

Beiträge zur forensischen Osteologie

IV. Untersuchungen über die Verknöcherungen der Schädelnähte unter besonderer Berücksichtigung der Frage der Altersbestimmung

H. P. SCHMITT und L. TAMÁSKA

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Köln

Eingegangen am 24. März 1970

Investigation of Cranial Suture Closure with Special Reference to the Estimation of Individual Age

Summary. Closure of the three sutures of the cranial vault is investigated in 162 individuals of both sexes, 100 males and 62 females, and correlated to age. Age dependence was found stronger for the endocranial sutures. Synostosis of the ectocranial sutures was correlated rectilinear to age, while the regression function for the endocranial sutures showed deviations from rectilinearity. Suture closure proceeds more quickly in endocranial sutures and reaches higher degrees. From an analysis of variance it could be derived, that sex-differences in suture closure as they were reported in former investigations are due to chance. Sex really does not show any influence on suture closure.

Calculation of the confidence intervals for prediction of age from the degree of synostosis of vault sutures assured, that estimation of age from the cranial sutures is very unreliable. The 95% confidence interval was ± 32 years for the ecto- and ± 25 years for the endocranial sutures. Synostosis of the sutures by it's own may therefor never be employed as an estimation of age.

Key-Words: Schädelnähte — Altersbestimmung.

Zusammenfassung. An 162 Individuen aller Altersstufen, 100 männlichen und 62 weiblichen, wird die Verknöcherung der drei großen Suturen des Hirnschädels untersucht und mit dem Alter korreliert. Dabei fand sich eine stärkere Altersabhängigkeit der Verknöcherung der inneren Nähte. Während die Verknöcherung der äußeren Nähte dem Alter linear korreliert war, wies die Regressionsfunktion der inneren Nahtverknöcherung Abweichungen von der Linearität auf. Die Verknöcherung der inneren Nähte verläuft schneller und erreicht im Durchschnitt höhere Verknöcherungsgrade. Eine Varianzanalyse zeigt, daß der in früheren Untersuchungen oft behauptete Geschlechtsdimorphismus im Ablauf der Nahtverknöcherung nicht besteht, und die gefundenen geringen Differenzen zwischen den Geschlechtern zufällig sind.

Bei der Berechnung der Vertrauensintervalle für eine Altersschätzung an den Schädelnähten fand sich bei 95%iger Sicherheit ein Intervall von ± 32 Jahren für die äußeren und ± 25 Jahren für die inneren Nähte. Die Altersschätzung anhand der Schädelnähte ist damit sehr ungenau, so daß diese niemals allein zur Altersbestimmung herangezogen werden sollten.

Einleitung

Die Nähte des Schädels sind bis zur Gegenwart in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten untersucht worden. Nachdem Rudolph Virchow in verschiedenen grundlegenden Studien [62—64] auf die Bedeutung der Schädelnähte für Schädelwachstum und Schädelform so wie auf die Beeinflussung der Gehirnentwicklung durch Verknöcherungsanomalien der Nähte hingewiesen hatte, befaßten sich viele

nachfolgende Untersucher mit den Suturen des Schädels, besonders denen des Schädeldaches.

Das Interesse galt dem Verknöcherungsmodus der Suturen und der Histologie [12, 22, 23, 32, 32a, 37, 41, 43, 51—53, 69], dem Wachstum der Schädelknochen und der Schädelform in Abhängigkeit vom Verhalten der Nähte [1, 2, 10, 12, 19, 30, 33, 54, 55, 56, 61], und vor allem dem Zustand der Suturen bei Druckänderungen im Schädelinneren wegen der diagnostischen Bedeutung bei der Erfassung intrakranieller Prozesse [15, 16, 18, 21, 27, 38, 44, 47, 48, 53, 60, 66—68].

Frederic [14], Erdheim [12] und Mair [32, 32a] verglichen die Schädelnähte mit den Epiphysen der Ersatzknochen, ein Vergleich, dessen Berechtigung in neueren autoradiographischen Untersuchungen an Ratten [2] unterstrichen wird.

Eine Fragestellung, die vor allem Anthropologen und forensischen Medizinern nahelag, betraf die Möglichkeit der Altersbestimmung eines Individuums anhand der Schädelnähte, besonders denen des Schädeldaches: Kranz-, Pfeil- und Lambdanaht. Diese Frage drängte sich folgerichtig auf als man erkannte, daß der Verknöcherung der Schädelnähte ein bestimmter zeitlicher Ablauf zugrunde liegt.

Bereits Ribbe [45] fand im Jahre 1885 an 50 Schädeln den frühesten Verknöcherungsbeginn mit 21 Jahren, den spätesten mit 50 Jahren. Schmidt [46] gab 1888 den Beginn der Verknöcherung der drei großen Nähte der Kalotte zwischen dem 25. und dem 40., das Ende des Verknöcherungsprozesses mit 40—60 Jahren an. Auch Frederic [14] und Todd et al. [57—59] lokalisierten den Beginn der Nahtverknöcherung in das 2. Lebensjahrzehnt. Ebenso fand Singer [50] die größte Verknöcherungsaktivität zwischen 25 und 30 Jahren. Nach Parson et al. [42] soll die Verknöcherung nicht vor dem 30. Lebensjahr beginnen. An der Innentafel fand er sie jenseits des 50. Lebensjahres in den meisten Fällen, jenseits des 60. immer vollständig. Den Verschuß der äußeren Nähte beschreibt er als sehr wechselnd und unzuverlässig.

Loeschke und Weinnold [30] sprechen sich ebenfalls für einen Beginn der Verknöcherung zwischen 25 und 30 Jahren aus, räumen jedoch gleich Sitsen [52] ein, daß sie in seltenen Fällen schon vor dem 20. Lebensjahr beginnen kann. Jenseits von 40 Jahren fanden Loeschke und Weinnold [30] nur einmal unter 18 Fällen vollständig offene Nähte. Felsch [13] stellte fest, daß im 4.—5. Lebensjahrzehnt nur in 70—80% der Fälle eine Verknöcherung der Nähte anzutreffen war. Auch Todd et al. [57—59] wiesen bereits darauf hin, daß besonders die ektokraniellen Suturen sehr unregelmäßig verknöchern und häufig eine „lapsed union“, einen fehlenden Verschuß, aufweisen.

Viele Untersucher stimmen in der Feststellung überein, daß der Verknöcherungsprozeß an der Innentafel einsetzt, konstanter verläuft und eher zum Abschluß kommt, als an der Außentafel [6, 8, 14, 25, 34, 42]. Nach Davida [6] soll die Synostose der inneren Nähte 8 Jahre früher als die der äußeren einsetzen.

Nach Meschl, (zit. bei Sitsen [52]), Mair [32], Krogman [25] u.a. beginnt der Verknöcherungsprozeß an der Innentafel und schreitet nach außen zu fort. Lediglich Todd et al. [57—59] verneinen eine Differenz im Verknöcherungsbeginn zwischen Tabula interna und externa.

Die schwankenden Angaben über Verknöcherungsbeginn und Abschluß lassen bereits erkennen, daß auch die Versuche einer Altersbestimmung an den großen Nähten des Schädeldaches ähnlich wechselnde Ergebnisse bringen müssen.

So läßt sich nach Ribbe [45] eine Festlegung nicht genauer als auf 15—20 Jahre treffen. Frederic [14] setzt, ebenso wie Hrdlicka [24], die Grenze der Genauigkeit bei 10 Jahren, Cobb [5] hält eine Sicherheit von ± 9 Jahren für möglich, bei anderen Autoren [17] lag das Irrtumsmittel in der Altersschätzung anhand der Suturen gegenüber dem wahren Alter bei 11 Jahren.

Eränkő et al. [11], welche erstmals eine genaue statistische Auswertung ihres Untersuchungsgutes von 95 Schädeln vorlegten, kamen zu dem Schluß, daß, sowohl für die inneren wie für die äußeren Nähte, bei einer Sicherheit der Altersschätzung von 95% immer noch ein Intervall von ca. 50 Jahren (!) bliebe.

Die meisten Autoren [4, 8, 11, 24, 36, 42, 45, 50, 57—59, 69] halten die Schädelnähte insgesamt für wenig verlässlich zur Altersbestimmung eines unbekanntem Individuums. Krogman [25] empfiehlt, sich in jedem Falle an den inneren Schädelnähten zu orientieren und stimmt hierin mit anderen Untersuchern überein [4, 25, 39, 42].

Trotz dieser Ergebnisse werden in einer kürzlich erschienenen Untersuchung an 246 Schädeln [9] die großen Nähte des Schädeldaches als brauchbares Kriterium für die Altersbestimmung bezeichnet.

Die schwankenden und von einander abweichenden Angaben in der bisherigen Literatur zur Altersschätzung an den Schädelnähten, sowie die Tatsache, daß die zitierten Ergebnisse mit einer Ausnahme [11] von empirischen Untersuchungskollektiven, ohne statistische Aufarbeitung abgeleitet wurden, veranlaßten uns, anhand des reichlichen Sektions- und Sammlungsgutes des Kölner gerichtsmmedizinischen Institutes eine erneute Untersuchung zur Frage der Altersbestimmung an den großen Nähten des Schädeldaches vorzunehmen.

Wir wollen den Versuch unternehmen, durch statistische Aufarbeitung unseres untersuchten Kollektivs den Einfluß des Faktors „Alter“ auf die Verknöcherung der Schädelnähte festzustellen und möglichst genaue Angaben über die Vertrauensgrenzen gewinnen, innerhalb derer eine Altersfestlegung möglich ist.

Material und Methode

Untersucht wurden die Schädel von 162 Individuen, 100 Männern und 62 Frauen, im Alter von 4—88 Jahren. Eine genaue Übersicht über die Altersverteilung des Untersuchungsmaterials vermittelt die Tabelle 1. Das Durchschnittsalter war in beiden Kollektiven nahezu

Tabelle 1. *Alters- und Geschlechtsverteilung der untersuchten Individuen*

Alter	♂	♀	Summe
< 10	1	1	2
11—19	4	5	9
20—29	16	10	26
30—39	19	5	24
40—49	13	10	23
50—59	14	13	27
60—69	21	7	28
70—79	11	11	22
> 80	1	-	1
Summe	100	62	162

gleich: weibl. 46,7, männl. 46,9 Jahre. Das Material bestand zum überwiegenden Teil aus laufendem Sektionsgut, zum geringeren Teil aus macerierten Sammlungsstücken. Nach sorgfältiger mechanischer Säuberung der frischen Knochen wurden die Kalotten eine zeitlang in Formalin anfixiert und anschließend luftgetrocknet. Das Nahtgewebe grenzte sich dann optisch gut vom Knochengewebe ab, so daß eine zuverlässige Beurteilung der Nahtverhältnisse möglich war.

(Die Beurteilung des Verknöcherungsgrades wurde rein makroskopisch durchgeführt. Die Ergebnisse entsprechen nicht ganz der anatomischen Definition von Nahtverknöcherung; eine Naht kann makroskopisch noch völlig offen erscheinen, mikroskopisch jedoch bereits

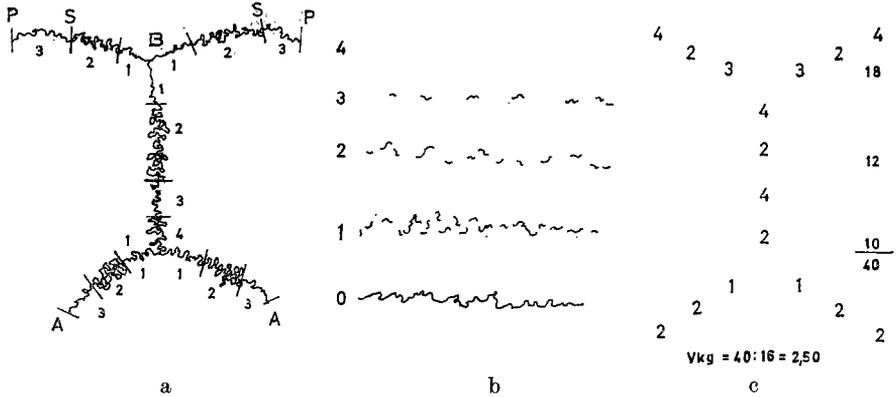


Abb. 1 a—c. Schema der Nahteinteilung nach Oppenheim (a), Einteilung des Obliterationsgrades der Nähte nach Broca (b), und Berechnung des Verknöcherungskoeffizienten (c). A Asterion, B Bregma, S Stephanion, P Pterion. Sut. coronalis: Pars bregmatica (1), P. complicata (2), P. temporalis (3); Sut. sagittalis: P. bregmatica (1), P. verticis (2), P. obelica (3), P. postica (4); Sut. lambdaidea: P. lambelica (1), P. intermedia (2), P. asterica (3)

beginnende Verknöcherung zeigen. Umgekehrt kann eine völlig verknöchert erscheinende Naht mikroskopisch noch Lücken aufweisen.)

Zur Bestimmung des Verknöcherungszustandes wurde einmal das Schema der *Nahteinteilung* nach Oppenheim (zit. bei Martin-Saller [34]) zugrunde gelegt, das auch von anderen Untersuchern benutzt wurde [14, 39, 40, 57—59]. Es teilt die Coronar- und Lambdanaht in drei, die Sagittalnaht in vier Abschnitte ein (Abb. 1a).

Die Einzelabschnitte der jeweiligen Naht wurden dann auf ihren *Verknöcherungsgrad* untersucht. Dabei orientierten wir uns an dem *Obliterationsschema* von Broca [3] das auch in früheren Untersuchungen als Bemessungsgrundlage galt [5, 14, 36, 39, 40, 50, 57—59]. Es ist in Abb. 1b wiedergegeben. Auf diese Weise erhielten wir für die drei großen Nähte eine Verknöcherungsformel (Abb. 1c), deren einzelne Maßzahlen addiert und durch die Anzahl der Nahtabschnitte — 16 — dividiert, eine Verknöcherungszahl, Nemeskeri [39, 40] nennt sie den Verknöcherungskoeffizienten, ergaben. Mit den so gewonnenen Verknöcherungszahlen wurden die nachfolgenden statistischen Analysen durchgeführt.

Wir haben bewußt darauf verzichtet, nochmals die Nähte und deren Einzelabschnitte getrennt zu berücksichtigen, da bereits frühere Untersucher [11, 57—59] eine *Rechts-Links-Differenz* an Coronar- und Lambdanaht ausschließen konnten, und zudem von Eränkő et al. [11] durch eine multiple Regressionsanalyse gezeigt wurde, daß eine getrennte Berücksichtigung der Nähte zur Altersbestimmung gegenüber einer globalen Betrachtung keine zusätzlichen Vorteile in bezug auf größere Genauigkeit bietet.

Zur Frage des differenten Verhaltens im Verknöcherungsablauf der einzelnen Nahtabschnitte (Abb. 1a) sei auf frühere ausführliche Darstellungen [25, 36, 57—59] verwiesen.

Ergebnisse

Die Abb. 2a—c vermittelt einen graphischen Eindruck von der Verteilung der ermittelten Verknöcherungszahlen über die Altersskala. Abb. 2a zeigt die Verhältnisse für die äußeren, Abb. 2b diejenigen für die inneren Nähte. Ein-gezeichnet ist die Verbindung der empirischen Mittelwerte, zu deren Errechnung die Einzelwerte in Altersgruppen von jeweils einer Dekade zusammengefaßt wurden. Ferner enthalten die Graphiken die zugehörigen Regressionsgeraden für männliche und weibliche Individuen zusammen, die Korrelationskoeffizienten (*r*) und deren Signifikanz (*P*).

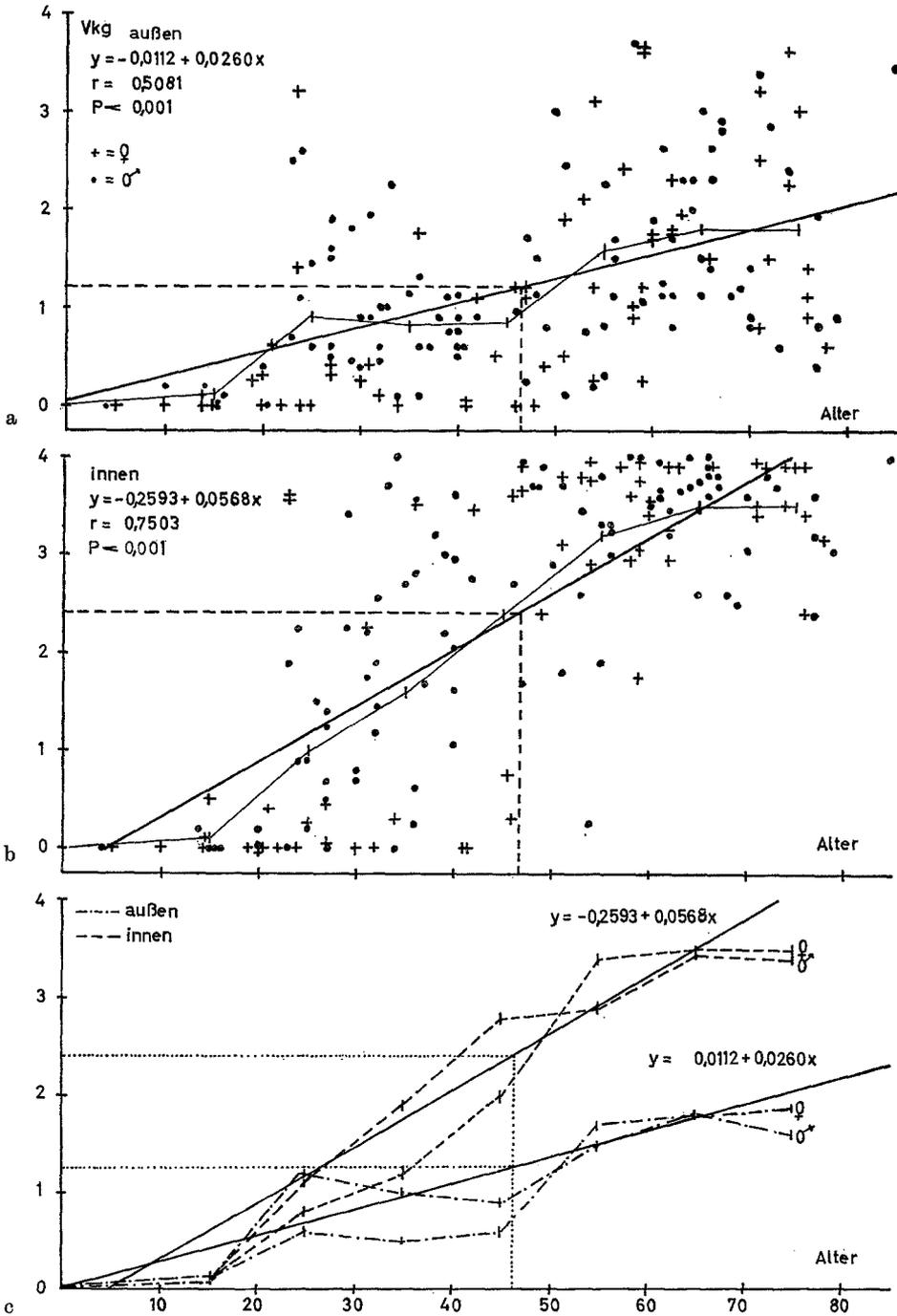


Abb. 2a—c. Korrelationsdiagramme der Nahtverknöcherung der männlichen (•) und weiblichen (+) Individuen für äußere (a) und innere (b) Schädelnähte; eingezeichnet sind die Mittelwertskurven und die zugehörigen Regressionsfunktionen. c Darstellung der Mittelwertskurven für männliche und weibliche Individuen getrennt. (Alters- und Verknöcherungsmittelwerte eingezeichnet.....)

Tabelle 2. *Mittlere Verknöcherungsgrade der Altersklassen 10—80 Jahre*

Alter	♂		♀		♂ + ♀	
	außen	innen	außen	innen	außen	innen
0—19	0,1	0,04	0,1	0,1	0,1	0,1
20—29	1,2	1,1	0,6	0,8	0,9	1,0
30—39	1,0	1,9	0,5	1,2	0,8	1,6
40—49	0,9	2,8	0,6	2,0	0,8	1,6
50—59	1,5	2,9	1,7	3,4	1,6	3,2
60—69	1,8	3,5	1,8	3,5	1,8	3,5
70—79	1,6	3,4	1,9	3,5	1,8	3,5
Mittel	1,3	2,5	1,1	2,3	1,2	2,4

In Abb. 2c sind die Verbindungslinien der empirischen Mittelwerte für die inneren und äußeren Nähte sowie für männliche und weibliche Individuen getrennt dargestellt. Es zeigen sich Differenzen einmal zwischen den Kurven für die inneren und äußeren Nähte, die rein optisch bereits bedeutsam erscheinen; zum anderen finden sich Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern, die z. T. nur sehr gering sind, und deren Bedeutsamkeit deshalb sehr fraglich erscheint. Die zugehörigen Regressionsgeraden sind, wie in Abb. 2a und b eingezeichnet. Eine genauere Besprechung dieser Regressionsfunktionen erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. Tabelle 2 bietet eine Zusammenstellung der in Abb. 2a—c eingezeichneten empirischen Mittelwerte.

Aus der Abb. 2 geht bereits hervor, daß der Verknöcherungsmodus für die *äußeren* und die *inneren* Schädelnähte *sehr unterschiedlich* ist.

Die Kurve der empirischen Mittelwerte verläuft bei den *äußeren* Nähten sehr flach und erreicht um das 7.—8. Lebensjahrzehnt ein Niveau zwischen 1,5 und 2. Die obere Grenze 4, vollständige Verknöcherung, wird also nur von wenigen Individuen erreicht, die Mehrzahl bewegt sich um das Niveau 2.

Frühester Verknöcherungsbeginn findet sich im 14. Lebensjahr. Eine größte Verknöcherungsaktivität läßt sich für die äußeren Nähte kaum ausmachen; sie liegt bestenfalls zwischen 25 und 35 Jahren; insgesamt nimmt die Verknöcherung jedoch langsam und stetig mit steigendem Alter zu.

Anders verhalten sich die *inneren Schädelnähte*. Wir fanden den frühesten Verknöcherungsbeginn mit 14—15 Jahren. Vom 22.—25. Lebensjahr an setzt jedoch eine starke Aktivität der Verknöcherung ein, wobei die Kurve der Mittelwerte bis etwa zum 55. Lebensjahr steil und nahezu geradlinig ansteigt, um dann rasch in einen flachen, schließlich zur Abszisse parallelen Verlauf, überzugehen.

Die geschilderten, und in Abb. 2a—c dargestellten Verhältnisse sind in Abb. 3 prozentual aufgeschlüsselt. Hierzu wurden die untersuchten Individuen, gemäß dem Gesamtdurchschnittsalter in zwei Gruppen, 10—45jährige und 46—80jährige unterteilt. Sowohl für die äußeren wie für die inneren Nähte demonstrieren die Prozentkolumnen eine deutliche Verschiebung der Relation von den niederen zu den höheren Verknöcherungsgraden in der Gruppe der 46—80jährigen gegenüber der jüngeren Gruppe. Die inneren Nähte zeigen dabei die stärkste Verlagerung des Verknöcherungsgrades innerhalb der Altersgruppen (Tabelle 3).

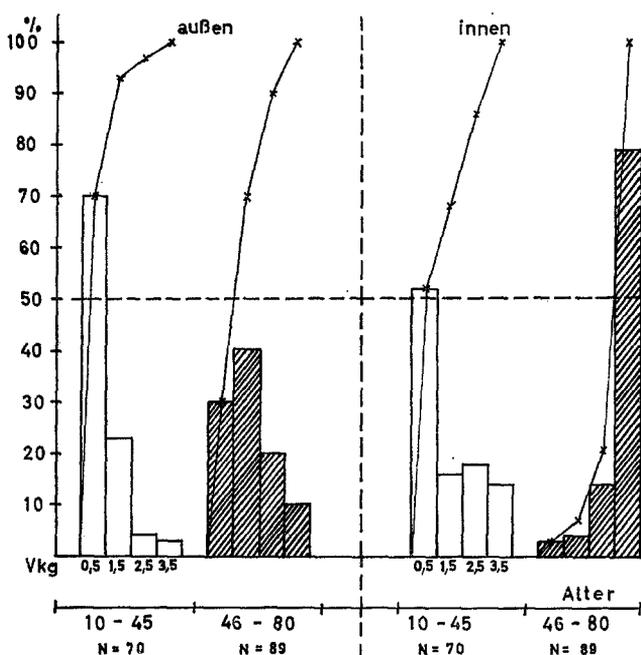


Abb. 3. Prozentuale Verteilung der Individuen der Altersgruppen 10–45 und 46–80 Jahre auf die Verknöcherungsklassen 1–4 (Klassenkennziffern 0,5; 1,5; 2,5; 3,5). Die geschlossenen Linien stellen die Summenprozentkurven dar. Die Differenzen zwischen den Gruppen sind durch den χ^2 -Test gesichert (Tabelle 3)

Tabelle 3. χ^2 -Test für die Unterschiede in der Nachtverknöcherung zwischen jungen und alten Individuen (s. Abb. 3)

Altersgruppen	Außen					Innen					F.g. ^a	P	
	Vkg	n_i	%	N	\bar{y}	χ^2	Vkg	n_i	%	N			\bar{y}
Gruppe I 10–45jährige	0,5	49	70				0,5	36	52				
	1,5	16	23	70	0,8		1,5	11	16	70	1,3		
	2,5	3	4				2,5	13	18				
	3,5	2	3				3,5	10	14				
					35,03						95,81	3	<0,005
Gruppe II 46–80jährige	0,5	26	30				0,5	3	3				
	1,5	36	40	89	1,6		1,5	4	4	89	3,3		
	2,5	18	20				2,5	12	14				
	3,5	9	10				3,5	70	79				

^a F.g. = Freiheitsgrade.

Daß die dargestellten Altersverschiebungen nicht zufällig sind, zeigt der χ^2 -Test [49]. Die Tabelle 3 enthält die zu Abb. 3 gehörigen Werte sowie die Verknöcherungsmittel der Altersgruppen und die Ergebnisse des Tests. Bei 3 Freiheitsgraden für innen und außen läßt sich aufgrund der χ^2 -Ergebnisse aus-

sagen, daß die gefundenen Unterschiede sehr stark gesichert sind. (Für die Hypothese „Null“ ist in beiden Fällen $P < 0,005$).

Der Leser mag daran Anstoß nehmen, daß die bisherige Auswertung nicht zwischen den Geschlechtern trennte. Konnten doch einige frühere Untersucher feststellen, daß bei den weiblichen Individuen der Verknöcherungsprozeß der Schädelnähte langsamer verläuft als bei den männlichen [14, 25, 42].

Die empirischen Ergebnisse in Abb. 2c lassen bereits vermuten, daß, entgegen früheren Darstellungen kein echtes geschlechtsdifferentes Verhalten der Nahtverknöcherung gegeben ist. Die Mittelwerte des Verknöcherungsgrades betragen für das gesamte weibliche Kollektiv außen 1,13, innen 2,31, für das männliche Kollektiv außen 1,29 und innen 2,46.

Eine Varianzanalyse des vorliegenden Zahlenmaterials soll die Einflüsse der verschiedenen, hier diskutierten Variationsursachen auf die Schädelnahtverknöcherung aufzeigen. Sie erlaubt die Entscheidung, ob ein in Frage kommender Faktor als Variationsursache wirksam ist oder nicht, und ob Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren auf die Gesamtvarianz Einfluß nehmen.

Bei 3 Hauptvariationsursachen, Geschlecht, Seite (außen/innen), Alter, ergeben sich 3 einfache, 3 zweifache und 1 dreifache Wechselwirkung.

Zur dreifachen Varianzanalyse standen von den insgesamt 162 Meßwertpaaren 56 Werte, entsprechend 55 Freiheitsgraden zur Verfügung. Hiervon ließen sich für die Variationsursachen Alter, 6 Freiheitsgrade, für Geschlecht und Seite je 1 Freiheitsgrad abspalten. Für die zweifache Wechselwirkung Geschlecht \times Seite ergab sich 1 Freiheitsgrad; für Seite \times Alter und Geschlecht \times Alter ergaben sich je 6 und für die dreifache Wechselwirkung Geschlecht \times Seite \times Alter ebenfalls 6 Freiheitsgrade. Für die Restvarianz blieben 28 Freiheitsgrade.

Tabelle 4 enthält die Ergebnisse der Varianzanalyse: Sie zeigt erwartungsgemäß, daß Alter und Seiten (innen/außen) Hauptvariationsursachen sind. Die Wechselwirkung Seite \times Alter läßt sich ebenfalls sichern. Bei gleichalten Individuen sind überwiegend die inneren Schädelnähte stärker verknöchert als die äußeren. Dies gilt nicht mehr für die Altersstufen unter 30 Jahren. (Die Wechselwirkung Seite \times Alter läßt sich allerdings nicht so stark sichern, wie die Hauptursachen Seite und Alter.)

Der *Einfluß des Geschlechts* auf die Verknöcherung läßt sich nicht sichern; die Wahrscheinlichkeit für einen Einfluß liegt sogar wesentlich unter 90% ($P > 0,1$!). Auch die Wechselwirkungen Geschlecht \times Alter, Geschlecht \times Seiten und Geschlecht \times Seite \times Alter lassen sich nicht sichern.

Die empirisch gewonnenen und oben aufgeführten differenten Mittelwerte zwischen den Geschlechtern *sind also statistisch nicht zu sichern, sondern sie entstammen der Zufälligkeit der Stichproben*. Es ist daher durchaus berechtigt, die ermittelten Meßwerte ohne Geschlechtsunterschiede zu behandeln. (Hier befinden wir uns in voller Übereinstimmung mit Eränkö et al. [11], die ebenfalls statistisch einen Geschlechtsunterschied ausschließen konnten.)

Der Einfluß des Alters auf die Nahtverknöcherung ist durch die Varianzanalyse gesichert. Wir müssen nun fragen, wie die Verknöcherung der Suturen mit dem Lebensalter eines Individuums korreliert ist, und, wenn sich eine signifikante Korrelation ergeben sollte, welchen Anteil das Alter als Variationsursache an der Totalvarianz besitzt.

Wenn wir den Verknöcherungsgrad (Vkg) als abhängige Variable y und das Alter als unabhängige Variable x bezeichnen, so läßt sich für die Korrelation von

Tabelle 4. *Varianzanalyse der Schädelnahtverknöcherung für den Vergleich zwischen Geschlechtern, Seiten (innen/außen), Alter und den entsprechenden Wechselbeziehungen*

Variations- ursache	Summe der quadra- tischen Ab- weichungen	F.g.	Varianz	Varianz- verhältnis F	P	Beur- teilung
Geschlecht (A)	0,588	1	0,558	0,931	$> 0,100$	nicht gesichert
Seite (B)	13,702	1	13,702	21,681	$< 0,001$	stark gesichert
Alter (C)	61,833	6	10,305	16,305	$< 0,001$	stark gesichert
Wechselbeziehung						
A \times B	0,226	1	0,226	0,407	$> 0,100$	nicht gesichert
B \times C	9,429	6	1,571	2,827	$< 0,05 > 0,025$	gesichert
A \times C	2,863	6	0,477	0,859	$> 0,100$	nicht gesichert
A \times B \times C	3,303	6	0,551	1,210	$> 0,100$	nicht gesichert
Stichproben- abweichung	13,890	28	0,496			
Summe	105,834	55				

y zu x für die äußeren Schädelnähte eine Regressionsfunktion $y = -0,0112 + 0,0260x$, und für die Inneren $y = -0,2593 + 0,0568x$ errechnen. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,5081$ für die äußeren und $r = 0,7503$ für die inneren Nähte. Beide Korrelationskoeffizienten sind bei $N - 2 = 160$ Freiheitsgraden mit $P < 0,001$ stark gesichert.

In Abb. 2a—c sind beide Regressionsgeraden mit den zugehörigen Altersmittelwerten aufgetragen. Durch eine Varianzanalyse der Regressionen blieb noch zu klären, ob die ermittelten Regressionen in ihrer Linearität gesichert sind. Außerdem galt es, die Regressionskoeffizienten gegen Null zu sichern. Tabelle 5 zeigt das Ergebnis: Für die äußeren Schädelnähte ist der Regressionskoeffizient 0,0260 hoch signifikant. Die Linearität der Regression ist ebenfalls stark gesichert. Die Verknöcherung der äußeren Schädelnähte ist dem Alter also linear korreliert. Bestätigt wird dieses Ergebnis durch die gleichmäßige Streuung der empirischen Mittelwerte in Abb. 2a um die Regressionsgerade.

Anders liegen die Dinge für die Nähte der *Innentafel*: Auch hier ist der Regressionskoeffizient 0,0568 hoch signifikant, die Linearität der Funktion läßt sich jedoch nicht sichern. Andererseits ist die Abweichung von der Linearität ebenfalls nicht stark gesichert! Die Wahrscheinlichkeit P ist nach der F-Tabelle $< 0,025$ und $> 0,01$. Das heißt, die Wahrscheinlichkeit für Abweichung von der Linearität liegt zwischen 97,5 und 99%. In diesem Fall kann man, analog Simpson et al. ([49], S. 285) annehmen, daß zwar Abweichungen von der Linearität

Tabelle 5. *Varianzanalysen der Regressionen für die Verknöcherung der äußeren und inneren Schädelnähte zur Prüfung auf Linearität und Signifikanz der Regressionskoeffizienten*

Variations- ursache	Summe der quadra- tischen Ab- weichungen	F.g.	Varianz	Varianz- verhältnis <i>F</i>	<i>P</i>	Be- urteilung
außen: $y = -0,112 + 0,0260 x$						
Innerhalb der Klassen von <i>x</i>	110,275	155	0,711	1,487	> 0,100	linear
Auf der Regression	38,823	1	38,823	36,712	< 0,005	stark ^a gesichert
Abweichung von der Regression	5,288	5	1,058			
Summe	154,386	161				
innen: $y = 0,2593 + 0,0568 x$						
Innerhalb der Klassen von <i>x</i>	138,385	155	0,893	2,807	< 0,025 > 0,01	nicht linear
Auf der Regression	185,284	1	185,284	73,933	< 0,005	stark gesichert
Abweichung von der Regression	12,531	5	2,506			
Summe	336,200	161				

^a Regressionskoeffizient

gegeben sind, diese jedoch nur einen Teil der Korrelation bzw. Regression betreffen.

Betrachten wir den Verlauf der Regressionsgeraden in Abb. 2b, und den der dazugehörigen Mittelwertskurve, so scheint die vorangegangene Schlußfolgerung berechtigt. Der überwiegende Teil der *y*-Werte (von 20—50 Jahren) scheint tatsächlich dem Alter linear korreliert. Jenseits von 50 Jahren nimmt die Funktion jedoch einen allmählich parallelen Verlauf zur Abszisse an. Dies ist folgerichtig, da einmal der Grad 4 (= vollständige Verknöcherung) definitionsgemäß nicht überschritten werden kann, andererseits aber, entsprechend den in Abb. 3b aufgezeigten Verhältnissen die Verknöcherung an der Innentafel jenseits von 45 Jahren stark dem Grad 4 zustrebt, im Gegensatz zu den äußeren Nähten (!). Für die Aufstellung eines Nomogramms zur Abschätzung des Alters aus dem Verknöcherungsbefund der Suturen stellt dieses Verhalten der inneren Nähte, wie wir später noch sehen werden, eine gewisse Erschwerung dar.

Kommen wir nun zum Problem der Altersschätzung:

Die aus einer endlichen Stichprobenzahl errechneten Größen a_y und b_{yx} einer Regression stellen Schätzungen der echten Parameter dar.

$$y = a_y + b_{yx} x. \quad (1)$$

Aus dieser Funktion läßt sich zu jedem Wert *x* ein Wert der Abhängigen *y* innerhalb der Vertrauensgrenzen der Schätzungen a_y und b_{yx} berechnen.

Für die Schätzfunktion einer unabhängigen Variablen x aus einem gegebenen Wert y gilt bei einer zweidimensionalen Normalverteilung die Schätzfunktion

$$x = a_x + b_{xy}y. \quad (2)$$

Dabei ist b_{xy} nicht einfach gleich dem Reziprokwert von b_{yx} !

Die beiden Regressionsgeraden kreuzen sich in den Mittelwerten \bar{x} und \bar{y} .

Für die Schätzung des Alters aus einem gegebenen Verknöcherungsgrad benötigen wir also die Gl. (2). Da diese ebenfalls, wie oben für die Gl. (1) erläutert, eine Schätzung der Idealfunktion $x = \alpha + \beta y$ darstellt, müssen wir für jeden Wert y ein Vertrauensintervall finden, in dem der geschätzte x -Wert variieren kann. Für dieses Vertrauensintervall gilt (analog 49, S. 238):

$$Vi_x = x_y \pm t_{s_{xy}} \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(y - \bar{y})^2}{(N-1)s_y^2}}. \quad (3)$$

Die Vertrauensintervalle um die Regression für die äußeren Schädelnähte sind in Abb. 4a um die Regression $x = 34,84 + 9,93y$ eingezeichnet. Da der Ausdruck unter der Wurzel in 4 durch die große Stichprobenzahl von 162 nur geringfügig größer ist als 1, entsprechen die Abweichungen von der Regression im wesentlichen dem Ausdruck $t \cdot s_{xy}$. Dabei ist t das „Students“- t für die Normalverteilung. (In Abb. 4a bis d wurden die Intervalle für t_{95} und t_{90} dargestellt. s_{xy} betrug für die äußeren Schädelnähte 16,30. Durch Multiplikation mit dem entsprechenden t -Wert aus der Tabelle der t -Verteilung kann daher für jede gewünschte Sicherheit das Vertrauensintervall berechnet werden.) Abb. 4a zeigt, daß sich für eine Sicherheit von 95% der Altersschätzung anhand des Verknöcherungsgrades der äußeren Nähte ein Intervall von ± 32 entsprechend 64 Jahren ergibt (Tabelle 6 enthält die berechneten Werte).

Tabelle 6. Zahlenwerte zu den Darstellungen in Abb. 4a, b und d. Obere und untere Grenzen der Streubereiche für t_{95} und t_{90} .

Vkg	Außen		Innen	
	t_{95}	t_{90}	t_{95}	t_{90}
0	2,45—66,83	7,63—61,65	(-1,30)—48,90	2,10—45,50 Jahre
1	12,52—76,62	17,67—71,47	8,55—58,87	12,59—54,83 Jahre
2	22,43—86,57	27,59—81,41	18,53—68,71	22,56—64,68 Jahre
3	32,31—96,55	37,47—91,39	28,44—78,64	32,47—74,59 Jahre
4	42,29—106,43	47,44—101,28	38,27—88,61	42,31—84,57 Jahre
	Korrektur (Abb. 4d)		53,51—103,85	57,55—99,81 Jahre

Die Schätzung des Alters anhand der inneren Schädelnähte war etwas problematischer, da aufgrund der früher geschilderten Abweichungen von der Linearität im oberen Extrembereich zu erwarten war, daß, ab einem Verknöcherungsgrad von 3 aufwärts, eine Unterschätzung des Alters mittels der zugehörigen Funktion $x = 23,80 + 9,91y$ stattfände.

Auf folgende Weise wurde eine Angleichung an die wahren Gegebenheiten versucht:

Für die Gruppe der 46—80jährigen wurde die Regression für die inneren Nähte getrennt berechnet. Sie lautet: $y = 2,27 + 0,0169x$ und $x = -134,32 + 53,25y$.

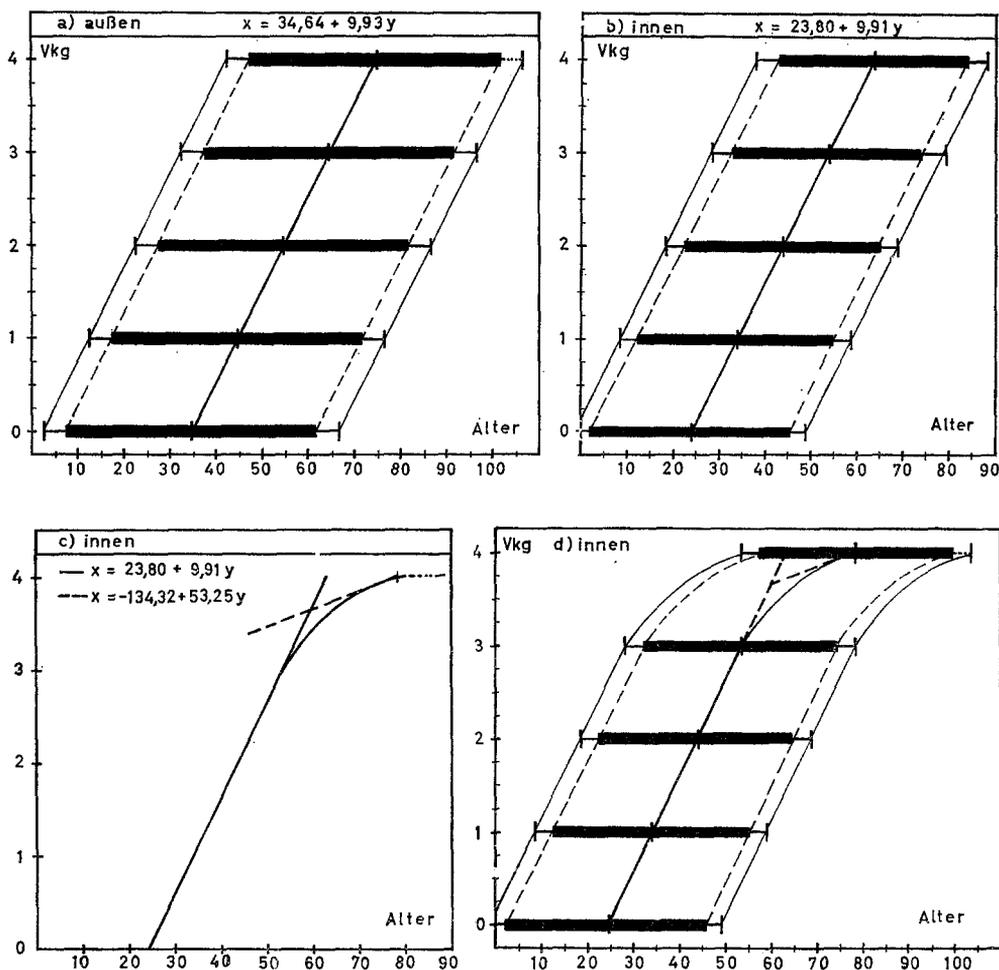


Abb. 4 a—d. Streuintervalle t_{95} (ausgezogene Linien) und t_{90} (schwarze Balken) für die Altersschätzung anhand des Verknöcherungsgrades. a Für die äußeren, b für die inneren Nähte. c und d stellen die Korrektur zu b für den Verknöcherungsbereich 3—4 dar. (Erläuterung im Text!)

Der erwartungsgemäß sehr kleine Regressionskoeffizient wurde auf Signifikanz, die Regression auf Linearität geprüft (Tabelle 7). Der Koeffizient ist nicht gegen Null gesichert, die Linearität jedoch stark gesichert.

Wir hatten früher festgestellt, daß die Verknöcherung der Nähte der Innentafel dem Wert 4 zustrebt, ohne diesen überschreiten zu können. Die Funktion der Nahtverknöcherung wird sich also einer Parallelen zur x -Achse annähern; wenn der Regressionskoeffizient Null wird, so verläuft die Funktion parallel zur Abszisse.

In Abb. 4 b ist die ursprüngliche Schätzgerade $x = 23,80 + 9,91 y$ mit den 95- und 90%-Intervallen dargestellt.

Abb. 4 c und d zeigt eine mögliche Korrektur für den Extrembereich 3—4. Die Gerade $x = -134,32 + 53,25 y$ für die 46—80jährigen (ausgezogene Linie) schneidet

Tabelle 7. Varianzanalyse der Regressionen zur Prüfung auf Linearität und Signifikanz des Regressionskoeffizienten

Variations- ursache	Summe der quadra- tischen Ab- weichungen 46—80jährige	F.g.	Varianz	Varianz- verhältnis F	P	Be- urteilung
$y = 2,270 + 0,0169 x$						
Innerhalb der Klassen von x	13,248	15	0,883	1,046	> 0,10	linear!
Auf der Regression	0,637	1	0,637	0,690	> 0,10	nicht gesichert ^a
Abweichung von der Regression	2,771	3	0,924			
Summe	16,656	19				

^a Regressionskoeffizient.

die parallel zur Abszisse durch den Vkg 4 verlaufende obere Grenzlinie bei 78,7 Jahren. Dieser Schnittpunkt liegt gegenüber dem der Regression in Abb. 4 b (63,4 Jahre) um 15,3 Jahre nach rechts versetzt. Der Wert 78,8 wurde als korrigierter Mittelwert für den Vkg 4 angenommen, und die 95- und 90%-Streugrenzen eingezeichnet. Regression und Streugrenzen wurden zeichnerisch nach dem Augenschein zwischen Vkg 3 und 4 der Rechtsversetzung des Mittelpunktes angeglichen. So ergibt sich die Korrektur in Abb. 4 d. Bei einem Vkg von 3,5 liegt die untere 95%-Grenze bei 37 Jahren gegenüber 33 Jahren in Abb. 4 b; Bei Vkg 4 reicht sie bis 53 Jahre, im Gegensatz zu 38 Jahren in Abb. 4 b.

Ein Blick auf die Meßpunkte und Mittelwertskurve in Abb. 2 b zeigt, daß Verknöcherungswerte über 3,5 vorwiegend jenseits von 35—40 Jahren vorkommen. Die Korrektur in Abb. 4 d scheint also den wahren Verhältnissen am nächsten zu kommen.

Als generelles Ergebnis läßt sich ableiten, daß auch bei der Altersschätzung an den inneren Schädelnähten das 95%-Sicherheitsintervall immerhin noch ± 25 entsprechend 50 Jahren beträgt.

Wir hatten früher bereits festgestellt, daß der Verknöcherungsprozeß sowohl für die äußeren wie für die inneren Nähte dem Alter signifikant korreliert war. Außen galt $r = 0,5081$ und innen $r = 0,7503$. Der Signifikanztest mittels z-Transformation [49] nach Fisher ergab mit 5,224 nach der Tabelle der t -Verteilung $P < 0,001$, d. h., starke Sicherung der Differenz der Korrelationskoeffizienten.

Es bleibt nun abschließend noch, aus den Korrelationskoeffizienten den prozentualen Anteil der Variationsursache „Alter“ an der Totalvarianz der Nahtverknöcherung zu ermitteln. Quadriert man die Koeffizienten, so ergibt sich das Bestimmtheitsmaß [29], das mit 100 multipliziert den prozentualen Anteil ausdrückt.

Für die äußeren Nähte ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,2581, entsprechend 25,81 %, für die inneren Nähte 0,5630 entsprechend 56,30 %.

Diskussion

Bei unserer Untersuchung des Verknöcherungsgrades der drei großen Suturen des Schädeldaches — Sut. coronaria, Sut. sagittalis und Sut. lambdoidea — an 62 Frauen und 100 Männern aller Altersklassen fanden wir eine signifikante Abhängigkeit der Nahtverknöcherung vom Lebensalter. Sowohl für die äußeren wie für die inneren Nähte ließ sich eine jeweils stark gesicherte Korrelation ($P < 0,001$) berechnen, wobei die Synostosierung der inneren Suturen stärker mit dem Lebensalter korreliert war als die der äußeren. Auch die Differenz zwischen den beiden Korrelationskoeffizienten war hoch signifikant ($P < 0,001$). Damit ist die Ansicht der meisten früheren Untersucher bestätigt, die eine stärkere Verknöcherungstendenz der Nähte der Innentafel fanden [6, 8, 14, 25, 34, 42]. Ein früheres Einsetzen der Verknöcherung an den inneren Suturen konnten wir nicht finden, wohl aber eine raschere Zunahme bzw. größere Verknöcherungsaktivität. Frühesten Verknöcherungsbeginn fanden wir in unserem Kollektiv mit 14 Jahren. Bereits Sitsen [52] u. a. beschrieben, daß die Verknöcherung der Nähte schon vor dem 20. Lebensjahr einsetzen kann.

Vom 22.—25. Lebensjahr begann in unserem Material außen wie innen eine starke Verknöcherungsaktivität, wobei außen eine langsame, stark streuende und sehr unterschiedlich weit gehende Zunahme festzustellen war. Bis zum Alter von 80 Jahren war nur in wenigen Fällen eine annähernd vollständige Verknöcherung der äußeren Nähte zu finden. Die Befunde streuten in den hohen Altersklassen um ein Mittel von 1,8. Die bereits von Todd et al. [57—59] beschriebene „lapsed union“ registrierten wir also sehr häufig, ja, sie war sogar fast der Regelfall, wenn man auch die niedrigen Verknöcherungsgrade mit zur lapsed union zählt.

Anders verhalten sich die inneren Nähte: Hier schreitet die Verknöcherung vom 25. Lebensjahr an sehr rasch fort und erreicht ab dem 45. Lebensjahr in einer hohen Zahl der Fälle einen Vkg über 3—3,5. Vollständige Verknöcherung ist hier, gegenüber der Außenseite wesentlich häufiger.

Für die Verknöcherung der äußeren Schädelnähte ließ sich eine lineare Regression berechnen, deren Koeffizient hoch signifikant war. Die Synostosierung der inneren Nähte ließ sich ebenfalls in einer Regression mit einem stark gesicherten Koeffizienten ausdrücken. Es ergaben sich jedoch Abweichungen von der Linearität, die dadurch zu erklären sind, daß im oberen Extrembereich, ab 45—50 Jahren eine Annäherung an den Vkg 4, und Übergang der Funktion zwischen Verknöcherung und Alter in einen zur Abszisse parallelen Verlauf, stattfindet.

Die geringen empirischen Mittelwertsdifferenzen der Verknöcherung zwischen den Kollektiven der beiden Geschlechter müssen dem Zufall der Stichprobenauswahl zugeschrieben werden, denn unsere Varianzanalyse ergab, daß das Geschlecht auf die Variation der Schädelnahtverknöcherung keinen Einfluß nimmt. Nur Alter, Seiten (innen/außen), und die Wechselbeziehung Seite \times Alter ließen sich als Variationsursache sichern. Der früher verschiedentlich beschriebene, bzw. behauptete Geschlechtsdimorphismus [14, 25, 28, 42] der Schädelnahtsynostosierung ist abzulehnen. Dies entspricht den Ergebnissen von Eränkö et al. [11].

Die Berechnung von Vertrauensintervallen für die Altersschätzung aus dem Vkg der Nähte ergab für die äußeren Schädelnähte 95%-Schätzintervalle von

± 32 Jahren, bei 90%iger Sicherheit von ± 27 Jahren. Die Schätzung anhand der inneren Nähte bewegte sich in Intervallen von ± 25 Jahren für 95% und ± 21 Jahren für 90% Sicherheit. Auch Eränkő et al. [11] fanden das günstigste Sicherheitsintervall für 95%ige Sicherheit in der Größenordnung von 50 Jahren.

Wir können durch die vorliegenden Ergebnisse die in der Literatur überwiegende Ansicht ([4, 8, 11, 24, 36, 42, 45] u.a.) nur bestätigen, daß eine Altersschätzung an den Schädelnähten, selbst an den inneren, äußerst unsicher und ungenau ist *und allein niemals zulässig sein darf*. Auf jeden Fall sind, der Forderung Nemeskeris [39] gemäß, stets weitere Skeletmerkmale zur Altersbestimmung hinzuzuziehen.

Die erst kürzlich von Eliakis et al. [9] wieder vorgetragene Angabe, man könne das Individualalter an den großen Schädelnähten auf 4—5 Jahre genau bestimmen, erscheint uns sehr optimistisch. Wir möchten vor einem derartigen Irrtum warnen.

Die unterschiedlichen Angaben der Voruntersucher über die Schätzgenauigkeit sowie die erhebliche Differenz zu den hier vorgelegten Ergebnissen beruhen wohl darauf, daß bei den früheren Untersuchungen, mit Ausnahme der von Eränkő et al. [11], von begrenzten Kollektiven ausgegangen wurde. Das Alter wurde z.B. anhand der Verknöcherung der Nähte bei einer mehr oder minder großen Stichprobenzahl geschätzt, und die Abweichungen der Schätzungen vom wahren Alter als Basis für Aussagen über die mögliche Genauigkeit der Schätzung genommen. Daß bei einem solchen Vorgehen die Ergebnisse sehr von der Qualität der Stichprobe bezüglich der untersuchten Fragestellung abhängen, ist einleuchtend.

Der prozentuale Anteil des Lebensalters an der Totalvarianz der Nahtverknöcherung zeigte eine bemerkenswerte Differenz: An der Varianz der äußeren Nähte ist das Alter nur mit 25,81%, an der der inneren dagegen doppelt so stark, mit 56,3% beteiligt.

Das Alter bestimmt also maximal die Hälfte der Totalvarianz. Es muß daher noch weitere Faktoren geben, die den Ablauf der Schädelnahtverknöcherung beeinflussen. *Ihr Einfluß muß dabei auf die äußeren Nähte stärker sein als auf die inneren!*

Bei der Frage nach diesen weiteren Faktoren müssen wir uns zunächst klar machen, daß das „numerische“ Lebensalter als solches kein variierender Faktor sein kann, denn es stellt lediglich eine angenäherte Maßzahl für einen bestimmten physiologischen bzw. pathophysiologischen Zustand des Gesamtorganismus, den wir als „biologische“ Lebensalter bezeichnen, dar.

Der Unterschied zwischen numerischem oder kalendarischem und biologischem Alter liegt auf der Hand, denn kalendarisch gleich alte Individuen können in ihrer biologischen Gesamtsituation sehr different sein.

„Altern“ bedeutet, nach Abschluß der Wachstumsperiode, regressive Veränderungen der Zellen und Gewebe, allmähliche endokrine Umstellung und damit verbundene Änderungen des Stoffwechsels und der Funktionsfähigkeit der Gewebe.

Im Faktor „Alter“ stecken als eigentliche Variationsursachen also celluläre, gewebliche und hormonale Faktoren. Mair [32, 32a] und Erdheim [12] weisen darauf hin, daß ein Sistieren im Wachstum des Nahtbindegewebes Kalksalz-

ablagerung und damit Synostosierung nach sich zieht. Günther [18] hält Wachstumsstörungen des Schädeldaches für ausschlaggebend.

Gudden [19] konnte zeigen, daß Kreislauf- bzw. Durchblutungsstörungen einen erheblichen Einfluß auf das Wachstum des Nahtbindegewebes und dessen Verknöcherung haben.

Bereits Lenhossek [28] zieht hormonale Einflüsse, besonders die der Hypophyse in Betracht.

Darüber hinaus können genetische Einflüsse, Erkrankungen des Knochens oder der Hirnhäute [31, 35, 60, 63] generalisierte Skeleterkrankungen wie Osteogenesis imperfecta [60] und Allgemeinerkrankungen mit Rückwirkung auf Knochen und Bindegewebe in Betracht kommen. Ludewig [31] beschreibt Nahtsynostosen gehäuft bei Luetikern.

Einen großen Platz in der Erklärung vor allem der prämaturnen Synostose nimmt seit Vogt [65] die Entwicklungsstörung des Gehirns ein. Während Virchow [63, 64] noch die Ansicht vertrat, die frühzeitige Synostose der Schädelnähte sei das Primäre und beeinflusse die Entwicklung des Gehirns, setzte sich mehr und mehr die Meinung durch, daß umgekehrt die primäre Störung der Gehirnentwicklung (Mikrencephalie) zu einer frühzeitigen Synostose der Suturen des Hirnschädels führe [20, 22, 23, 26, 30, 47, 65].

Als unmittelbare Auswirkung der gestörten Gehirnentwicklung auf das Schädelwachstum und das Verhalten der Nähte werden von vielen Untersuchern ([20, 30, 47] u. a.) mechanische Veränderungen, speziell Änderungen des intrakraniellen Druckes, angesehen. Nach Loeschke et al. [30] soll gesteigerter Binnendruck die Nahtverknöcherung verhindern, herabgesetzter Binnendruck dagegen, infolge „Saugwirkung“ zu einer Ernährungsstörung des Nahtbindegewebes mit Sistieren des Nahtwachstums und anschließender physiologischer Synostosierung führen.

Auch andere Autoren stellen mechanische Faktoren in den Vordergrund ihrer Betrachtungen über die Ursachen besonders der prämaturnen Schädelnahtverknöcherung. Sitsen [52] meint, daß Nahtlinienbewegungen durch das wachsende Gehirn, und schwankender Schädelinnendruck beim Kleinkind die Nähte offen halten. Beim älteren Kind und Erwachsenen sollen dagegen die Nahtlinienbewegungen keine Rolle mehr für das Verhalten der Nähte spielen. Die Nähte blieben offen, wenn der physiologische Reiz zur Knochenbildung fehle.

Thoma [54—56] nimmt Änderungen der Nahtspannung und Traumen bzw. intrauterine Druckwirkung mit Wegfall der Nahtbewegungen als Ursachen für vorzeitige Verknöcherung an. Auch Materna [35] zieht Traumen in Betracht. Doerr [7] berichtet über zwei Fälle von Schädeldeformität mit prämaturner Synostose durch Geburtstrauma.

In einer späteren Untersuchung (in Vorbereitung) soll die Beziehung zwischen vorzeitigem Nahtverschluß und erhöhtem Binnendruck des Schädels näher erörtert werden.

Literatur

1. Aichel, O.: Zur Frage der Entstehung abnormer Schädelformen. Verh. Ges. phys. Anthropol. 1, Sonderheft d. anthrop. Anz. (1926).
2. Angelis, de, V.: Autoradiographic investigation of calvarial growth in the rat. Amer. J. Anat. 123, 359 (1968).

3. Broca, P.: Sur le volume et la forme du cerveau suivant les individus et suivant les races. Bull. Soc. Anthropol. (Paris) **2**, 139 (1861).
4. Cattaneo, L.: Las suturas cranean en la determinacion de la edad. Examen de 100 craneos. Rev. Asoc. méd. argent. **50**, 387 (1937).
5. Cobb, W. M.: The age incidence of suture closure. Amer. J. Anthropol. **13**, 394 (1955).
6. Davida, E.: Untersuchungen über die normale Obliteration der Schädelnähte und Synchondrosen. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **81**, 465 (1926).
7. Doerr, W.: Über die geburts-traumatische Nahtsynostose des kindlichen Schädeldaches. Z. Kinderheilk. **67**, 96 (1949).
8. Dwight, T.: The closure of the sutures as a sign of age. Boston med. surg. J. **122**, 389 (1890).
9. Eliakis, C., Eliakis, E., Jordanidis, P.: Determination de l'age par l'étude du degré d'obliteration des sutures craniennes. Rev. int. Police crim. (Paris) **238**, Nov. (1968).
10. Encke, A.: Die Schädelnähte unter normalen und pathologischen Verhältnissen. Inaug.-Diss., Köln (1961).
11. Eränkő, O., Kihlberg, J.: Closure of cranial sutures and age. Ann. Acad. Sci. fenn. A **5**, **43**, 1 (1955).
12. Erdheim, J.: Der Gehirnschädel unter normalen und pathologischen Umständen. Virchows Arch. path. Anat. **301**, 763 (1938).
13. Felsch, K.: Röntgenologie der Schädelnähte. Inaug.-Diss., Breslau: (1936).
14. Frédéric, J.: Untersuchungen über die normale Obliteration der Schädelnähte. Z. Morph. Anthropol. **9**, 373 (1906).
15. Friedmann, G.: Die Schädelnähte und ihre Pathologie. Handbuch der medizinischen Radiologie. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1963.
16. Frisch, E.: Die mit frühzeitiger Verknöcherung der Schädelnähte gemeinsam auftretenden Schädeldeformitäten. Fortschr. Röntgenstr. **49**, 204 (1934).
17. Genovese, S. T., Messmacher, M.: Valor de los patrones tradicionales para la determinacion de la edad por medio de las suturas en craneos Mexicanos (Indigenas y Mestizos). Cuad. Inst. Hist., Ser. Anthropol. **7**, Mexico City (1959).
18. Günther, H.: Über konstitutionelle Varianten der Schädelform und ihre klinische Bedeutung, unter besonderer Berücksichtigung des Turmschädels. Virchows Arch. path. Anat. **278**, 309 (1930).
19. Gudden, v., B.: Experimentaluntersuchungen über das Schädelwachstum. München 1874.
20. Haas, L.: Über einige Probleme der Schädelnahtverknöcherung. Nervenarzt **3**, 284 (1930a).
21. — Über die klinische Verwertbarkeit der röntgenologischen Nahtdiagnose. Fortschr. Röntgenstr. **41**, 549 (1930b).
22. Hauschild, M. W.: Histologische Untersuchungen über normale und abnormale Verknöcherung der Hirnschädelnähte. Verh. anat. Ges. **85** (1921).
23. — Über abnorme Bildungen des Hirnschädels und seiner Nähte. Klin. Wschr. **1**, 2499 (1922).
24. Hrdlička, A.: Practical anthropometry. Philadelphia/U.S.A.: Wistar Inst. 1939.
25. Krogman, W. M.: The human skeleton in forensic medicine. Springfield/U.S.A.: Thomas 1962.
26. Kundrat, H.: Die Porencephalie. Graz: Leuschner u. Lubensky 1882.
27. Laitinen, L.: Craniosynostosis. Premature fusion of the cranial sutures. Ann. Paediat. Fenn. **2**, Suppl. **6**, 1 (1956).
28. Lenhóssek, M. v.: Über Nahtverknöcherung im Kindesalter. Arch. Anthropol. **15**, 164 (1917).
29. Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. Basel u. Stuttgart: Birkhäuser 1960.
30. Loeschke, H., Weinfeldt, H.: Über den Einfluß von Druck und Entspannung auf das Knochenwachstum des Hirnschädels. Beitr. path. Anat. **70**, 406 (1922).
31. Ludewig, P.: Beiträge zur prämaturnen Schädelnahtsynostose. Wien. klin. Wschr. **39**, 1308 (1926).
32. Mair, R.: Untersuchungen über die Struktur der Schädelknochen. Z. mikr.-anat. Forsch. **5**, 625 (1926).

- 32a. Mair, R.: Untersuchungen über das Wachstum der Schädelknochen. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **90**, 293 (1929).
33. Manns, M.: Über die Verknöcherung der Schädelnähte. Inaug.-Diss., Bonn (1933).
34. Martin, A., Saller, K.: Lehrbuch der Anthropologie. Stuttgart: Gustav Fischer 1957.
35. Materna, A.: Zur Systematik und Bedeutung vorzeitiger Nahtverknöcherung des Schädels. *Brunns' Beitr. klin. Chir.* **140**, 358 (1927).
36. McKern, T. W., Stewart, T. D.: Skeletal age changes in young American males, analysed from the standpoint of identification. *Headqu. QM Res. a. Dev. Command., Techn. Rep. EP-45*, Natick, Mass., U.S.A.
37. Meschl, F.: *Zit. b. Sitsen*, 1935.
38. Mount, L. A.: Premature closure of sutures of cranial vault. A plea for early recognition and early operation. *N.Y. St. J. Med.* **47**, 270 (1947).
39. Nemeskéri, J., Harsányi, L., Acsádi, G.: Methoden zur Diagnose des Lebensalters von Skelettfunden. *Anthrop. Anz.* **24**, 70 (1960).
40. — Harsányi, L.: Das Lebensalter des Skelettes aus dem Neandertal. (1856) *Anthrop. Anz.* **25**, 292 (1962).
41. Noyes, F. B.: The structure of the suture. *Angle Orthodont.* **4**, 123 (1934).
42. Parsons, F. G., Box, C. R.: The relation of sutures to age. *J. roy. Anthrop. Int. Lond.* **35**, 30 (1905).
43. Pritchard, J. J., Scott, J. H., Girgis, F. G.: *J. Anat. (Lond.)* **90**, 73 (1956).
44. Reyher, P.: Über prämaturn-synostotische Stenocephalie beim Kind. *Z. Kinderheilk.* **37**, 283 (1924).
45. Ribbe, F. C.: Étude sur l'ordre d'oblitération des sutures du crâne les races humaines. Thèse de Paris (1885).
- 45a. Schranz, D.: Kritik der Auswertung der Altersbestimmungsmerkmale von Zähnen und Knochen. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **48**, 562 (1959).
46. Schmidt, E.: Anthropologische Methoden: Anleitung zum Beobachten und Sammeln für Laboratorium und Reise. Leipzig: Veit & Co. 1888.
47. Serfling, H. J., Parnitzke, H.: Die Kraniosynostosen, mit Bemerkungen über klinische Erfahrungen. *Zbl. Chir.* **81**, 1849 (1956).
48. Simmons, D. R., Peyton, W. T.: Premature closure of the cranial sutures. *J. Pediat.* **31**, 528 (1947).
49. Simpson, G. G., Roe, A., Lewontin, R. C.: *Quantitative zoology*. New York: Harcourt, Brace and World, Inc. 1960.
50. Singer, R.: Estimation of age from cranial suture closure, a report on its unreliability. *J. forens. Med.* **1**, 52 (1953).
51. Sitsen, A. E.: Zur Entwicklung der Nähte des Schädeldaches. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **101**, 121 (1933).
52. — Über die Ursachen der Verknöcherung der Schädelnähte. *Frankfurt. Z. Path.* **48**, 499 (1935).
53. — Zur Pathologie der Schädelnähte (über die sog. Nahtsprengung). *Virchows Arch. path. Anat.* **301**, 287 (1938).
54. Thoma, R.: Untersuchungen über das Schädelwachstum und seine Störungen. *Virchows Arch. path. Anat.* **219**, 80 (1915) u. **223**, 73 (1917).
55. Über die Geschwindigkeit des Volumenwachstums des Knochengewebes. *Beitr. path. Anat.* **72**, 184 (1924a).
56. — Über die praematuren Synostosen der Schädelnähte, und über das Wachstum, die Seneszenz und die Hyperostose des Schädels. *Beitr. path. Anat.* **72**, 207 (1924b).
57. Todd, T. W., Lyon, E. W.: Endocranial suture closure. Its progress and age relationship. Part I: Adult males of white stock. *Amer. J. Physiol. Anthropol.* **7**, 325 (1924).
58. — Cranial suture closure. Part II: Ectocranial suture closure in adult males of white stock. Part II: Endocranial closure in adult males of negro stock. *Amer. J. Physiol. Anthropol.* **8**, 23 (1925).
59. — Cranial suture closure. Part IV: Ectocranial closure in adult males of negro stock. *Amer. J. Physiol. Anthropol.* **8**, 149 (1925).
60. Tönnis, W.: Das Verhalten der Schädelnähte bei kranialen und intrakranialen Prozessen. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **298**, 418 (1958).

61. Troitzky, W.: Zur Frage der Formbildung des Schädeldaches. (Experimentelle Untersuchungen der Schädelnähte und der damit verbundenen Erscheinungen.) *Z. Morph. Anthrop.* **30**, 504 (1932).
62. Virchow, R.: Über den Cretinismus namentlich in Franken und über pathologische Schädelformen. *Verh. phys.-med. Ges. Würzb.* **2**, 230 (1851).
63. — Zur Pathologie des Schädels und Gehirns. *Ges. Abhdlg., Frankf./M.* 883—996 (1856).
64. — Untersuchungen über die Entwicklung des Schädelgrundes im Gesunden und krankhaften Zustand und über den Einfluß derselben auf Schädelform, Gesichtsbildung und Gehirnbau. Berlin: G. Reimer 1857.
65. Vogt, C.: Über die Microcephalen oder Affen-Menschen. *Arch. Anthrop.* **2**, 129 (1867).
66. Wanke, R., Diethelm, L.: Klinische und operative Bedeutung der Schädelnähte. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **289**, 435 (1958).
67. — Synostosis der Schädelnähte, Kraniostenosis und Kranznahtresektion. *Dtsch. med. Wschr.* **82**, 797 (1957).
68. Wiegand, H. R.: Praemature Synostosen; excessive Druckveränderungen; Anomalien und Asymmetrien von Emissarien, Hemisphären und Sinus in zwei Fällen von intracraniellen Tumoren mit auffälliger Sellabeteiligung. *Zbl. allg. Path. path. Anat.* **108**, 223 (1965).
69. Zanolli, V.: Studio sulla obliterazione delle suture craniale. *Atti Soc. Rom. Antrop.* **14**, 13 (1908).

Dr. Horst P. Schmitt und Dr. Lorand Tamaska
Institut für gerichtliche Medizin der Universität Köln
D-5000 Köln 1, Zulpicherstr. 47