

Aus dem Institut für Röntgendiagnostik
der Universität Würzburg
Abteilung für Pädiatrische Radiologie
Leiter: Prof. Dr. K. Darge

**Nicht operierte Sagittalnahtsynostosen
im Verlauf**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von
Monika Fischer
aus Markt Herrnsheim

Würzburg, Januar 2007

Referent: Professor Dr. K. Darge

Korreferent: Professor Dr. H. Collmann

Dekan: Professor Dr. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Mai 2007

Die Promovendin ist Ärztin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Die gesunde Schädelnaht	1
1.2. Die pathologische Schädelnaht	2
1.3. Diagnose und Therapie	4
1.4. Vergleich der Röntgentechniken	8
1.5. Fragestellung	9
2. Material und Methoden	10
2.1. Patienten	10
2.2. Aufnahmebedingungen der Röntgenbilder	11
2.3. Beurteilung der Nähte	12
2.4. Morphometrie	14
2.5. Indizes	17
2.6. Schaltknochen	20
2.7. Impressiones digitatae	20
2.8. Normwertkollektiv	21
2.9. Vergleich digitale – konventionelle Röntgentechnik	21
2.10. Statistische Auswertung	22
3. Ergebnisse	24
3.1. Nähte	24
3.2. Messwerte	33
3.3. Schaltknochen	47
3.4. Impressiones digitatae	47
3.5. Vergleich konventioneller und digitaler Röntgentechnik	47
4. Diskussion	50
5. Zusammenfassung	61
6. Anhang	62
6.1. Bildbeispiele	62
6.2. Auswertungsbogen	77
7. Literaturverzeichnis	80

1. Einleitung

1.1. Die gesunde Schädelnaht

Die Schädelnaht, lateinisch Sutura, stellt ein kraniofaziales Gelenk dar. Sie ist gekennzeichnet durch eine dünne Bindegewebsschicht, welche die Lücke zwischen zwei eng aneinander liegenden Knochen überspannt. Der Begriff Naht beinhaltet besonders, dass diese offen ist, bezeichnet also ihren funktionellen Status nicht aber ihren späteren Verschluss (1).

Die Funktionen der Schädelnähte sind vielfältig, bei Geburt erlaubt ihre relative Beweglichkeit eine Verformung des Schädels beim Durchtritt durch den Geburtskanal (2). Weiter stellen die Nähte die Wachstumszonen des Schädels dar. Appositionelles Randwachstum der Knochenschuppen im Bereich der Nähte ermöglicht der Schädelkapsel die enorme Größenzunahme in den ersten drei Lebensjahren (3). Danach erfolgt das Schädelwachstum hauptsächlich durch Remodellierung. Durch die bindegewebige Verbindung und die zunehmende Verzähnelung der Knochen im Bereich der Nähte wird zum einen ein Auseinanderreißen der Knochenschuppen bei großer Gewalteinwirkung verhindert. Zum anderen erhält die Schädelkapsel so die Eigenschaft, kleine Traumen abzufedern. Das Gehirn ist auf diese Weise während des Säuglingsalters und der frühen Kindheit optimal geschützt (Abb. 1).

Der vorzeitige Verschluss der Schädelnähte wird als Kraniosynostose bezeichnet. Er wurde mit vielerlei Faktoren in Verbindung gebracht. Es wurden vaskuläre, hormonelle, genetische, mechanische und lokale Ursachen diskutiert, jedoch ohne Ergebnis (4,5). Im Tiermodell konnte gezeigt werden, dass sich eine kompetente Naht in einer Umgebung frei von hormonellen und mechanischen Einflüssen ausbildet (6-8). Die Erfahrungen aus dem Tiermodell und die familiäre Häufung der Synostosen lassen auf genetische Faktoren bei der Bildung und der Fusion der Nähte schließen. In der Zwischenzeit wurden viele genetische Mutationen, die zur Ausbildung von syndromalen

Kraniosynostosen führen, identifiziert (9), aber bei der Untersuchung von isolierten Kraniosynostosen konnte keine bis dahin bekannte Mutation nachgewiesen werden (10).

Die physiologische Synostose der Nähte ist ein Prozess, der abhängig von der Art der Naht zwischen dem zweiten und dem 26. Lebensjahr beginnt. Die Sutura sagittalis synostisiert ab dem 22. Lebensjahr (1). In welchem Lebensalter der Nahtverschluss abgeschlossen ist, kann nicht genau bestimmt werden. Die Sutura metopica ist in der Regel spätestens im dritten Lebensjahr knöchern verschlossen, aber bei 10% der Menschen verschließt sie sich auch im Laufe des Lebens nicht (11). Bei Autopsien konnte gezeigt werden, dass die Sutura sagittalis - Gegenstand dieser Arbeit - bei 24% der 46-55 jährigen Männer und bei 45% der 46-55 jährigen Frauen noch in der gesamten Länge offen ist. Daher ist eine Altersbestimmung von Schädeln anhand der Sutura sagittalis nicht möglich (11).

1.2. Die pathologische Schädelnaht

Der pathologische vorzeitige Verschluss einer, mehrerer Nähte oder aller Schädelnähte erhielt unterschiedliche Namen, die gebräuchlichsten sind Kraniostenose und Kraniosynostose. Dabei bezeichnet Kraniostenose das Ende, Kraniosynostose den Ablauf des pathologischen Vorgangs eines vorzeitigen Nahtverschlusses; beide Begriffe werden aber oft synonym verwendet (12). Als isolierte Synostose wird diejenige bezeichnet, bei der nur eine Naht betroffen ist. Wenn zwei oder mehr Nähte in Mitleidenschaft gezogen wurden, heißt dies kombinierte Synostose. Eine Pansynostose liegt dann vor, wenn alle Nähte des Schädeldachs beteiligt sind. Ist nur ein kleiner Bereich der Naht verschlossen, spricht man von einer funktionellen Kraniosynostose.

Der vorzeitige Verschluss der Sagittalnaht führt zur pathologischen Verlängerung des Schädels. Bezeichnungen hierfür sind Dolchizephalus (Langschädel) (Abb. 2), Skaphozephalus (Kahnschädel) (Abb. 3) oder

Leptocephalus (Schmalschädel). Ist primär der mittlere Abschnitt der Sagittalnaht betroffen, resultiert ein Clinocephalus der im Deutschen auch Sattelkopf (Abb. 4) genannt wird (13). Der Schädel eines Patienten mit Sagittalnahtsynostose (Abb. 5) ist durch eine Verlängerung des fronto-occipitalen Durchmessers gekennzeichnet, der bitemporale Durchmesser ist verringert und das Bregma ist erhöht. Im parietalen Bereich ist die Schädelhöhe vermindert und die Parietalhöcker sind nicht oder nur spärlich ausgebildet. Ein Längswulst, der an den Kiel eines Bootes erinnert, bildet sich im Bereich der Sagittalnaht. Durch das kompensatorische Wachstum im Bereich der Koronarnähte und der Stirnnaht entsteht die typische Balkonstirn, im Englischen auch „frontal bossing“ genannt. Die occipitale Überrotation, dies entspricht einer Verlagerung des Inions (entspricht dem Confluens sinuum an der Schädelaußenfläche) nach kaudal, entsteht durch vermehrtes Wachstum im Bereich der Lambdanähte. Ist primär der frontale Teil der Sagittalnaht betroffen, bleibt die Überrotation der hinteren Schädelgrube aus. Wenn zuerst der dorsale Teil der Naht betroffen ist, dann wird die Balkonstirn nicht ausgebildet (14,2). Ein Teil der Betroffenen bildet eine massive Verdickung des Schädelknochens im Bereich der Stirn aus (Abb. 6).

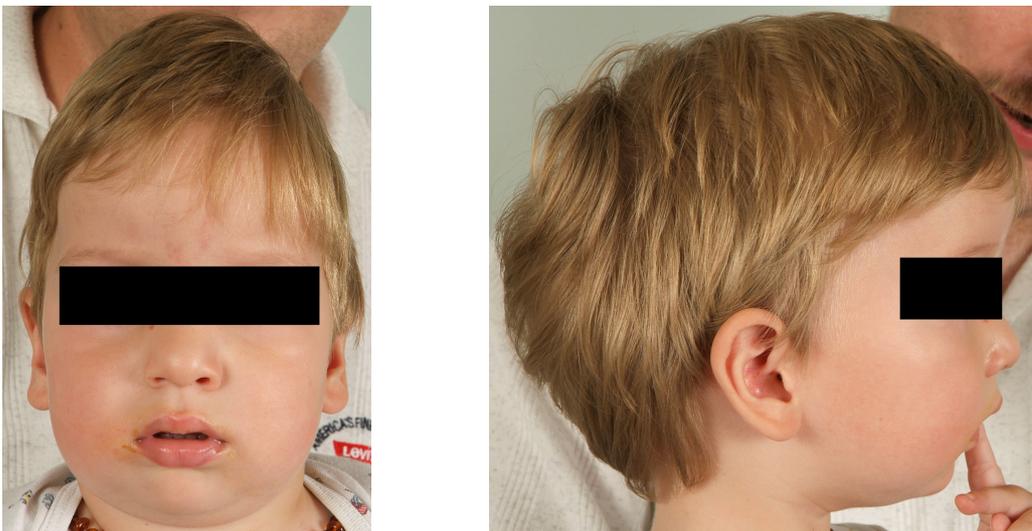


Abb. 5: Skaphozephalus, 9 Monate alter Junge

Die Häufigkeit von Kraniosynostosen liegt bei 476 Betroffenen pro eine Million Lebendgeburten (15). Die isolierte Sagittalnahtsynostose ist mit 190 Erkrankten

pro eine Million Lebendgeburten die häufigste Variante (16). 72% davon treten sporadisch auf. Die Geschlechtsverteilung männlich zu weiblich wird in einem Verhältnis von 2,3 bis 3,5 zu 1 angegeben (17-16).

Des Weiteren werden die Kraniosynostosen nach ihrer Ursache in primäre und sekundäre unterteilt. Bei den sekundären Kraniosynostosen ist die Pathogenese geklärt. Beispiele hierfür sind metabolische Störungen wie die Hypophosphatasie oder Mucopolysaccharidose (1). Bei den primären Kraniosynostosen werden genetische Ursachen vermutet. Die Genorte für einige syndromale Formen sind lokalisiert. Es wurden jedoch keine Hinweise gefunden, dass diese Mutationen auch bei der isolierten Sagittalnahtsynostose vorliegen (10). Etwa 6% der isolierten Sagittalnahtsynostosen sind hereditär bedingt (1).

1.3. Diagnose und Therapie

Die Diagnose der Kraniosynostose wird in erster Linie klinisch gestellt. Die Kinder fallen durch ihre veränderte Kopfform auf. Radiologische, genetische und neurologische Untersuchungen vervollständigen die Diagnose und ermöglichen eine Einordnung der Patienten zu den verschiedenen Formen der Kraniosynostosen. Diese Einordnung bereitet gelegentlich Schwierigkeiten, da bei den oft sehr jungen Patienten nicht immer alle Zeichen eines Syndroms ausgebildet sind. Die Diagnose einer isolierten Synostose musste bei wenigen Patienten revidiert werden, da sich eine metabolische Störung oder eine syndromale Erkrankung erst später manifestierte (18).

Die plane Röntgenaufnahme in anterior-posterioren und seitlichen Projektionen ist die Methode der Wahl zur Bestätigung der Diagnose. Aus der äußeren Schädelbreite (BE) und der äußeren Schädellänge (LE) wird der Breiten-Längen-Index (BLI) berechnet:

$$\text{BLI} = \text{BE} / \text{LE} * 100$$

Liegt der BLI zwischen 75 und 79,9 ist der Schädel normal ausgeprägt (Mesocephalus). Bei einem BLI unter 75 ist der Schädel lang und schmal (Dolichocephalus) (19) liegt aber noch innerhalb der Norm. Bei einem BLI unter 70 ist die Deformierung deutlich ausgeprägt und für jeden erkennbar (20), es liegt ein Skaphozephalus vor. Die Darstellung der Nähte und insbesondere ihre Zähnelung ist sehr stark von der Qualität der Röntgenaufnahme abhängig. Nur auf Röntgenbildern mit einer hohen Qualität sind die gesunden Nähte optimal dargestellt und so von pathologisch veränderten Nähten abzugrenzen (21).

Die Frage der Operationsindikation wird unterschiedlich beantwortet. Während einige wenige Zentren seit Ende der 80er Jahre dazu übergegangen sind, Kinder mit isolierter Sagittalsynostose lediglich zu überwachen, halten andere sowohl aus funktionellen, als auch aus kosmetischen Gründen die Operation für indiziert (22). Die operative Therapie bestand früher darin, die vorzeitig verschlossene Schädelnaht wieder zu öffnen. Heute weiß man, dass die Naht nie eine normale Funktion hatte, und dass durch das chirurgische Öffnen der Naht die Funktion nicht wieder hergestellt werden kann (18). Ziel der operativen Therapie heute ist die Besserung des entstehenden äußeren Aspektes und die Vergrößerung der Schädelkapazität (18). Das Morbititätsrisiko der Operation liegt unter 5% und das Mortalitätsrisiko nahe 0%.

Ausschlaggebend bei der Therapieentscheidung ist die klinische Symptomatik. Gibt es keine Hinweise auf einen erhöhten intrakraniellen Druck oder einer Entwicklungsverzögerung, imponiert lediglich der ästhetische bzw. psychosoziale Aspekt. Die Entscheidung für oder gegen eine Operation wird dann von der Meinung der Eltern abhängig gemacht. Wenn die Eltern die psychosomatische Belastung des Kindes aufgrund der Schädeldeformation gering einschätzen kann auf die Operation verzichtet werden. Bilder von betroffenen Kindern haben sich bei der Beratung als hilfreich erwiesen. Die Eltern werden darauf hingewiesen, dass die Deformation ab einer gewissen Ausprägung für jedermann erkennbar ist, insbesondere wenn die Haare nass oder sehr kurz sind (20).

Bei der konservativen Haltung muss ein erhöhter Hirndruck immer ausgeschlossen werden. Der Anteil der Kinder mit erhöhtem Hirndruck bei einer isolierten Sagittalnahtsynostose wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben. Er variiert zwischen 24% (n=25) (23) und 13,8% (n=246) (24). In diesen Studien wurde der Hirndruck mit Hilfe einer Drucksonde gemessen. Werden nur klinische Symptome untersucht ist der Anteil geringer. So fand Breugem bei keinem seiner Patienten Hinweise für einen erhöhten Hirndruck (n=44) (25). Die Messung über 24 Stunden mit Hilfe einer Drucksonde ist die zuverlässigste Methode zur Diagnose eines erhöhten Hirndrucks. Diese Methode ist aber invasiv und birgt gewisse Risiken. Im Röntgenbild sind die Nahtsprengung und die Erosion der Sella sichere Zeichen für einen erhöhten Hirndruck. Die Häufigkeit des Wolkenhäutels ist bei den Synostosepatienten nicht erhöht und korreliert nicht eng mit einem erhöhten Hirndruck (26). Etwa 60% der Patienten mit erhöhtem Hirndruck werden mit Hilfe des Röntgenbildes und einer zusätzlichen augenärztlichen Untersuchung entdeckt (18).

Die häufigsten Entwicklungsverzögerungen bei Kindern mit isolierter Sagittalnahtsynostose sind Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten, die von Shipster bei 37% der Betroffenen diagnostiziert wurden. Die Operation verbesserte diese Schwäche allerdings nicht (27). Dieses Ergebnis bestätigt frühere Arbeiten. So untersuchte Kapp-Simon 30 Patienten mit isolierter Sagittalsynostose. Die kognitive Entwicklung der Kinder, die in den ersten Lebenswochen operiert wurden, unterschied sich nicht von denen, die später operiert wurden. Auch gegenüber nicht operierten Kindern zeigten sich keine Unterschiede (28). Die höchste Aussagekraft hinsichtlich der kognitiven Entwicklung hat die initiale Untersuchung (29). Arnaud untersuchte zusätzlich den intrakraniellen Druck. Von 100 Skaphozephaluspatienten hatten 16% kognitive Beeinträchtigungen und erhöhten Hirndruck, 6% hatten kognitive Beeinträchtigungen und keinen erhöhten Hirndruck. Die Operation verbesserte in beiden Gruppen die Kognition nicht. Weiterhin berichtet er von vier Patienten, deren Entwicklung normal verlief, trotz eines erhöhten Hirndrucks und ohne Operation. Bei einer Nachuntersuchung von 30 Patienten mit nicht operierter

Sagittalnahtsynostose fanden sich bei 20% erniedrigte Werte für Lernen und Gedächtnis (30). Die Betroffenen waren bei der Untersuchung zwischen zwei und 25 Jahre alt. Bis auf eine Ausnahme besuchten jedoch alle Betroffenen eine Regelschule.

Mit jährlich ca. 25 neu diagnostizierten Patienten mit isolierten Sagittalnahtsynostose zählt Würzburg zu den großen Zentren für Kraniosynostose in Deutschland. Seit Anfang der 90er Jahre werden hier nicht mehr alle Kinder mit Skaphozephalus operiert, der Anteil der nicht operierten Kinder lag 1992 bei 25 – 30% und stieg bis 2003 auf über 50% an. Weitere Zentren, die eine konservative Einstellung beim Skaphozephalus anbieten, befinden sich in Berlin und Paris. In Berlin wurden zwischen 1994 und 2000 53% der insgesamt 159 Patienten mit Kraniosynostose operiert, darunter alle Fälle mit syndromaler Synostose (31). Bei den isolierten Synostosen wurde die Operationsplanung von der individuellen äußeren Erscheinung der Patienten abhängig gemacht. Zur Verlaufsbeurteilung wird dort eine klinische Beurteilung, wiederholte Fotodokumentationen und ophthalmologische Kontrollen durchgeführt. Radiologische Untersuchungen werden auf Grund der geringen Sensitivität bei der Entdeckung der Patienten mit erhöhtem Hirndruck zur Verlaufskontrolle nicht mehr angewandt (31). Bei allen Patienten wurde eine genetische Untersuchung und ein MRT durchgeführt.

Slomic führte Querschnittuntersuchungen mit Hilfe von planen Röntgenbildern bei 20 Skaphozephaluspatienten durch, und stellte sie einer Kontrollgruppe von 948 Kindern gegenüber (32). Richtsmeier untersuchte mit Hilfe des CT 23 Betroffene, die Kontrollgruppe beinhaltete 10 Kinder (33). Aldridge suchte mit Hilfe des MRT nach Veränderungen des Gehirns an 10 Patienten mit isolierter Sagittalnahtsynostose (34). Radiologische Längsschnittuntersuchungen zum Spontanverlauf des Skaphozephalus wurden nach heutigem Erkenntnisstand nicht veröffentlicht.

1.4. Vergleich der Röntgentechniken

Im Juli 2001 wurde in der Abteilung für Pädiatrische Radiologie das Bildempfängersystem der Röntgenanlage vom Film-Folien-System auf ein System mit Speicherfolie und digitaler Bildgewinnung umgestellt. Eine altersadaptierte Optimierung der digitalen Bildbearbeitung im August 2002 brachte eine Verbesserung der Bildqualität im Vergleich zur nicht optimierten Anwendung (Abb. 8a und b). Bei der Verlaufsbeurteilung der Kraniosynostosepatienten über Jahre kamen beide Röntgensysteme zum Einsatz und so ergab sich die Möglichkeit des Vergleichs.

Der Hauptvorteil der Speicherfolien liegt wegen des hohen Dynamikbereichs u. a. in der relativ hohen Unempfindlichkeit bei Fehlbelichtungen (35) und die adäquate Darstellung kontrastarmer Strukturen (36). Weitere Vorteile sind die Möglichkeit der Nachbearbeitung der gewonnenen Bilder, ihre platzsparende Archivierung, die verlustfreie Duplikation und die schnelle überregionale Versendung (37). Eine Dosisreduktion durch die Verwendung einer Speicherfolie ist nur begrenzt möglich, da es teilweise zum Verlust der Ortsauflösung kommt (38-39).

1.5. Fragestellung

Unsere Fragestellung in dieser Arbeit umfasst zwei Bereiche.

Zum einen wird der Spontanverlauf der isolierten Sagittalnahtsynostose untersucht.

- Wie verändert sich der Skaphozephalus mit dem Wachstum der Patienten?
- Wie stellen sich die Nähte im Verlauf dar?

Weiterhin sollen Zusammenhänge zwischen einer radiologisch darstellbaren Nahtveränderung und den morphometrischen Daten untersucht werden.

Zum anderen wird die digitale mit der konventionellen Röntgentechnik verglichen.

- Bieten Speicherfoliensysteme eine bessere Beurteilbarkeit von Schädelaufnahmen der Kraniosynostosepatienten als herkömmliche Film-Folien-Systeme?

Besonderer Wert soll dabei auf die Darstellung der Schädelnähte gelegt werden.

2. Material und Methoden

2.1. Patienten

Für die retrospektive Röntgenanalyse wurden Aufnahmen herangezogen, die zwischen Juli 1992 und Oktober 2003 entstanden sind. Untersucht wurden die radiologischen Verlaufsbeobachtungen von 52 Kindern, davon waren 43 Patienten männlich und 9 weiblich, dies entspricht einem Geschlechterverhältnis M:W von 4,7 zu 1. Der Beobachtungszeitraum lag im Mittel bei drei Jahren und zwei Monaten. Der kürzeste Beobachtungszeitraum betrug 5 Monate, der längste 8 Jahre und 9 Monate. Das Patientenalter zum Zeitpunkt der ersten radiologischen Untersuchung und im weiteren Verlauf ist in Tabelle 1 dargestellt.

Röntgenaufnahme des Schädels	Anzahl der Patienten	Lebensalter bei Aufnahme (Monate)	Mittleres Lebensalter bei Aufnahme (Monate)
1.	52	0,5 – 46	8
2.	52	4 – 97	25,8
3.	32	12 – 96	39,2
4.	12	31 – 76	50,5
5.	6	71 – 98	76,8
6.	1	111	111

Tabelle 1: Lebensalter bei den jeweiligen Untersuchungen

Bei den Patienten wurde eine isolierte Sagittalnahtsynostose ohne Hinweis auf ein Synostosesyndrom diagnostiziert. Die Diagnose wurde klinisch und radiologisch gestellt. Ein Breiten-Längen-Index unter 70 wurde in 11 Fällen (21%) bei Erstdiagnose nicht erreicht (Abb. 7). Bei diesen Patienten wurde die Diagnose aber durch weitere morphologische Kriterien wie die Überhöhung des Bregma und die fehlende Ausbildung der Parietalhöcker bestätigt. Weiterhin war die Sagittalnaht radiologisch bei diesen Patienten nicht oder nur partiell darstellbar.

2.2. Aufnahmebedingungen der Röntgenbilder

Insgesamt wurden 155 Bildpaare ausgewertet, jeweils Aufnahmen in anterior-posteriorem und seitlichem Strahlengang. Für die Untersuchung wurden solche Röntgenaufnahmen nicht verwendet, bei denen die anterior-posteriore Aufnahme und die seitliche Aufnahme nicht am gleichen Tag angefertigt wurden. Die Röntgenbilder gliederten sich nach Herkunft und Aufnahmetechnik folgendermaßen auf:

31 Paare Fremdbilder in konventioneller Röntgentechnik

2 Paare Fremdbilder in digitaler Röntgentechnik

81 Paare eigene Röntgenbilder in konventioneller Röntgentechnik

41 Paare eigene Röntgenbilder in digitaler Röntgentechnik, 4 vor und 37 nach Optimierung der digitalen Röntgenanlage.

Die eigenen Röntgenbilder wurden in der Abteilung für Pädiatrische Radiologie der Universitätsklinik Würzburg erstellt. Nachforschungen ergaben, dass die Fremdaufnahmen weitestgehend unter vergleichbaren Bedingungen angefertigt wurden.

Der Film-Fokus-Abstand betrug 115 cm. Der Fokus-Objekt-Abstand berechnet sich aus dem Film-Tisch-Abstand abzüglich der halben äusseren Schädelbreite für die seitliche Projektion, und der halben äusseren Schädellänge für die anterior-posteriore Projektion. Der Vergrößerungsfaktor ist somit von der Schädelgröße abhängig und variierte von 1,12 beim Säugling in seitlicher Projektion bis zu 1,16 beim 8 jährigen Kind in anterior-posteriorer Projektion. Mit folgender Formel wurde der Vergrößerungsfaktor näherungsweise bestimmt:

$$VF = FFA / FOA$$

VF: Vergrößerungsfaktor

FFA: Film-Fokus-Abstand

FOA: Fokus-Objekt-Abstand

2.3. Beurteilung der Nähte

Alle Aufnahmen, insbesondere jede einzelne Naht wurde von mir gemeinsam mit einem erfahrenen Kinderradiologen und einem pädiatrischen Neurochirurgen im Konsens beurteilt. Bei der Bestimmung des Abstandes der Zähnelung und der Größe der Schaltknochen wurde der Vergrößerungsfaktor nicht berücksichtigt.

Es wurden folgende Nähte getrennt beurteilt: In der seitlichen Projektion die Sutura coronalis rechts und links, sowie die Sutura lambdoidea rechts und links. Die Sutura sagittalis wurde in der anterior-posterioren Projektion beurteilt.

Die Nähte wurden bewertet nach ihrer Darstellbarkeit, Nahtbegrenzung, der Zähnelung und der Aktivität. Der genaue Auswertungsbogen ist im Anhang abgedruckt.

2.3.1. Darstellbarkeit

Die Darstellbarkeit der einzelnen Nähte wurde unterteilt in „Naht im Gesamtverlauf kontinuierlich darstellbar“, „Naht partiell darstellbar“ und „Naht ist nicht dargestellt“ (Abb. 7, 9 bis 11).

2.3.2. Begrenzung

Die Nahtbegrenzung wurde streng nach Darstellungseffekt bewertet. Die Begrenzung der Naht wurde unterschieden in „scharf begrenzt“, „unscharf begrenzt“ und „keine Begrenzung“ (Abb. 12a bis c).

2.3.3. Zähnelung

Die Zähnelung wurde unterteilt in Abstand der Zähnelung und Anzahl der Zacken pro Zentimeter. Der Abstand der Zähnelung wurde an der Stelle der geringsten Ausprägung als Mittel eines Nahtabschnittes von 1,0 cm Länge

gemessen. Die Messwerte wurden unterschieden in Abstand kleiner 0,5 cm, Abstand zwischen 0,5 und 1,0 cm und Abstand größer 1,0 cm. Die Anzahl der Zacken wurde an der Stelle der maximalen Ausprägung auf einem Abschnitt von 1,0 cm Länge gezählt. Es wurde unterschieden in „Naht hat keine Zähnelung“, „Anzahl der Zacken ist nicht zählbar“, „mehr als 2 Zacken pro Zentimeter“ und „eine bis zwei Zacken pro Zentimeter“ (Abb. 13a bis d).

2.3.4. Aktivität

Die Aktivität einer Naht wurde bestimmt durch die altersgerechte Zahl und Tiefe der Zähnelung. Weiterhin wurde der Abstand zwischen den Nahträndern und die Darstellung der Nahtränder berücksichtigt. Zum Vergleich wurden Röntgenaufnahmen von nicht betroffenen Patienten in verschiedenen Altersgruppen herangezogen. Dabei wurde die Aktivität der Sutura coronalis und Sutura lambdoidea subjektiv beurteilt. Bei der Beurteilung wurde in die Kriterien „normale Aktivität“, „leicht erhöhte Aktivität“ und „überaktive Naht“ unterschieden. Für eine erhöhte Aktivität spricht eine scharf begrenzte, schmale Naht beim jungen Kind. Beim älteren Kind deutet ein breiter, unscharf begrenzter Nahtspalt auf eine erhöhte Aktivität hin. Ebenso ist eine breite Zähnelung mit vielen Zacken ein Hinweis auf eine erhöhte Nahtaktivität beim älteren Kind (Abb. 14a bis c, Abb. 15a bis b).

Die Patienten wurden in Aktivitätsgruppen unterteilt. Der Gruppe A (keine Aktivitätserhöhung) wurden diejenigen Patienten zugeteilt, die während ihres gesamten Verlaufs keine oder einmalig eine leicht erhöhte Nahtaktivität aufwiesen. Patienten, die mindestens zweimal eine leicht erhöhte Nahtaktivität oder einmalig eine deutlich überaktive Koronarnaht zeigten, wurden der Gruppe B (Koronarnahtaktivität erhöht) zugeteilt. Die Gruppe C (Lambdanahtaktivität erhöht) beinhaltet diejenigen Patienten bei denen die Lambdanaht betroffen war. Die verschiedenen Aktivitätsgruppen wurden hinsichtlich der Parameter Breiten-Längen-Index, Bregmahöhe und Parietalwinkel verglichen.

2.4. Morphometrie

2.4.1. Messpunkte

Die folgenden Messpunkte waren wichtig, um Messstrecken und Winkel zur objektiven Verlaufsbeobachtung der Sagittalnahtsynostose zu gewinnen

(Abb. 16):

a) Nasion: Schnittpunkt der Sutura nasofrontalis mit der Medianebene, Tabula externa. Dieser Punkt wurde immer mit Hilfe einer hellen Lampe bestimmt.

b) Bregma: Vordere Begrenzung des Schnittpunktes der Sagittalnaht mit der Koronarnaht, Tabula externa. Wenn ein Fontanellenknochen vorlag, wurde die posteriore Begrenzung des Os frontale als Messpunkt herangezogen.

c) Inion: Entspricht dem Zusammenfluss von Sinus sagittalis, transversus und rectus im Confluens sinuum auf der Tabula interna der Kalotte. An dieser Stelle kann ein kleiner Vorsprung, eine Mulde oder ein Plateau ausgebildet sein. Der Messpunkt ist in die Mitte dieser Struktur zu legen, bzw. auf den knöchernen Vorsprung. Wie aus der Definition zu ersehen ist, kann dieser Punkt nicht immer genau bestimmt werden. Es wurde streng darauf geachtet das dieser Punkt im Verlauf immer der gleichen Struktur zugeordnet wurde.

d) Ophistion: Dorsale Begrenzung des Foramen magnum in der Medianebene. Bei Säuglingen ist diese Struktur noch nicht knöchern ausgebildet und im Röntgenbild nicht abgrenzbar. Zur genauen Bestimmung wurde in solchen Fällen eine Hilfslinie eingezeichnet, die der dorsalen Begrenzung des Spinalkanals entspricht. Das Ophistion wurde dann an die Schnittstelle zwischen der Hilfslinie und der Schädelkalotte gelegt.

e) Basion: Ventrale Begrenzung des Foramen magnum in der Medianebene. Da diese Struktur bei Säuglingen ebenfalls noch nicht knöchern ist wurde auch hier wie beim Messpunkt Ophistion verfahren.

f) Tuberculum sellae: Höchster Punkt am vorderen Rand der Fossa hypophysealis. Dieser sogenannte Sattelknopf kann bei einer flachen Sella auch fehlen. In diesem Fall wird der Schnittpunkt des Sella Vorderrandes mit der Medianebene verwendet.

2.4.2. Gemessene Strecken

Die gemessenen Strecken und Winkel wurden in Anlehnung an das Schema von SLOMIC (40,32) ausgewählt (Abb. 17a bis c).

a) Innere Schädellänge - LI: Maximaler Abstand zwischen den Tabulae internae von Os frontale und Os occipitale in der seitlichen Projektion.

b) Innere Schädelbreite - BI: Maximaler Abstand zwischen den Tabulae internae der Ossa parietalia in der antero-posterioren Projektion.

c) Äußere Schädellänge – LE: Maximaler Abstand zwischen den Tabulae externae von Os frontale und Os occipitale in der seitlichen Projektion.

d) Äußere Schädelbreite - BE: Maximaler Abstand zwischen den Tabulae externae der Ossa parietalia in der antero-posterioren Projektion.

e) Innere Schädelhöhe - HI: Maximaler Abstand der Tabula interna des Os parietale zur Verbindungslinie zwischen Nasion und Ophistion

f) Länge der vorderen Schädelgrube - NaT: Strecken zwischen Nasion und Tuberculum sellae

g) Höhe des Bregma - BrT: Strecke zwischen Bregma und Tuberculum

h) Länge der hinteren Schädelgrube - InT: Strecke zwischen Inion und Tuberculum sellae

i) Tiefe der hinteren Schädelgrube - HSG: Maximaler Abstand des Ophistions zur Verbindungslinie zwischen Inion und Tuberculum

j) Frontale Wölbung – fNaBr: Maximaler Abstand der Tabula interna des Os frontale zur Verbindungslinie zwischen Nasion und Bregma

2.4.3. Gemessene Winkel

a) Bregmawinkel - NaTBr: Winkel zwischen Nasion, Tuberculum und Bregma.

b) Parietalwinkel - BrTIn: Winkel zwischen Bregma, Tuberculum und Inion.

c) Inionwinkel - NaTIn: Winkel zwischen Nasion, Tuberculum und Inion.

d) Basiswinkel - NaTBa: Winkel zwischen Nasion, Tuberculum und Basion.

Die Parameter innere Schädelgröße, Schädelbreite, Schädelhöhe und Inionwinkel geben einen Überblick über die Schädelverhältnisse. Die innere Schädelgröße und innere Schädelbreite messen die Schädelkonfiguration ohne die Dicke der Kalotte zu berücksichtigen. Die innere Schädelhöhe quantifiziert die Wölbung des Schädeldaches im Bereich der Os parietale, die Ausbildung der Parietalhöcker kann auf einem zwei-dimensionalen Bild aber nur sehr eingeschränkt beurteilt werden. Der Inionwinkel gibt die Lage des Inions ohne Berücksichtigung der Lage des Bregmas wieder.

Die vordere Schädelgrube wird mit Hilfe der Parameter NaT, TBr, fNaBr und Bregmawinkel vermessen. Die Strecke Nasion – Tuberculum (NaT) gibt die Länge der vorderen Schädelgrube wieder. Die Strecke Tuberculum – Bregma (TBr) gibt die Höhe des Bregmas an, wohingegen der Bregmawinkel die Lage des Bregmas relativ zur vorderen Schädelbasis angibt. Der Parameter fNaBr

misst die Ausprägung der frontalen Wölbung. Mit dessen Hilfe lässt sich die Balkonstirn quantifizieren.

Der Parietalwinkel, die Strecken InT und HSG bestimmen die hintere Schädelgrube. Die typische Verlagerung des Inions nach kaudal wird vom Parietalwinkel gemessen. Die Länge der hinteren Schädelgrube wird mit Hilfe der Strecke Inion – Tuberculum (InT) gemessen. Durch die Verlängerung des Schädels und der Verlagerung des Inions nach kaudal entsteht die typische Abflachung der hinteren Schädelgrube, die mit Hilfe des Parameters HSG quantifiziert wird.

Der Basiswinkel, auch Sphenoidalwinkel genannt, charakterisiert die Neigung des Klivus. Die Strecke Nasion - Tuberculum bildet den ventralen Schenkel und die Strecke Tuberculum – Basion den dorsalen . Eine Vergrößerung des Basiswinkels führt zu einer Abflachung des Basisknicks und wird „Platybasie“ genannt (41). Meist ist der dorsale Schenkel (TBa) betroffen, und zeichnet sich durch eine mehr horizontale Stellung des Klivus aus.

2.5. Indizes

2.5.1. Breiten-Längen-Index

Aus der äußeren Schädelbreite und der äußeren Schädellänge wird der Breiten-Längen-Index (BLI) berechnet.

$$BLI = BE / LE \times 100$$

Der Breiten-Längen-Index beschreibt objektiv die Form des Schädels. Der Vergrößerungsfaktor und weitere Fehlerquellen wie die Verkippung des Schädels bei der Röntgenuntersuchung beeinflussen den BLI nur sehr wenig. Mit Hilfe von Slomic's Regressionsformeln (32) kann der BLI abhängig vom Lebensalter berechnet werden. Die Regressionsformel ist im Anhang angegeben. Somit kann ein Normwert abhängig vom Lebensalter errechnet

werden. Die Ergebnisse der Patienten wurden damit verglichen und es kann ein Prozentwert der Norm angegeben werden.

2.5.2. Höhen-Index

Der Höhenindex beschreibt das Verhältnis zwischen vorderer Schädelhöhe, gemessen am Bregma und innerer Schädelhöhe, gemessen am Os parietale. Die für den Skaphozephalus typische Überhöhung des Bregmas und die Abflachung der Os parietale soll somit in Messwerte gefasst und der Verlauf dargestellt werden. Aus der inneren Schädelhöhe und der Strecke Tuberculum – Bregma wird der Höhen – Index (HIN) berechnet.

$$\text{HIN} = \text{HI} / \text{TBr}$$

Des Weiteren wird wie beim Breiten-Längen-Index vorgegangen und nach einem Vergleich mit den Normwerten der Höhenindex als Prozent der Norm angegeben.

In Tabelle 2 werden die verschiedenen Parameter zusammengefasst. Mit Hilfe der Übersichtsparameter wird die Schädelwölbung grob beschrieben, und aus den Parameter BE und LE der BLI berechnet. Die Parameter der vorderen Schädelgrube erfassen die Ausprägung der Balkonstirn und die Lage und Höhe des Bregmas. Die Verlängerung und Abflachung der hinteren Schädelgrube, sowie die Verlagerung des Inions nach kaudal werden von den Parametern InT, HSG und BrTIn erfasst, zudem wird die Neigung des Klivus mit Hilfe des Basiswinkels gemessen.

Parameter	Abkürzung	Bedeutung
Übersichtsparameter		
Innere Schädel­länge	LI	Maximale Schädel­länge gemessen an der Tabula interna
Innere Schädel­breite	BI	Maximale Schädel­breite gemessen an der Tabula interna
Äußere Schädel­länge	LE	Maximale Schädel­länge, Tabula externa (→BLI)
Äußere Schädel­breite	BE	Maximale Schädel­breite, Tabula externa (→BLI)
Innere Schädel­höhe	HI	Schädel­höhe im Bereich des Os parietale, erfasst das Abflachen der Schädel­wölbung
Inionwinkel	NaTIn	Lage des Inions relativ zur vorderen Schädel­basis, erfasst die occipitale Überrotation unabhängig von der Lage des Bregma
Vordere Schädel­grube		
Länge der vorderen Schädel­grube	NaT	Länge der vorderen Schädel­grube
Höhe des Bregma	BrT	Höhe der vorderen Schädel­grube, erfasst die Überhöhung des Bregma
Frontale Wölbung	fNaBr	Schädel­wölbung im Bereich des Os frontale, erfasst die Ausprägung der Balkonstirn
Bregmawinkel	NaTBr	Lage des Bregma relativ zur vorderen Schädel­basis
Hintere Schädel­grube und Schädel­basis		
Länge der hinteren Schädel­grube	InT	Erfasst die Verlängerung der hinteren Schädel­grube durch die Kaudalverlagerung des Inions
Tiefe der hinteren Schädel­grube	HSG	Erfasst die Abflachung der hinteren Schädel­grube
Parietalwinkel	BrTIn	Lage des Inions relativ zum Bregma, erfasst die Kaudalverlagerung des Inions
Basiswinkel	NaTBa	Neigung des Klivus
Indizes		
Breiten-Längen-Index	BLI	Beschreibt objektiv die äußere Form des Schädels
Höhen-Index	HIN	Beschreibt die Überhöhung des Bregmas relativ zur Abflachung des Schädels im Bereich des Os parietale

Tabelle 2: Übersichtstabelle Parameter

2.6. Schaltknochen

Schaltknochen (Ossa suturalia) sind zusätzliche Verknöcherungszentren im Bereich der Nähte (Abb. 18). Sie treten hauptsächlich in der Sutura lambdoidea auf. Sie gelten als harmlose Normvarianten, gehäuft treten sie bei Hydrocephalus auf. Ein Zusammenhang mit genetisch bedingten ZNS-Auffälligkeiten wird diskutiert (12).

Schaltknochen wurden nur im Bereich der Sutura lambdoidea berücksichtigt. Sie wurden nach Anzahl und Größe beurteilt. Dabei wurde bei der Anzahl unterschieden zwischen „keine Schaltknochen“, „ein bis drei Schaltknochen“ und „mehr als drei Schaltknochen“. Für die Größenbestimmung wurde der maximale Durchmesser ohne Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors herangezogen. Es wurde unterschieden, ob der Durchmesser weniger als 1,0 cm, zwischen 1,0 cm und 3,0 cm oder mehr als 3,0 cm betrug.

2.7. Impressiones digitatae

Impressiones digitatae sind Ausdruck des normalen kindlichen Schädelinnenreliefs. Ab dem 3. Monat sind sie immer vorhanden und breiten sich bis zum Ende des ersten Lebensjahres über den gesamten Schädel aus (Abb.18a bis c). Auch auffällige Impressiones digitatae gelten im allgemeinen nicht als pathologisch. Sind die Impressiones digitatae stark ausgeprägt, spricht man von einem Wolkenschädel (12).

Impressiones digitatae wurden bei der Beurteilung berücksichtigt, wenn sie stark ausgeprägt waren. Leicht ausgeprägte oder fehlende Impressiones digitatae wurden nicht berücksichtigt. Ebenso wurde die Lokalisation nicht beurteilt.

2.8. Normwertkollektiv

Die eigenen Messwerte wurden mit einem Normwertkollektiv von Slomic verglichen (40). Um Regressionsformeln für die Normwerte in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht zu erstellen, hatte der Autor 938 Bildpaare von französisch-kanadischen Kindern im Alter von zwei Tagen bis zwölf Jahren vermessen. Es handelte sich meist um Aufnahmen nach Trauma, Kinder mit neurologischen Symptomen wurden ausgeschlossen. Der Film-Fokus-Abstand betrug 100 cm und der Film-Tisch-Abstand 4 cm.

Slomic gab einen Vergrößerungsfaktor von 13% für Säuglinge und 16% für Kinder im Alter von 12 Jahren an.

Slomics Daten wurden anhand von Röntgenbildern der kinderradiologischen Abteilung der Universität Würzburg überprüft (42). Es ergaben sich keine Hinweise auf eine Unzulässigkeit der Übernahme der Normwerte von Slomic, obwohl der Vergrößerungsfaktor um einen Prozentpunkt differierte.

2.9. Vergleich konventionelle - digitale Röntgentechnik

Zur Gegenüberstellung der Röntgentechniken wurden die seitlichen und anterior-posterioren Aufnahmen von 33 Patienten verwendet, davon waren 20 Patienten männlich und 13 weiblich, dies entspricht einem Geschlechterverhältnis M:W von 1,5 zu 1. Das Kollektiv bestand aus 15 Patienten mit nicht operierter Sagittalnahtsynostose, 17 Patienten mit anderen isolierten Nahtsynostosen und einem Patienten mit einer syndromalen Erkrankung. Es wurden ausschließlich Röntgenbilder bewertet, die in der Abteilung für pädiatrische Radiologie der Universitätsklinik Würzburg angefertigt wurden.

Der Zeitraum zwischen der konventionellen und der digitalen Aufnahme betrug weniger als 36 Monate, dabei wurden nur zwei Ausnahmen zugelassen. Hierbei handelt es sich um Patienten, die bei der ersten Röntgenuntersuchung bereits älter als 7 Jahre waren und somit das Schädelwachstum weitestgehend

abgeschlossen war. Der Zeitraum zwischen konventioneller und digitaler Röntgenaufnahme betrug im Mittel 25 Monate. Das Patientenalter bei der ersten Untersuchung lag zwischen drei Monaten und acht Jahren, im Mittel waren die Kinder 35 Monate alt. Bei der zweiten Untersuchung lag das Patientenalter im Mittel bei fünf Jahren, insgesamt lag das Patientenalter zwischen 13 Monaten und 14 Jahre 5 Monate.

Insgesamt wurden 66 Bildpaare ausgewertet, jeweils Aufnahmen in anterior-posteriorem und seitlichem Strahlengang. Davon waren 33 Bildpaare in konventioneller Röntgentechnik und 33 Bildpaare in digitaler Röntgentechnik. Die beiden Bildpaare, konventionelle und digitale Röntgentechnik, eines Patienten wurden jeweils gemeinsam bewertet.

Fünf Bereiche wurden bei jedem Bildpaar beurteilt: Die Kalotte allgemein, die Koronarnaht und die Lambdanaht jeweils rechts und links getrennt. Alle Bereiche wurden auf ihre Beurteilbarkeit hinsichtlich Schärfe und Kontrast untersucht. Es wurden vier Stufen unterschieden, die folgendermaßen definiert sind: Eine „Beurteilung ist nicht möglich“ entspricht Stufe 0. Stufe eins wurde einer mäßigen, Stufe zwei einer guten und Stufe drei einer sehr guten Beurteilbarkeit zugeordnet.

2.10. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde das Programm SPSS für Windows 12.0.2G verwendet. Beim Vergleich der Aktivitätsgruppen hinsichtlich der Parameter Breiten-Längen-Index, Bregmahöhe und Parietalwinkel wurde eine einfaktorische Varianzanalyse durchgeführt. Bei den Messwerten wurde nach dem Vergleich der Normwerte mit den gemessenen Parametern und Indizes ein T-Test bei unabhängigen Stichproben durchgeführt, um den Verlauf darzustellen. Es wurde hierbei die erste mit der vierten Altersgruppe verglichen. Zur statistischen Prüfung des Mittelwertunterschiedes zwischen den gemessenen Basiswinkeln und den entsprechenden Normwerten wurde ein T-Test bei abhängigen Stichproben durchgeführt. Beim Vergleich der

konventionellen und der digitalen Röntgentechnik kam der T-Test bei gepaarten Stichproben zur Anwendung. Anschließend wurden die Ergebnisse nach Pearson korreliert, und der Korrelationskoeffizient berechnet.

3. Ergebnisse

3.1. Nähte

Die Schädelnähte wurden einzeln auf ihre Darstellbarkeit, Begrenzung, Zähnelung und ihre Aktivität hin untersucht. Die Ergebnisse wurden nach dem Lebensalter der Patienten bei der Röntgenaufnahme eingeteilt. So wurden die 155 Untersuchungen vier Altersgruppen zugeordnet. Die erste Gruppe, Aufnahmen der Patienten bis zum vollendeten ersten Lebensjahr, beinhaltet 53 Untersuchungen. Die zweite Gruppe, Aufnahmen die im zweiten und dritten Lebensjahr der Patienten angefertigt wurden, beinhaltet 60 Aufnahmen. Röntgenbilder, die im vierten und fünften Lebensjahr angefertigt wurden, wurden der dritten Gruppe zugeordnet, es wurden 26 Untersuchungen durchgeführt. Die vierte Gruppe, Patienten die bei der Röntgenuntersuchung älter als 5 Jahre waren, beinhaltet 16 Untersuchungen.

3.1.1. Darstellbarkeit

In der ersten Altersgruppe war die Sagittalnaht wider Erwarten in 13% der Untersuchungen noch vollständig und bei 45% noch partiell darstellbar. In der zweiten Altersgruppe war sie nur noch in 8% der Untersuchungen partiell darstellbar.

Die Koronarnaht war in der ersten und vierten Altersgruppe zu 100% vollständig darstellbar. Bei zwei Untersuchungen in der zweiten Altersgruppe und bei einer Untersuchung in der dritten Altersgruppe war die Koronarnaht nur partiell darstellbar.

Die Lambdanaht war bei einer Untersuchung in der ersten Altersgruppe nicht darstellbar, bei allen weiteren Untersuchungen war die Lambdanaht in ihrem gesamten Verlauf darstellbar. Tabelle 3 liefert einen Überblick über die Darstellbarkeit der Nähte.

Altersgruppe	1	2	3	4
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5
n	53	60	26	16
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Sagittalnaht				
kontinuierlich	7 (13)	0	0	0
Partiell	24 (45)	5 (8)	0	0
Nicht darstellbar	22 (42)	55 (92)	26 (100)	16 (100)
Koronarnaht				
kontinuierlich	53 (100)	58 (97)	25 (96)	16 (100)
Partiell	0	2 (3)	1 (4)	0
Nicht darstellbar	0	0	0	0
Lambdanaht				
kontinuierlich	52 (98)	60 (100)	26 (100)	16 (100)
Partiell	0	0	0	0
Nicht darstellbar	1 (2)	0	0	0

Tabelle 3: Darstellbarkeit der einzelnen Nähte abhängig vom Lebensalter der Patienten

3.1.2. Begrenzung

Die Sagittalnaht war in der ersten Altersgruppe in 51% scharf und in 8% der Fälle unscharf begrenzt. In der zweiten Altersgruppe waren alle darstellbaren Sagittalnähte scharf begrenzt.

Die Koronarnaht war in der ersten Altersgruppe in 2% der Fälle scharf begrenzt. Der Anteil der Nähte mit scharfer Begrenzung steigt und erreicht in der vierten Altersgruppe 69%.

Die Lambdanaht war in der ersten Altersgruppe bereits in 26% der Fälle scharf begrenzt. In der zweiten Altersgruppe liegt der Anteil der Lambdanähte mit scharfer Begrenzung bei 90% und erreicht dann in der dritten und vierten Altersgruppe 100%. Die absoluten Zahlen über die Begrenzung und die Prozentwerte sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Altersgruppe	1	2	3	4
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5
n	53	60	26	16
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Sagittalnaht				
Scharf	27 (51)	5 (8)	0	0
Unscharf	4 (8)	0	0	0
Keine Begrenzung	22 (41)	55 (92)	26 (100)	16 (100)
Koronarnaht				
Scharf	1 (2)	7 (12)	13 (50)	11 (69)
Unscharf	52 (98)	53 (88)	13 (50)	5 (31)
Keine Begrenzung	0	0	0	0
Lambdanaht				
Scharf	14 (26)	54 (90)	26 (100)	16 (100)
Unscharf	38 (72)	6 (10)	0	0
Keine Begrenzung	1 (2)	0	0	0

Tabelle 4: Begrenzung der einzelnen Nähte abhängig vom Lebensalter der Patienten

3.1.3. Zähnelung

Die Zähnelung wurde durch den Abstand der Zähne, das heißt die Ausdehnung der Naht, und die Anzahl der Zacken pro Zentimeter eingeteilt. Die Sagittalnaht zeigte in der ersten Altersgruppe bei 7 Patienten eine Zähnelung und war bei insgesamt 31 Patienten darstellbar. In der zweiten Altersgruppe war die Sagittalnaht in einem Fall gezähnt und insgesamt in fünf Fällen darstellbar. Der Abstand der Zähnelung betrug in allen Fällen weniger als 0,5 cm und es konnten jeweils ein bis zwei Zacken gezählt werden.

Die Koronarnaht war in der ersten Altersgruppe bei 26% der Untersuchungen gezähnt. Der Abstand der Zähnelung betrug jeweils weniger als 0,5 cm. Bei 5 Patienten konnten mehr als zwei Zacken und bei 9 Patienten ein bis zwei Zacken pro cm gezählt werden. In der zweiten Altersgruppe waren bereits 77%

Altersgruppe	1	2	3	4
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5
n	53	60	26	16
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Sagittalnaht				
Abstand (A) der Zähnelung				
Keine Zähnelung	46 (87)	59 (98)	26 (100)	16 (100)
A < 0,5 cm	7 (13)	1 (2)	0	0
0,5 > A > 1,0 cm	0	0	0	0
A > 1,0 cm	0	0	0	0
Anzahl der Zacken pro cm				
Keine Zähnelung	46 (87)	59 (98)	26 (100)	16 (100)
Nicht zählbar	0	0	0	0
Mehr als 2 Zacken	0	0	0	0
1bis 2 Zacken	7 (13)	1 (2)	0	0
Koronarnaht				
Abstand (A) der Zähnelung				
Keine Zähnelung	39 (74)	14 (23)	0	0
A < 0,5 cm	14 (26)	46 (77)	25 (96)	16 (100)
0,5 > A > 1,0 cm	0	0	1 (4)	0
A > 1,0 cm	0	0	0	0
Anzahl der Zacken pro cm				
Keine Zähnelung	39 (74)	14 (23)	0	0
Nicht zählbar	0	5 (9)	5 (19)	3 (19)
Mehr als 2 Zacken	5 (9)	27 (45)	20 (77)	12 (75)
1bis 2 Zacken	9 (17)	14 (23)	1 (4)	1 / 6
Lambdanaht				
Abstand (A) der Zähnelung				
Keine Zähnelung	14 (26)	0	0	0
A < 0,5 cm	38 (72)	60 (100)	23 (88)	11 (69)
0,5 > A > 1,0 cm	1 (2)	0	2 (8)	5 (31)
A > 1,0 cm	0	0	1 (4)	0
Anzahl der Zacken pro cm				
Keine Zähnelung	14 (26)	0	0	0
Nicht zählbar	0	0	0	0
Mehr als 2 Zacken	23 (44)	58 (97)	26 (100)	16 (100)
1bis 2 Zacken	16 (30)	2 (3)	0	0

Tabelle 5: Zähnelung der Nähte abhängig vom Lebensalter der Patienten

der Nähte gezähnt. Im weiteren Verlauf war bei allen Coronarnähten eine Zähnelung nachweisbar. Der Abstand der Zähnelung betrug bis auf eine Ausnahme weniger als 0,5 cm und in der Mehrzahl der Fälle konnten mehr als zwei Zacken pro cm gezählt werden. Die Lambdanaht wies in der ersten Altersgruppe nur in 74% der Untersuchungen eine Zähnelung auf, wohingegen im weiteren Verlauf alle Lambdanahte eine Zähnelung zeigten. Der Abstand der Zähnelung betrug in den ersten beiden Altersgruppen weniger als 0,5 cm. Im weiteren Verlauf zeigte sich ein Verbreiterung der Lambdanaht. In der ersten Altersgruppe konnten in 44% der Untersuchungen mehr als zwei Zacken gezählt werden. In der zweiten Altersgruppe waren es bereits 97% und ab dem vierten Lebensjahr waren in allen Fällen mehr als zwei Zacken zählbar. In Tabelle 5 finden sich die absoluten Zahlen über die Zähnelung der Nähte mit Angabe der Prozentwerte.

3.1.4. Aktivität

Bei den 155 Untersuchungen konnte in 101 Fällen (65%) an den offenen Nähten keine Aktivitätserhöhung festgestellt werden. Die Aktivität der Lambdanaht und der Koronarnaht war in 18 Fällen (11%) gleichzeitig erhöht. Bei 41 Untersuchungen (26%) wurde eine Aktivitätserhöhung der Lambdanaht allein festgestellt. Die Aktivität der Koronarnaht war in 28 Fällen (18%) leicht und in 3 Fällen (2%) deutlich erhöht. Tabelle 6 gibt einen Überblick für die Aktivität der Nähte in den einzelnen Altersgruppen.

Altersgruppe	1	2	3	4	gesamt
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5	
n	53	60	26	16	155
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Keine Aktivitätserhöhung	50 (94)	37 (62)	8 (31)	6 (38)	101 (65)
Coronaraktivität leicht erhöht	0	9 (15)	12 (46)	7 (44)	28 (18)
Überaktive Koronararterie	0	1 (2)	2 (8)	0	3 (2)
Lambdaaktivität leicht erhöht	3 (6)	17 (28)	12 (46)	9 (56)	41 (26)
Coronar- und Lambdaaktivität erhöht	0	4 (7)	8 (31)	6 (38)	18 (11)

Tabelle 6: Nahtaktivität abhängig vom Lebensalter der Patienten

Die Patienten wurden aufgrund ihrer Nahtaktivität drei Gruppen zugeteilt. Die Gruppe A, „keine Aktivitätserhöhung im Verlauf“ beinhaltet 38 Patienten. Gruppe B „Coronaraktivität erhöht“ enthält 9 Patienten und 11 Patienten wurden der Gruppe C „Lambdaaktivität erhöht“ zugeteilt. Bei 6 Patienten war sowohl die Coronar- als auch die Lambdaaktivität erhöht. Zur Korrelation wurden die Parameter Parietalwinkel, Bregmahöhe und Breiten-Längen-Index herangezogen. Es wurden Mittelwerte entsprechend den Altersgruppen gebildet und der Verlauf in Diagrammen dargestellt.

BLI im Verlauf

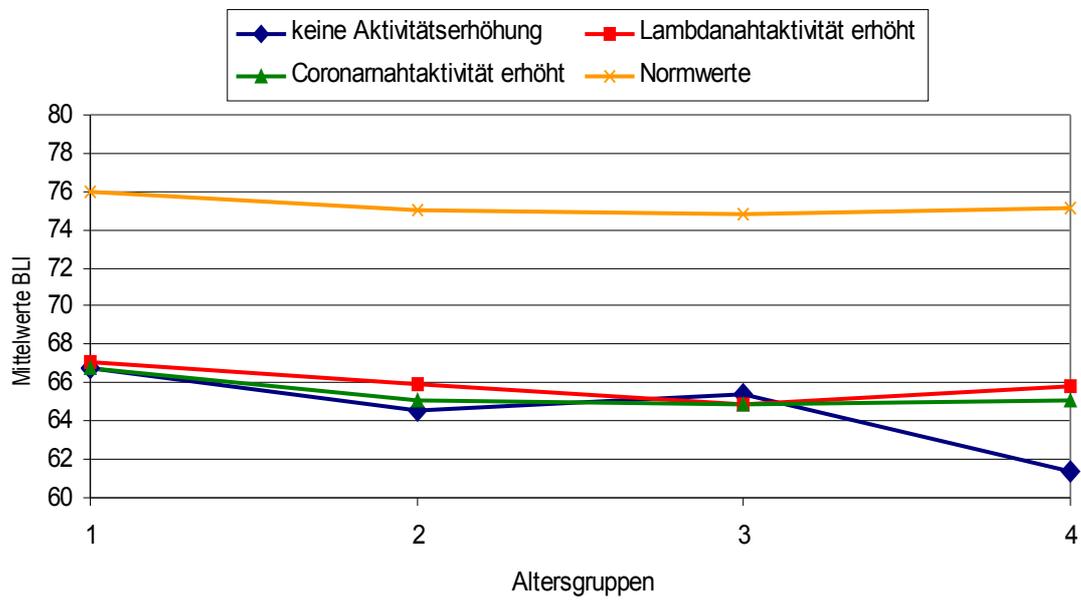


Abb. 20: Korrelation Aktivität / BLI

Parietalwinkel im Verlauf

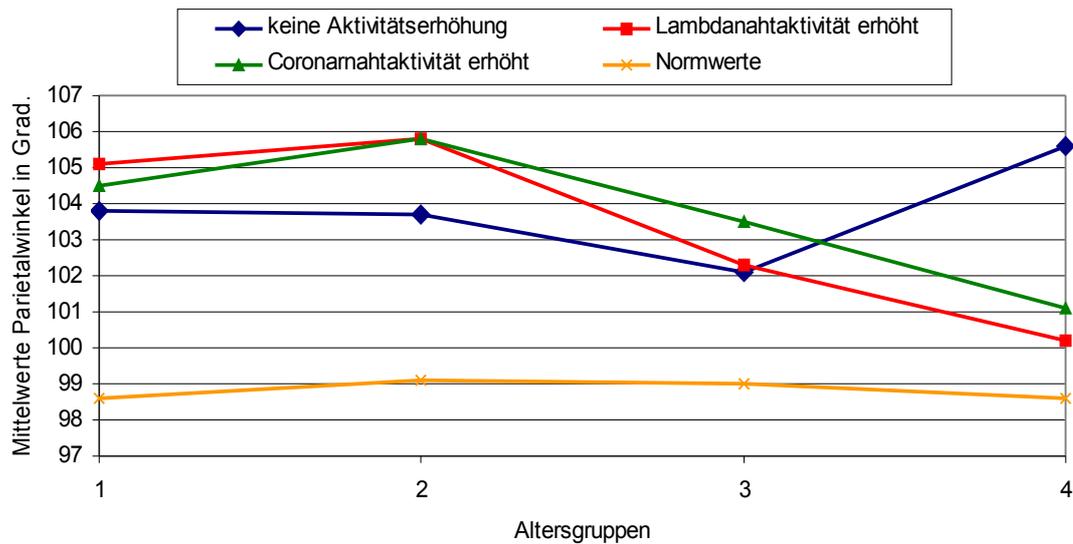


Abb. 21: Korrelation Aktivität / Parietalwinkel

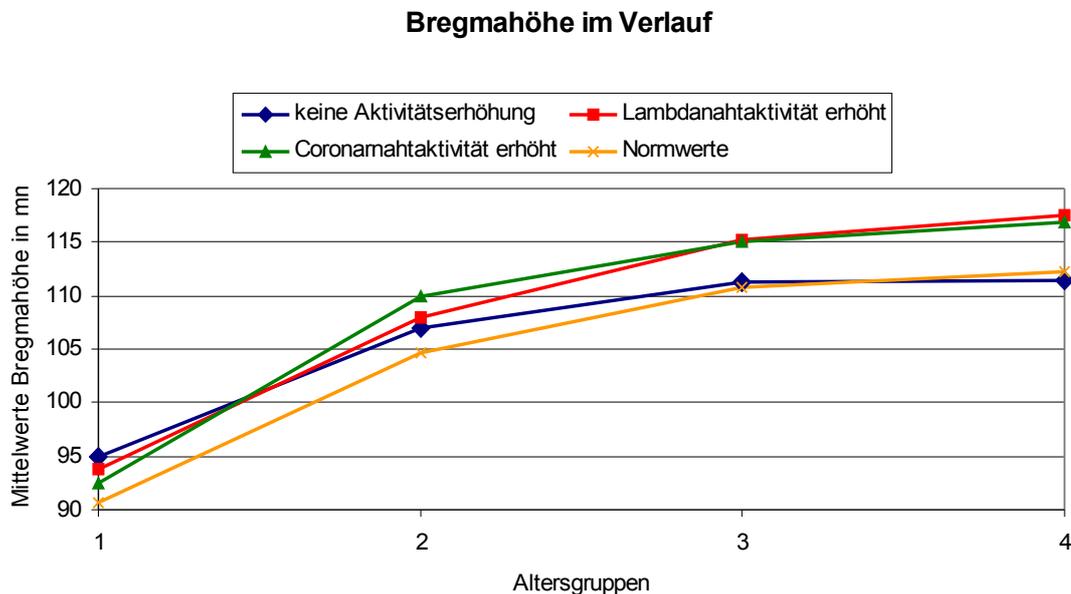


Abb. 22: Korrelation Aktivität / Bregmahöhe

Die Mittelwerte in der ersten Altersgruppe liegen für alle drei Parameter relativ nahe zusammen. Der Verlauf ist für alle Aktivitätsgruppen ähnlich bis zur dritten Altersgruppe. Bei den Aufnahmen nach dem fünften Lebensjahr (vierte Altersgruppe) liegen die Mittelwerte allerdings deutlich auseinander.

Beim Parameter Breiten – Längen – Index ist der Mittelwert in der vierten Altersgruppe für die Nähte ohne Aktivitätserhöhung (Aktivitätsgruppe A) weiter von der Norm entfernt als für die Nähte mit Aktivitätserhöhung. Dies lässt die Vermutung zu, dass die pathologische Schädelform bei den über fünf jährigen stärker ausgeprägt ist, wenn die Schädelnähte im Röntgenbild keine erhöhte Aktivität zeigen. Der Unterschied zwischen den Aktivitätsgruppen ist jedoch nicht signifikant ($p \geq 0,05$). Der Parameter Parietalwinkel verhält sich ähnlich, d. h. dass die occipitale Überrotation ebenfalls bei den älteren Kindern stärker ausgeprägt ist, wenn die Nähte keine erhöhte Aktivität aufweisen. Im Gegensatz dazu liegt die Höhe des Bregmas bei den Kindern ohne erhöhte Nahtaktivität näher an der Norm als bei den Kindern mit erhöhter Nahtaktivität, die Überhöhung des Bregma ist in der Gruppe A weniger stark ausgeprägt. Hierbei

ist allerdings zu beachten, dass die Aktivitätsgruppen in der vierten Altersgruppe sehr nahe zusammenliegen. Für die Parameter Parietalwinkel und Bregmahöhe sind die Unterschiede zwischen den Aktivitätsgruppen der vierten Altersgruppe signifikant.

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz
A	8	61,44	3,86	0,060
B	6	65,77	3,62	
C	7	65,11	2,79	
Gesamt	21	63,90	3,84	

Tabelle 7: Einfaktorielle Varianzanalyse: Aktivität / BLI

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz
A	8	105,63	2,56	0,029
B	6	100,17	4,45	
C	7	101,14	4,34	
Gesamt	21	102,57	4,37	

Tabelle 8: Einfaktorielle Varianzanalyse: Aktivität / Parietalwinkel

Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz
A	8	111,50	2,78	0,014
B	6	117,50	4,51	
C	7	116,86	4,26	
Gesamt	21	115,00	4,60	

Tabelle 9: Einfaktorielle Varianzanalyse: Aktivität / Bregmahöhe

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass trotz des klinischen Bildes einer Sagittalnahtsynostose die Sagittalnaht radiologisch offen sein kann, insbesondere bei Kindern unter einem Jahr. Zeichen eines Übergreifens der Synostose auf die Coronar- beziehungsweise Lambdanaht wurden nicht gefunden. Der Anteil der Nähte mit Aktivitätserhöhung steigt mit dem Alter der Kinder an. Ebenso konnte ein unerwarteter Zusammenhang zwischen dem Grad der Deformierung und der Nahtaktivität nachgewiesen werden.

3.2. Messwerte

Die gemessenen Strecken und Winkel wurden, unter Berücksichtigung des Geschlechts und des Lebensalters bei der Untersuchung, in Diagramme eingetragen. Gleichzeitig wurden die Normwerte aus der Literatur (32,40) eingetragen.

Die Werte wurden mit den Normwerten verglichen und konnten so als Prozent der Norm angegeben werden. Anschließend wurden die Prozentwerte der Patienten in vier Altersgruppen zusammengefasst um den Verlauf darzustellen. Die Zuordnung zu den jeweiligen Altersgruppen entspricht der Vorgehensweise bei den Nähten. Es wurde ein Mittelwert in den jeweiligen Altersgruppen gebildet.

Die Mittelwerte der ersten Altersgruppe, Aufnahmen im ersten Lebensjahr der Patienten, wurden mit den Mittelwerten der vierten Altersgruppe, Aufnahmen nach dem fünften Lebensjahr der Patienten, verglichen. Die Mittelwerte unterscheiden sich bei den Parametern Innere Schädelbreite, Breiten-Längen-Index und Höhenindex signifikant. Für alle weiteren Parameter konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse sind am Ende der jeweiligen Kapitel in einer Tabelle zusammengefasst.

3.2.1. Übersichtsparmeter

a) Schädellänge – LI

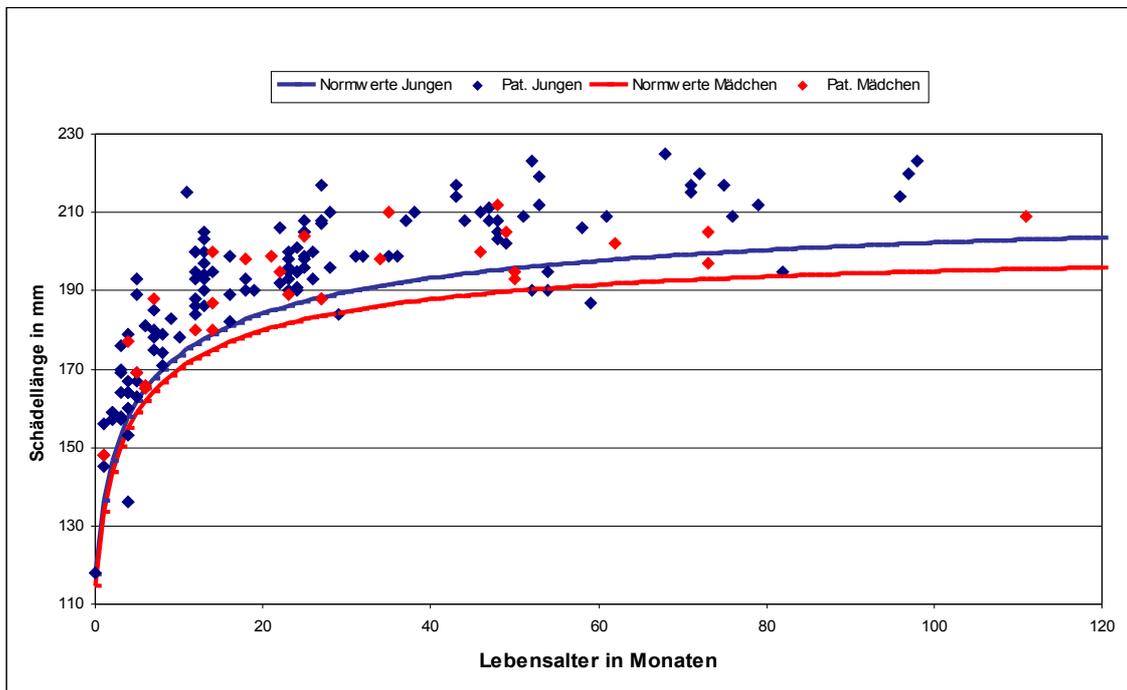


Abb. 23: Schädellänge in Abhängigkeit vom Lebensalter

b) Schädelbreite – BI

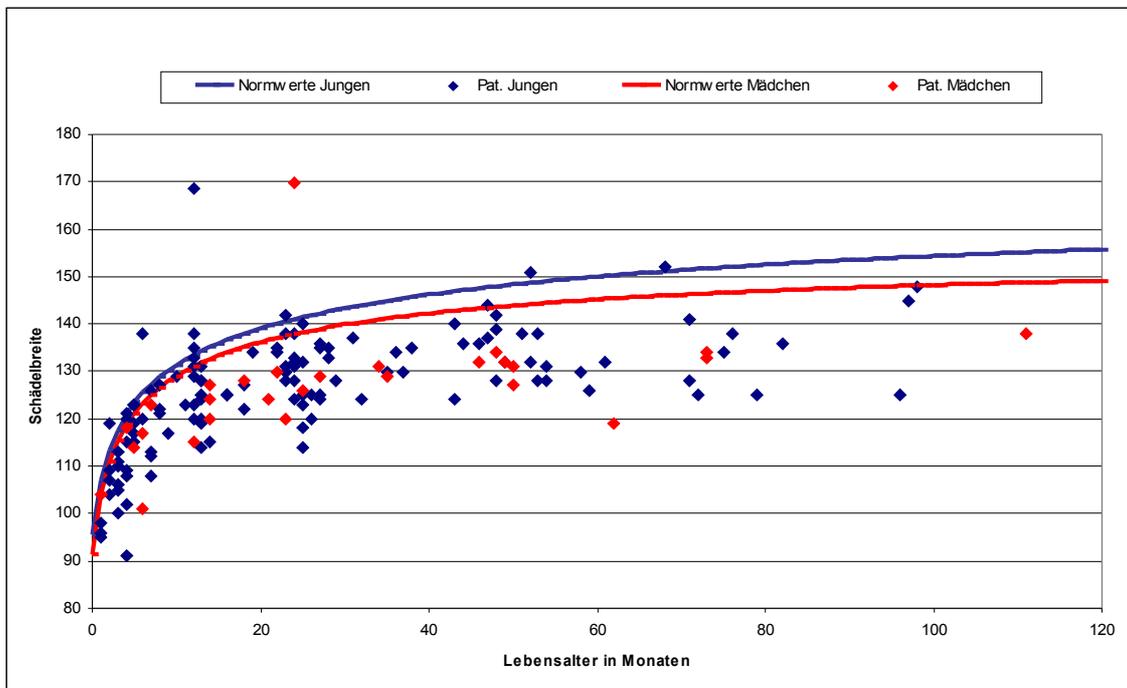


Abb. 24: Schädelbreite in Abhängigkeit vom Lebensalter

c) Schädelhöhe – HI

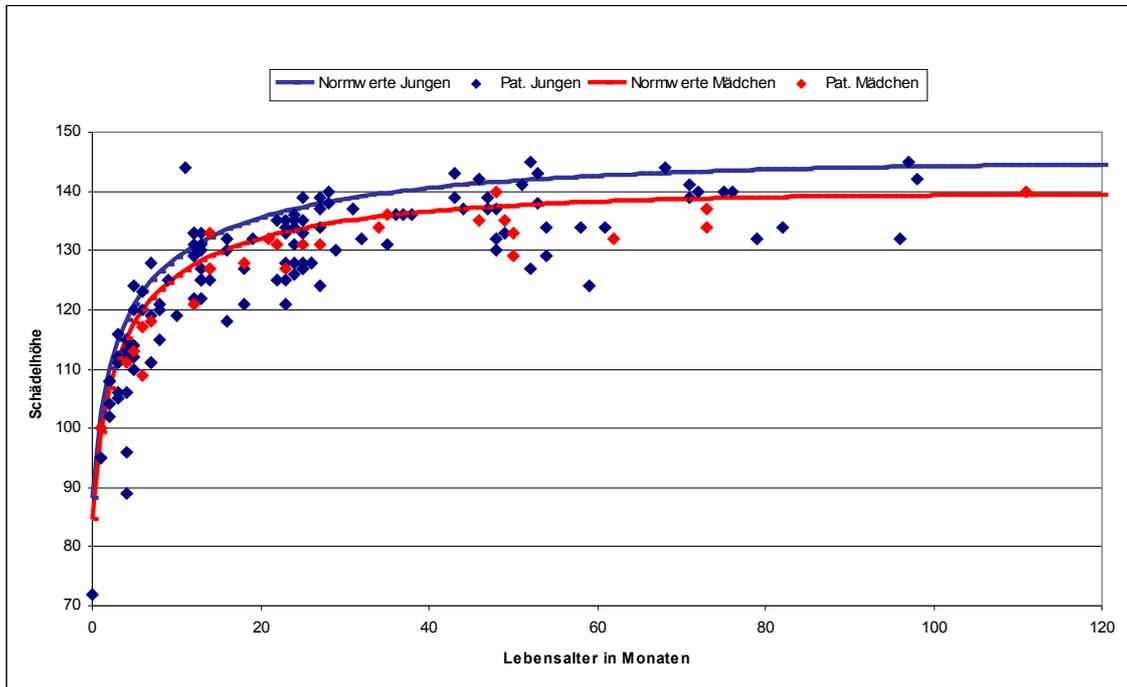


Abb. 25: Innere Schädelhöhe in Abhängigkeit vom Lebensalter

d) Inionwinkel

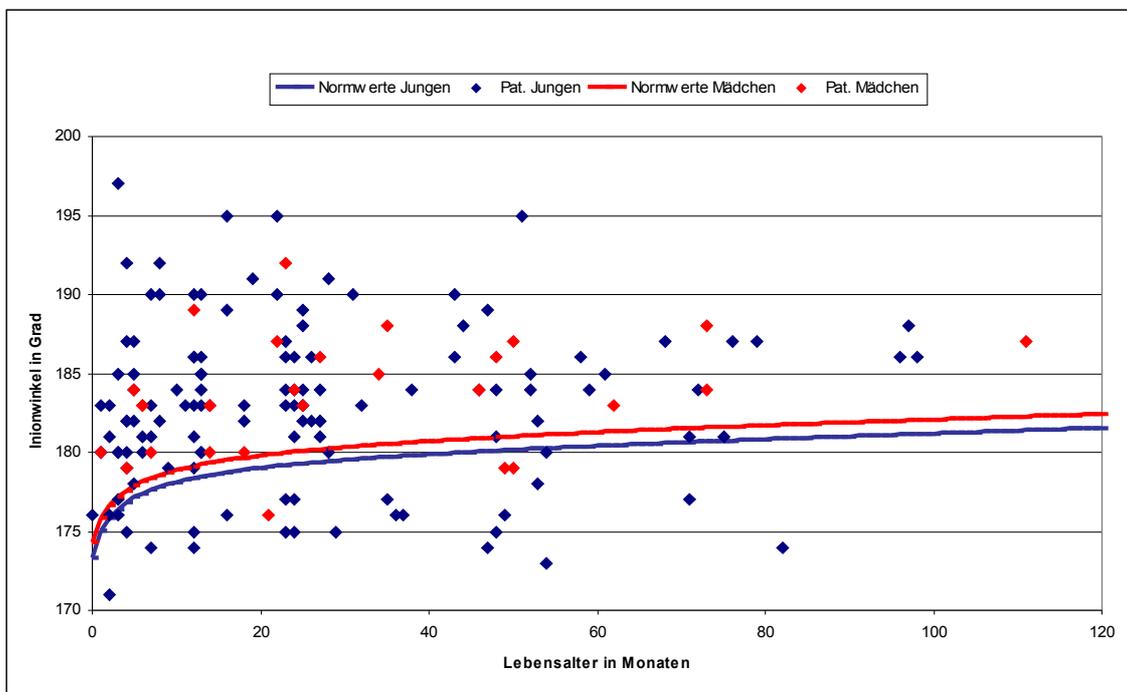


Abb. 26: Inionwinkel in Abhängigkeit vom Lebensalter

Die Schädel der Patienten mit Sagittalsynostose sind insgesamt zu lang und zu schmal. Die Schädellänge erreicht im Mittel 107,7% der Norm, die Schädelbreite 93,0% der Norm. Im Verlauf nähert sich die Schädellänge der Norm an, wohingegen die Schädelbreite im Verlauf immer mehr von der Norm abweicht. Die Schädelhöhe ist im Vergleich zum Normkollektiv vermindert und beträgt im Mittel 97,0% der Norm. Bei der Schädelhöhe lässt sich im Verlauf eine Annäherung an die Norm beobachten. Der Inionwinkel nähert sich ebenfalls im Verlauf der Norm an, ist aber mit 102,1% insgesamt zu groß. Vergleicht man die Prozentwerte der ersten, mit der vierten Altersgruppe, so ergibt sich für den Parameter „innere Schädelbreite“ ein signifikanter Unterschied. Für die verbliebenen Übersichtsparameter wurde das Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ nicht erreicht.

Die untersuchten Kinder zeigten die typischen Schädelveränderungen der Sagittalsynostose. Die pathologische Schädellänge verbesserte sich im Verlauf, wohingegen die Verminderung der Schädelbreite im Verlauf zunimmt. Ebenso verbessert sich die parietale Schädelhöhe (Hi) und die occipitale Überrotation (Inionwinkel).

Altersgruppe	1	2	3	4	Gesamt	1	4	
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5		≤ 1	> 5	
n	53	60	26	16	155	53	16	
Parameter	Prozent der Norm (%)					Standardabweichung		T-Test Signifik.
LI	108,3	108,1	106,2	107,2	107,7	7,64	3,64	0,563
BI	94,8	92,9	91,4	89,7	93,0	9,07	5,58	0,038
HI	96,4	97,4	96,9	97,3	97,0	7,14	2,96	0,613
Inionwinkel	103,2	102,9	101,7	102,1	102,7	2,75	2,13	0,152

Tabelle 10: Übersichtsparameter in Abhängigkeit von der Altersgruppe

3.2.2. Vordere Schädelgrube

e) Länge der vorderen Schädelgrube – NaT

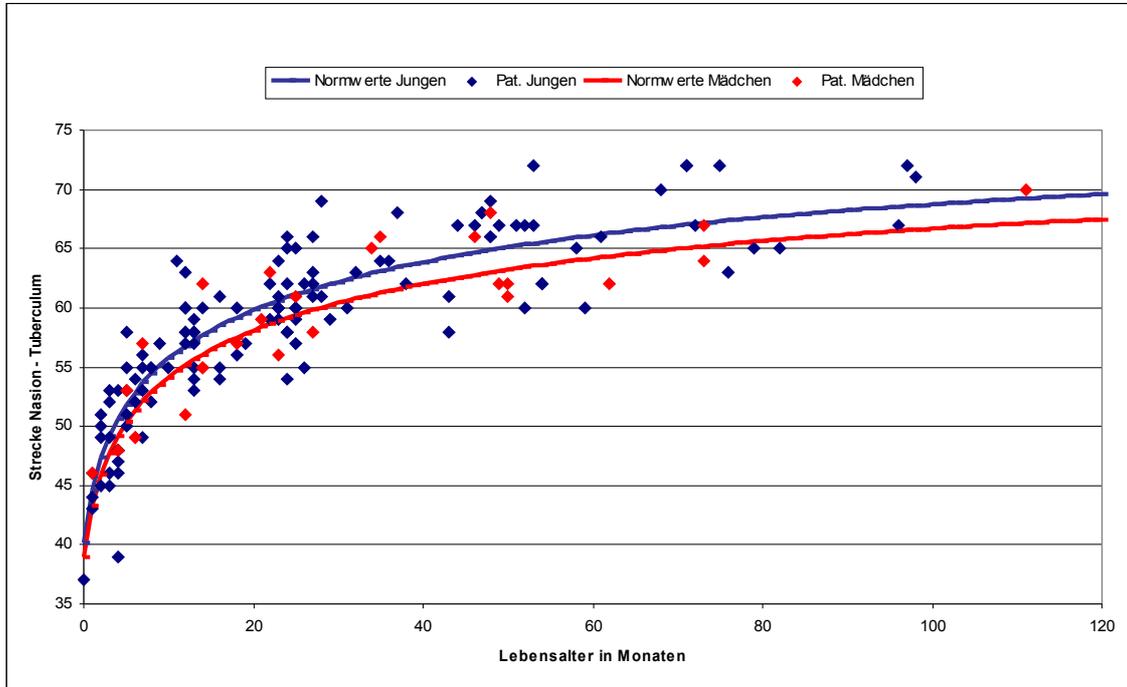


Abb. 27: Länge der vorderen Schädelgrube in Abhängigkeit vom Lebensalter

f) Bregmahöhe – TBr

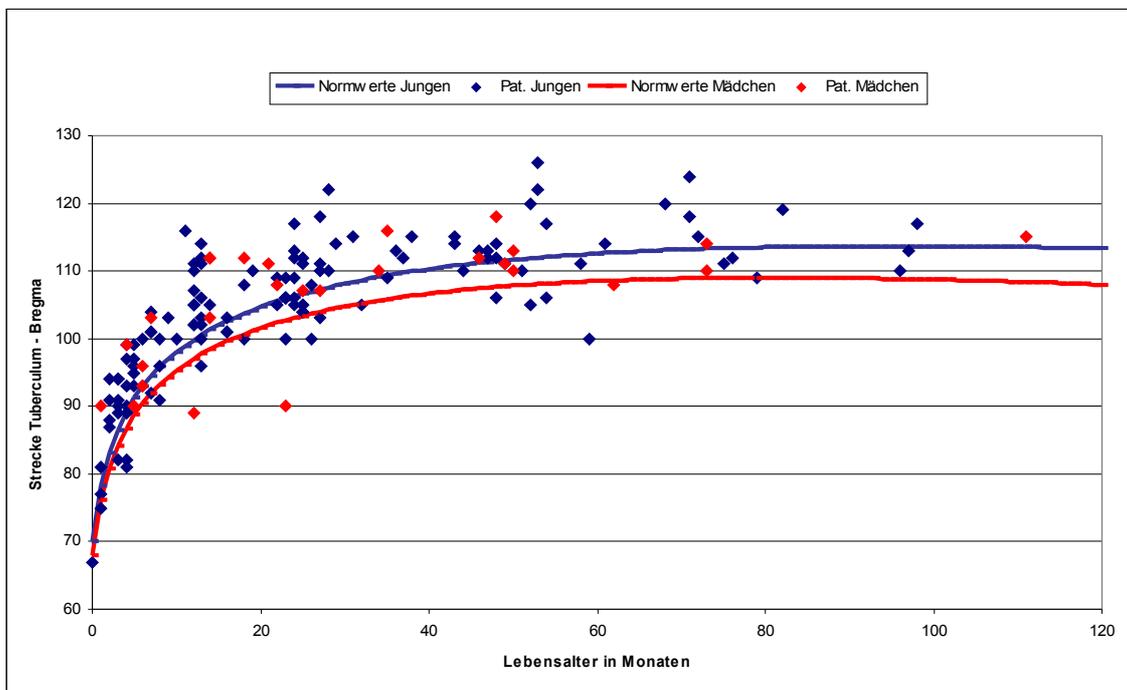


Abb. 28: Bregmahöhe in Abhängigkeit vom Lebensalter

g) frontale Wölbung – fNaBr

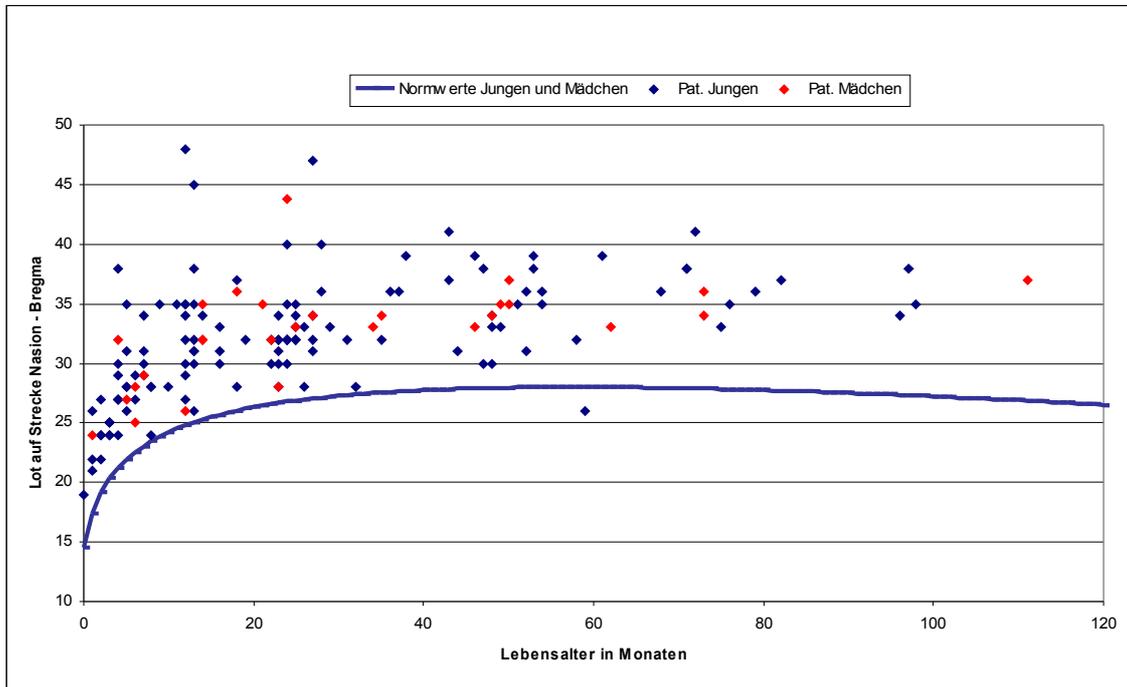


Abb. 29: Frontale Wölbung in Abhängigkeit vom Lebensalter

h) Bregmawinkel

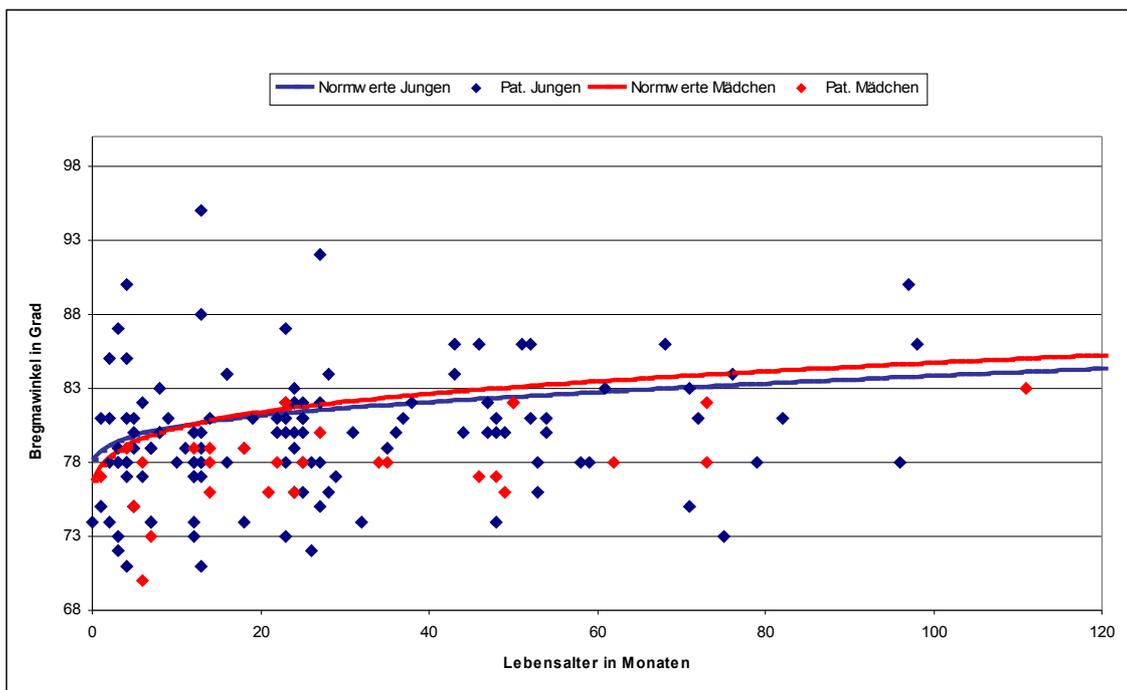


Abb. 30: Bregmawinkel in Abhängigkeit vom Lebensalter

Die Länge der vorderen Schädelgrube liegt mit 101,3% im Mittel nur geringfügig über der Norm und im Verlauf ist keine Tendenz zu erkennen. Die Bregmahöhe der Patienten liegt mit 104,2% über der Norm, im Verlauf kann man eine Annäherung an das Vergleichskollektiv erkennen. Die frontale Wölbung ist bei den Patienten mit Sagittalsynostose deutlich erhöht. Der Messwert liegt mit 128,8% im Mittel deutlich über dem des Vergleichskollektivs, im Verlauf zeigt sich jedoch eine geringgradige Annäherung an die Norm. Der Bregmawinkel erreicht den Normwert nicht, er liegt im Mittel bei 98,2% des Normkollektivs und der Messwert verändert sich im Verlauf auch nur unwesentlich. Die Prozentwerte der ersten und vierten Altersgruppe unterscheiden sich für die Parameter der vorderen Schädelgrube nicht signifikant ($p > 0,05$).

Die Veränderung der vorderen Schädelregion wird hauptsächlich durch die Überhöhung des Bregmas und die Zunahme der frontalen Wölbung bestimmt. Die typische Balkonstirn ist bei den untersuchten Kindern deutlich ausgeprägt, verstärkt sich jedoch im Verlauf nicht. Die Länge der vorderen Schädelgrube ist kaum erhöht, obwohl die Schädelgröße insgesamt deutlich erhöht ist. Ebenso ist das Bregma nicht nach dorsal verlagert, der Bregmawinkel ist im Vergleich zur Altersnorm sogar geringgradig verkleinert. Weder die occipitale Überrotation, noch die Ausbildung der Balkonstirn scheint die Position des Bregmas zu beeinflussen.

Altersgruppe	1	2	3	4	Gesamt	1	4	
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5		≤ 1	> 5	
n	53	60	26	16	155	53	16	
Parameter	Prozent der Norm (%)					Standardabweichung	T-Test Signifik.	
NaT	101,4	101,2	101,0	101,6	101,3	8,74	4,54	0,914
TBr	105,7	104,3	102,2	102,4	104,2	8,49	3,86	0,139
fNaBr	130,5	126,2	125,0	131,3	128,0	17,35	8,21	0,852
Bregmawinkel	98,2	98,3	98,2	97,7	98,2	4,96	5,19	0,708

Tabelle 11: Vordere Schädelgrube in Abhängigkeit von der Altersgruppe

3.2.3. Hintere Schädelgrube

i) Länge der hinteren Schädelgrube – InT

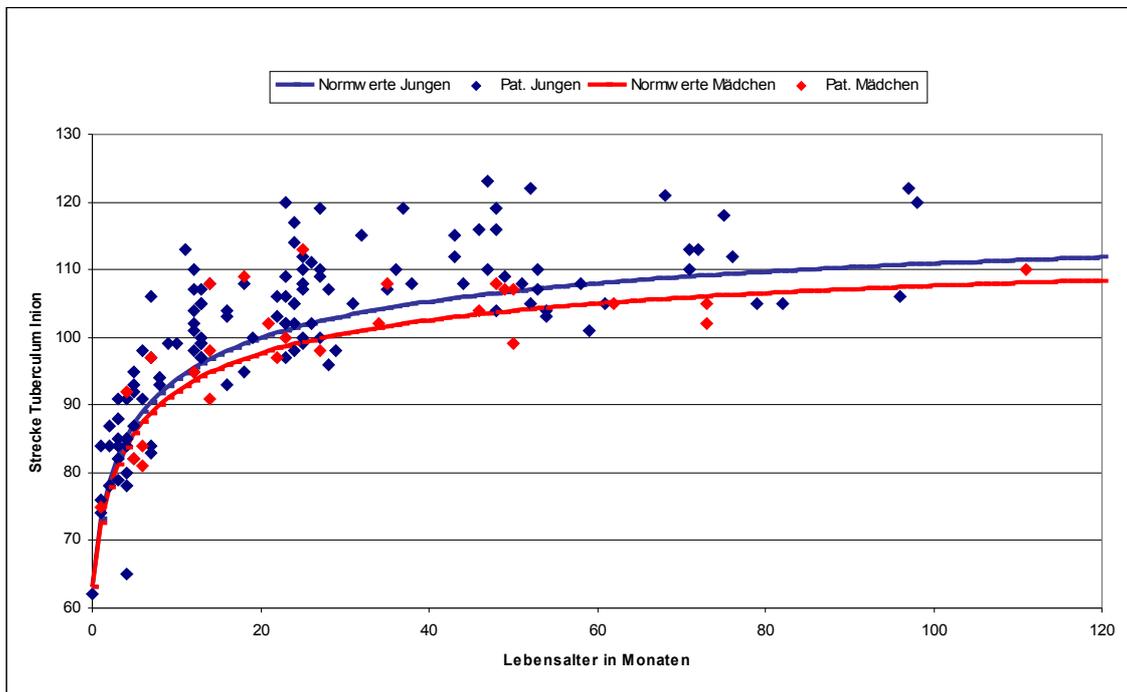


Abb. 31: Länge der hinteren Schädelgrube in Abhängigkeit vom Lebensalter

j) Tiefe der hinteren Schädelgrube – HSG

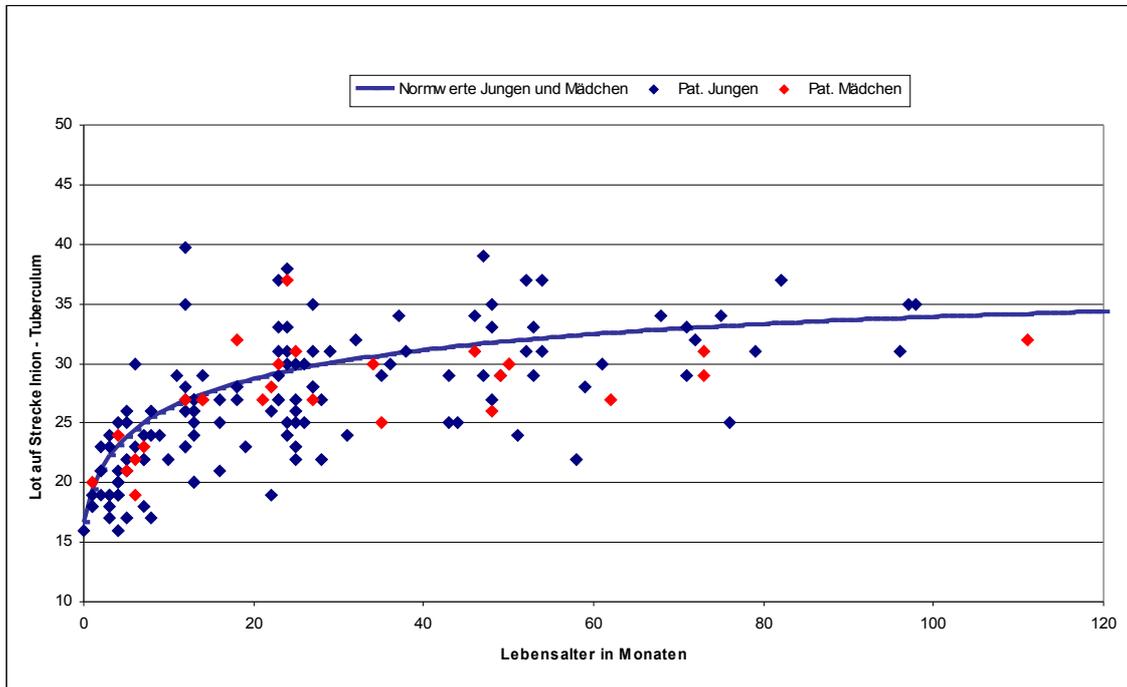


Abb. 32: Tiefe der hinteren Schädelgrube in Abhängigkeit vom Lebensalter

k) Parietalwinkel

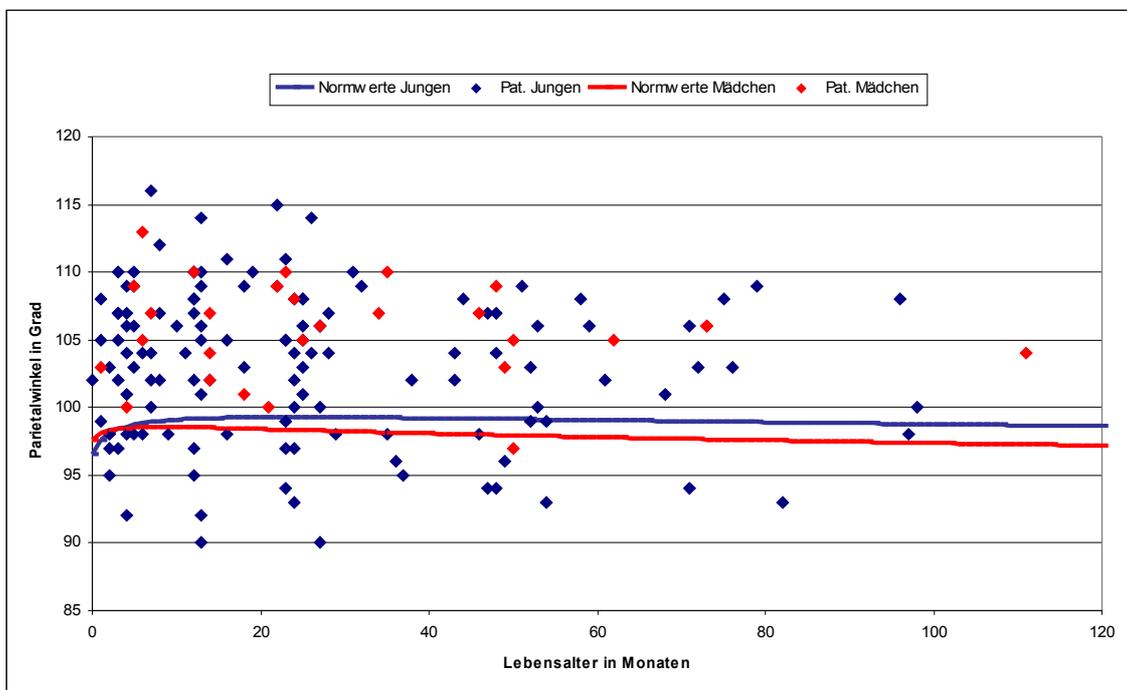


Abb. 33: Parietalwinkel in Abhängigkeit vom Lebensalter

Die hintere Schädelgrube ist im Vergleich mit 104,4% zu lang, nähert sich jedoch im Verlauf geringfügig der Norm an. Die hintere Schädelgrube ist im Vergleich zum Normkollektiv zu flach. Der Vergleichswert verbessert sich im Verlauf und beträgt im Mittel 95,2%. Der Parietalwinkel ist im Vergleich zu groß und erreicht im Mittel 105,2%. Im Verlauf nähert sich der erhöhte Parietalwinkel jedoch der Norm an.

Insgesamt ist die hintere Schädelgrube deutlich verlängert. Der erhöhte Parietalwinkel zeigt eine Verlagerung des Inions nach kaudal an. Durch die resultierende occipitale Überrotation ist die Tiefe der hinteren Schädelgrube vermindert. Im Verlauf mildert sich die occipitale Überrotation leicht ab und die Tiefe der hinteren Schädelgrube normalisiert sich leicht, jedoch sind die Unterschiede zwischen den Altersgruppen nicht signifikant.

Altersgruppe	1	2	3	4	Gesam	1	4	
					t			
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5		≤ 1	> 5	
n	53	60	26	16	155	53	16	
Parameter	Prozent der Norm (%)					Standardab-	T-Test	
						weichung	Signifik.	
InT	103,9	105,7	103,8	102,3	104,4	8,50	5,40	0,471
HSG	94,1	95,7	96,0	95,4	95,2	12,84	9,02	0,712
Parietalwinkel	105,9	105,3	103,5	105,0	105,2	5,17	5,05	0,522

Tabelle 12: Hintere Schädelgrube in Abhängigkeit von der Altersgruppe

3.2.4. Schädelbasis

I) Basiswinkel

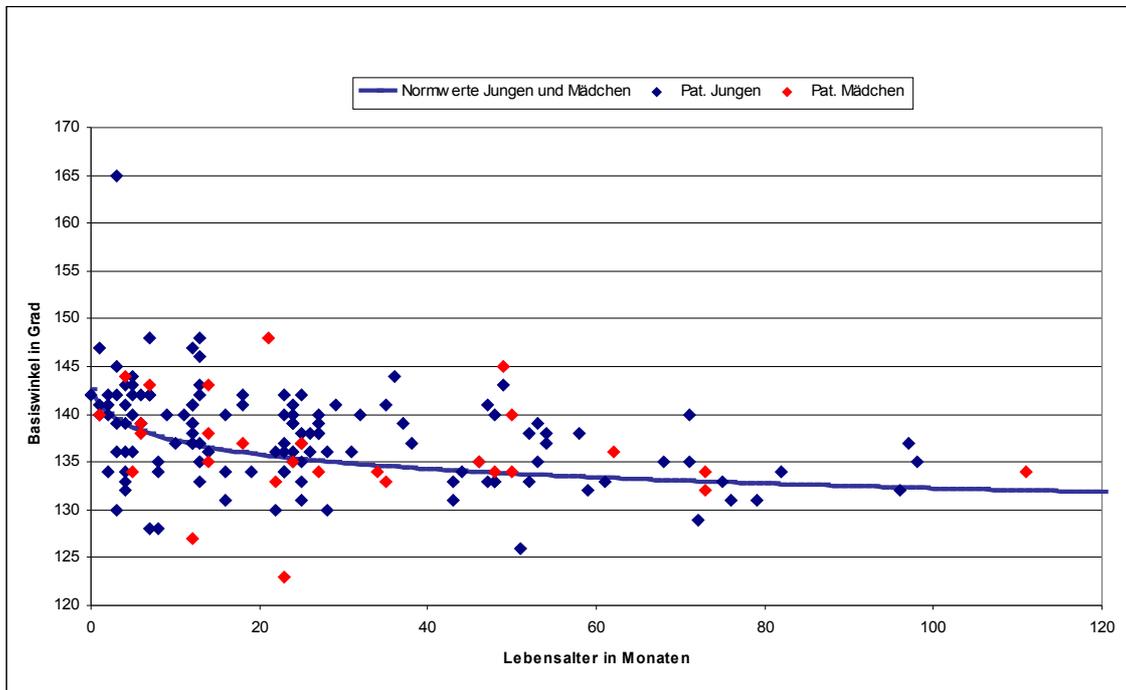


Abb. 34: Basiswinkel in Abhängigkeit vom Lebensalter

Der Basiswinkel ist im Vergleich zum Normkollektiv leicht erhöht. Da die Veränderungen des Basiswinkels in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben werden, wurden die Messwerte mit Slomics Normwerten verglichen. Der T-Test bei abhängigen Stichprobe ergab, dass die gemessenen Werte signifikant höher sind als die Normwerte ($p < 0,001$). Im Verlauf verändert sich der Basiswinkel kaum und der Vergleich der ersten mit der vierten Altersgruppe ergibt keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 13). Die Abflachung des Basiswinkels resultiert meist aus einer Anhebung des dorsalen Schenkels (TBa). Die Neigung des Klivus ist mehr horizontal.

Altersgruppe	1	2	3	4	Gesamt	1	4	
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5		≤ 1	> 5	
n	53	60	26	16	155	53	16	
Parameter	Prozent der Norm (%)					Standardab- weichung	T-Test Signifik.	
Basiswinkel	101,0	101,7	102,1	101,3	101,5	4,24	2,18	0,822

Tabelle 13: Basiswinkel in Abhängigkeit von der Altersgruppe

3.2.5. Indizes

m) Breiten–Längen–Index – BLI

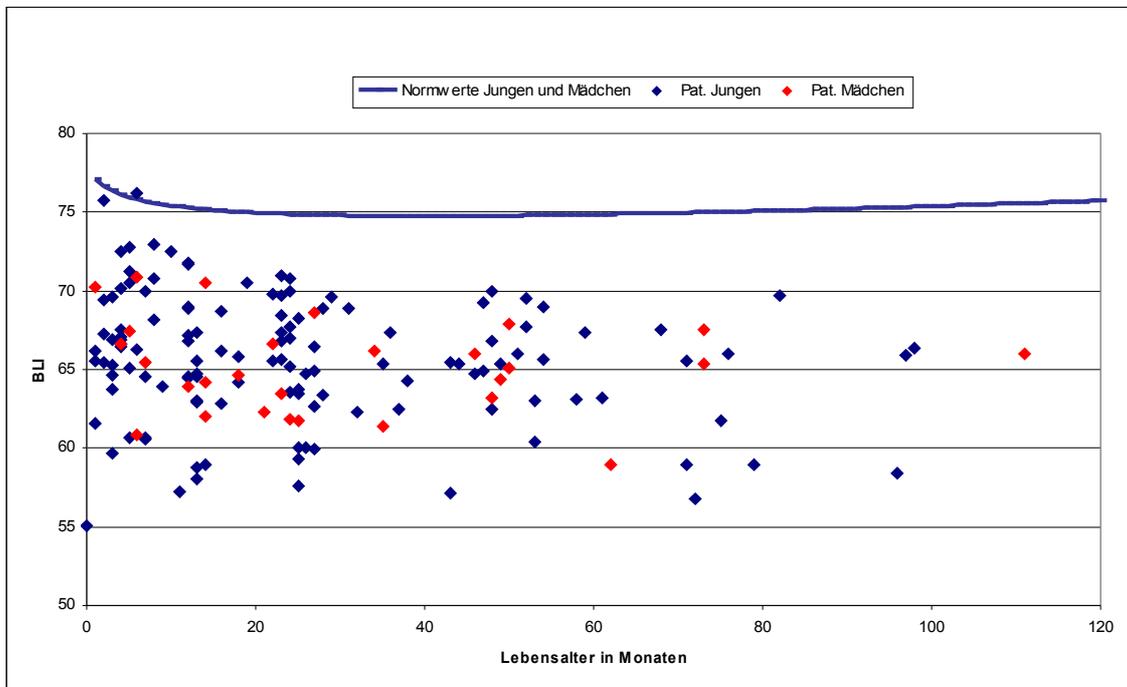


Abb. 35: Breiten – Längen – Index in Abhängigkeit vom Lebensalter

n) Höhenindex – HIN

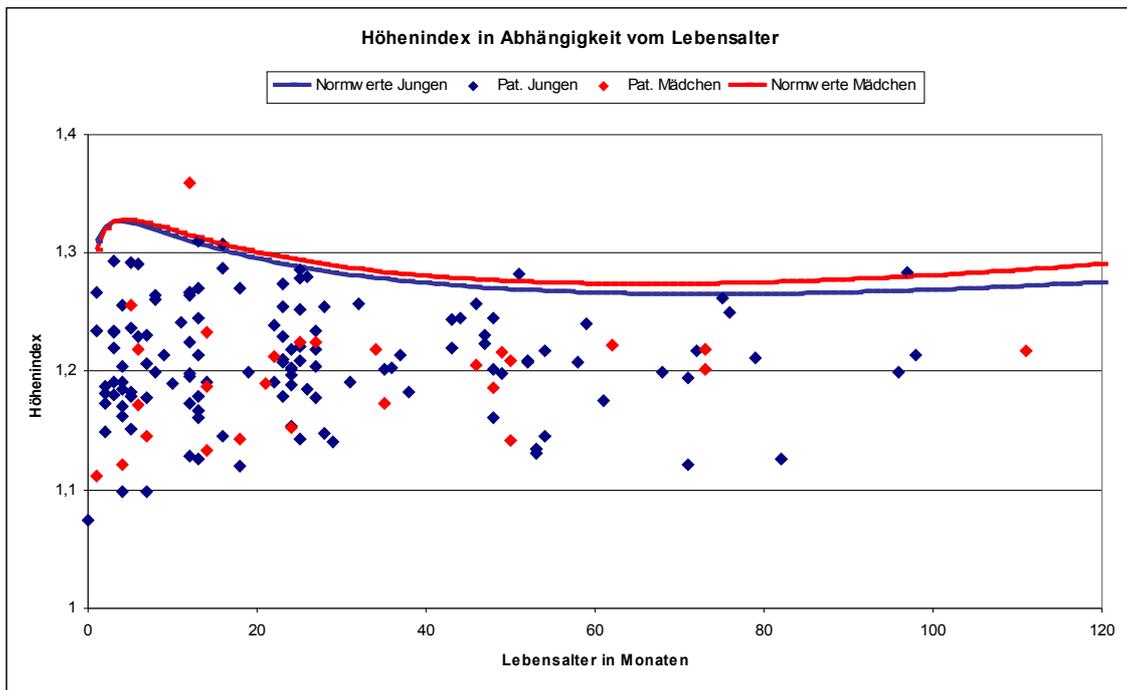


Abb. 36: Höhenindex in Abhängigkeit vom Lebensalter

Der Breiten-Längen-Index (BLI) ist erniedrigt. Im Vergleich zum Normkollektiv erreicht der BLI im Mittel nur 87,1% und im weiteren Verlauf vergrößert sich der Abstand zur Norm noch weiter. Der Höhenindex (HIN) liegt ebenfalls unterhalb der Norm, nähert sich aber im Verlauf dieser an. Beim Vergleich der Mittelwerte der ersten und der vierten Altersgruppe ergibt sich sowohl für den BLI ($p = 0,042$) als auch für den Höhenindex ($p = 0,002$) ein signifikanter Unterschied. Der BLI liegt bei der vierten Altersgruppe weiter von der Altersnorm entfernt, wohingegen der Höhenindex in der vierten Altersgruppe näher an der Altersnorm liegt. Tabelle 14 gibt ebenfalls die Absolutwerte der Altersgruppen im Mittel an. Der Breiten-Längen-Index beträgt in allen Altersgruppen weniger als 70, und somit ist der Scaphocephalus in allen Altersgruppen deutlich ausgeprägt.

Altersgruppe	1	2	3	4	Gesamt	1	4	
Alter (Jahre)	≤ 1	2 - 3	4 - 5	> 5		≤ 1	> 5	
n	53	60	26	16	155	53	16	
Parameter	Prozent der Norm (%)					Standardabweichung	T-Test Signifik.	
BLI	88,1	86,7	87,2	84,6	87,1	5,91	5,31	0,042
HIN	91,3	93,7	94,8	95,1	93,2	4,18	3,28	0,002
Parameter	Mittelwert der absoluten Werte							
BLI	66,9	64,9	65,2	63,6	65,5			

Tabelle 14: Indizes

Parameter	Abkürzung	Annäherung an die Altersnorm im Verlauf	
Im Vergleich zur Altersnorm erhöht			
Innere Schädelhöhe	LI	ja	nicht signifikant p > 0,05
Inionwinkel	NaTIn	ja	
Länge der vorderen Schädelgrube	NaT	nein	
Höhe des Bregma	BrT	ja	
Frontale Wölbung	fNaBr	nein	
Länge der hinteren Schädelgrube	InT	ja	
Parietalwinkel	BrTIn	ja	
Basiswinkel	NaTBa	nein	
Im Vergleich zur Altersnorm vermindert			
Innere Schädelhöhe	HI	ja	nicht signifikant p > 0,05
Bregmawinkel	NaTBr	nein	
Tiefe der hinteren Schädelgrube	HSG	ja	
Innere Schädelbreite	BI	nein	signifikant p ≤ 0,05
Breiten-Längen-Index	BLI	nein	
Höhen-Index	HIN	ja	

Tabelle 15: Übersichtstabelle der Ergebnisse der Parameter

3.3. Schaltknochen

Bei 30 von 155 Untersuchungen waren Schaltknochen in der Sutura lambdoidea nachweisbar, betroffen waren insgesamt 13 Patienten. Die Anzahl der Schaltknochen lag immer zwischen einem und drei. Die Größe war in 28 Fällen kleiner als 10 mm und in zwei Fällen zwischen 10 und 30 mm. Das jüngste Kind mit dargestellten Schaltknochen war bei der Röntgenuntersuchung sechs Monate alt.

3.4. Impressiones digitatae

Besonders stark ausgeprägte Impressiones digitatae wurden bei sieben Untersuchungen gefunden, insgesamt waren vier Patienten betroffen. Das jüngste Kind mit einer starken Ausprägung war bei der Untersuchung 13 Monate alt.

3.5. Vergleich konventioneller und digitaler Röntgentechnik

Es wurde der Allgemeindruck der Kalotte beurteilt. Weiterhin wurden sowohl die Coronarnaht als auch die Lambdanaht jeweils rechts und links getrennt untersucht. Der Allgemeindruck konnte bei allen 33 Röntgenbildpaaren beurteilt werden. Die Coronarnaht rechts wurde bei 19, die Coronarnaht links bei 18 Patienten bewertet. Die Lambdanaht konnte bei 32 Patienten jeweils rechts und links beurteilt werden. Bei den übrigen Röntgenaufnahmen waren die Nähte durch Operationsartefakte überlagert.

3.5.1. Konventionelle Röntgentechnik

Bei den Aufnahmen in konventioneller Röntgentechnik war die Beurteilbarkeit sowohl der Coronar-, als auch der Lambdanahte meist gut. Die Schädelkalotte war im allgemeinen ebenfalls gut beurteilbar. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse für die konventionelle Röntgentechnik aufgelistet.

Beurteilbarkeit	mäßig	gut	sehr gut	Summe
Schädelkalotte allgemein	4	29	0	33
Coronarnaht rechts	7	12	0	19
Coronarnaht links	0	9	9	18
Lambdanaht rechts	10	22	0	32
Lambdanaht links	9	23	0	32

Tabelle 16: Konventionelle Röntgentechnik

3.5.2. Digitale Röntgentechnik

Die Beurteilbarkeit der Nähte und der Schädelkalotte allgemein wurde bei den Aufnahmen in digitaler Röntgentechnik meist als sehr gut eingestuft. Die einzelnen Ergebnisse sind in Tabelle 18 aufgelistet.

Beurteilbarkeit	mäßig	gut	sehr gut	Summe
Schädelkalotte allgemein	2	2	29	33
Coronarnaht rechts	0	3	16	19
Coronarnaht links	1	3	14	18
Lambdanaht rechts	3	5	24	32
Lambdanaht links	1	6	25	32

Tabelle 17: Digitale Röntgentechnik

3.5.3. Gegenüberstellung der konventionellen und digitalen Röntgentechnik

Die Beurteilbarkeit der digital erstellten Röntgenbilder war für alle fünf Bereiche signifikant besser. Der T-Test bei gepaarten Stichproben ergab für die Beurteilung der Kalotte allgemein und für die Beurteilbarkeit der Coronar- bzw. Lambdanaht jeweils rechts und links eine Signifikanz von $p < 0,001$. Die genaue statistische Auswertung ist in Tabelle 19 dargelegt. Bei der Korrelation

(Pearson) der Beurteilbarkeit von digitalem und konventionellem Röntgen ergaben sich für die fünf Bewertungsbereiche keine signifikanten Ergebnisse. Die p–Werte lagen zwischen 0,130 und 0,583. Dies bedeutet, dass von der Beurteilbarkeit der konventionellen Röntgenaufnahme nur sehr bedingt auf die Beurteilbarkeit der digitalen Aufnahme geschlossen werden kann.

Beurteilungs- bereich	Röntgen- technik	Mittel- wert	n	Standardab- weichung	Test bei gepaarten Stichproben (Signifikanz)
Allgemein- eindruck	konventionell	1,88	33	0,331	p < 0,001
	digital	2,82	33	0,528	
Coronarnaht rechts	konventionell	1,63	19	0,496	p < 0,001
	digital	2,84	19	0,375	
Coronarnaht links	konventionell	1,50	18	0,514	p < 0,001
	digital	2,72	18	0,575	
Lambdanaht rechts	konventionell	1,69	32	0,471	p < 0,001
	digital	2,66	32	0,653	
Lambdanaht links	konventionell	1,72	32	0,457	p < 0,001
	digital	2,75	32	0,508	

Tabelle 18: T - Test bei gepaarten Stichproben: Vergleich beider Röntgentechniken

Der Vergleich der beiden Röntgentechniken hat gezeigt, dass die digitale Technik bei der Beurteilbarkeit von kindlichen Schädelaufnahmen klare Vorteile bietet. Der Bildkontrast, d. h. die Erkennbarkeit des Hell-Dunkel-Unterschiedes zwischen benachbarten Bildstellen, und die Bildschärfe waren bei den Aufnahmen in digitaler Technik besser.

4. Diskussion

Die Ätiologie der isolierten Sagittalnahtsynostose ist nach wie vor nicht geklärt. Fest steht, dass die gestörte Nahtfunktion der Sagittalnaht zu der typischen Schädelform führt (2). Man unterscheidet zwischen primären und sekundären Zeichen der Synostose (43,44). Unter primären Zeichen versteht man die Veränderung an der Naht selbst wie z.B. knöcherne Brücken, Sklerosierung, ein Verlust der klaren Abgrenzbarkeit und die Verengung und Strecken der Naht (43). Bei Neugeborenen sind die primären Synostosezeichen aufgrund der geringen Mineralisation des Knochens kaum ausgeprägt (45). Sekundäre Zeichen sind solche, die durch das Hirnwachstum bei verschlossener Naht entstehen (43). Die physiologische Schädelnaht stellt sich beim Neugeborenen radiologisch fast immer unscharf begrenzt dar, und erhält dann im Säuglingsalter eine lineare scharfe Begrenzung (12). Bis zum dritten Lebensjahr erhalten die Nähte eine deutliche Verzähnelung und bleiben dann während des gesamten Kindesalters knöchern offen (12). Cohen unterscheidet weiterhin Nähte der Mittellinie und nicht Mittelliniennähte, siehe Abb. 37.

Klinische Beobachtungen bei der operativen Therapie der Kraniosynostose stützen diese These. Die physiologische Naht stellt sich intraoperativ abhängig von der Lage und vom Patientenalter dar. Die Lambdanaht ist in zwei Ebenen, ähnliche einem Reissverschluss verzähnelte, wohingegen die Coronarnaht in drei Ebenen verzähnelte ist.

Bei den untersuchten Patienten konnte die Sagittalnaht in der ersten Altersgruppe bei 58% und in der zweiten Altersgruppe noch bei 8% dargestellt werden. Sie war meist scharf begrenzt und wies keine Zähnelung oder lediglich nur eine leicht wellige Kontur auf. Vergleicht man dies mit dem Modell von Cohen, so kann vermutet werden, dass eine Suturinitation stattgefunden hat. Die fehlende Ausbildung der Zähnelung weist aber auf eine Inaktivität der Naht hin, da der Grad der Entwicklung der Zähnelung mit der zeitlichen Länge der

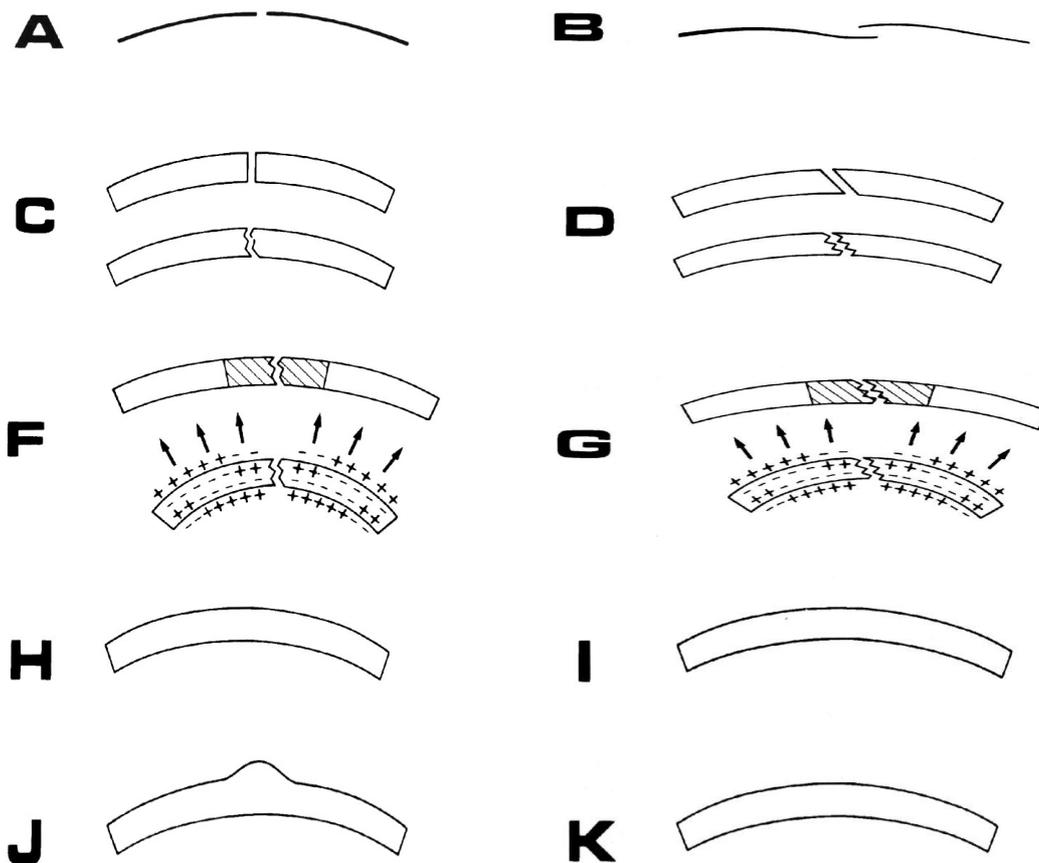


Abb.37: Skizze zur Veränderung der Naht (1): Nähte der Mittellinie (A,C,F,H,J) z.B. Sutura sagittalis oder metopica; Nicht-Mittelliniennähte (B,D,G,I,K) z.B. Sutura coronalis oder lambdaidea: A: Suturinitation, End zu End. B: Überlappende Suturinitation. C: Entwicklung der Zähnelung, Naht der Mittellinie. D: Entwicklung der Zähnelung, überlappende Naht. F: Veränderung der Naht aufgrund des Gehirnwachstums, End zu End. G: Überlappende Naht. H: Physiologischer Verschluss der Naht, End zu End. I: Physiologischer Verschluss der Naht, überlappende Naht. J: Pathologischer Nahtverschluss in der Mittellinie, Nahtwulst. K: Pathologischer Nahtverschluss einer überlappenden Naht.

Aktivität korreliert (46). Das Röntgenbild ist nur bedingt in der Lage, die Aktivität, d.h. den funktionellen Status, einer Naht darzustellen. Daher sollte die Diagnose auch dann gestellt werden, wenn nur sekundäre Synostosezeichen vorliegen, jedoch keine primären Synostosezeichen nachweisbar sind (47), d. h. die Naht radiologisch offen ist. Diese Forderung wird von unserer Untersuchung

untermauert, denn im Verlauf zeigte sich, dass bei den älteren Kindern die Sagittalnaht nicht mehr darstellbar war.

Die Coronarnaht war bis auf drei Ausnahmen bei allen Patienten im gesamten Verlauf kontinuierlich darstellbar. Die Begrenzung war beim jungen Kind unscharf und nahm dann im Verlauf an Schärfe zu. Die Zähnelung entwickelte sich bei allen Patienten zwischen dem ersten und dritten Lebensjahr. Die Coronarnaht ist eine Nicht-Mittelliniennaht und ihre Ränder überlappen (1). Bei der Röntgenaufnahme werden die überlappenden Nahtränder übereinander projiziert und die Naht wird insgesamt unscharf dargestellt. Die Verzähnelung der Coronarnaht in drei Ebenen verstärkt diesen Effekt. Damit erklärt sich ebenfalls, dass sich die Coronarnaht im Vergleich zur Lambdanaht beim älteren Kind vermehrt unscharf darstellt. Das kompensatorische Wachstum im Bereich der Coronarnaht, das zu der typischen Schädelform führt (47), fand kein einheitliches radiologisches Korrelat. Die Zähnelung war in einigen Fällen sehr stark ausgeprägt und in einem Fall stellt sich der Nahtspalt auch sehr breit dar. In den meisten Fällen jedoch war die Zähnelung mäßig ausgeprägt und der Nahtspalt schmal.

Ein Übergreifen der isolierten Kraniosynostose auf andere Nähte ist selten. In der Literatur wurde von einzelnen Fällen berichtet, bei denen eine Pansynostose nach Kraniotomie auftrat (48,49). Reddy fand bei sieben Patienten eine progressive Synostose und bei vier weiteren eine verzögerte Synostose, insgesamt untersuchte er 665 Fälle (50). In Assoziation mit der isolierten Sagittalnahtsynostose ist die Coronarnaht die am häufigsten betroffene Naht (43). In dem von uns untersuchten Kollektiv war bei drei Patienten die Coronarnaht nur partiell darstellbar. Ob dies als Zeichen für ein Fortschreiten der Synostose gewertet werden kann oder ob diese eingeschränkte Darstellbarkeit durch eine verminderte Bildqualität zustande kam, bleibt offen. Eine erweiterte radiologische Diagnostik wurde bei diesen Patienten nicht durchgeführt, da es keine weiteren Hinweise für ein Übergreifen der Synostose auf weitere Nähte gab.

Die Lambdanaht war in einem Fall nicht kontinuierlich darstellbar. In diesem Fall war das Kind bei der Röntgenuntersuchung sehr jung und im weiteren Verlauf entwickelte sich die Naht unauffällig. Ab der zweiten Altersgruppe war die Lambdanaht in der Mehrzahl der Untersuchungen scharf begrenzt und gezähnelte. Die Zähnelung der Lambdanaht im Vergleich zur Coronarnaht bildet sich früher aus und die Begrenzung ist bereits beim jüngeren Kind scharf.

Die Lambdanaht und die Coronarnaht projizierten sich auf dem seitlichen Röntgenbild übereinander. Eine exakte Trennung von rechter und linker Naht war nicht in allen Fällen möglich. Es wurden aber in keinem Fall wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Seiten festgestellt, so dass von einer getrennten Beurteilung abgesehen wurde.

Die Aktivität der Naht war früher als „Nahtsprengung“ bzw. „Nahtdehiszenz“ bekannt (3) und wurde als Druckzeichen gewertet. Sie beurteilt die altersgerechte Ausprägung der Zähnelung. Mit Hilfe der Bestimmung der Aktivität soll untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der radiologischen Morphologie der Naht und den Messdaten des Schädels besteht. Die Erhöhung der Nahtaktivität wurde hauptsächlich bei den älteren Kindern beobachtet.

Im untersuchten Patientenkollektiv konnte gezeigt werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Nahtaktivität und den morphometrischen Messdaten besteht. Die Gruppe mit erhöhter Nahtaktivität zeigte bei den Röntgenuntersuchungen im höheren Alter eine weniger stark ausgeprägte occipitale Überrotation und einen Breiten-Längen-Index, der näher an der Altersnorm liegt. Die Überhöhung des Bregma war deutlicher ausgeprägt. Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die radiologisch erhöhte Nahtaktivität im Zusammenhang mit einem verstärkten kompensatorischen Wachstum steht. Kokich (zitiert bei Cohen) fand einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Zähnelung, und der Zeitspanne, in der die Naht aktiv ist (46). Es scheint nicht nur, dass die Zeit, in der die Naht aktiv ist, einen

Einfluss auf die Zähnelung hat, sondern auch die Intensität des Wachstums. Nicht klar ist, ob ein verstärktes Wachstum innerhalb der Naht, Ursache der erhöhten Nahtaktivität, befundet im Röntgenbild ist, oder ob eine verstärkte Remodelierung der Schädelkalotte sekundär eine verstärkte Zähnelung der Naht hervorruft.

Der vorzeitige Verschluss der Sagittalnaht führt zur Ausbildung des Skaphozephalus. Verschiedene radiologische Untersuchungen wurden durchgeführt, um die typischen Veränderungen der Schädelform zu messen und zu charakterisieren. Eine umfassende Studie mit Hilfe von planen Röntgenbildern wurde von Slomic veröffentlicht. Er untersuchte 20 betroffene Kinder (13 Jungen und sieben Mädchen) und stellte sie einer Kontrollgruppe von 948 Kindern gegenüber (32). Weiterhin lieferte Slomic Regressionsformeln, mit denen Normgrößen berechnet werden können (40). Damit wurde die Möglichkeit gegeben, die Messparameter der Skaphozephaluskinder in Relation zur Norm zu setzen.

Mit Einführung der CT war man erstmals in der Lage, die veränderte Morphologie dreidimensional darzustellen. Richtsmeier untersuchte 23 Patienten mit Skaphozephalus und stellte sie einer Kontrollgruppe von zehn Patienten gegenüber (33). Eine Darstellung der Gehirnmorphologie war mit der Einführung des MRT möglich (34,51). Der Vergleich unserer Messergebnisse mit den Messungen, die mit Hilfe der CT und MRT gewonnen wurden, ist aufgrund der unterschiedlichen Messstrecken nur eingeschränkt möglich.

Für die Gewinnung der Messdaten wurden plane Röntgenbilder herangezogen. Der große Nachteil hierbei ist, dass dreidimensionale Veränderungen nicht erfasst werden können. Ebenso wird die maximale Schädelbreite, die beim Gesunden durch das Os temporale und Os parietale bestimmt wird, an der falschen Stelle gemessen. Beim Skaphozephalus findet sich eine Verbreiterung im Bereich des Os frontale und der Schädel ist im temporalen Bereich verschmälert (17). Die maximale Schädelbreite wird somit beim Skaphozephalus weiter frontal gemessen. Die Unterentwicklung der

Parietalhöcker wird nicht erfasst. Weiterhin sind bei den sehr jungen Patienten nicht alle Strukturen knöchern ausgebildet und der exakte Messpunkt kann nur durch eine Hilfslinie genau bestimmt werden.

Der Vorteil der planen Röntgenbilder ist die konstante Qualität, die durch die Verwendung von digitalen Bildempfängersystemen weiter verbessert wurde und die geringere Strahlenbelastung im Vergleich zur CT. Eine Sedierung ist nicht notwendig. Die plane Röntgenaufnahme liefert hinreichend gute Informationen und ist im Hinblick auf die mehrmalige radiologische Untersuchung die Methode der Wahl.

Die Schädellänge, repräsentiert durch den Parameter LI, war im untersuchten Kollektiv sowohl für Jungen als auch für Mädchen vergrößert. Dies bestätigt die Ergebnisse früherer Untersuchungen (52,33). Slomic hingegen fand die Schädellänge nur bei den Jungen, nicht aber bei den Mädchen vergrößert (32). Die Verlängerung des Schädels ist hauptsächlich in der hinteren Schädelgrube lokalisiert, denn die Länge der vorderen Schädelgrube (NaT) ist nur unwesentlich erhöht.

Die für den Skaphozephalus typische verminderte Schädelbreite und das Abflachen des Hinterkopfes waren bei beiden Geschlechtern deutlich ausgeprägt. So erreichte die maximale Schädelbreite (BI) nur 93% der Norm und die Schädelhöhe (HI) war mit 97% der Norm deutlich vermindert. Slomic fand die Länge der vorderen Schädelgrube innerhalb der Norm und seine Ergebnisse bezüglich der Schädelbreite und Schädelhöhe sind ebenfalls vergleichbar (32).

Bei der Stellung des Bregma differieren die Ergebnisse. Die von Slomic festgestellte dorsale Verlagerung des Bregma, gemessen mit Hilfe des Bregmawinkels, konnte durch unsere Untersuchungen nicht bestätigt werden (32). Der Bregmawinkel war in unserem Kollektiv kleiner, d.h. das Bregma ist nach frontal verlagert. Die Überhöhung des Bregma, gemessen mit Hilfe des Parameters TBr ist im untersuchten Kollektiv bei beiden Geschlechtern ausgeprägt und bestätigte frühere Beschreibungen (20). Die Ausprägung der Balkonstirn wird vom Parameter fNaBr erfasst. Dieser Parameter ist sowohl in

unserer Untersuchungsreihe als auch bei Slomic deutlich erhöht. Ebenso gleiche Ergebnisse wurden beim Parameter HSG erzielt. Die Tiefe der hinteren Schädelgrube (HSG) ist bei beiden Untersuchungen vergrößert. Die bei Slomic beschriebene occipitale Überrotation des Schädels bei isolierter Sagittalnahtsynostose (32), gemessen mit Hilfe des Inionwinkels, konnte durch unsere Untersuchung bestätigt werden. Der Inionwinkel erfasst die Stellung des Inions zur Strecke NaT und war in unserer Untersuchung bei beiden Geschlechtern erhöht.

Die Krümmung der Schädelbasis wird durch den Basiswinkel bestimmt. Bei den untersuchten Patienten lag der Basiswinkel signifikant über der Norm, was dem Ergebnis anderer Autoren widerspricht (32,53).

Aus den gewonnenen Ergebnissen wurde der Breiten-Längen-Index (BLI) und der Höhenindex bestimmt. Durch die Bildung eines Quotienten aus zwei Messdaten werden Fehlerquellen wie zum Beispiel ein differierender Vergrößerungsfaktor eliminiert. Der Breiten-Längen-Index ist Teil der klinischen Routine und liegt bei einer normalen Schädelform zwischen 75 und 80. Deutlich ausgeprägt ist der Skaphozephalus bei einem BLI unter 70 (20). Im untersuchten Kollektiv lag der BLI in allen vier Altersgruppen im Mittel unter 67. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Normwerten so erreicht der BLI im Durchschnitt 87% der Altersnorm. Der Höhenindex, der ein Maß für das Abflachen des Schädeldaches ist, erreicht in allen vier Altersgruppen die Norm nicht.

Untersuchungen zum Spontanverlauf des Skaphozephalus sind rar, dadurch bedingt, das die überwiegende Zahl der betroffenen Patienten frühzeitig operiert wird. Erst seit 1980 sind einige Zentren dazu übergegangen, Patienten mit Skaphozephalus auch konservativ zu behandeln.

Zur Darstellung des Spontanverlaufs wurden die gewonnenen Ergebnisse in Altersgruppen zusammengefasst, um eine statistisch aussagekräftige Anzahl zu erhalten. Da die Kinder aufgrund klinischer Indikationen geröntgt wurden, ist der Abstand zwischen den Aufnahmen sehr unterschiedlich, ebenso schwankt die

Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Patient. Die jeweiligen Altersgruppen war unterschiedlich stark besetzt und die Anzahl der Untersuchungen war bei den über Fünfjährigen am geringsten. Um der starken Abhängigkeit des Schädelwachstums vom Lebensalter Rechnung zu tragen, ist eine Verlaufsbeobachtung erst nach einem Vergleich der Ergebnisse mit der jeweiligen Altersnorm sinnvoll.

Eine Annäherung an die Altersnorm im Verlauf war beim Parameter Bregmahöhe ausgeprägt, dagegen bei den Parametern Schädellänge, Schädelhöhe, Länge und Tiefe der hinteren Schädelgrube nur gering. Der Parameter Schädelbreite entfernte sich deutlich und der Parameter fNaBr, der die frontale Wölbung beschreibt, entfernte sich geringgradig von der Altersnorm im Verlauf.

Gleichgeblieben waren die Parameter Basiswinkel, Bregmawinkel und NaT, der die Länge der vorderen Schädelgrube erfasst.

Das Wachstum in die Breite erreichte das der Altersgenossen nicht. So war die typische Verschmälerung des Schädels bei den älteren Kindern ausgeprägter. Da das Wachstum in ap-Richtung nahezu unverändert war, verschlechtert sich der Breiten-Längen-Index im Verlauf. Das Überhöhen des Bregma und das Abflachen des Schädels im parietalen Bereich milderten sich ab. Dies spiegelte sich in einer Annäherung des Höhenindex an die Norm während des Wachstums wider. Die Ausbildung der Parietalhöcker konnte auf dem planem Röntgenbild nicht beurteilt werden, aber die Kalotte gewann im parietalen Bereich an Wölbung. Die typische Balkonstirn war auch bei den älteren Kindern vorhanden. Die frontale Wölbung nahm sogar zu. Das Bregma, welches während des normalen Wachstums nach unten wandert (32) und beim Skaphozephalus typischerweise überhöht ist, wanderte bei den Betroffenen schneller nach unten, erreichte aber die normale Position nicht. Die occipitale Überrotation verbesserte sich. Die Kaudalverlagerung des Inions schreitete nicht weiter voran, die hintere Schädelgrube gewann an Tiefe und das erhöhte Wachstum in ap-Richtung schwächte sich ab.

Der Skaphozephalus wächst sich nicht aus. Die Deformation nahm in einigen Bereichen sogar zu. Im parietalen Bereich aber war die Deformation durch verstärkte Wachstumstendenzen abgemildert.

Neben der Erhebung morphometrischer Daten wurde auch die Ausprägung von Schaltknochen und Impressiones digitatae untersucht. Schaltknochen stellen Normvarianten dar und sind meist in der Lambdanaht zu finden (45). Es handelt sich um abnorme Verknöcherungszentren (12), die bei gesunden Patienten kleiner und von geringerer Anzahl sind als bei Patienten mit Skelettdysplasien (45). Im untersuchten Kollektiv lag die Anzahl jeweils zwischen einem und drei Schaltknochen. In zwei Fällen waren die Schaltknochen größer als 10 mm im Durchmesser. Ein gehäuftes Auftreten wurde nicht beobachtet.

Die Impressiones digitatae sind typische Merkmale des kindlichen Schädels und ab dem 3. Monat immer vorhanden (12). Stark ausgeprägte Impressiones digitatae werden mit erhöhtem intrakraniellen Druck (ICP) in Verbindung gebracht. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die Ausprägung der Impressiones digitatae nicht eng mit einem erhöhten Hirndruck korreliert und dass sie in einer Gruppe von Kraniostenosepatienten nicht häufiger als in einer Kontrollgruppe vorkommen (26). Aufgrund der geringen Sensitivität von radiologischen Methoden lassen manche Zentren Röntgenbilder zur Verlaufsbeobachtung bei Kraniostenose nicht mehr anfertigen, um Patienten mit erhöhtem Hirndruck zu identifizieren (31). In Würzburg wurden dagegen etwa 60% der Patienten mit erhöhtem Hirndruck mit Hilfe des Röntgenbildes und einer zusätzlichen augenärztlichen Untersuchung entdeckt (18). Im untersuchten Kollektiv zeigten sieben Aufnahmen stark ausgeprägte Impressiones digitatae, in allen weiteren Fällen war die Ausprägung altersentsprechend. Weitergehende Untersuchungen unterblieben in den sieben Fällen, da keine sonstigen Hinweise auf eine intrakranielle Drucksteigerung vorlagen.

Der Vergleich der digitalen mit der konventionellen Röntgentechnik ist ein weiterer Bestandteil der Arbeit. Die digitale Radiographie setzte sich in den kinderradiologischen Abteilungen langsamer durch (38). Neue Entwicklungen führen jedoch dazu, dass auch in der Kinderradiologie die analoge Projektionsradiographie bald ausgedient haben wird (38). Das entscheidende Kriterium der digitalen Radiographie ist nicht die Pixelgröße und die Ortsauflösung, sondern die adäquate Darstellung kontrastarmer Strukturen, welche vom Signal-Rausch-Verhältnis und von adäquater Datenverarbeitung abhängig ist (36). Zum Vergleich beider Systeme wurden Tiere geröntgt (54) und Knochenmodelle verwendet (37). Vergleiche, die mit Hilfe von Patientenaufnahmen durchgeführt wurden, sind auf Erwachsene begrenzt und wurden lediglich für Thoraxaufnahmen veröffentlicht (55). Hierbei konnte kein signifikanter Unterschied bei der Gesamtbeurteilung zwischen den Aufnahmen mit digitaler Röntgentechnik unter Verwendung einer Speicherfolie und der analogen Röntgentechnik festgestellt werden. Jedoch war die Erkennbarkeit von anatomischen Strukturen in drei Bereichen beim Speicherfoliensystem signifikant besser (55). Im Tiermodell war die Erkennbarkeit anatomischer Strukturen in beiden Systemen vergleichbar (39), wohingegen bei den Untersuchungen am Knochenmodell das analoge Film-Folien-System dem digitalen Röntgensystem mit Speicherfolie überlegen war (37).

Für den Vergleich der digitalen und konventionellen Röntgentechnik wurden Schädelaufnahmen von 33 Patienten verwendet. Durch den langen Beobachtungszeitraum der Kraniosenosepatienten war es möglich, eine ausreichend große Zahl von Aufnahmen in beiden Röntgentechniken zu gewinnen. Die teilweise sehr lange Zeitspanne zwischen den beiden Untersuchungen reduziert die Aussagekraft des Ergebnisses, ist aber aufgrund der klinischen Indikation zur Röntgenuntersuchung unumgänglich.

Die Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen war im untersuchten Kollektiv signifikant besser bei Verwendung der digitalen Röntgentechnik. In allen fünf Bereichen erreichte das Speicherfoliensystem eine um mindestens eine Stufe

bessere Bewertung. Besondere Bedeutung erhielt die Darstellung der Schädelnähte, die eine nützliche Basis zur Beurteilung der Röntgenqualität lieferte (21). Eine normale Schädelnaht ist nur auf einer qualitativ hochwertigen Röntgenaufnahme als solche erkennbar und somit eindeutig von der pathologisch veränderten Schädelnaht zu unterscheiden (21). Es konnte somit gezeigt werden, dass die digitale Bildgewinnung klare Vorteile bei der Röntgenaufnahme des kindlichen Schädels bietet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine radiologisch erkennbare Sagittalnaht im ersten Lebensjahr eine Synostose nicht ausschließt, da die inaktive Naht erst später knöchern durchbaut wird. Ein Übergreifen der Synostose auf andere Nähte konnte in Einzelfällen nicht sicher ausgeschlossen werden, jedoch fanden sich keine eindeutigen Hinweise dafür. Die erhobenen Messdaten bestätigen größtenteils die Ergebnisse früherer Untersuchungen. Die Darstellung des Spontanverlaufs zeigte, dass sich der Skaphozephalus nicht auswächst, aber mit Ausnahme der Schädelbreite nimmt die abweichende Schädelform im Verlauf nicht weiter signifikant zu. Beim Vergleich der beiden Röntgensysteme konnten die Vorteile der digitalen Bildgewinnung hinsichtlich der Bildqualität deutlich gezeigt werden.

5. Zusammenfassung

Zur Darstellung des Verlaufs bei nicht operierten Kindern mit Sagittalsynostose wurden 155 Röntgenbilder von 52 Patienten im Alter zwischen 15 Tagen und 9 Jahren untersucht. Die Schädelnähte wurden hinsichtlich der Darstellbarkeit, Begrenzung, Zähnelung und Aktivität beurteilt. Weiterhin wurden acht Strecken und vier Winkel gemessen, daraus zwei Indizes berechnet.

Die Sagittalnaht war bei mehr als der Hälfte der Aufnahmen im ersten Lebensjahr partiell bzw. vollständig darstellbar. Die Lambdanaht war ab dem zweiten Lebensmonat immer, die Coronarnaht bis auf wenige Ausnahmen darstellbar. Die Zähnelung der Nähte entwickelte sich altersentsprechend. Der Anteil der Nähte, die keine erhöhte Aktivität aufwiesen, sank im Verlauf von 94% auf 38%.

Bei den Messstrecken und Winkeln wurden die Ergebnisse aus der Literatur weitgehend bestätigt. Der Basiswinkel war im untersuchten Patientenkollektiv signifikant erhöht. Der Höhenindex näherte sich im Verlauf der Altersnorm an, wohingegen sich die Parameter innere Schädelbreite und Breiten-Längen-Index signifikant von der Altersnorm entfernten. Der Skaphozephalus wächst sich nicht aus, aber einzelne Merkmale, wie die parietale Wölbung, nähern sich wieder etwas der Norm an. Sichere Hinweise für ein Übergreifen der Synostose auf andere Nähte wurden nicht gefunden.

Im weiteren wurden digitale und konventionelle Röntgenaufnahmen von 33 Patienten mit Kraniosynostosen verglichen. Untersucht wurde die Beurteilbarkeit hinsichtlich Schärfe und Kontrast. Der Zeitabstand zwischen konventioneller und digitaler Röntgenaufnahme lag im Mittel bei 24 Monaten. Die Vorteile des digitalen Röntgens hinsichtlich der Beurteilbarkeit konnten deutlich gezeigt werden. Somit ist das optimierte digitale Röntgensystem dem konventionellen vorzuziehen.

6. Anhang

6.1. Bildbeispiele



Abb. 1: Regelrechte Schädelverhältnisse



Abb 2: Langschädel: Der Schädel des 72 Monate alten Jungen ist extrem lang und schmal (BLI=57)



Abb. 3: Kahnschädel: Im Bereich der Sagittalnaht bildet sich ein Wulst der an den Kahn eines Schiffes erinnert.

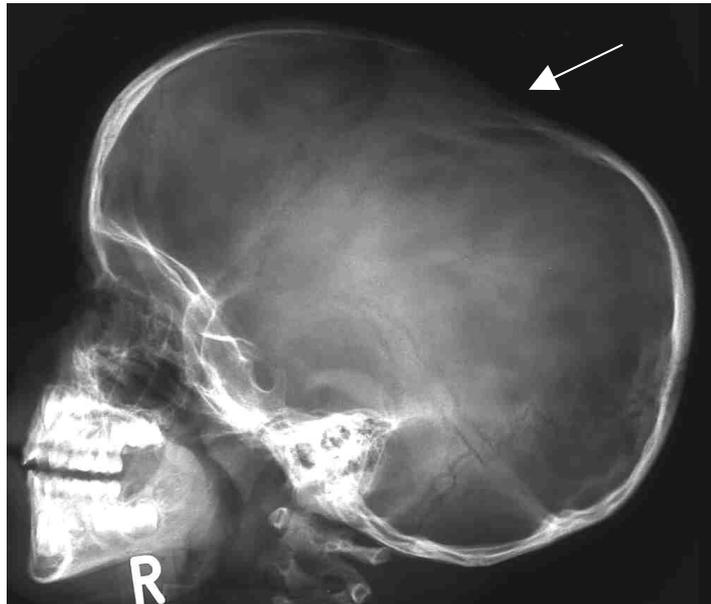


Abb. 4: Sattelkopf: Die Schädelwölbung ist im Bereich der Stirn und der Hinterhauptgegend gut ausgeprägt, im Bereich der Coronarnaht ist das Schädeldach jedoch eingezogen.



Abb. 6: extrem dicker Stirnknochen

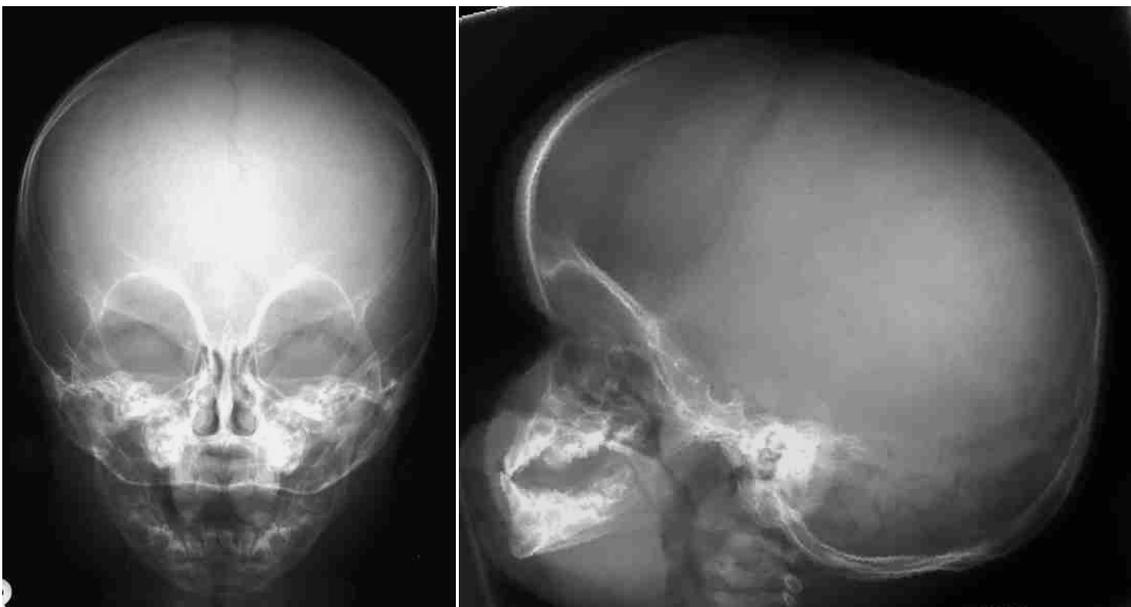


Abb. 7: Breiten – Längen – Index bei Diagnose 71,6

Sagittalnaht partiell darstellbar



Abb. 8A: Digitale Röntgenaufnahme vor Optimierung



Abb. 8b: Digitale Röntgenaufnahme nach altersadaptierter Optimierung der digitalen Bildbearbeitung



Abb. 9: Sagittalnaht nicht darstellbar



Abb. 10: Coronarnaht kontinuierlich darstellbar

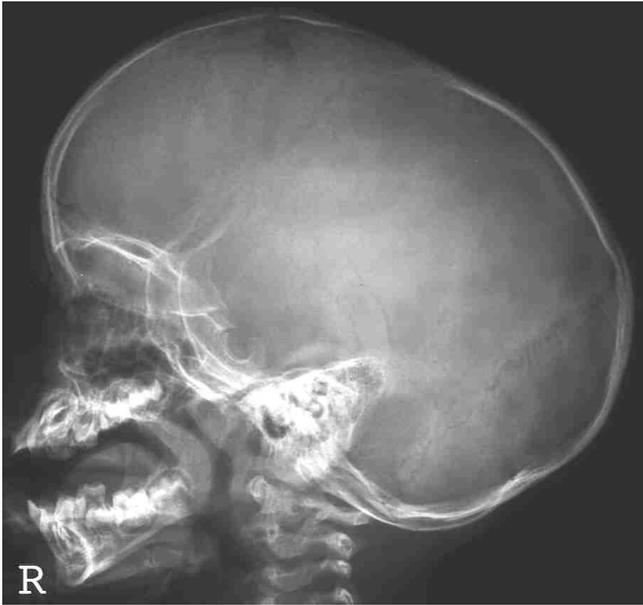


Abb. 11: Coronarnaht partiell darstellbar



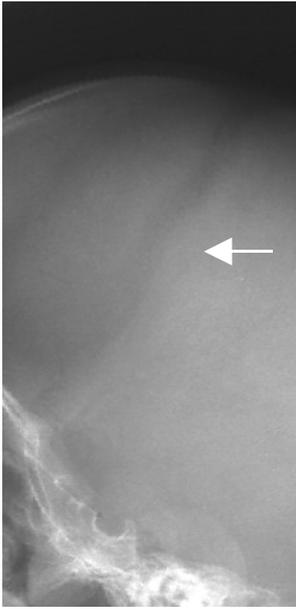
Abb. 12a:
Nahtbegrenzung
scharf



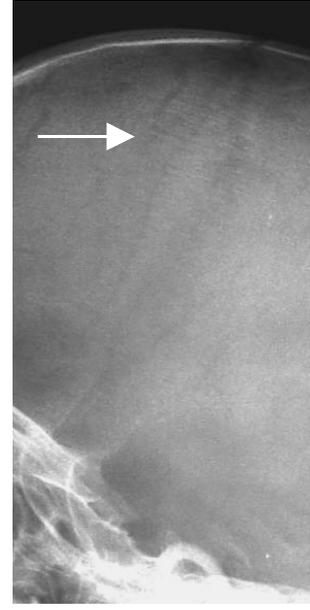
Abb. 12b:
Nahtbegrenzung
unscharf



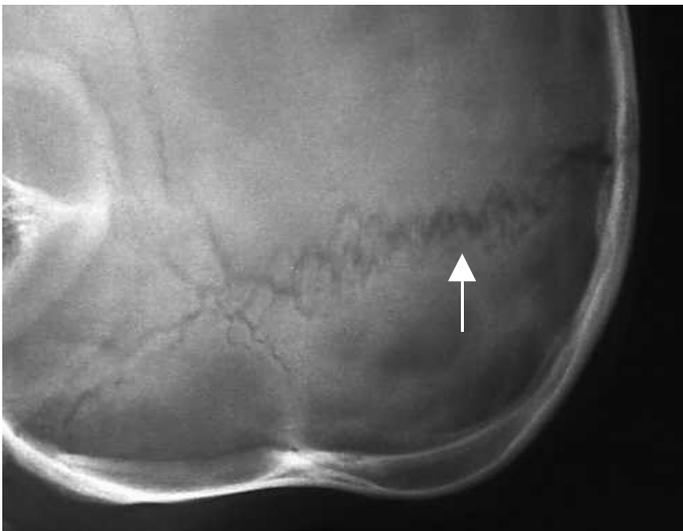
Abb. 12c:
keine
Nahtbegrenzung



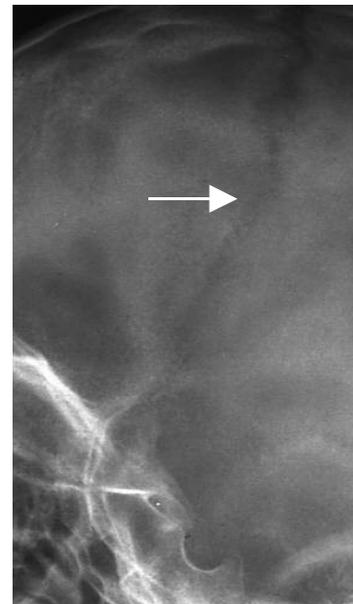
Bildbeispiel 13a:
Keine Zähnelung



Bildbeispiel 13b:
Zähnelung nicht zählbar



Bildbeispiel 13c:
mehr als 2 Zähne



Bildbeispiel 13d:
ein bis zwei Zähne

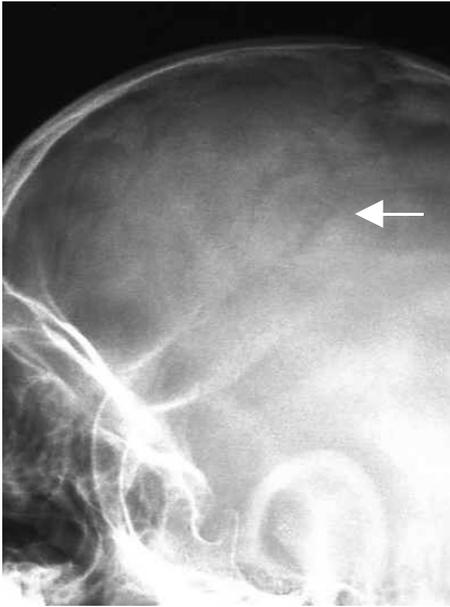


Abb. 14a: Normal aktive Coronarnaht:
Die Naht ist scharf begrenzt und die
Zähnelung ist altersentsprechend.

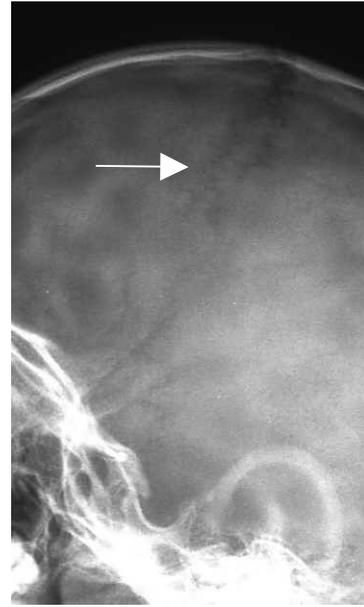


Abb. 14b: Leicht erhöhte Aktivität
der Coronarnaht: Die Zähnelung
Ist stärker ausgeprägt und der
Nahtspalt ist breiter.



Abb 14c: Überaktive Coronarnaht: Die Zähnelung ist deutlich ausgeprägt, der
Nahtspalt ist breit und die Nahtränder sind unscharf begrenzt.

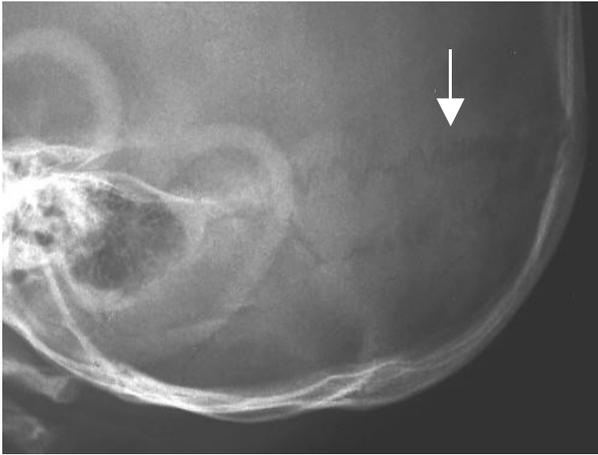


Abb. 15a: Normal aktive Lambdanaht: Die Zähnelung ist altersentsprechend und der Nahtspalt ist schmal.

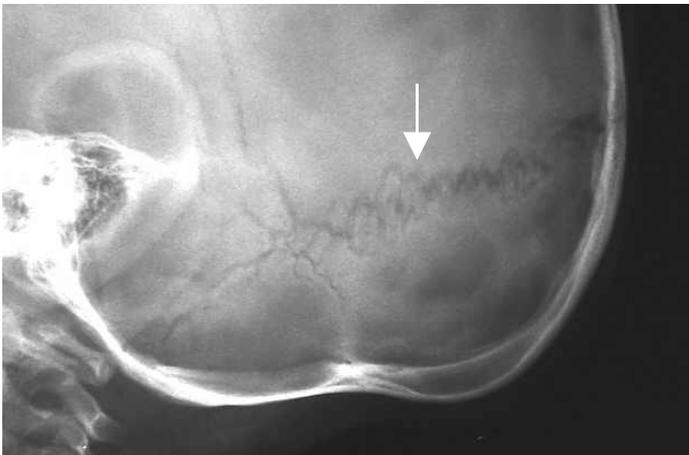


Abb. 15b: Leicht erhöhte Aktivität der Lambdanaht: Die Zähnelung ist stärker ausgeprägt, der Nahtspalt ist verbreitert und der Nahttrand ist unscharf begrenzt.

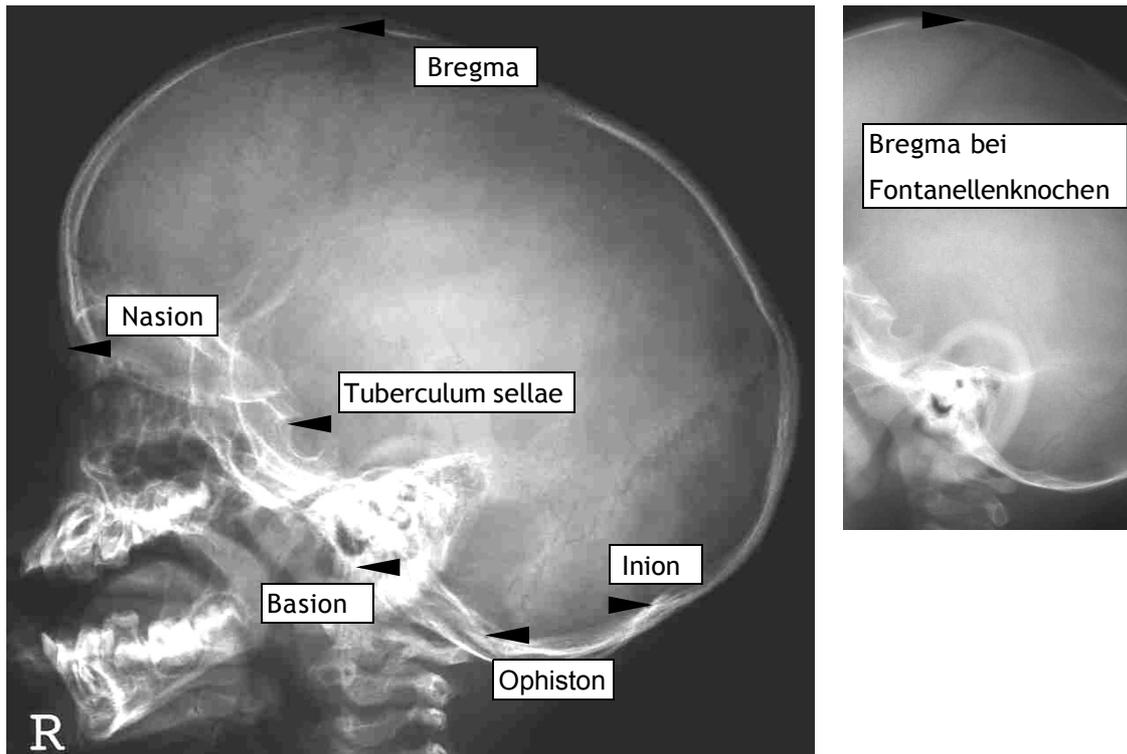


Abb. 16: Messpunkte:

- Nasion: Schnittpunkt der Sutura nasofrontalis mit der Medianebene
- Bregma: Schnittpunkt der Sagittalnaht mit der Koronarnaht
- Inion: Confluens sinuum auf der Tabula interna der Kalotte
- Ophiston: Dorsale Begrenzung des Foramen magnum in der Medianebene
- Basion: Ventrale Begrenzung des Foramen magnum in der Medianebene
- Tuberculum sellae: Höchster Punkt am vorderen Rand der Fossa hypophysealis

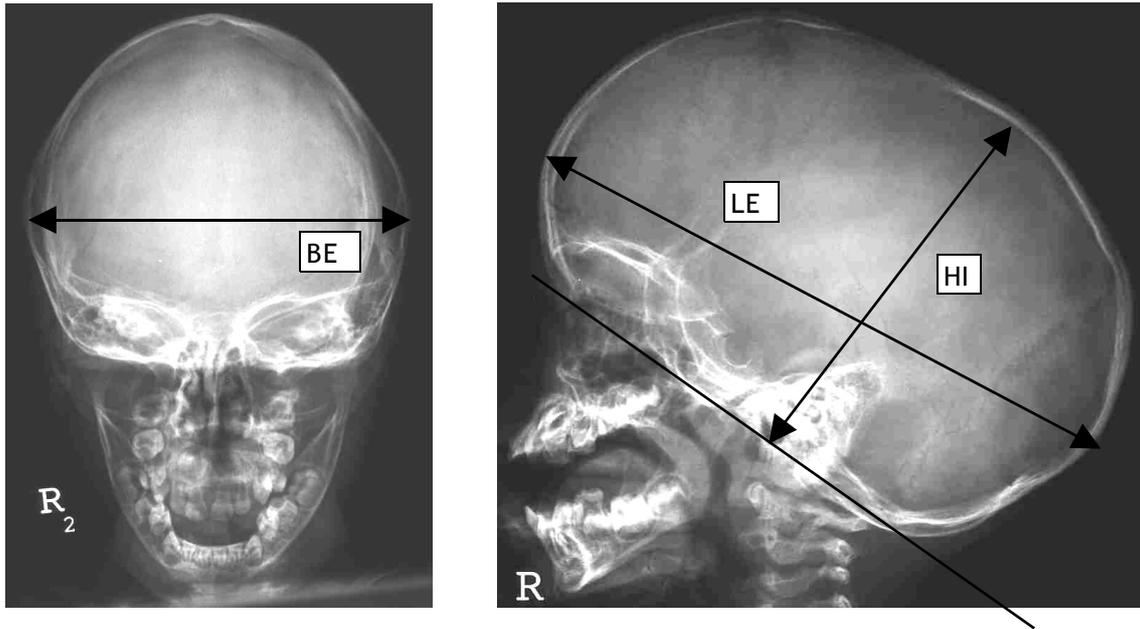


Abb. 17a: Messstrecken 1:

- BE: Maximale Schädelbreite
- LE: Maximale Schädellänge
- HI: Schädelhöhe im Bereich der Os parietale

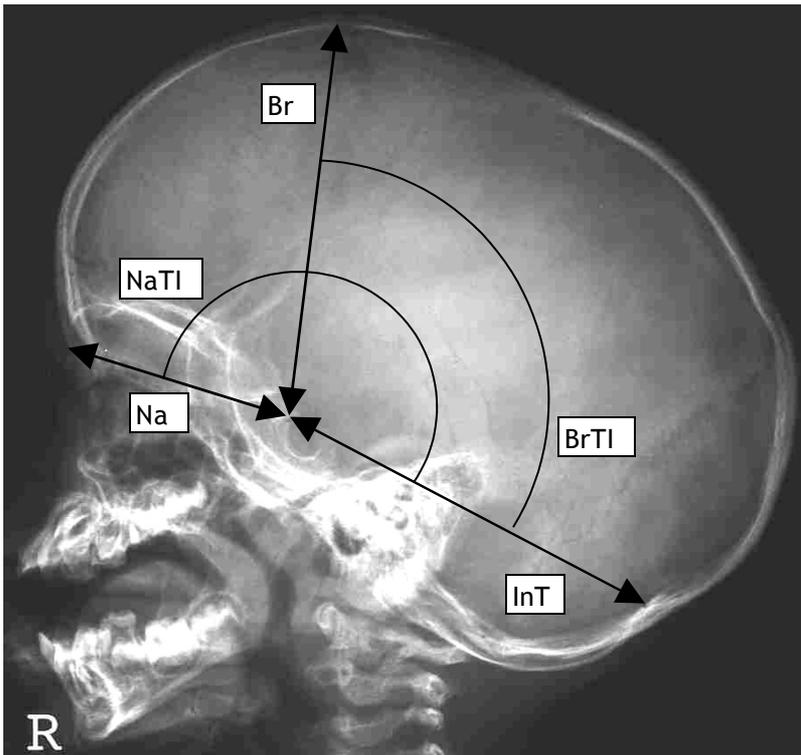


Abb. 17b: Messstrecken und Winkel:

- NaT: Länge der vorderen Schädelgrube
- InT: Länge der hinteren Schädelgrube
- TBr: Höhe des Bregma
- NaTIn: Inionwinkel, Lage des Inions zur vorderen Schädelgrube
- BrTIn: Parietalwinkel, Lage des Inions zum Bregma

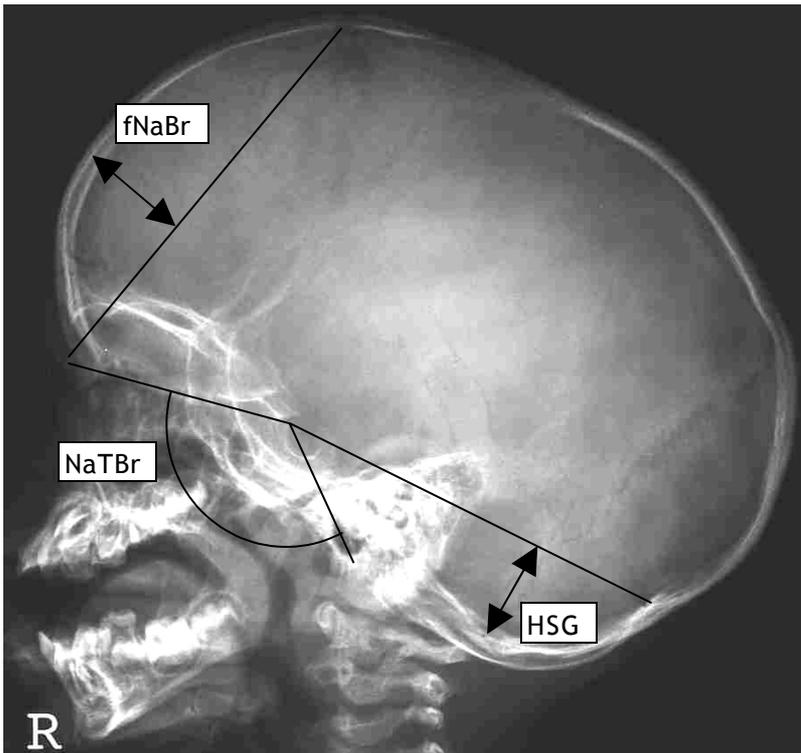


Abb. 17c: Messstrecken und Winkel:

- fNaBr: Schädelwölbung im Bereich des Os frontale
- HSG: Tiefe der hinteren Schädelgrube
- NaTBa: Basiswinkel, Neigung des Klivus

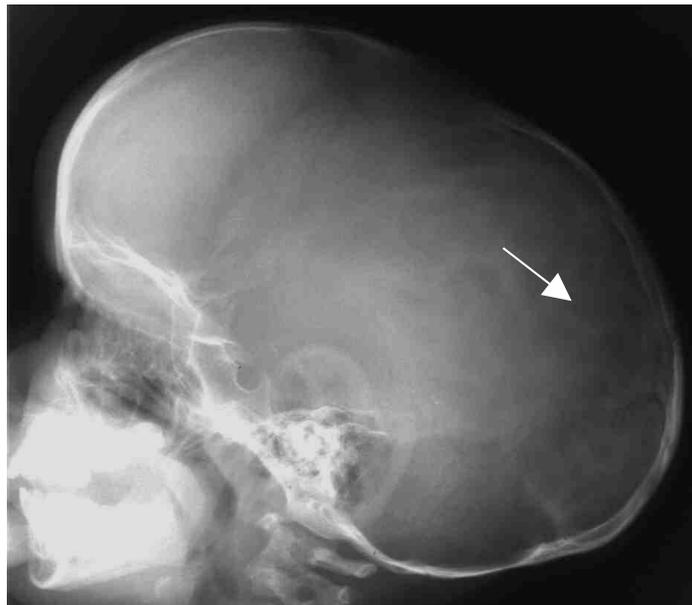
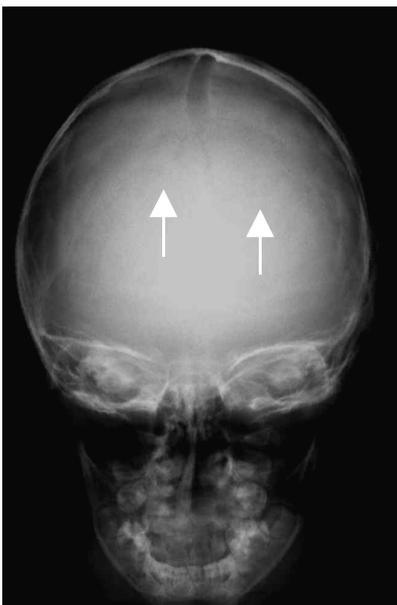


Abb. 18: Zwei grosse Schaltknochen in der Sutura Lambdoidea



Abb. 19a: Impressiones digitatae im Verlauf (8 Lebensmonate)



Abb. 19b: Impressiones digitatae im Verlauf (22 Lebensmonate)

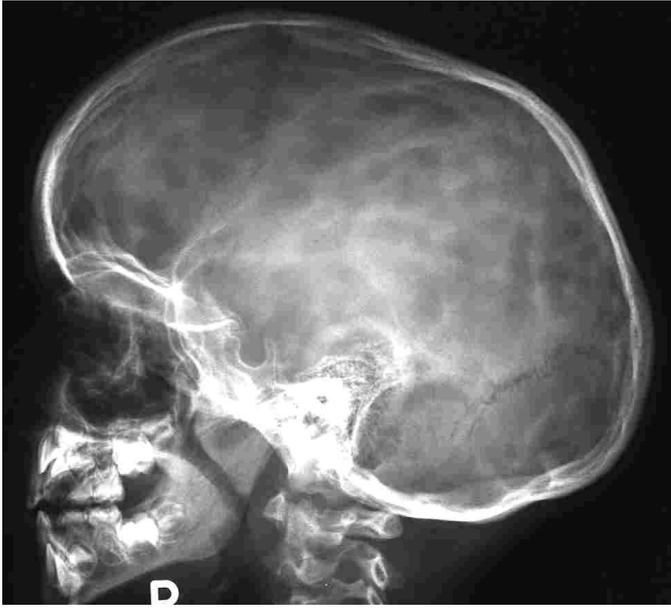


Abb. 19c: Impressiones digitatae im Verlauf (51 Lebensmonate)

6.2. Auswertungsbogen

	Nummer		Datum	Lebensalter bei Untersuchung
	1. Name	1		
	2. Vorname	2		
	3. Geburtsdatum	3		
	4. Geschlecht	4		
		5		
		6		

a) Nähte

1. Sutura coronalis re

1	2	3	4	5	6		Darstellbarkeit: 1 kontinuierlich 2 partiell 3 keine
						1.1. Darstellbarkeit	
						1.2. Begrenzung	
						1.3. Zähnelung -Abstand der Maxima - Anzahl der Zacken pro cm	
						1.4. Aktivität	

2. Sutura coronalis li

1	2	3	4	5	6		Begrenzung: 1 scharf 2 unscharf 3 keine
						2.1. Darstellbarkeit	
						2.2. Begrenzung	
						2.3. Zähnelung -Abstand der Maxima - Anzahl der Zacken pro cm	
						2.4. Aktivität	

3. Sutura lambdaidea re

1	2	3	4	5	6		Zähnelung: Abstand der Maxima 1 < 0,5 cm 2 0,5 cm < A < 1,0cm 3 > 1,0 cm
						3.1. Darstellbarkeit	
						3.2. Begrenzung	
						3.3. Zähnelung -Abstand der Maxima - Anzahl der Zacken pro cm	
						3.4. Aktivität	
						3.5. Schaltknochen: - Anzahl - Größe	

4. Sutura lambdoidea li

1	2	3	4	5	6	
						4.1. Darstellbarkeit
						4.2. Begrenzung
						4.3. Zähnelung -Abstand der Maxima
						- Anzahl der Zacken pro cm
						4.4. Aktivität
						4.5. Schaltknochen: - Anzahl
						- Größe

Zähnelung: Anzahl der Zacken pro cm:
1 keine Zähnelung
2 nicht zählbar
3 mehr als 2
4 1 bis 2

5. Sutura sagitalis

1	2	3	4	5	6	
						5.1. Darstellbarkeit
						5.2. Begrenzung
						5.3. Zähnelung -Abstand der Maxima
						- Anzahl der Zacken pro cm

Aktivität:
1 normale Aktivität
2 leicht erhöhte Aktivität
3 überaktive Naht

Schaltknochen Anzahl:
1 keine
2 1 bis 3
3 mehr als 3

Schaltknochen Größe:
1 < 10 mm
2 10 < g < 30mm
3 > 30 mm

b) Vergleich digitales – konventionelles Röntgenbild

Datum digitales Bild
Datum konventionelles Bild
Abstand der Bilder in Monaten

	Digital	Konv..
1. Allgemeineindruck der Kalotte		
2. Nähte: Coronarnaht re		

Beurteilbarkeit (Schärfe/ Kontrast)
0 nicht möglich

Coronarnaht li			1 mäßig 2 gut 3 sehr gut
Lambdanaht re			
Lambdanaht li			

c) Messparameter

1. Messstrecken in cm:

	1	2	3	4	5	6
1.1 be						
1.2 le						
1.3 bi						
1.4 li						
1.3 hi						
1.4 NaT						
1.5 BrT						
1.6 InT						
1.7 fNaBr						
1.8 HSG						

2. Winkel in Grad:

	1	2	3	4	5	6
2.1. Bregmawinkel						
2.2. Parietalwinkel						
2.3. Basiswinkel						
2.4. Inionwinkel						

7. Literaturverzeichnis

1. Cohen MM Jr: Craniosynostosis: Diagnosis, Evaluation, and Management (Second Edition). Oxford University Press, New York, Oxford 2000
2. Delashaw JB, Persing JA, Jane JA: Cranial Deformation in Craniosynostosis; A New Explanation. Neurosurg Clin N Am 2(3): 611-620, 1991
3. Friedmann G: Die Schädelnähte und ihre Pathologie. In: Handbuch der medizinischen Radiologie: 122-152, Bd VII/1 Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1963
4. Perrson M, Magnusson BC, Thilander B: Sutural closure in rabbit and man: A morphological and histochemical study. J Anat 125: 313-321, 1978
5. Schmitt HP, Tamaska L: Beiträge zur forensischen Osteologie. IV. Untersuchungen über die Verknöcherungen der Schädelnähte unter besonderer Berücksichtigung der Frage der Altersbestimmung. Z Rechtsmed 67: 230-248, 1970

6. Oppermann LA, Passarelli RW, Morgan EP, Reintjes M, Ogle RC: Cranial sutures require tissue interactions with dura mater to resist osseous obliteration in vitro. *J Bone Miner Res* 10: 1978-1987, 1995
7. Oppermann LA, Persing JA, Sheen R, Ogle RC: In the absence of periosteum, transplanted fetal and neonatal rat coronal sutures resist osseous obliteration. *J Craniofac Surg* 5: 327-332, 1994
8. Oppermann LA, Sweeney TM, Redmon J, Persing JA, Ogle R: Tissue interactions with underlying dura mater inhibit osseous obliteration of developing cranial sutures. *Dev Dyn* 198: 312-322, 1993
9. Lenton KA, Randall P, et al.: Cranial Suture Biology. *Dev Biol* 66: 287-328, 2005
10. Chun K, Teebi AS, Azimi C, Steele L, Ray PN: Screening of Patients With Craniosynostosis: Molecular Strategy. *Am J Med Genet* 120A: 470-473, 2003
11. Hershkovitz I, Latimer B, Dutour O, Jellema LM, Wish-Baratz S, Rothschild C, Rothschild BM: Why do we fail in aging the skull from the sagittal suture? *Am J Phys Anthropol* 103: 393-399, 1997

12. Hayek KD: Kraniostenosen. In: Kinderradiologie 1: 394-404, Springer Verlag Berlin 1990
13. Anderson FM, Geiger L: Craniosynostosis. A survey of 204 cases. J Neurosurg 22: 229-248, 1965
14. Delashaw JB, Persing JA, Broaddus WC, Jane JA: Cranial vault growth in craniosynostosis. J Neurosurg 70: 159-165, 1989
15. Lajeunie E, Le Merrer M, Bonaiti-Pellie C, Marchac D, Renier D: Genetic Study of nonsyndromic coronal craniosynostosis. Am J Med Genet 55: 500-504, 1995
16. Lajeunie E, Le Merrer M, Bonaiti-Pellie C, Marchac D, Renier D: Genetic study of scaphocephaly. Am J Med Genet 62: 282-285, 1996
17. Alvarez-Garijo JA, Cavadas PC, Vila MM, Alvarez-Llanas A: Sagittal synostosis: results of surgical treatment in 210 patients. Childs Nerv Syst 17: 64-68, 2001
18. Collmann H, Sørensen N, Krauss J: Craniosynostosis – treatment, results, and complications. Pediatr Neurosurg 14: 291-322, 1999

19. Williams PL, Gray H: Gray's anatomy (38. ed.). Churchill Livingstone, New York 1995
20. Baritt J, Brooksbank M, Simpson D: Scaphocephaly: Aesthetic and Psychosocial Considerations. *Dev Med Child Neurol* 23: 183-191, 1981
21. Pilgram TK, Vannier MW, Hildebolt CF, Marsh JL, McAlister WH, Shackelford GD, Offutt CJ, Knapp RH: Craniosynostosis: Image quality, confidence, and correctness in diagnosis. *Radiology* 173(3): 675-679, 1989
22. Cedzich C, Farmand M: Diagnostik und Therapie der nichtsyndromalen und syndromalen Kraniosynostosen. *HNO* 51:198-208, 2003
23. Thompson D, Malcolm G, Jones B, Harkness W, Hayward R: Intracranial pressure in single-suture craniosynostosis. *Pediatr Neurosurg* 22: 235-240, 1995
24. Renier D, Lajeunie E, Arnaud E, Marchac D: Management of craniosynostosis. *Childs Nerv Syst* 16: 645-658, 2000
25. Breugem CC, van R. Zeeman BJ: Retrospective Study of Nonsyndromic Craniosynostosis Treated over a 10-Year Period. *J Craniofac Surg* 10(2): 140-148, 1999

26. Tuite GF, Evanson J, Chong WK, Thompson DN, Harkness WF, Jones BM, Hayward RD: The beaten copper cranium: a correlation between intracranial pressure, cranial radiographs and computed tomographic scans in children with craniosynostosis. *Neurosurgery* 39(4): 691-699, 1996
27. Shipster C, Hearst D, Somerville A, Stackhouse J, Hayward R, Wade A: Speech, language, and cognitive development in children with isolated sagittal synostosis. *Dev Med Child Neurol* 45: 34-43, 2003
28. Kapp-Simon K: Mental development and learning disorders in children with single suture craniosynostosis. *Cleft Palate Craniofac J* 35: 197-203, 1998
29. Arnaud E, Renier D, Marchac D: Prognosis for mental function in scaphocephaly. *J Neurosurg* 83: 476-479, 1995
30. Boltshauser E, Ludwig S, Dietrich F, Landolt MA: Sagittal Craniosynostosis: Cognitive Development, Behaviour, and Quality of Life in Unoperated Children. *Neuropediatrics* 34: 293-300, 2003
31. Haberl H, Hell B, Zöckler M, Zachow S, Lamecker H, Sarrafzadeh A, Riecke B, Lanksch W, Deufelhard P, Bier J, Brock M: Technical Aspects and Results of Surgery for Craniosynostosis. *Zentralb Neurochir* 65: 65-74, 2004

32. Slomic AM, Bernier JP, Morissette J, Renier D: A craniometric study of sagittal craniosynostosis (SC). *J Craniofac Genet Dev Biol* 12: 49-54, 1992
33. Richtsmeier JT, Cole TM, Krovitz G, Valeri CJ, Lele S: Preoperative morphology and development in sagittal synostosis. *J Craniofac Genet Dev Biol* 18: 64-78, 1998
34. Aldridge K, Marsh JL, Govier D, Richtsmeier JT: Central nervous system phenotypes in craniosynostosis. *J Anat* 201: 31-39, 2002
35. Hertrich P: Röntgenaufnahmetechnik. Grundlagen und Anwendungen. Publicis Corporate Publishing, Erlangen 2004
36. Schäfer-Prokop C, Uffmann M, Stadler A: Digitale Radiographie: Von der Speicherfolie zum Direktdetektor. *Wien med Wochenschr* 152 Supplement No. 113: 30-34, 2002
37. Meier S, Mildenerger P, Oberholzer K, Krummenauer F, Thelen M: Experimentelle In-vitro-Studie zur Evaluierung eines elektronischen Detektors für die digitale Radiographie. *RoFo* 176: 875-879, 2004
38. Puig S: Die digitale Thoraxradiographie beim pädiatrischen Patienten. *Radiologe* 12: 1045-1049, 2003

39. Ludwig K, Ahlers K, Sandmann C, Gosheger G, Kloska S, Vieth V, Meier N, Heindel W: Dosisreduktion bei Röntgenaufnahmen des kindlichen Beckenskelettes zur Diagnostik der Hüftgelenksdysplasie unter Verwendung eines digitalen Flachdetektorsystems. RoFo 175: 112-117, 2003
40. Slomic AM, Bernier JP, Morissette J: Cranes moyens. Bull Mem Soc Anthropol Paris, t4 serie XIV, no 1: 33-46, 1987
41. Köhler A, Zimmer E: Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts (13. Auflage). Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1989
42. Sengler U: Röntgenkephalometrie bei der isolierten Sagittalnahtsynostose - Prä- und postoperatives Wachstum. Medizinische Dissertationsschrift, Würzburg 1997
43. Fernbach SK, Feinstein KA: Radiologic Evaluation of the Child with Craniosynostosis. Neurosurg Clin N Am 2(3): 569-585, 1991
44. Aviv RI, Rodger E, Hall CM: Craniosynostosis. Clin Radiol 57: 93-102, 2002
45. Kaplan SB, Kemp SS, Oh KS: Radiographic Manifestations of Congenital Anomalies of the Skull. Radiol Clin North Am 29(2): 195-218, 1991

46. Cohen MM Jr: Craniosynostosis: Diagnosis, Evaluation, and Management.
Raven Press, New York 1986
47. Benson ML, Oliverio PJ, Yue NC, Zinreich J: Primary craniosynostosis:
Imaging features. Am J Roentgenol 166: 697-703, 1996
48. Norwood CW, Eben A, Courtland HD, David LK: Recurrent and multiple
suture closures after craniectomy for craniosynostosis. J Neurosurg 41: 715-
719, 1974
49. Greene CS: Pancraniosynostosis after surgery for single sutural
craniosynostosis. Pediatr Neurosurg 29(3): 127-132, 1998
50. Reddy K, Hoffmann H, Armstrong D: Delayed and Progressive Multiple
Suture Craniosynostosis. Neurosurgery 26(3): 442-448, 1990
51. Aldridge K, Kane AA, Marsh JL, Yan P, Govier D, Richtsmeier JT:
Relationship of brain and skull in pre- and postoperative sagittal synostosis.
J Anat 206: 373-385, 2005
52. Fernbach SK, Naidich TP: Radiological evaluation of craniosynostosis. In:
Cohen (Hrsg.) Craniosynostosis: Diagnosis, evaluation and management.
Raven Press, New York 1986

53. DeLeon VB, Zumpano MP, Richtsmeier JT: The Effect of Neurocranial Surgery on Basicranial Morphology in Isolated Sagittal Craniosynostosis. *Cleft Palate Craniofac J* 38(2): 134-146, 2001
54. Ludwig K et al.: Lumbar Spine Radiography: Digital Flat-Panel Detector versus Screen-Film and Storage-Phosphor Systems in Monkeys as a Pediatric Model. *Radiology* 229(1): 140-144, 2003
55. Ganten M, Radeleff B, Kampschulte A, Daniels M, Kauffmann G, Hansmann J: Comparing Image Quality of Flat-Panel Chest Radiography with Storage Phosphor Radiography and Film-Screen Radiography. *AJR* 181: 171-176, 2002

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Kassa Darge für die Überlassung des Themas, die vorzügliche und konsequente Betreuung und die Übernahme des Referats. Durch eine anregende Diskussion war er mir eine große Hilfe bei der Planung und Erstellung dieser Dissertation.

Herrn Professor Dr. med. H. Collmann möchte ich für die unermüdliche Hilfe bei der Beurteilung der Röntgenbilder, den wertvollen Anregungen zum Thema und für die Übernahme des Korreferats danken.

Weiterhin bedanken möchte ich mich bei Herrn A. Schäfer, der mich bei der statistischen Ausarbeitung der erhobenen Daten unterstützt hat.

Den Damen der Röntgenabteilung der Kinderklinik und dem Verwalter des Archivs bin ich für ihre Unterstützung verbunden.

Gedankt sei auch meinen Eltern, die immer eine Unterstützung auf meinen Lebensweg waren.

Zuletzt möchte ich meinem Freund und Vater meiner Kinder Thomas danken. Seine verständnisvolle geduldige Unterstützung und die vielen Korrekturlesungen waren eine große Hilfe.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Fischer
Vorname: Monika Hilde Edeltraud
Geburtsdatum: 13.12.1975
Geburtsort: Ochsenfurt
Familienstand: ledig, zwei Kinder Philipp und Simon

Schul- und Berufsausbildung, Berufliche Tätigkeit:

09/1982 - 07/1988 Grund und Teilhauptschule Willanzheim
09/1988 – 06/1992 Richard-Rother-Realschule Kitzingen, Abschluss mit
mittlerer Reife
08/1992 – 02/1995 Ausbildung zur Zahnarthelferin bei Dr. Dr. Christoph Will
FA für MKG Chirurgie in Kitzingen
03/1995 – 08/1995 Anstellung als Zahnarthelferin bei Dr. Dr. Christoph Will
09/1995 – 06/1998 Bayernkolleg Schweinfurt, Abschluss mit Abitur

Studium der Humanmedizin:

11/1998 – 09/2005 Vorklinisches und klinisches Studium Studium an der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
11/2006 Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung

Beruflicher Werdegang:

ab Februar 2007 Assistenzärztin in der Klinik und Poliklinik für
Anästhesiologie des Universitätsklinikum Würzburg

Würzburg im Januar 2007

Monika Fischer