

Beiträge zur forensischen Osteologie*

II. Densitometrische Untersuchungen menschlicher Warzenfortsätze

K. SATERNUS und H. P. SCHMITT

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Köln

Eingegangen am 12. Dezember 1969

X-Ray Densitometric Investigations of the Human Mastoid Process

Summary. X-ray densitometry of 91 adult mastoid processes and their relationships to sex and age as well as to the volume of the processes was carried out. No relationship to age or sex could be determined, however, a small correlation with the volume (10%) was ascertained.

The pneumatization of the mastoid process supposedly depends on multiple factors, particularly functional, hormonal and hereditary. Some, however, believe that mucous membrane or spongy bone occupy the inner spaces of the process, depending on a mutual "displacement reaction".

The mastoid process is suitable for individual identification on the basis of the specific structure of its air spaces. Age and sex determination is impossible using unknown single specimens.

Key-Words: Osteologie — Identifikation — Pneumatisation Warzenfortsatz — Altersbestimmung — Geschlechtsbestimmung.

Zusammenfassung. Die Pneumatisation von 91 Warzenfortsätzen erwachsener Menschen wird mittels Röntgendensitometrie in bezug auf Alters-, Geschlechts-, Seiten- und Volumenabhängigkeit untersucht. Dabei läßt sich nur eine geringe Abhängigkeit (10%) vom Volumen des Proc. mastoid. feststellen.

In der Literatur wird ein Zusammenwirken multipler Faktoren bei der Pneumatisation des Warzenfortsatzes angenommen, wobei die Größe des Muskelhöckers von funktionellen, hormonellen und hereditären Faktoren beeinflußt werden soll. Zum Teil wird auch die Meinung vertreten, daß sein mechanisch entlasteter Innenraum je nach der „Kraft der Schleimhaut“ entweder von dieser oder von spongiösem Knochen in der Art einer „Verdrängungsreaktion“ ausgefüllt wird.

Als Merkmal zur Individualidentifikation ist die Pneumatisation des Mastoides aufgrund unterschiedlicher, individualspezifischer Ausformung der Cellulae durchaus geeignet; eine Alters- und Geschlechtsidentifikation unbekannter Einzelstücke ist jedoch nicht möglich.

Unter den Methoden der Personalidentifikation hat die Beurteilung der Konfiguration pneumatisierter Systeme, wie z.B. der Nasennebenhöhlen, einen festen Platz, da deren individuelle Ausformung außerordentlich reichhaltig ist. Weniger gebräuchlich sind Form und Ausdehnung der Pneumatisation des Processus mastoideus, wenngleich auch hier, nach Angaben einiger Untersucher [13, 14], eine Personalidentifikation an Hand bestimmter, auf alten Röntgenaufnahmen fixierter Cristae und besonders geformter Cellulae oder charakteristischer Operationshöhlen möglich ist.

* Herrn Prof. Dr. W. Bergerhoff sei für zahlreiche wertvolle Literaturhinweise an dieser Stelle herzlich gedankt.

Da der Proc. mastoid. seiner Natur nach ein auf Strebefestigkeit und Zug besonders beanspruchter Muskelhöcker sein soll [27], nehmen zahlreiche Untersucher an, daß der Zug der an ihm inserierenden Muskeln, Sternocleidomastoideus, Splenius capitis und der hintere Bauch des M. digastricus, einen entscheidenden Einfluß auf seine Größe ausübe [7, 11, 15, 17, 19].

Während Löbell und Proskurjakow [15, 19] zwischen Funktion und Größe einerseits und Pneumatisation andererseits einen Zusammenhang finden, besteht dieser nach Grahe und Winkler [7, 28] nur zwischen der Funktion und der Größe.

Wenn mechanische Kräfte nicht nur die Form eines Knochens beeinflussen, sondern sogar dessen typische Innenstruktur umbilden können, wie Wolff ([31], zit. nach Weidenreich [26]) annimmt, liegt die Vermutung nahe, daß diese Wechselbeziehung auch am menschlichen Warzenfortsatz ihren Niederschlag in einer unterschiedlichen Geschlechts- oder Altersverteilung finden kann.

Material und Methode

Zur Beurteilung der Frage, inwieweit aufgrund des Phänomens der Pneumatisation eine Alters- oder Geschlechtsidentifikation an Hand menschlicher Mastoide möglich ist, wurden an 91 Schädelbasen die Proc. mastoid. untersucht. Meßgrößen wie mediale und laterale Höhe und Größe der Außenflächen können einer vorangegangenen Mitteilung [21a] entnommen werden.

Von diesen 91 Schädeln, 54 männlichen und 37 weiblichen, fertigten wir von allen linksseitigen Mastoiden mit einer Siemens-Röntgenkugel Typ 70034 im Focusabstand von 70 cm und zusätzlich von einer rechtsseitigen Vergleichsgruppe Röntgenaufnahmen an.

Da ausschließlich der Proc. mastoideus das Untersuchungsobjekt war, suchten wir einen Strahlengang, bei dem das Mastoid ohne Überprojektionen anderer Schädelknochen dargestellt werden konnte. Die Aufnahmen wurden in der vertikalen Ebene von der Schädelbasis aus in einem Winkel von 70° zur Verbindungslinie zwischen rechtem und linkem Porion angefertigt. Die Schnittpunkte beider Linien lagen am oberen Rande des äußeren Gehörganges der jeweils aufgenommenen Seite. Kleine Fehlprojektionen wurden bewußt in Kauf genommen, denn einerseits konnte mit dieser Technik die größtmögliche Fläche des eigentlichen Warzenfortsatzes dargestellt werden, andererseits war nicht die individuelle Ausdehnung und Form der Cellulae von Interesse, sondern es sollten durch die Methode Meßdaten geschaffen werden, die untereinander vergleichbar waren.

Um die Röntgenergebnisse statistisch auswerten zu können, wurde die Strahlenabsorption, d.h. die Schwärzung der Röntgenfilme, mit einem Densitometer, dem ein Schreiber angeschlossen war, lichtoptisch ausgemessen.

Die theoretischen Grundlagen der Densitometrie von Röntgenfilmen und die Anwendung des Verfahrens zur Ermittlung von Dichte und Verteilung der Hartsubstanzen im Skelet finden sich in den Arbeiten von Knief [11, 11a] und Schmitt [21] ausführlich dargestellt. Aus Platzgründen wird hier auf eine Wiederholung verzichtet.

Die Mitte der vertikalen Lichtspaltöffnungen des Densitometers lag über der halben medialen Höhe des Warzenfortsatzbildes, und sowohl spitzen- als auch basalwärts bestand bis zu den Rändern noch ein Saum pneumatisierten bzw. spongiosen Knochens.

Die von der Materialdichte bzw. umgekehrt von der Pneumatisation abhängigen, vom Graphomaten gezeichneten Absorptionskurven wurden auf eine fortlaufend genormte Millimeterpapierrolle geschrieben, ausgeschnitten, mit einer Präzisionswaage gewogen, und das festgestellte Gewicht auf eine Einheitsbreite und -tiefe umgerechnet. Die so ermittelten Daten entsprachen untereinander vergleichbaren Einheitskörpern einer bestimmten Materialdichte die als Maß der Pneumatisation gelten konnten. Dabei stellt die Pneumatisation das Reziprok der Dichte dar, d.h. steigende Dichte entspricht abnehmender Pneumatisation.

Die nachfolgenden Mittelwerte \bar{x} , die Streuungen s , $2s$ und $3s$ sowie das 95% -Vertrauensintervall für die Mittelwertsschätzungen wurden nach den in Simpson [23] angegebenen

Methoden ermittelt. Mit einer Olivetti-Rechenanlage vom Typ Programma 101¹ wurde die Korrelation zwischen den Variablen Volumen und Pneumatisation berechnet.

Das Volumen wurde, ebenso wie das Maß der Pneumatisation, indirekt bestimmt: Es ergab sich aus dem Produkt der bei Schmitt und Saturnus [21a] mitgeteilten Mastoidflächen und dem arithmetischen Mittel aus der Mastoidbreite, einmal gemessen in der halben medialen Höhe und zum anderen am tiefsten Punkt der Incisura mastoidea. Der so berechnete Quader war naturgemäß immer größer als das Mastoidvolumen. Da bei den angewandten Techniken der methodeneigene Fehler konstant blieb, konnten die ermittelten relativen Volumenwerte durchaus miteinander verglichen werden, ohne daß dabei prinzipielle Abhängigkeiten verzerrt worden wären. Diese Auffassung wird durch die Ergebnisse planimetrisch-volumetrischer Untersuchungen von Fliesberg et al. [6] gestützt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung unserer Meßdaten sind in den Abb. 1—3 und den zugehörigen Tabellen dargestellt.

Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit der Pneumatisation vom Volumen des Fortsatzes für die Individuen aller Altersstufen und beider Geschlechter. Ein Blick auf die Anordnung der Meßwerte läßt erkennen, daß, wenn überhaupt eine Korrelation vorliegt, diese nur sehr schwach sein kann. Zu Abb. 1 ist noch zu bemerken, daß die auf der Ordinate aufgetragenen Zahlenwerte den festgestellten *Dichtewerten* im oben (Material und Methode!) definierten Sinne entsprechen. Daß sich die Pneumatisation umgekehrt zur Materialdichte verhält, wurde bereits dargelegt.

Die Berechnung der Korrelation zwischen Volumen und Materialdichte ergab eine Abhängigkeit von $r = -0,310$. Das heißt, die Dichte ist dem Volumen negativ korreliert, oder anders, mit zunehmendem Volumen nimmt die Pneumatisation zu.

Der Korrelationskoeffizient $r = -0,310$ ist bei einer Stichprobenzahl von $N = 91$ für $N - 2$ Freiheitsgrade $\cong n = 89$ signifikant. (Für die Hypothese $r = 0$ ist die Wahrscheinlichkeit $P < 0,01$.) Aus $r = -0,310$ errechnet sich ein Bestimmtheitsmaß (r^2) von 0,0961. Das entspricht einer Beteiligung von 9,61 % des Volumens an der Totalvarianz der Pneumatisation.

Die Abb. 2 zeigt eine Darstellung des Mittelwertsvergleichs der Dichte (resp. der Pneumatisation) einmal zwischen den Individuen verschiedenen Geschlechts und zum anderen zweier Altersgruppen, d.h. dem in Individuen unter 49 und über 49 Jahren aufgeteilten Kollektiv. Die weißen Rechtecke um die Mittelwerte \bar{x} stellen die 95 %-Vertrauensintervalle für die Mittelwertsschätzung dar. Ferner sind eingezeichnet die Streugrenzen s , $2s$ und $3s$. Die Darstellungen in Abb. 2 zeigen, daß sich eine echte Mittelwertsdifferenz weder für die Geschlechter noch für die Altersgruppen sichern läßt. (In einer voraufgegangenen Untersuchung [21a] konnte ein Geschlechtsdimorphismus für die Mastoidflächen einwandfrei gesichert werden.)

Abb. 3 schließlich stellt die Verteilung der empirischen Meßergebnisse des Volumens über die Altersskala dar. Auch hier legt bereits die bloße Betrachtung ohne weitere statistische Berechnungen dar, daß eine Änderung des Volumens der Proc. mastoidei mit dem Alter, auf eine Population gesehen, nicht relevant ist.

¹ Herrn Dipl.-Kaufmann Arntzen danken wir an dieser Stelle für die freundlicherweise durchgeführte Korrelierung.

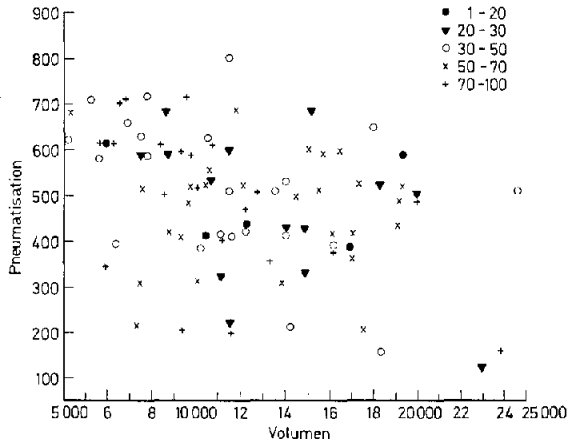


Abb. 1. Abhängigkeit der Pneumatisation (Materialdichte) vom Volumen des Processus mastoideus ($r = -0,310$). Zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Altersgruppen werden verschiedene Symbole verwandt (rechte obere Bildecke). Weitere Erläuterungen im Text

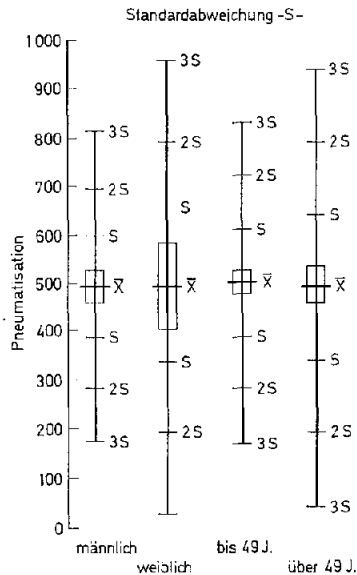


Abb. 2. Darstellung der Pneumatisation in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter. (Die weißen Rechtecke kennzeichnen die 95%-Vertrauensintervalle für die Mittelwertsschätzung.) Weitere Erläuterungen im Text

Eine Seitendifferenz im Volumen der Fortsätze ließ sich für die Population ebenfalls nicht sichern. Auf eine graphische Darstellung wurde hier verzichtet. Nähere Angaben enthält die Tabelle 3; den Tabellen 1 und 2 sind die wichtigsten Werte zur Abb. 2 zu entnehmen.

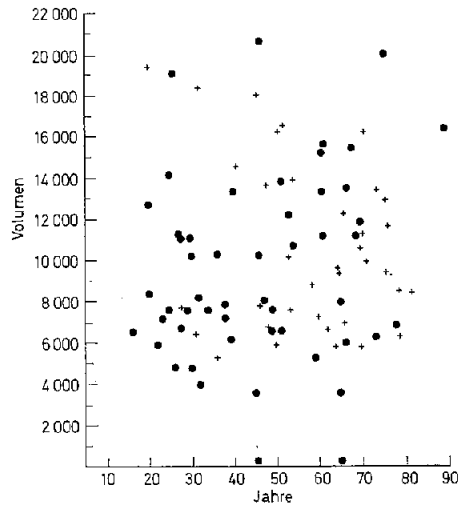


Abb. 3. Punkteschar zur Darstellung der Abhängigkeit des Volumens vom Alter;
(• männlich, + weiblich)

Tabelle 1. *Geschlechtsverteilung*

	N	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	Min.	Max.
Männlich	54	502	± 113	± 30	139	819
Weiblich	37	490	± 160	± 95	205	743

Tabelle 2. *Altersverteilung*

	N	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	Min.	Max.
< 49 Jahre	43	506	± 119	± 37	209	740
> 49 Jahre	48	489	± 151	± 44	201	743

Tabelle 3. *Seitenverteilung*

	N	\bar{x}	s	$s_{\bar{x}}$	Min.	Max.
Rechts	16	581	± 182	± 97	418	947
Links	16	578	± 107	± 57	356	710

Diskussion

Daß der Proc. mastoid. erst bei den Anthropoiden angelegt [24], beim Menschen seine volle Ausbildung erfährt, führt Weidenreich [27] in erster Linie auf die aus der Aufrichtung zum bipeden Gang resultierende veränderte Mechanik sowie die Gehirnentwicklung mit der Knickung der Schädelbasis gegen die Körperachse und einer sich daraus ergebenden Verkürzung der Schädelbasis zurück. Er belegt die Nebenhöhlen des Schädels mit dem aus der Baustatik stammenden Begriff der funktionell toten Giebelräume. Beispiele zu dieser Anschauung findet

Eckert-Möbius [5] im Tierreich, wo je nach funktioneller Beanspruchung mehr oder weniger große pneumatische Systeme entwickelt werden, ohne daraus jedoch die Annahme abzuleiten, daß bei einer Größenzunahme knöcherner Systeme zwangsläufig deren Toträume vollständig mit Schleimhaut ausgekleidet und luftgefüllt — besser pneumatisiert — werden müßten.

Vielmehr scheinen diese mechanisch entlasteten Räume, die demnach wie die Verankerungen tragender Gewölbe ineinander gefügt sind, in ihrer Form und Größe zu schwanken. Zusätzlich werden sie entweder mit Schleimhaut ausgekleidet, mit spongiösem Knochen oder Knochenmark gefüllt, oder es werden in sie sekundär Organe, wie z.B. Riechkolben in die Nasennebenhöhlen beim Hund, eingelagert. Betrachtet man unter diesem Aspekt die in der Literatur über die Kausalbeziehung zwischen Volumen und Pneumatisation bestehenden differenten Meinungen, daß einmal die beste Pneumatisation bei großem Volumen [15, 19], zum anderen bei Durchschnittslänge oder annähernd durchschnittlicher Länge [22] ausgebildet sein soll, oder daß umgekehrt gerade spongiöse Warzenfortsätze große Ausdehnung erreichen [4], so wird diese Anschauung von der Abhängigkeit der Pneumatisation vom Volumen durch die hier vorgetragenen Befunde z.T. bestätigt.

Die Korrelierung von Volumen und Pneumatisation ergab, daß die letztere sehr schwach vom Volumen abhängt. Die Beteiligung des Volumens als Variationsursache an der Totalvarianz der Pneumatisation beträgt nur etwa 10%. Der Rest geht zu Lasten anderer Faktoren, die später noch erwähnt werden.

Eine geschlechtsgebundene Abhängigkeit der Pneumatisation, wie sie von Wagner [25] anhand von Bestimmungen des Schädelgewichtes und der Schädelform postuliert wurde, konnten wir statistisch nicht sichern (Abb. 2). Andere Untersucher [3] gelangten zu ähnlichen Ergebnissen, da wohl selbst bei ausgeprägtem geschlechtlichem Dimorphismus im Phänotypus keine wesentliche Änderung im Bauprinzip des menschlichen Schädels auftritt.

In unserem Material konnten wir auch keine Abhängigkeit der Pneumatisation vom Alter der untersuchten Individuen sichern (Abb. 2). Hierbei ist zu betonen, daß wir nicht wie Günnel [8] Kinder untersuchten, sondern unsere Befunde nur an Erwachsenen erhoben wurden.

Das Durchschnittsalter des gesamten Kollektivs lag bei 49,25 Jahren. Die genaue Altersverteilung ist aus den Abb. 1 und 3 ersichtlich.

Unsere Ergebnisse dokumentieren, daß anhand der Pneumatisation des Processus mastoid. weder eine Geschlechts- noch eine Altersidentifikation erfolgen kann. Schultz [24] zeigte an der Größenentwicklung des Proc. mastoid. beim Gorilla, „daß Warzenfortsätze kein menschliches Eigenmerkmal darstellen“, und daß es selbst unter den menschlichen Rassen (Papuas) noch Formen des Warzenfortsatzes gibt, die weniger ausgebildet sind als bei vielen Gorillas. Deshalb dürfte auch der vorsichtig gefaßte Rückschluß [9, 10], daß der Kopf des Neanderthalers „noch nicht axial, in der Verlängerung der Wirbelsäule gelegen, sondern mehr hängend getragen wurde“, weil bei ihm nur kleine und gering pneumatisierte Mastoide gefunden wurden, mit Vorbehalten aufgenommen werden.

Ebenso wie wir bei großen individuellen Schwankungen der Pneumatisation der Warzenfortsätze keine sichere Abhängigkeit vom Alter und vom Geschlecht erkennen konnten, ließ sich auch keine Seitendifferenz sichern. Selbst wenn man

annimmt, daß ein Teil der untersuchten Mastoide von Linkshändern stammt, so muß doch der überwiegende Teil Rechtshändern zugeschrieben werden, so daß daraus keine Fehlergebnisse resultieren konnten.

Man findet bei der Durchsicht der Literatur eine Summe von Einflüssen, die für die Pneumatisation verantwortlich sein sollen. Der Anteil des Volumens ist, wie aufgeführt, sehr gering. Nach Wittack [29, 30] ist die Schleimhaut der ursächliche Faktor für die Pneumatisation, die, je nachdem ob sie ihre volle pneumatisierende Kraft behält oder aber in der Säuglingszeit oder Kindheit durch Entzündungen oder andere Einflüsse diese einbüßt, entweder mesoplastisch gestaltet, den Knochen gut pneumatisiert oder hypo- und hyperplastisch nur eine unvollständige Pneumatisation der Warzenfortsätze bewirkt. Zusätzlich soll die pneumatisierende Kraft der Schleimhaut noch von der Ernährung abhängen. Ein weiterer Faktor soll die genetische Determination [1, 2] sein, da bei eineiigen Zwillingspaaren der Pneumatisationsgrad stark, bei zweieiigen deutlich geringer übereinstimmt. Dagegen stellt Wagner [25] mehr ererbte, knocheneigene Momente in den Vordergrund seiner Betrachtungen.

Nach Eckert-Möbius [5] ist die Pneumatisation neben einer Anpassung an funktionelle Erfordernisse in erster Linie ein Problem der Vascularisierung des Knochens.

Andere Autoren weisen besonders auf den Einfluß des Wachstumshormons hin [20], während Oltersdorf [18], der zu einer ganzheitlichen Betrachtung tendiert, die Pneumatisation aus Anlagefaktoren und mechanischen Momenten, wie der Einengung des Isthmus der Ohrtrumpete und indirekt der Schädelform und dem Schädelbasiswinkel, gesteuert sieht.

Mit zahlreichen anderen Untersuchern sind wir der Meinung von Eckert-Möbius [5], daß Schleimhaut nur dort in den Knochen eindringen kann, wo ein „statisch und dynamisch entlasteter Innenraum eine lockere weitmaschige Spongiosa aufweist“.

Möglicherweise wird der Proc. mastoid., genetisch gesteuert, zu einer „Minimalgröße“ entwickelt [17], dann aber vor allem durch funktionelle und in zweiter Linie durch hormonelle Einflüsse in seiner endgültigen Größe erhalten.

Für die Annahme einer *funktionellen Ausrichtung* sprechen die Ergebnisse in der Erforschung der Biomechanik des Skelets, die bei Kummer [12a] zusammenfassend dargestellt sind. Da der Proc. mastoid. im wesentlichen ein Muskelansatz ist, dürfte seine strukturelle Ausrichtung zur Hauptsache durch die mechanischen Einflüsse der an ihm inserierenden Muskulatur geprägt werden.

Zur funktionellen Anpassung des Knochens sind im Bereich der Extremitäten, besonders der unteren, bereits hinreichende experimentelle und rechnerische Beweise erbracht [11, 11a, 12a, 21], der Proc. mastoid. wäre in dieser Richtung, speziell unter Anwendung der Spannungsoptik, noch genauer zu untersuchen.

Apodiktisch kann man jedoch schließen, daß sich auch hier die Theorie des funktionellen Baus bestätigen wird, denn es ist nicht einzusehen, weshalb der Organismus an dieser Stelle Bauprinzipien verlassen soll, die anderenorts grundlegend sind.

Daß der durch „Nichtbeanspruchung“ entstehende Raum von Schleimhaut ausgekleidet wird, ist wohl sekundär. Ob die Schleimhaut eine „pneumatisierende Kraft“ entfalten kann, erscheint uns fragwürdig.

Literatur

1. Albrecht, W.: Pneumatisation und Konstitution. *Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* **10**, 51 (1924).
2. — Schwarz, M.: Anlage und Pneumatisation. *Arch. Ohr., Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* **134**, 50 (1933).
3. Bauer, E.: Über Schädelmaße und Pneumatisation des Warzenfortsatzes. *Msehr. Ohrenheilk.* **71**, 1457 (1937).
4. Claus, G.: Studium über das Os temporale und seine Umgebung. *Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* **33**, 515 (1933).
5. Eckert-Möbius, A.: Vergleichend anatomisch physiologische Studie über Sinn und Zweck der Nasennebenhöhlen des Menschen und der Säugetiere. *Arch. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* **134**, 287 (1933).
6. Flisberg, K., Zsigmond, M.: The size of the mastoid air cell system *Acta oto-laryng.* (Stockh.) **60**, 23 (1965).
7. Grahe, K.: Hat der Muskelzug des Sternocleidomastoideus einen Einfluß auf die Pneumatisation des Processus mastoideus? *Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* **20**, 278 (1928).
8. Günnel, F.: Neue Untersuchungen über die Entwicklung des Warzenfortsatzes und seine Pneumatisation. *Arch. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* **172**, 1 (1957).
9. Kindler, W.: Röntgenologische Studien über Stirnhöhlen und Warzenfortsätze beim klassischen Neandertaler im mitteleuropäischen Raum. I. *Z. Laryng. Rhinol.* **39**, 411 (1960).
10. — Kiefer, R.: Röntgenologische Studien über Stirnhöhlen und Warzenfortsätze beim klassischen Neandertaler im mitteleuropäischen Raum. II. *Z. Laryng. Rhinol.* **42**, 752 (1963).
11. Knief, J. J.: Quantitative Untersuchung der Verteilung der Hartsubstanzen im Knochen in ihrer Beziehung zur lokalen mechanischen Beanspruchung. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **126**, 55 (1967).
- 11a. — Materialverteilung und Beanspruchungsverteilung im coxalen Femurende. Densitometrische und spannungsoptische Untersuchungen. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **126**, 81 (1967).
12. Krainz, W.: Über die Auskleidung der lufthaltigen Warzenzellen. *Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* **8**, 46 (1924).
- 12a. Kummer, B.: Funktioneller Bau und funktionelle Anpassung des Knochens. *Anat. Anz.* **111**, 261 (1962).
13. Law, F. M., Culbert, W. D.: Identification by comparison of roentgenograms. *J. Amer. med. Ass.* **88**, 1634 (1927).
14. — Roentgenograms as means of identification. *Amer. J. Surg.* **26**, 195 (1934).
15. Loebell, H.: Die funktionelle Architektur des Warzenfortsatzes. *Acta oto-laryng.* (Stockh.) **25**, 140 (1937).
16. Martin, A., Saller, K.: *Lehrbuch der Anthropologie.* Stuttgart: Gustav Fischer 1957.
17. Mündnich, K.: Zur Frage der Entwicklung der Pneumatisation des Warzenfortsatzes und seines Wachstums. *Z. Hals-, Nas.- u. Ohrenheilk.* **42**, 193 (1936).
18. Oltersdorf, U.: Pneumatisation des Warzenfortsatzes und Schädelform. *Arch. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* **180**, 602 (1962).
19. Proskurjakow, D.: *Msehr. Ohrenheilk.* **808**, (1938). Zit. nach Günnel.
20. Püschel, L., Schlossbach, B.: Über den Einfluß des somatotropen und androgenen Hormons auf die Pneumatisation. *Arch. Ohr.-, Nas.- u. Kehlk.-Heilk.* **167**, 595 (1955).
21. Schmitt, H. P.: Über die Beziehung zwischen Dichte und Festigkeit des Knochens am Beispiel des menschlichen Femur. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **127**, 1 (1968).
- 21a. — Saternus, K.-S.: Beiträge zur forensischen Osteologie: I. Der Processus mastoideus als Identifikationsmerkmal? *Z. Rechtsmedizin · J. Legal Med.* (in Vorbereitung).
22. Silbiger, H.: Über das Ausmaß der Mastoidpneumatisation beim Menschen. *Acta anat.* (Basel) **11**, 215 (1951).
23. Simpson, G. G., Roe, A., Lewontin, R. C.: *Quantitative zoology.* New York: Harcourt, Brace & World, Inc. 1960.

24. Schultz, A.H.: Über das Wachstum der Warzenfortsätze beim Menschen und den Menschenaffen. *Homo* **3**, 105 (1952).
25. Wagner, O.: Zur Frage der Pneumatisation des Warzenfortsatzes. *Verh. Dtsch. Ges. Hals- usw. Ärzte, Kongr.-Ber.*, S. 196—201. Leipzig: Kabitzsch 1921.
26. Weidenreich, F.: Über die formbestimmende Ursache am Skelett und über die Erblichkeit der Knochenform. *Arch. Entwickl.-Mech. Org.* **51**, 436 (1922).
27. — Über die pneumatischen Nebenräume des Kopfes. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* **72**, 55 (1924).
28. Winkler, A.: Diskussionsbemerkung in *Z. Hals-, Nas- u. Ohrenheilk.* **20**, 300 (1928).
29. Wittmaack, K.: Zur Histologie der Mittelohrschleimhaut. *M Schr. Ohrenheilk.* **61**, 1357 (1927).
30. — Schleimhautkonstitution und Pneumatisation. *Arch. Ohrenheilk.* **132**, 261 (1932).
31. Wolff, J.: Über die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachstum. *Virchows. Arch. path. Anat.* **50**, 389 (1870).

Dr. med. K.-S. Saturnus
Dr. H. P. Schmitt
Institut für gerichtliche Medizin
D-5000 Köln 1, Zulpicherstr. 47