, 30°-CVAI und PCAI) eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse gezeigt werden. Somit können Messungenauigkeiten durch das Analyseverfahren bzw. durch den Auswerter der Datensätze weitestgehend ausgeschlossen werden.

4.2.2 Einfluss des Alters auf die Reduktion der Asymmetrie und die Behandlungsdauer

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass alle drei Altersgruppen zu Beginn der Koporthesentherapie keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der initialen Asymmetrieausprägung aufwiesen. Diese Tatsache ist von entscheidender Bedeutung, da das initiale Ausmaß der lagerungsbedingten Deformität als ein entscheidender Einflussfaktor auf die Reduktion der Asymmetrie mittels Koporthesentherapie vermutet wird [76] und dieser Einflussfaktor ebenfalls im Rahmen dieser Studie untersucht werden sollte.

Im Verlauf der Koporthesentherapie konnte für alle Altersgruppen eine signifikante Reduktion der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie nachgewiesen werden. Somit bestätigen unsere Ergebnisse die Annahme anderer Autoren, dass die Koporthesentherapie eine effektive Behandlungsmethode für das in

dieser Studie gesamte untersuchte Altersintervall darstellt [15, 91, 92, 125, 126, 136, 152, 160].

Allerdings konnte festgestellt werden, dass mit steigendem Alter bei Behandlungsbeginn das Ausmaß der Reduktion der Asymmetrie abnahm. Dieser Effekt war mit Ausnahme des ACAI für alle symmetriebezogenen Variablen statistisch signifikant. Vermutlich wird durch die Kopforthesentherapie insbesondere ein therapeutischer Effekt im Bereich des Hinterkopfes (also dem Areal, in dem die ursprüngliche Asymmetrie am stärksten ausgeprägt war) und weniger im Bereich der Stirn erzielt, sodass aufgrund dieser Tatsache kein statistisch signifikanter Unterschied im Gruppenvergleich für den ACAI festgestellt werden konnte [106].

Vergleicht man die Altersgruppen bezüglich der Reduktion der Asymmetrie anhand der übrigen drei symmetriebezogenen Variablen, so fällt auf, dass durch die Kopforthesentherapie der PCAI (3D-Parameter) bereits zwischen Altersgruppe I und Altersgruppe II eine signifikante Reduktion der Schädelasymmetrie ergab, dieser Effekt allerdings anhand des 30°-CVA bzw. 30°-CVAI (2D-Parameter) erst im Vergleich zwischen Altersgruppe I und Altersgruppe III signifikant wurde. Bei lediglich zweidimensionalen Vermessungen, wie sie bei vorhergehenden Publikationen angewendet wurden [15, 17, 76], wäre diese relevante Veränderung der posterioren Kopfasymmetrie unbeobachtet geblieben.

Bezüglich der Behandlungsdauer konnte festgestellt werden, dass mit steigendem Alter bei Behandlungsbeginn sich die Dauer der Kopforthesentherapie verlängerte. Insbesondere Altersgruppe III zeigte im Vergleich zu den beiden anderen Altersgruppen eine statistisch signifikant längere Therapiedauer.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass das Alter bei Behandlungsbeginn sowohl die Effektivität als auch die Dauer der Kopforthesentherapie bei Säuglingen mit LP maßgeblich beeinflusst.

4.2.3 Einfluss der initialen Asymmetrie auf die Reduktion der Asymmetrie und die Behandlungsdauer

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte neben dem Alter bei Therapiebeginn auch die initiale Ausprägung der Asymmetrie als Einflussparameter auf die Reduktion der Asymmetrie und die Dauer der Behandlung mittels Koporthese untersucht werden. Die drei Altersgruppen wurden hierfür gemäß dem Klassifikationsschema nach Moss in zwei Subgruppen unterteilt [32].

Es konnte für nahezu alle symmetriebezogenen Variablen gezeigt werden, dass verständlicherweise die absolute Reduktion der Asymmetrie bei einer moderate-to-severe Asymmetrie größer war als bei einer mild-to-moderate Asymmetrie. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen der Studie von Freudlsperger et al. überein [76]. Außerdem zeigte sich, dass sich die Dauer der Koporthesentherapie bei moderate-to-severe Asymmetrien in Altersgruppe III signifikant verlängerte, hingegen kein signifikanter Unterschied in Altersgruppe I und Altersgruppe II nachgewiesen werden konnte. Dies zeigt, dass bei jüngeren Patienten die initiale Ausprägung der Kopfasymmetrie keinen Einfluss auf die Therapiedauer hat, jedoch bei älteren Patienten die Ausprägung der Kopfasymmetrie zu Behandlungsbeginn einen wesentlichen Einfluss auf die Therapiedauer hat.

4.2.4 Einfluss auf den Behandlungserfolg

In der Literatur wird eine symmetrische Kopfform nach Loveday et al. durch einen CVAI $\leq 3.5\%$ definiert [57]. Wendet man diesen Grenzwert auf unser Kollektiv an, so nahm die Erfolgsrate mit zunehmendem Alter bei Behandlungsbeginn stark ab. Während in Altersgruppe I bei 66% der Säuglinge mittels Koporthesentherapie eine symmetrische Kopfform erzielt werden konnte, waren es bei Altersgruppe II nur 49% der Säuglinge und in Altersgruppe III nur noch 22% der Säuglinge.

Zudem zeigten Kinder, die zu Behandlungsbeginn eine moderate-to-severe Asymmetrie aufwiesen, grundsätzlich einen geringeren Therapieerfolg als

Kinder mit einer mild-to-moderate Asymmetrie. Bei einer mild-to-moderate Asymmetrie sank die Erfolgswahrscheinlichkeit von 83% (Altersgruppe I) auf 69% (Altersgruppe II) bzw. auf 40% (Altersgruppe III), während bei Patienten mit einer moderate-to-severe Asymmetrie nur 50% der behandelten Kinder in Altersgruppe I, 30% in Altersgruppe II und nur noch 7% in Altersgruppe III zu Therapieende eine symmetrische Kopfform erlangten.

Somit zeigt sich, dass sowohl das Alter bei Therapiebeginn als auch das initiale Ausmaß der Asymmetrie den Behandlungserfolg einer Kopforthesentherapie maßgeblich beeinflussen. An dieser Stelle soll allerdings festgestellt werden, dass auch bei den Säuglingen, die den Grenzwert des CVAI von $\leq 3.5\%$ nicht erreichten, dennoch eine deutliche Verbesserung der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie erreicht werden konnte.

4.2.5 Prognose der Asymmetrie-Reduktion

In der Therapieplanung ist es wichtig, die Parameter zu kennen, die eine Reduktion einer vorhandenen Asymmetrie durch eine Kopforthesentherapie beeinflussen. Daher wurde im Rahmen dieser Untersuchung der Zusammenhang der beiden Einflussfaktoren Alter und Ausprägung der Asymmetrie auf die Reduktion der Asymmetrie mittels einer multiplen Regressionsgleichung untersucht. Auch hierbei zeigte sich, dass die Prädiktoren Alter und Schweregrad bei Therapiebeginn einen höchst signifikanten Einfluss auf die Reduktion der Asymmetrie haben. Beide Prädiktoren zusammen erklären einen Großteil der Varianz. So ermöglicht die aufgestellte Regressionsgleichung einen individuellen Schätzwert für eine mögliche Reduktion der Asymmetrie festzulegen.

4.2.6 Diskussion der Ergebnisse im Kontext der aktuellen Therapieempfehlungen

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Kontext der aktuellen Therapieempfehlung für lagerungsbedingte Schädeldeformitäten, die eine initiale Therapie aus z.B. Lagerungsversuchen, Physiotherapie oder Osteopathie empfiehlt, besonders relevant [57, 125, 136, 160]. Bei milder Ausprägung führen diese Maßnahmen zu einem guten Therapieerfolg [125]. Sollte sich unter dieser Therapie jedoch keine zeitnahe Verbesserung der Asymmetrie einstellen und eine Koporthesentherapie erwogen werden, so sollte diese vor dem Hintergrund der oben gezeigten Ergebnisse frühzeitig beginnen [7, 77, 125, 136, 160]. Bei ausgeprägten Verformungen, insbesondere bei fortgeschrittenem Patientenalter sehen Steinberg et al. einen unmittelbaren Beginn einer Koporthesentherapie indiziert [125]. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stehen somit im Einklang mit den aktuellen Therapieempfehlungen zur Behandlung lagerungsbedingter Kopfasymmetrien. Zudem verdeutlichen sie die Notwendigkeit zur individuellen Indikationsstellung einer Koporthesentherapie, bei der vor allem das Alter bei Therapiebeginn, als auch die initiale Ausprägung der lagerungsbedingten Kopfasymmetrie berücksichtigt werden sollte.

5 Zusammenfassung

Zur Koporthesentherapie in der Behandlung von Säuglingen mit lagerungsbedingten Schädelasymmetrien gibt es bisher kaum Studien, die den optimalen Behandlungsbeginn unter Berücksichtigung der Ausprägung der Asymmetrie untersuchen. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den Einfluss des Alters und des Schweregrades der Asymmetrie bei Therapiebeginn auf die Therapiedauer und das Therapieergebnis zu analysieren.

Hierzu wurden 144 Patienten mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus untersucht, die mittels Koporthese behandelt wurden. Es erfolgte eine Einteilung in drei Altersgruppen (Altersgruppe I: < 24 Wochen mit $N = 38$ Säuglingen / Altersgruppe II: ≥ 24 bis < 32 Wochen mit $N = 79$ Säuglingen / Altersgruppe III: ≥ 32 Wochen mit $N = 27$ Säuglingen) und je zwei Schweregrade (mild-to-moderate: 30° -CVA $>3\text{mm}$ bis $<12\text{mm}$ / moderate-to-severe: 30° -CVA $\geq 12\text{mm}$). Anhand stereophotogrammetrischer Datensätze wurden das Ausmaß und die Reduktion der Asymmetrie in den verschiedenen Untergruppen sowie die Therapiedauer miteinander verglichen.

Es zeigte sich, dass es in allen Altersgruppen zu einer signifikanten Reduktion der Asymmetrie kam, wobei sich dieser Effekt mit steigendem Alter verringerte. Ein Therapieerfolg (= CVAI $<3,5\%$) wurde bei Patienten mit mild-to-moderate Asymmetrie in Altersgruppe I zu 83%, in Altersgruppe II zu 69% und in Altersgruppe III zu 40% erreicht. Bei Patienten mit einer schwerwiegenderen, moderate-to-severe Asymmetrie ergab sich eine symmetrische Kopfform zu 50% in Altersgruppe I, zu 30% in Altersgruppe II und nur zu 7% in Altersgruppe III. Die durchschnittliche Therapiedauer stieg von 18,6 Wochen in Altersgruppe I, 20,0 Wochen in Altersgruppe II und 25,3 Wochen in Altersgruppe III an. Das Alter bzw. der Schweregrad der Asymmetrie bei Behandlungsbeginn wurden durch die multiple Regressionsgleichung ins Verhältnis gesetzt. Dadurch kann zukünftig die zu erwartende Verbesserung der Asymmetrie durch eine Koporthesentherapie abgeschätzt werden.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass das Alter bei Therapiebeginn sowie der Ausprägungsgrad einer lagerungsbedingten Asymmetrie einen entscheidenden Einfluss auf Dauer und Effektivität der Koporthesentherapie haben. Die Erfolgsrate der Therapie ist maßgeblich von diesen beiden Einflussfaktoren abhängig. Die aufgestellte Regressionsgleichung ermöglicht eine Vorhersage der Reduktion einer lagerungsbedingten Schädelasymmetrie.

6 Publikation

Teile der vorliegenden Dissertationsarbeit wurden bereits im *Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* veröffentlicht:

**Kunz, F.; Schweitzer, T.; Kunz, J.; Waßmuth, N.; Stellzig-Eisenhauer, A.;
Böhm, H.; Meyer-Marcotty, P.; Linz, C.**

“Head Orthosis Therapy in Positional Plagiocephaly: Influence of Age and Severity of Asymmetry on Effect and Duration of Therapy.”

Plast Reconstr Surg. 2017 Aug;140(2):349-358.

doi: 10.1097/PRS.0000000000003517.

7 Literaturverzeichnis

1. American Academy of Pediatrics AAP Task Force on Infant Positioning and SIDS: Positioning and SIDS. *Pediatrics*, 1992. **89**(6 Pt 1): p. 1120-6.
2. Fachgesellschaften, A.d.W.M., *Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Schlafmedizin Nr. 063/002, S1-Leitlinie: Plötzlicher Säuglingstod*. 2012.
3. Task Force on Sudden Infant Death, S. and R.Y. Moon, *SIDS and other sleep-related infant deaths: expansion of recommendations for a safe infant sleeping environment*. *Pediatrics*, 2011. **128**(5): p. e1341-67.
4. Turk, A.E., et al., *The "back to sleep campaign" and deformational plagiocephaly: is there cause for concern?* *J Craniofac Surg*, 1996. **7**(1): p. 12-8.
5. Argenta, L.C., et al., *An increase in infant cranial deformity with supine sleeping position*. *J Craniofac Surg*, 1996. **7**(1): p. 5-11.
6. Linz, C., et al., *Positional Skull Deformities*. *Dtsch Arztebl Int*, 2017. **114**(31-32): p. 535-542.
7. Pogliani, L., et al., *Positional plagiocephaly: what the pediatrician needs to know. A review*. *Childs Nerv Syst*, 2011. **27**(11): p. 1867-76.
8. Ballardini, E., et al., *Prevalence and characteristics of positional plagiocephaly in healthy full-term infants at 8-12 weeks of life*. *Eur J Pediatr*, 2018. **177**(10): p. 1547-1554.
9. Binkiewicz-Glinska, A., et al., *Early diagnosis and treatment of children with skull deformations. The challenge of modern medicine*. *Dev Period Med*, 2016. **20**(4): p. 289-295.
10. Hutchison, B.L., et al., *Plagiocephaly and brachycephaly in the first two years of life: a prospective cohort study*. *Pediatrics*, 2004. **114**(4): p. 970-80.
11. Cunningham, M.L. and C.L. Heike, *Evaluation of the infant with an abnormal skull shape*. *Curr Opin Pediatr*, 2007. **19**(6): p. 645-51.
12. Xia, J.J., et al., *Nonsurgical treatment of deformational plagiocephaly: a systematic review*. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 2008. **162**(8): p. 719-27.
13. Sheu, S.U., et al., *Investigation into an increase in plagiocephaly in Texas from 1999 to 2007*. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 2011. **165**(8): p. 708-13.
14. Mawji, A., et al., *The incidence of positional plagiocephaly: a cohort study*. *Pediatrics*, 2013. **132**(2): p. 298-304.
15. Seruya, M., et al., *Helmet treatment of deformational plagiocephaly: the relationship between age at initiation and rate of correction*. *Plast Reconstr Surg*, 2013. **131**(1): p. 55e-61e.

16. van Vlimmeren, L.A., et al., *The course of skull deformation from birth to 5 years of age: a prospective cohort study*. Eur J Pediatr, 2017. **176**(1): p. 11-21.
17. Kluba, S., et al., *What is the optimal time to start helmet therapy in positional plagiocephaly?* Plast Reconstr Surg, 2011. **128**(2): p. 492-8.
18. Kane, A.A., et al., *Observations on a recent increase in plagiocephaly without synostosis*. Pediatrics, 1996. **97**(6 Pt 1): p. 877-85.
19. De Bock, F., V. Braun, and H. Renz-Polster, *Deformational plagiocephaly in normal infants: a systematic review of causes and hypotheses*. Arch Dis Child, 2017. **102**(6): p. 535-542.
20. Losee, J.E. and A.C. Mason, *Deformational plagiocephaly: diagnosis, prevention, and treatment*. Clin Plast Surg, 2005. **32**(1): p. 53-64, viii.
21. Rogers, G.F., *Deformational plagiocephaly, brachycephaly, and scaphocephaly. Part I: terminology, diagnosis, and etiopathogenesis*. J Craniofac Surg, 2011. **22**(1): p. 9-16.
22. Clarren, S.K., *Plagiocephaly and torticollis: etiology, natural history, and helmet treatment*. J Pediatr, 1981. **98**(1): p. 92-5.
23. Peitsch, W.K., et al., *Incidence of cranial asymmetry in healthy newborns*. Pediatrics, 2002. **110**(6): p. e72.
24. Higginbottom, M.C., K.L. Jones, and H.E. James, *Intrauterine constraint and craniosynostosis*. Neurosurgery, 1980. **6**(1): p. 39-44.
25. Joganic, J.L., et al., *Risk factors associated with deformational plagiocephaly*. Pediatrics, 2009. **124**(6): p. e1126-33.
26. Losee, J.E., et al., *Nonsynostotic occipital plagiocephaly: factors impacting onset, treatment, and outcomes*. Plast Reconstr Surg, 2007. **119**(6): p. 1866-73.
27. McKinney, C.M., et al., *A case-control study of infant, maternal and perinatal characteristics associated with deformational plagiocephaly*. Paediatr Perinat Epidemiol, 2009. **23**(4): p. 332-45.
28. Littlefield, T.R., et al., *Multiple-birth infants at higher risk for development of deformational plagiocephaly*. Pediatrics, 1999. **103**(3): p. 565-9.
29. Rubio, A.S., et al., *The moulded baby syndrome: incidence and risk factors regarding 1,001 neonates*. Eur J Pediatr, 2009. **168**(5): p. 605-11.
30. van Vlimmeren, L.A., et al., *Risk factors for deformational plagiocephaly at birth and at 7 weeks of age: a prospective cohort study*. Pediatrics, 2007. **119**(2): p. e408-18.
31. Mawji, A., et al., *Risk factors for positional plagiocephaly and appropriate time frames for prevention messaging*. Paediatr Child Health, 2014. **19**(8): p. 423-7.

32. Moss, S.D., *Nonsurgical, nonorthotic treatment of occipital plagiocephaly: what is the natural history of the misshapen neonatal head?* J Neurosurg, 1997. **87**(5): p. 667-70.
33. Rogers, G.F., A.K. Oh, and J.B. Mulliken, *The role of congenital muscular torticollis in the development of deformational plagiocephaly.* Plast Reconstr Surg, 2009. **123**(2): p. 643-52.
34. Nahles, S., et al., *Evaluation of positional plagiocephaly: Conventional anthropometric measurement versus laser scanning method.* J Craniomaxillofac Surg, 2018. **46**(1): p. 11-21.
35. Bialocerkowski, A.E., S.L. Vladusic, and C. Wei Ng, *Prevalence, risk factors, and natural history of positional plagiocephaly: a systematic review.* Dev Med Child Neurol, 2008. **50**(8): p. 577-86.
36. Hutchison, B.L., A.W. Stewart, and E.A. Mitchell, *Characteristics, head shape measurements and developmental delay in 287 consecutive infants attending a plagiocephaly clinic.* Acta Paediatr, 2009. **98**(9): p. 1494-9.
37. Stellwagen, L., et al., *Torticollis, facial asymmetry and plagiocephaly in normal newborns.* Arch Dis Child, 2008. **93**(10): p. 827-31.
38. Hutchison, B.L., J.M. Thompson, and E.A. Mitchell, *Determinants of nonsynostotic plagiocephaly: a case-control study.* Pediatrics, 2003. **112**(4): p. e316.
39. Boere-Boonekamp, M.M. and L.L. van der Linden-Kuiper, *Positional preference: prevalence in infants and follow-up after two years.* Pediatrics, 2001. **107**(2): p. 339-43.
40. Oh, A.K., E.A. Hoy, and G.F. Rogers, *Predictors of severity in deformational plagiocephaly.* J Craniofac Surg, 2009. **20 Suppl 1**: p. 685-9.
41. Ifflaender, S., et al., *Individual course of cranial symmetry and proportion in preterm infants up to 6 months of corrected age.* Early Hum Dev, 2014. **90**(9): p. 511-5.
42. Kriewall, T.J., G.K. McPherson, and A.C. Tsai, *Bending properties and ash content of fetal cranial bone.* J Biomech, 1981. **14**(2): p. 73-9.
43. McPherson, G.K. and T.J. Kriewall, *The elastic modulus of fetal cranial bone: a first step towards an understanding of the biomechanics of fetal head molding.* J Biomech, 1980. **13**(1): p. 9-16.
44. Nuysink, J., et al., *Clinical course of asymmetric motor performance and deformational plagiocephaly in very preterm infants.* J Pediatr, 2013. **163**(3): p. 658-65 e1.
45. Nuysink, J., et al., *Prevalence and predictors of idiopathic asymmetry in infants born preterm.* Early Hum Dev, 2012. **88**(6): p. 387-92.
46. Baum, J.D. and D. Searls, *Head shape and size of pre-term low-birthweight infants.* Dev Med Child Neurol, 1971. **13**(5): p. 576-81.

47. Argenta, L., L. David, and J. Thompson, *Clinical classification of positional plagiocephaly*. J Craniofac Surg, 2004. **15**(3): p. 368-72.
48. Netherway, D.J., et al., *Three-dimensional computed tomography cephalometry of plagiocephaly: asymmetry and shape analysis*. Cleft Palate Craniofac J, 2006. **43**(2): p. 201-10.
49. Ditthakasem, K. and J.C. Kolar, *Deformational Plagiocephaly: A Review*. Pediatr Nurs, 2017. **43**(2): p. 59-64.
50. Huang, M.H., et al., *The differential diagnosis of posterior plagiocephaly: true lambdoid synostosis versus positional molding*. Plast Reconstr Surg, 1996. **98**(5): p. 765-74; discussion 775-6.
51. Kunz, F., et al., *Head orthosis therapy in positional plagiocephaly: longitudinal 3D-investigation of long-term outcomes, compared with untreated infants and with a control group*. Eur J Orthod, 2019. **41**(1): p. 29-37.
52. Kluba, S., et al., *Malocclusion in the primary dentition in children with and without deformational plagiocephaly*. Clin Oral Investig, 2016. **20**(9): p. 2395-2401.
53. Lee, R.P., et al., *Long-term treatment effectiveness of molding helmet therapy in the correction of posterior deformational plagiocephaly: a five-year follow-up*. Cleft Palate Craniofac J, 2008. **45**(3): p. 240-5.
54. Smartt, J.M., Jr., et al., *Analysis of differences in the cranial base and facial skeleton of patients with lambdoid synostosis and deformational plagiocephaly*. Plast Reconstr Surg, 2011. **127**(1): p. 303-12.
55. Lo, L.J., et al., *Plagiocephaly: differential diagnosis based on endocranial morphology*. Plast Reconstr Surg, 1996. **97**(2): p. 282-91.
56. Kunz, F., et al., *Head Orthosis Therapy in Positional Plagiocephaly: Influence of Age and Severity of Asymmetry on Effect and Duration of Therapy*. Plast Reconstr Surg, 2017. **140**(2): p. 349-358.
57. Loveday, B.P. and T.B. de Chalain, *Active counterpositioning or orthotic device to treat positional plagiocephaly?* J Craniofac Surg, 2001. **12**(4): p. 308-13.
58. Shweikeh, F., et al., *Positional plagiocephaly: an analysis of the literature on the effectiveness of current guidelines*. Neurosurg Focus, 2013. **35**(4): p. E1.
59. Huang, M.H., et al., *The differential diagnosis of abnormal head shapes: separating craniosynostosis from positional deformities and normal variants*. Cleft Palate Craniofac J, 1998. **35**(3): p. 204-11.
60. Schweitzer, T., et al., *Avoiding CT scans in children with single-suture craniosynostosis*. Childs Nerv Syst, 2012. **28**(7): p. 1077-82.
61. Khanna, P.C., et al., *Pictorial essay: The many faces of craniosynostosis*. Indian J Radiol Imaging, 2011. **21**(1): p. 49-56.

62. Miller, R.I. and S.K. Clarren, *Long-term developmental outcomes in patients with deformational plagiocephaly*. *Pediatrics*, 2000. **105**(2): p. E26.
63. Speltz, M.L., et al., *Case-control study of neurodevelopment in deformational plagiocephaly*. *Pediatrics*, 2010. **125**(3): p. e537-42.
64. Collett, B.R., et al., *Development at age 36 months in children with deformational plagiocephaly*. *Pediatrics*, 2013. **131**(1): p. e109-15.
65. Hutchison, B.L., A.W. Stewart, and E.A. Mitchell, *Deformational plagiocephaly: a follow-up of head shape, parental concern and neurodevelopment at ages 3 and 4 years*. *Arch Dis Child*, 2011. **96**(1): p. 85-90.
66. Panchal, J., et al., *Neurodevelopment in children with single-suture craniosynostosis and plagiocephaly without synostosis*. *Plast Reconstr Surg*, 2001. **108**(6): p. 1492-8; discussion 1499-500.
67. Kordestani, R.K. and J. Panchal, *Neurodevelopment delays in children with deformational plagiocephaly*. *Plast Reconstr Surg*, 2006. **118**(3): p. 808-9; author reply 809-10.
68. Steinbok, P., et al., *Long-term outcome of infants with positional occipital plagiocephaly*. *Childs Nerv Syst*, 2007. **23**(11): p. 1275-83.
69. Kennedy, E., et al., *Motor development of infants with positional plagiocephaly*. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2009. **29**(3): p. 222-35.
70. Weissler, E.H., R.D. Sherif, and P.J. Taub, *An Evidence-Based Approach to Nonsynostotic Plagiocephaly*. *Plast Reconstr Surg*, 2016. **138**(4): p. 682e-9e.
71. Rogers, G.F., *Deformational plagiocephaly, brachycephaly, and scaphocephaly. Part II: prevention and treatment*. *J Craniofac Surg*, 2011. **22**(1): p. 17-23.
72. Meyer-Marcotty, P., et al., *Die interdisziplinäre Therapie von lagebedingten Schädelasymmetrien innerhalb des ersten Lebensjahres / Interdisciplinary therapy of positional skull asymmetries in the first year of life*. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 2015. **70** (1).
73. Mortenson, P.A. and P. Steinbok, *Quantifying positional plagiocephaly: reliability and validity of anthropometric measurements*. *J Craniofac Surg*, 2006. **17**(3): p. 413-9.
74. Habal, M.B., et al., *Avoiding the sequela associated with deformational plagiocephaly*. *J Craniofac Surg*, 2003. **14**(4): p. 430-7.
75. Budreau, G., *The perceived attractiveness of preterm infants with cranial molding*. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs*, 1989. **18**(1): p. 38-44.
76. Freudlsperger, C., et al., *Impact of severity and therapy onset on helmet therapy in positional plagiocephaly*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2016. **44**(2): p. 110-5.

77. Robinson, S. and M. Proctor, *Diagnosis and management of deformational plagiocephaly*. J Neurosurg Pediatr, 2009. **3**(4): p. 284-95.
78. Baumler, C., N. Leboucq, and G. Captier, *[Mandibular asymmetry in plagiocephaly without synostosis]*. Rev Stomatol Chir Maxillofac, 2007. **108**(5): p. 424-30.
79. St John, D., et al., *Anthropometric analysis of mandibular asymmetry in infants with deformational posterior plagiocephaly*. J Oral Maxillofac Surg, 2002. **60**(8): p. 873-7.
80. Kane, A.A., et al., *Mandibular dysmorphology in unicoronal synostosis and plagiocephaly without synostosis*. Cleft Palate Craniofac J, 1996. **33**(5): p. 418-23.
81. Siatkowski, R.M., et al., *Visual field defects in deformational posterior plagiocephaly*. J AAPOS, 2005. **9**(3): p. 274-8.
82. David, D.J. and R.M. Menard, *Occipital plagiocephaly*. Br J Plast Surg, 2000. **53**(5): p. 367-77.
83. Thompson, J.T., et al., *Outcome analysis of helmet therapy for positional plagiocephaly using a three-dimensional surface scanning laser*. J Craniofac Surg, 2009. **20**(2): p. 362-5.
84. Kelly, K.M., et al., *Importance of early recognition and treatment of deformational plagiocephaly with orthotic cranioplasty*. Cleft Palate Craniofac J, 1999. **36**(2): p. 127-30.
85. Mulliken, J.B., et al., *Analysis of posterior plagiocephaly: deformational versus synostotic*. Plast Reconstr Surg, 1999. **103**(2): p. 371-80.
86. Shin, J.H. and J. Persing, *Asymmetric skull shapes: diagnostic and therapeutic consideration*. J Craniofac Surg, 2003. **14**(5): p. 696-9.
87. Teichgraeber, J.F., et al., *Molding helmet therapy in the treatment of brachycephaly and plagiocephaly*. J Craniofac Surg, 2004. **15**(1): p. 118-23.
88. Teichgraeber, J.F., et al., *Deformational posterior plagiocephaly: diagnosis and treatment*. Cleft Palate Craniofac J, 2002. **39**(6): p. 582-6.
89. Ripley, C.E., et al., *Treatment of positional plagiocephaly with dynamic orthotic cranioplasty*. J Craniofac Surg, 1994. **5**(3): p. 150-9; discussion 160.
90. O'Broin, E.S., D. Allcutt, and M.J. Earley, *Posterior plagiocephaly: proactive conservative management*. Br J Plast Surg, 1999. **52**(1): p. 18-23.
91. Flannery, A.M., et al., *Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guidelines for the Management of Patients With Positional Plagiocephaly: Executive Summary*. Neurosurgery, 2016. **79**(5): p. 623-624.
92. Rosenbaum, T., et al., *Dynamische Koporthesen ("Helmtherapie") - Stellungnahme der gemeinsamen Therapiekommission der Gesellschaft*

- für Neuropädiatrie und der Deutschen Gesellschaft für Sozialpädiatrie und Jugendmedizin (2012). *Neuropädiatrie in Klinik und Praxis*, 2014. **1**: p. 4–9.
93. Linz, C., et al., *Occipital plagiocephaly: unilateral lambdoid synostosis versus positional plagiocephaly*. *Arch Dis Child*, 2015. **100**(2): p. 152-7.
 94. Regelsberger, J., et al., *High-frequency ultrasound confirmation of positional plagiocephaly*. *J Neurosurg*, 2006. **105**(5 Suppl): p. 413-7.
 95. Pokora, R., et al., *Computed Tomography in Germany*. *Dtsch Arztebl Int*, 2016. **113**(43): p. 721-728.
 96. Hutchison, B.L., et al., *Quantification of plagiocephaly and brachycephaly in infants using a digital photographic technique*. *Cleft Palate Craniofac J*, 2005. **42**(5): p. 539-47.
 97. Graham, J.M., Jr., et al., *Management of deformational plagiocephaly: repositioning versus orthotic therapy*. *J Pediatr*, 2005. **146**(2): p. 258-62.
 98. Wilbrand, J.F., et al., *Clinical classification of infant nonsynostotic cranial deformity*. *J Pediatr*, 2012. **161**(6): p. 1120-5.
 99. Bridges, S.J., T.L. Chambers, and I.K. Pople, *Plagiocephaly and head binding*. *Arch Dis Child*, 2002. **86**(3): p. 144-5.
 100. Littlefield, T.R., et al., *Treatment of craniofacial asymmetry with dynamic orthotic cranioplasty*. *J Craniofac Surg*, 1998. **9**(1): p. 11-7; discussion 18-9.
 101. Meyer-Marcotty, P., et al., *Impact of facial asymmetry in visual perception: a 3-dimensional data analysis*. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010. **137**(2): p. 168 e1-8; discussion 168-9.
 102. Meyer-Marcotty, P. and A. Stellzig-Eisenhauer, *Dentofacial self-perception and social perception of adults with unilateral cleft lip and palate*. *J Orofac Orthop*, 2009. **70**(3): p. 224-36.
 103. Wilbrand, J.F., et al., *Value and reliability of anthropometric measurements of cranial deformity in early childhood*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2011. **39**(1): p. 24-9.
 104. Kolar, J.C. and E.M. Salter, *Craniofacial Anthropometry: Practical Measurement of the Head and Face for Clinical, Surgical and Research Use*. Charles C Thomas Publisher, 1997.
 105. Xia, J.J., J. Gateno, and J.F. Teichgraeber, *Three-dimensional computer-aided surgical simulation for maxillofacial surgery*. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2005. **13**(1): p. 25-39.
 106. Meyer-Marcotty, P., et al., *Head orthosis therapy in infants with unilateral positional plagiocephaly: an interdisciplinary approach to broadening the range of orthodontic treatment*. *J Orofac Orthop*, 2012. **73**(2): p. 151-65.
 107. Kobayashi, T., et al., *Three-dimensional analysis of facial morphology before and after orthognathic surgery*. *J Craniomaxillofac Surg*, 1990. **18**(2): p. 68-73.

108. Rasse, M., G. Forkert, and P. Waldhausl, *Stereophotogrammetry of facial soft tissue*. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 1991. **20**(3): p. 163-6.
109. Weinberg, S.M., et al., *Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system*. *Cleft Palate Craniofac J*, 2004. **41**(5): p. 507-18.
110. Plank, L.H., et al., *Comparison of infant head shape changes in deformational plagiocephaly following treatment with a cranial remolding orthosis using a noninvasive laser shape digitizer*. *J Craniofac Surg*, 2006. **17**(6): p. 1084-91.
111. Linz, C., et al., *3D stereophotogrammetric analysis of operative effects after broad median craniectomy in premature sagittal craniosynostosis*. *Childs Nerv Syst*, 2014. **30**(2): p. 313-8.
112. Schaaf, H., et al., *Three-dimensional photographic analysis of outcome after helmet treatment of a nonsynostotic cranial deformity*. *J Craniofac Surg*, 2010. **21**(6): p. 1677-82.
113. Spermon, J., R. Spermon-Marijnen, and W. Scholten-Peeters, *Clinical classification of deformational plagiocephaly according to Argenta: a reliability study*. *J Craniofac Surg*, 2008. **19**(3): p. 664-8.
114. Hellbusch, J.L., L.C. Hellbusch, and R.J. Bruneteau, *Active counter-positioning treatment of deformational occipital plagiocephaly*. *Nebr Med J*, 1995. **80**(12): p. 344-9.
115. de Ribaupierre, S., et al., *Posterior positional plagiocephaly treated with cranial remodeling orthosis*. *Swiss Med Wkly*, 2007. **137**(25-26): p. 368-72.
116. Rekate, H.L., *Occipital plagiocephaly: a critical review of the literature*. *J Neurosurg*, 1998. **89**(1): p. 24-30.
117. Vles, J.S., et al., *Helmet versus nonhelmet treatment in nonsynostotic positional posterior plagiocephaly*. *J Craniofac Surg*, 2000. **11**(6): p. 572-4.
118. Rogers, G.F., J. Miller, and J.B. Mulliken, *Comparison of a modifiable cranial cup versus repositioning and cervical stretching for the early correction of deformational posterior plagiocephaly*. *Plast Reconstr Surg*, 2008. **121**(3): p. 941-7.
119. Flannery, A.B., W.S. Looman, and K. Kemper, *Evidence-based care of the child with deformational plagiocephaly, part II: management*. *J Pediatr Health Care*, 2012. **26**(5): p. 320-31.
120. Wilbrand, J.F., et al., *Treated Versus Untreated Positional Head Deformity*. *J Craniofac Surg*, 2016. **27**(1): p. 13-8.
121. Laughlin, J., et al., *Prevention and management of positional skull deformities in infants*. *Pediatrics*, 2011. **128**(6): p. 1236-41.

122. Aarnivala, H., et al., *Preventing deformational plagiocephaly through parent guidance: a randomized, controlled trial*. Eur J Pediatr, 2015. **174**(9): p. 1197-208.
123. Kurtzman, E.T., et al., *Nurses should drive health reform*. Am J Nurs, 2010. **110**(1): p. 11.
124. Wilson, A., N. Whitaker, and D. Whitford, *Rising to the challenge of health care reform with entrepreneurial and intrapreneurial nursing initiatives*. Online J Issues Nurs, 2012. **17**(2): p. 5.
125. Steinberg, J.P., et al., *Effectiveness of conservative therapy and helmet therapy for positional cranial deformation*. Plast Reconstr Surg, 2015. **135**(3): p. 833-42.
126. Mortenson, P., P. Steinbok, and D. Smith, *Deformational plagiocephaly and orthotic treatment: indications and limitations*. Childs Nerv Syst, 2012. **28**(9): p. 1407-12.
127. van Vlimmeren, L.A., et al., *Effect of pediatric physical therapy on deformational plagiocephaly in children with positional preference: a randomized controlled trial*. Arch Pediatr Adolesc Med, 2008. **162**(8): p. 712-8.
128. Hutchison, B.L., et al., *A randomized controlled trial of positioning treatments in infants with positional head shape deformities*. Acta Paediatr, 2010. **99**(10): p. 1556-60.
129. Wilbrand, J.F., et al., *A prospective randomized trial on preventative methods for positional head deformity: physiotherapy versus a positioning pillow*. J Pediatr, 2013. **162**(6): p. 1216-21, 1221 e1.
130. Task Force On Sudden Infant Death, S., *SIDS and Other Sleep-Related Infant Deaths: Updated 2016 Recommendations for a Safe Infant Sleeping Environment*. Pediatrics, 2016. **138**(5).
131. Baird, L.C., et al., *Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline for the Management of Patients With Positional Plagiocephaly: The Role of Physical Therapy*. Neurosurgery, 2016. **79**(5): p. E630-E631.
132. Jung, M.W., et al., *Vojta therapy and neurodevelopmental treatment in children with infantile postural asymmetry: a randomised controlled trial*. J Phys Ther Sci, 2017. **29**(2): p. 301-306.
133. Kaplan, S.L., C. Coulter, and L. Fetters, *Physical therapy management of congenital muscular torticollis: an evidence-based clinical practice guideline: from the Section on Pediatrics of the American Physical Therapy Association*. Pediatr Phys Ther, 2013. **25**(4): p. 348-94.
134. Cabrera-Martos, I., et al., *Effects of manual therapy on treatment duration and motor development in infants with severe nonsynostotic plagiocephaly: a randomised controlled pilot study*. Childs Nerv Syst, 2016. **32**(11): p. 2211-2217.

135. Clarren, S.K., D.W. Smith, and J.W. Hanson, *Helmet treatment for plagiocephaly and congenital muscular torticollis*. J Pediatr, 1979. **94**(1): p. 43-6.
136. Pollack, I.F., H.W. Losken, and P. Fasick, *Diagnosis and management of posterior plagiocephaly*. Pediatrics, 1997. **99**(2): p. 180-5.
137. Freudlsperger, C., et al., *The Incidence of Complications Associated With Molding Helmet Therapy: An Avoidable Risk in the Treatment of Positional Head Deformities?* J Craniofac Surg, 2015. **26**(4): p. e299-302.
138. Lipira, A.B., et al., *Helmet versus active repositioning for plagiocephaly: a three-dimensional analysis*. Pediatrics, 2010. **126**(4): p. e936-45.
139. Persing, J., et al., *Prevention and management of positional skull deformities in infants*. American Academy of Pediatrics Committee on Practice and Ambulatory Medicine, Section on Plastic Surgery and Section on Neurological Surgery. Pediatrics, 2003. **112**(1 Pt 1): p. 199-202.
140. Mackel, C.E., et al., *The Role of Age and Initial Deformation on Final Cranial Asymmetry in Infants with Plagiocephaly Treated with Helmet Therapy*. Pediatr Neurosurg, 2017. **52**(5): p. 318-322.
141. Kluba, S., et al., *Treatment of positional plagiocephaly--helmet or no helmet?* J Craniomaxillofac Surg, 2014. **42**(5): p. 683-8.
142. Kim, S.Y., et al., *Comparison of helmet therapy and counter positioning for deformational plagiocephaly*. Ann Rehabil Med, 2013. **37**(6): p. 785-95.
143. Tamber, M.S., et al., *Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guideline on the Role of Cranial Molding Orthosis (Helmet) Therapy for Patients With Positional Plagiocephaly*. Neurosurgery, 2016. **79**(5): p. E632-E633.
144. Pople, I.K., R.A. Sanford, and M.S. Muhlbauer, *Clinical presentation and management of 100 infants with occipital plagiocephaly*. Pediatr Neurosurg, 1996. **25**(1): p. 1-6.
145. van Wijk, R.M., et al., *Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial*. BMJ, 2014. **348**: p. g2741.
146. Goh, J.L., et al., *Orthotic (helmet) therapy in the treatment of plagiocephaly*. Neurosurg Focus, 2013. **35**(4): p. E2.
147. Lee, A., et al., *Comparison of perceptions and treatment practices between neurosurgeons and plastic surgeons for infants with deformational plagiocephaly*. J Neurosurg Pediatr, 2010. **5**(4): p. 368-74.
148. Graham, J.M., Jr., et al., *Deformational brachycephaly in supine-sleeping infants*. J Pediatr, 2005. **146**(2): p. 253-7.

149. Persing, J.A., *MOC-PS(SM) CME article: management considerations in the treatment of craniosynostosis*. *Plast Reconstr Surg*, 2008. **121**(4 Suppl): p. 1-11.
150. Kwon, T.G., et al., *A comparison of craniofacial morphology in patients with and without facial asymmetry--a three-dimensional analysis with computed tomography*. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2006. **35**(1): p. 43-8.
151. Kawamoto, H.K., et al., *Differential diagnosis of the idiopathic laterally deviated mandible*. *Plast Reconstr Surg*, 2009. **124**(5): p. 1599-609.
152. Han, M.H., et al., *Relationship between starting age of cranial-remolding-orthosis therapy and effectiveness of treatment in children with deformational plagiocephaly*. *Childs Nerv Syst*, 2017. **33**(8): p. 1349-1356.
153. Yoo, H.S., D.K. Rah, and Y.O. Kim, *Outcome analysis of cranial molding therapy in nonsynostotic plagiocephaly*. *Arch Plast Surg*, 2012. **39**(4): p. 338-44.
154. Lee, M.C., et al., *Three-dimensional analysis of cranial and facial asymmetry after helmet therapy for positional plagiocephaly*. *Childs Nerv Syst*, 2015. **31**(7): p. 1113-20.
155. Littlefield, T.R., et al., *Development of a new three-dimensional cranial imaging system*. *J Craniofac Surg*, 2004. **15**(1): p. 175-81.
156. Schweitzer, T., et al., *Three-dimensional analysis of positional plagiocephaly before and after molding helmet therapy in comparison to normal head growth*. *Childs Nerv Syst*, 2013. **29**(7): p. 1155-61.
157. Meyer-Marcotty, P., et al., *Spectrum of positional deformities - is there a real difference between plagiocephaly and brachycephaly?* *J Craniomaxillofac Surg*, 2014. **42**(6): p. 1010-6.
158. Dorhage, K.W.W., et al., *Effect of head orthoses on skull deformities in positional plagiocephaly: Evaluation of a 3-dimensional approach*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2018. **46**(6): p. 953-957.
159. Meyer-Marcotty, P., et al., *Cranial growth in infants horizontal line A longitudinal three-dimensional analysis of the first months of life*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2018. **46**(6): p. 987-993.
160. Kelly, K.M., et al., *Cranial growth unrestricted during treatment of deformational plagiocephaly*. *Pediatr Neurosurg*, 1999. **30**(4): p. 193-9.

8 Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AAP	American Academy of Pediatrics
ACAI	Anterior Cranial Asymmetry Index
ANOVA	analysis of variance, Varianzanalyse
<i>B</i>	nicht standardisierter Regressionskoeffizient
<i>Beta</i>	standardisierter Regressionskoeffizient
CFCW	Craniofaciales Centrum Würzburg
CVA	Cranial Vault Asymmetry
CVAI	Cranial Vault Asymmetry Index
<i>df</i>	Freiheitsgrade
<i>F</i>	<i>F</i> -Wert
LP	lagerungsbedingter Plagiozephalus
<i>M</i>	Mittelwert
<i>Md</i>	Median
mm	Millimeter
<i>N</i>	Gruppengröße / Patientenzahl
N	Nasionpunkt
<i>p</i>	<i>p</i> -Wert
PCAI	Posterior Cranial Asymmetry Index
<i>SD</i>	Standardabweichung
SIDS	sudden infant death syndrome
Sn	Subnasalpunkt
<i>t</i>	<i>t</i> -Wert
T1	Untersuchungszeitpunkt vor Koporthesentherapie
T2	Untersuchungszeitpunkt nach Koporthesentherapie
TrL	Traguspunkt links
TrR	Traguspunkt rechts
vs.	versus

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Definition der Analyseparameter	38
Tabelle 2:	Übersicht über die Einteilung der Patientenkohorte in Subgruppen	43
Tabelle 3:	Überprüfung der Intrarater-Reliabilität. Fallzahl $N = 50$	45
Tabelle 4:	Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe I ($N = 38$).....	47
Tabelle 5:	Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe II ($N = 79$).....	48
Tabelle 6:	Analyseparameter zum Zeitpunkt T1 und T2 sowie die Reduktion der Asymmetrie im Verlauf der Therapie in Altersgruppe III ($N = 27$).....	48
Tabelle 7:	Dauer der Behandlung sowie die Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen.....	50
Tabelle 8:	Dauer der Behandlung sowie die Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen.....	50
Tabelle 9:	Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) der verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe I ($N = 38$).....	53
Tabelle 10:	Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) der verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe II ($N = 79$).....	54

Tabelle 11: Vergleich der Dauer der Behandlung sowie der
Veränderung der Analyseparameter ($\Delta T1-T2$) der
verschiedenen Schweregrade innerhalb Altersgruppe III (N
= 27)..... 54

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbereitung der stereophotogrammetrischen 3D-Datensätze. a) Ausgangsdatsatz aus dem 3dMDhead System; b) Entfernung aller für die Analyse nicht erforderlichen Areale; c) Aufbereiteter Datensatz nach Entfernung der oberflächlichen Artefakte und Reflexionen sowie Verschluss kleinerer oberflächlicher Löcher durch Interpolation. Durch die Konvertierung in eine „.stl“-Datei gehen zudem die für die Analyse nicht erforderlichen Farbtexturen verloren (eigene Abbildung).....	31
Abbildung 2: Überlagerung der 3D-Datensätze eines Patienten mit lagerungsbedingtem Plagiozephalus. Der solide dargestellte Datensatz entspricht der Kopfform vor Beginn der Kopforthesentherapie, der transparent dargestellte (größere) Datensatz entspricht der Kopfform nach erfolgreich durchgeführter Kopforthesentherapie (eigene Abbildung).	32
Abbildung 3: Darstellung der für die Erstellung des Koordinatensystems notwendigen Punkte auf der Oberfläche des 3D-Datensatzes eines Säuglingskopfes (eigene Abbildung).	33
Abbildung 4: Darstellung des Koordinatensystems zur reproduzierbaren Ausrichtung der Datensätze der Säuglingsköpfe. Ansicht von schräg lateral (eigene Abbildung).	34
Abbildung 5: Konstruktion der Messebene durch Parallelverschiebung der XY-Ebene nach kranial bis zur Höhe der maximalen anterior-posterioren Ausdehnung. 2D-Ansicht von lateral links (eigene Abbildung).....	35
Abbildung 6: Konstruktion der Messebene durch Parallelverschiebung der XY-Ebene nach kranial bis zur Höhe der maximalen anterior-posterioren Ausdehnung. 3D-Ansicht von schräg lateral (eigene Abbildung).....	36

Abbildung 7: Unterteilung des Säuglingsschädels in vier Volumenquadranten (Q1 – Q4). Ansicht von schräg lateral und kranial (eigene Abbildung).....	37
Abbildung 8: Darstellung der Analyse des 30°-CVA und des 30°-CVAI am Beispiel eines Patienten mit rechtsseitigem LP (eigene Abbildung).....	39
Abbildung 9: Darstellung der Analyse des ACAI. Die Volumina der beiden vorderen Volumenquadranten (farblich hervorgehoben) werden hierbei miteinander verglichen (eigene Abbildung).	40
Abbildung 10: Darstellung der Analyse des PCAI. Die Volumina der beiden hinteren Volumenquadranten (farblich hervorgehoben) werden hierbei miteinander verglichen (eigene Abbildung).	41
Abbildung 11: Verteilung der Patienten auf die drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).....	46
Abbildung 12: Darstellung der Therapiedauer sowie der Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).	51
Abbildung 13: Darstellung der Erfolgsraten der Koporthesentherapie in den drei Altersgruppen (blau: Altersgruppe I / grau: Altersgruppe II / rot: Altersgruppe III) (eigene Abbildung).....	52
Abbildung 14: Darstellung der Therapiedauer sowie der Veränderung der Analyseparameter (Δ T1-T2) zwischen den drei Altersgruppen unter Berücksichtigung des Schweregrades der Asymmetrie. (hellblau: Altersgruppe I – mild-to-moderate Asymmetrie / dunkelblau: Altersgruppe I moderate-to-severe Asymmetrie // hellgrau: Altersgruppe II – mild-to-moderate Asymmetrie / dunkelgrau: Altersgruppe II – moderate-to-severe Asymmetrie //	

hellrot: Altersgruppe III – mild-to-moderate Asymmetrie /
dunkelrot: Altersgruppe III – moderate-to-severe Asymmetrie)
(eigene Abbildung)..... 55

Abbildung 15: Darstellung der Erfolgsraten der Kopforthesentherapie
in den drei Altersgruppen unter Berücksichtigung des
Schweregrades der Asymmetrie.
(hellblau: Altersgruppe I – mild-to-moderate Asymmetrie /
dunkelblau: Altersgruppe I moderate-to-severe Asymmetrie //
hellgrau: Altersgruppe II – mild-to-moderate Asymmetrie /
dunkelgrau: Altersgruppe II – moderate-to-severe Asymmetrie //
hellrot: Altersgruppe III – mild-to-moderate Asymmetrie /
dunkelrot: Altersgruppe III – moderate-to-severe Asymmetrie)
(eigene Abbildung)..... 56

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen herzlichen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen, die maßgeblich zu der Entstehung dieser Dissertationsarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Professor Dr. Angelika Stellzig-Eisenhauer für die Vergabe dieses interessanten Dissertationsthemas, die Zurverfügungstellung aller dafür notwendigen Materialien, Arbeitsgeräte und Räumlichkeiten sowie für die Übernahme des Referates.

Herzlichen Dank möchte ich Herrn Professor Dr. Tilmann Schweitzer für die freundliche Übernahme des Korreferates und die damit verbundene Zweitkorrektur meiner Arbeit aussprechen.

Dem Team des Craniofacialen Centrums Würzburg, Herrn Professor Dr. Tilmann Schweitzer, Herrn Professor Dr. Dr. Christian Linz, Herrn Dr. Dr. Hartmut Böhm und Herrn Dr. Felix Kunz möchte ich für die professionelle und kompetente Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Studie danken.

Nina Wassmuth danke ich für die umfangreiche statistische Auswertung der Daten sowie für die geduldige und ausführliche Beantwortung aller statistischen Rückfragen.

Für die hilfsbereite und freundliche Unterstützung bei organisatorischen Belangen gilt mein herzlicher Dank Frau Stuis-Pfeuffer.

Meiner Familie, insbesondere meinem Ehemann, bin ich sehr dankbar für die liebevollen und stets motivierenden Worte, die wertvollen Ratschläge, das große Vertrauen in mich sowie die offenen Ohren vom Beginn meines Studiums bis hin zur Fertigstellung dieser Dissertation.