

H.E. Eckel¹ · G.M. Sprinzl² · C. Sittel¹ · J. Koebke³ · M. Damm¹ · E. Stennert¹

¹ Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde (Direktor: Prof. Dr. E. Stennert), Universität zu Köln

² Klinik für Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

³ Zentrum für Anatomie, Köln

Zur Anatomie von Glottis und Subglottis beim kindlichen Kehlkopf*

Zusammenfassung

Die morphologische Entwicklung des menschlichen Kehlkopfs während der ersten Lebensjahre ist bisher kaum erforscht worden. Die Kenntnis entsprechender Daten könnte zum Verständnis laryngologischer Krankheitsbilder des Kindesalters beitragen. 43 kindliche Kehlköpfe (Lebensalter 0–60 Monate) wurden vollständig plastiniert. Die so erhaltenen Ganzorganpräparate wurden in axiale Scheiben zerlegt und an einem hochauflösenden, computergestützten, halbautomatischen Bildanalyse-System morphometrisch analysiert. Die gewonnenen Daten wurden mit dem Alter und dem Geschlecht der Kinder korreliert und entsprechend statistisch ausgewertet. Während der ersten 24 Lebensmonate zeigt das subglottische Atemwegslumen ein weitgehend exponentielles Wachstum, das mit dem 3. Lebensjahr dann in ein lineares Wachstum übergeht. Der Anteil des subglottischen Weichgewebes (Mukosa und Submukosa) am Querschnitt der Subglottis nimmt in gleicher Weise ab. Anders als beim Erwachsenen, aber ähnlich den Verhältnissen bei den meisten Säugetieren, beträgt der Anteil der kartilaginären Glottis an der Gesamtlänge der Stimmlippen 60–75%. Ein Geschlechtsdimorphismus des Kehlkopfs findet sich während der Kindheit nicht. Die vorliegende Untersuchung beschreibt die makroanatomische Morphologie der kindlichen Stimmlippen und der Subglottis während der ersten 5 Lebensjahre. Es ist die erste Untersuchung zur Morphologie des kindlichen Kehlkopfs, deren die Meßwerte mittels einer meßtechnisch validierten Methode gewonnen wurden. Die erhobenen Daten erlauben ein

besseres Verständnis der anatomischen Verhältnisse im Bereich der zentralen Luftwege beim Kind.

Schlüsselwörter

Larynxanatomie · Kehlkopfwachstum · Plastination · Tracheaanatomie

Die Embryologie des menschlichen Kehlkopfes und sein Wachstumsverhalten innerhalb der ersten 2 Lebensdekaden wurde erstmals zu Anfang dieses Jahrhunderts untersucht [7, 17]. Die Carnegie-Sammlung humaner Embryonen, bestehend seit dem Jahr 1887, hat in mehreren Publikationen die Basis für embryologische Betrachtungen gelegt und so erste detailliertere Daten zur Embryologie des Kehlkopfes geliefert [18, 19, 31, 32]. Genauere Daten zum Wachstumsverhalten des Kehlkopfes in der Fetalzeit und in den ersten Lebensjahren liegen bis zum heutigen Zeitpunkt jedoch nicht vor. Die bislang verfügbaren Untersuchungen behandeln deskriptiv, eher auf einer qualitativen Ebene die Kehlkopfembryologie, können jedoch keine exakten Daten zur morphologischen Entwicklung präsentieren [8, 16, 20, 22, 25, 26].

Detailstudien zur Morphologie des kindlichen Kehlkopfes an Serienschneitpräparaten liegen vor [2, 33]. Die nun vorliegende Studie untersucht auf der Grundlage plastinierter Ganzorganseri-

enschnittpräparate das Wachstumsverhalten und die Struktur des kindlichen Kehlkopfes. Ganzorganserienschnittuntersuchungen haben ihre hervorragende Eignung zu Lehr- und Forschungszwecken auf dem Gebiet der Laryngologie und Morphologie nachgewiesen [14]. In früheren Studien ist es gelungen – bei Anwendung der Plastinationstechnik – den Schrumpfungsfaktor der beteiligten Gewebearten im Kehlkopf zu ermitteln [4]. Nicht zuletzt aus diesem Grund ist die Plastinationstechnik für Studie morphologischer Details an Serienschneitpräparaten am besten geeignet.

Ziel dieser Studie war es grundlegende Daten zur normalen Morphologie des kindlichen Kehlkopfes zu erheben. Besonderes Interesse oblag der Dokumentation der Veränderung der Dimensionen von Stimmbändern, der subglottischen Region sowie der Trachea im bezug auf das Alter. Derartige Informationen können sowohl das Verständnis von Erkrankungen der oberen Luftwege im Kindesalter erleichtern, sind aber auch für die Kehlkopfchirurgie bei Kindern als Basisinformation nützlich [1, 3, 23].

* Diese Studie wurde gefördert mit Mitteln der Jean Uhrmacher Stiftung, Köln. Auszugsweise vorgetragen während der 68. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Nürnberg, 7.5.–11.5.1997

Prof. Dr. H.E. Eckel
Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Universität zu Köln,
Joseph Stelzmann-Straße 9, 50924 Köln
E-Mail: Hans-Eckel@uni-koeln.de

Anatomy of the vocal folds and subglottic airway in children

Abstract

Background: The morphological development of the human larynx during the first years of life has previously not been studied in detail and has mainly been described on a qualitative basis. This study seeks to provide detailed morphometric data on the regular anatomy of the vocal cords, the subglottic airway and the tracheal airway dimensions gained from plastinated whole organ serial sections of 43 infant larynges and to determine morphological changes with age. Such information may be useful for the understanding of pediatric airway disease or for laryngeal surgery in children.

Material and methods: The larynges of 43 children aged 1 to 60 months were plastinated. Whole organ serial sections were obtained by cutting the resulting specimen with a diamond band saw. Morphometry of whole-organ sections was accomplished using a high resolution, computer-based image analyzer. The total length of the glottis, length of the cartilaginous and ligamentous glottis, subglottic cartilaginous cross-section, subglottic airway and tracheal airway were determined for each specimen.

Results: The subglottic airway increases considerably in size during the first 2 years of life (from 13 to 28 mm² in the means). Further growth seems to follow a linear mode. The relative proportion of the mucosal lining of the subglottic airway decreases likewise. While it occupies approximately 50% of the subglottic cartilaginous cross-section during the first two years of age, its relative proportion decreases to some 30 to 40% between age three to five. Other than in adults, and comparable to most mammals, the cartilaginous glottis accounts for 60 to 75% of the vocal folds' length in children under two years of age. The anterior ligamentous part of the glottis outsizes its posterior cartilaginous portion during the third year of life.

Conclusion: This study supplies detailed morphometric data on the growth and structure of the human larynx during the first years of life that have not been available to date. Previous studies on the anatomical configuration of the infant larynx have focused on the the perinatal larynx, the prepuberal and puberal larynx, and the development of collagen fibres in the developing

Originalien

larynx. The human larynx has undergone significant evolutionary adaptations. Among them are the descent of the larynx, the capability of vocal fold adjustment in length, tension and shape, and the prominent configuration of the membranous part of the vocal folds as opposed to the cartilaginous part. The infant larynx is not just a miniature of the adult organ. It shows differences in its position relative to the vertebrate column, in the composition of cartilages and soft tissues, and in environmental adaptation. The present study is the first to supply detailed morphometric data on the growth and structure of the human larynx during the first five years of life and on the morphological changes of the larynx during this period. From these data it seems that some of the adaption of the human larynx as opposed to other vertebrates are not fully developed at birth, but undergo postnatal maturation. The relative proportions of the cartilaginous and membranous parts of the vocal folds clearly demonstrate this maturation process: While the posterior "respiratory" glottis accounts for some sixty to 75% of the total glottic length in newborns, its relative proportion decreases throughout the first years of life and finally equals the proportions of the adult larynx. Other than in adults, and in accordance with the literature, no sexual dimorphism of the larynx could be detected in this series of infant larynges. Morphometric data on the growth and structure of the human vocal folds and the subglottic airway during childhood are presented. Plastinated whole organ serial sections were used in the study to show the infant laryngeal morphology. The study provides quantitative anatomical data of clinical interest that light up the anatomy of the pediatric airways.

Keywords

Airway anatomy · Larynx anatomy · Larynx morphology · Larynx growth · Pediatric airway · Plastination

Material und Methoden

Material

Das Untersuchungsgut dieser Studie umfaßt 44 Kehlköpfe und wurde aus dem Sektionsgut des Instituts für Gerichtsmedizin der Universität zu Köln

zur Verfügung gestellt. Die Kehlköpfe wurden im Rahmen von Routineautopsien im Zeitraum 12–48 h post mortem der Leiche entnommen. Kehlköpfe mit Tumoren oder stattgehabten traumatischen Läsionen sind nicht in das Untersuchungsgut aufgenommen worden. Eine in der Vorgeschichte durchgeführte Tracheostomie führte ebenfalls zum Ausschluß aus der Studie. Untersucht wurden 24 Präparate männlichen und 20 Präparate weiblichen Geschlechts. Das Alter der Kinder ($n=43$) war in allen Fällen bekannt. Aus datenschutzrechtlichen Gründen waren außer Geburtsdatum und Geschlecht der Kinder keine weiteren klinischen Daten zu erheben. Deswegen können in der Studie keine Angaben zur Todesursache gemacht werden, obwohl diese Angaben sicherlich zusätzliche Aspekte für die Auswertung der erhobenen Datensätze hätten beitragen können. Die Altersverteilung der untersuchten Kehlköpfe ist in der Tabelle 1 dargestellt. Um den Größenunterschied zwischen einem kindlichem und adulten Kehlkopf zu demonstrieren wurde der Kehlkopf eines erwachsenen Mannes (Alter 56 Jahre) als Vergleichspräparat in das Untersuchungsgut eingeschlossen.

Die Kehlkopfpräparate wurden im Rahmen der Autopsie als Blockpräparat mit Zunge, Trachea, Schilddrüse und Lungen dem Leichnam entnommen. Die Zunge wurde vor Durchführung der Messungen in Höhe des Zungenbeins, die Trachea in Höhe des 3. Trachealrings von dem Präparat getrennt. Verletzungen des Kehlkopfes, etwa durch Entfernung der Schilddrüse im Bereich des Schild- oder des Ringknorpels, wurden vor den Untersuchungen sorgfältig readaptiert.

Ganzorganplastination

Alle Kehlköpfe wurden in toto in Epoxidharz eingebettet. Die Entwässerung der Präparate erfolgte durch Gefrier-austausch im Acetonbad bei einer Temperatur von -23°C über einen Zeitraum von 2 Wochen.

Die Entfettung der Präparate wurde bei Raumtemperatur ($18-20^{\circ}\text{C}$) im Methylenchloridbad über 4 Tage hinweg durchgeführt, wobei am 1. und 3. Tag die Lösung ausgetauscht wurde.

Tabelle 1
Morphometrischer Datensatz der 43 Kehlkopfpräparate

Monate	Mittelwert	Länge der Glottis [mm]	Länge der knorpeligen Glottis [mm]	Länge der ligamentären Glottis [mm]	Subglottischer knorpeliger Durchmesser [mm ²]	Subglottischer Atemweg [mm ²]	Trachealer Atemweg [mm ²]
0–12 (n=24)	Mittelwert	7,0	4,1	2,9	30,6	16,4	17,1
	Standardabweichung	1,0	0,6	0,88	7,43	4,04	3,54
	Standardfehler	0,2	0,12	0,18	1,52	0,82	0,75
	Minimum	5,2	2,9	1,7	18,1	10,8	13,2
	Maximum	9,5	5,1	5,0	42,3	25,1	28,2
13–24 (n=8)	Mittelwert	8,0	4,4	3,6	46,9	23,9	22,3
	Standardabweichung	0,95	0,7	0,79	4,02	6,28	7,81
	Standardfehler	0,36	0,26	0,29	1,52	2,37	2,25
	Minimum	6,7	3,0	2,6	40,1	15,1	13,2
	Maximum	9,2	5,9	4,7	51,3	34,5	37,7
25–36 (n=3)	Mittelwert	9,1	5,1	4,0	51,7	35,3	35,4
	Standardabweichung	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Standardfehler	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Minimum	8,2	4,9	3,4	46,5	30,3	32,5
	Maximum	10,4	5,2	5,2	55,6	40,8	38,9
37–48 (n=4)	Mittelwert	9,7	4,4	5,3	49,3	35,8	43,6
	Standardabweichung	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Standardfehler	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Minimum	8,3	3,2	5,1	44,2	26,0	26,2
	Maximum	12,2	5,3	6,9	66,4	49,4	51,5
49–60 (n=4)	Mittelwert	10,67	4,8	5,9	63,7	38,9	48,0
	Standardabweichung	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Standardfehler	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Minimum	10,2	4,2	5,3	58,0	30,0	44,5
	Maximum	11,8	5,2	6,7	68,46	46,5	50,8

n.b. nicht berechnet wegen zu kleiner Fallzahl

Nach der Entfettung wurden die Kehlköpfe in die Epoxidharzlösung Biodur E12/E6 (Biodur™-Produkte, Heidelberg, Kunststoffansatz nach [4]) eingelegt und plastiniert. Grundprinzip der Plastination ist die Ausnutzung der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Methylenchlorid einerseits und Epoxidharz andererseits. Durch die Dampfdruck- und Siedepunktdifferenz wird die Entfernung des Methylenchlorid und das forcierte Nachfließen – daher der Fachbegriff „forcierte Imprägnierung“ – des Epoxidharzes in das Präparat unter Vakuum ermöglicht.

Nach der Härtung der Präparate in einem Wärmeschrank bei einer Temperatur von 60°C über einen Zeitraum von etwa 6 Tagen, erfolgte die Weiterverarbeitung und Trennung der Kunststoffblöcke mittels einer Diamantdrahtsäge in planparallele, 0,8 mm dicke Schnittpräparate. Der Schnittverlust betrug bei diesem Verfahren lediglich 0,22 mm je Schnitt. Die Schnittprä-

parate wurden mit Cyanatkleber auf Kunststoffobjektträger aufgeklebt und mit der Ultrafräse (Fa. Leica) poliert. Abschließend erfolgte eine Oberflächenfärbung modifiziert nach Richardson. So gefärbt wurde es erst möglich, die sehr dünnen und kontrastarmen Präparate zu photographieren.

Morphometrie

Die Datenerhebung der morphometrischen Daten der Ganzorganschnittpräparate wurde mittels eines Computer unterstützten, hoch auflösenden Bildanalysesystem durchgeführt [6]. Das System besteht aus einer CCD-Kamera die über einer homogenes Licht abstrahlenden Lichtquelle montiert ist, aus einer zusätzlich installierten Kaltlichtquelle, aus einem Personalcomputersystem mit Videokarte (200 MHz, 64 KB RAM, Spea V7 Videokarte) und aus einem sog. „digitaliser tablet“ mit einer speziellen Software zur Bildaquisition.

Gemessen wurden folgende Dimensionen:

- Länge der Glottis,
- Länge des kartilaginären Anteils,
- Länge des ligamentösen Anteils,
- subglottische Querschnittsfläche kartilaginär,
- subglottische Querschnittsfläche epithelial,
- trachealer Querschnittsfläche epithelial.

Zur Vermessung des subglottischen Raums wurde derjenige Serienschnitt ausgewählt, auf dem das Atemwegslumen der Subglottis den geringsten Querschnitt aufwies. Dieser Schnitt wurde vermessen, und die Ergebnisse wurden für die weiterführende Datenanalyse verwendet.

Statistische Verfahren

Die Mittelwerte mit Standardabweichung und Standardfehlern, Minima und Ma-

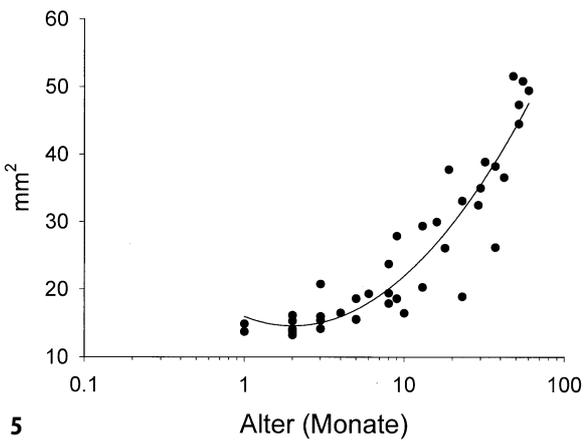
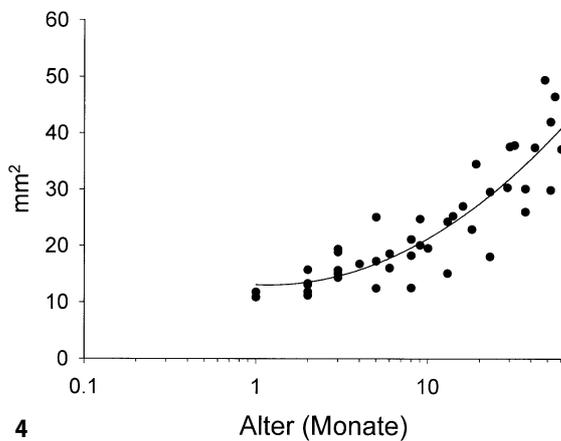
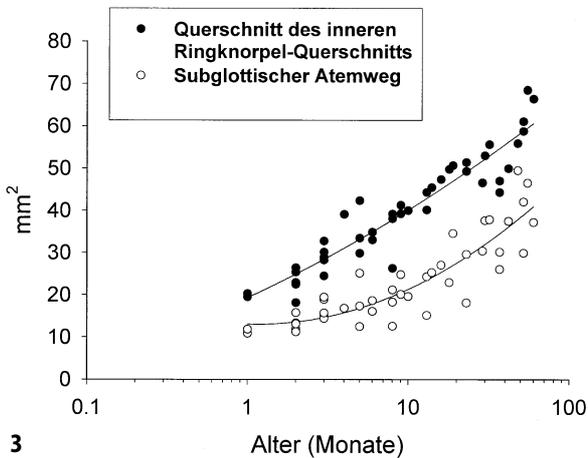
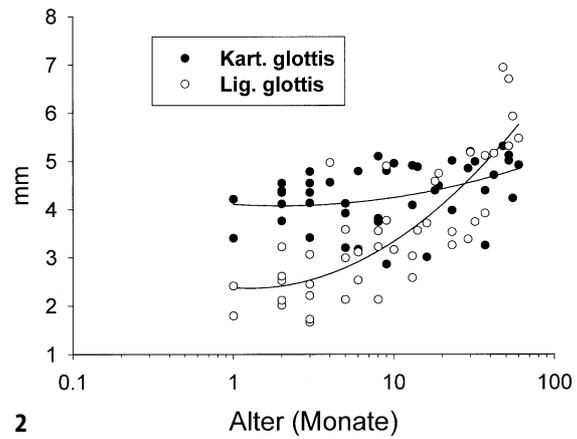
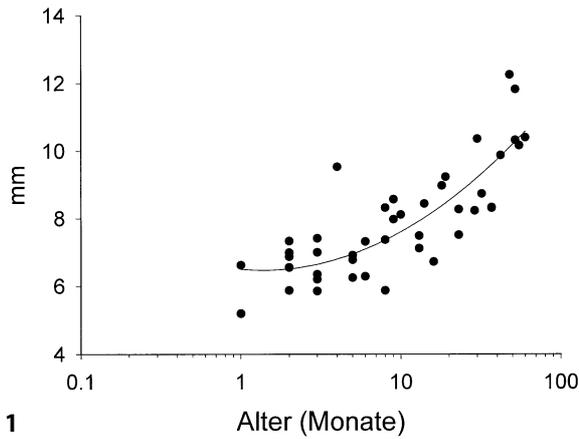


Abb.1 ▲ Länge der Glottis vs. Alter

Abb.2 ▲ Länge des kartilaginären/ ligamentösen Anteils der Glottis vs. Alter

Abb.3 ▲ Innerer Ringknorpelquerschnitt und subglottischer Atemweg vs. Alter

Abb.4 ▲ Subglottischer Atemweg vs. Alter

Abb.5 ◀ Trachealer Atemwegsquerschnitt vs. Alter

xima wurden (Tabelle 1) mit dem Statistikprogramm Sigma Plot®, Software Version 3 (Jandel Scientific Software, San Rafael, USA) errechnet. Die „scatter plots“, die die Resultate der Studie zusammenfassend darstellen, wurden ebenfalls mit oben genannten Programm erstellt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der morphometrischen Untersuchungen sind in Tabelle 1 in ei-

ner Übersicht dargestellt. Die Abb. 1–5 demonstrieren in „scatter plots“ die erhobenen Meßwerte gemessen in Relation zum Alter. In Abb. 6a–h werden Beispiele der Ganzorganschnittpräparate präsentiert, die vor allem die unveränderte Anatomie des kindlichen Larynx in den Mittelpunkt stellen.

Die subglottischen Atemwege vergrößern ihr Lumen in den ersten beiden Lebensjahren im Mittel von 16 auf 24 mm² (s. Abb. 4). Das weitere Wachs-

tum folgt einem linearen Modus. Das relative Verhältnis der Mukosa im Bereich der subglottischen Atemwege verhält sich umgekehrt proportional zum geschilderten Wachstumsverhalten des Atemlumenquerschnitts. Während der Atemweg in den beiden ersten Lebensjahren etwa 50% des subglottischen kartilaginären Querschnitts ausmacht, verändert sich das Verhältnis vom 3. bis zum 5. Lebensjahr auf etwa 30–40%. Anders als bei Erwachsenen und – ver-

gleichbar mit den meisten anderen Säugetierarten – nimmt der kartilaginäre Teil der Glottis bei Kindern unter 2 Jahren 60–75% der Stimmbandlänge ein. Der vordere ligamentäre Anteil der Glottis vergrößert sich erst ab dem 3. Lebensmonat und bildet ab dem 3. Lebensjahr den größeren Anteil der Stimmlippen (Abb. 2, 3).

Die supraglottischen Abschnitte der untersuchten Kehlköpfe zeichneten sich durch die in Relation zum supraglottischen Atemlumen dichte Anordnung von submukösen Drüsen und lockerem Bindegewebe aus (Abb. 6a,b). Wie zu erwarten, wurden nicht unerhebliche, interindividuelle Unterschiede im Untersuchungsgut nachgewiesen. Ein Geschlechtsdimorphismus konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden (Tabelle 1).

Diskussion

Ganzorganserienschnittuntersuchungen des menschlichen Kehlkopfes spielen in der laryngologischen Forschung eine wichtige Rolle [3, 4, 26, 31]. Die Darstellung der normalen und pathologischen Anatomie ist durch diese Techniken wesentlich erleichtert worden, die sich aus diesem Grund in der experimentellen Laryngologie etabliert haben. Die Herstellung von qualitativ hochwertigen Serienschnitten bei Kehlkopfpräparaten stellt, bedingt durch die Kombination verschiedener Gewebetypen wie z.B. Muskel-, Knorpel- und Knochengewebe, eine besondere Herausforderung an die Untersuchungstechniker dar [27, 28].

Konventionelle histologische Verfahren dienten früher als Grundlage um qualitative morphometrische Studien des Kehlkopfes und seine pathologischen Erkrankungen zu analysieren [10]. Allerdings sind die „herkömmlichen“ etablierten Verfahren für die Lösung der wissenschaftlichen Fragestellungen der Laryngologie nicht in jeder Hinsicht befriedigend. Diese Verfahren basieren entweder auf der Einbettung des Präparats in Celloidin oder Paraffin. Mit der Anwendung beider Verfahren muß der Untersucher auch Nachteile in Kauf nehmen. Die Celloidineinbettung nimmt einen Zeitraum von 6 Monaten ein und ist durch den relativ dicken Durchmesser der Präparate für eine histologische Untersuchung nur

eingeschränkt geeignet. Die Paraffin-einbettung ist wesentlich schneller, führt aber bei Aquisition der Serienschnitte durch die Größe der Präparate zu Artefakten. Bei beiden Methoden müssen die Kehlköpfe vor der Bearbeitung dekalkifiziert werden. Die Behandlung der Kehlköpfe mit Säuren wie EDTA führt jedoch vor allem an Weichgeweben zu nicht unerheblichen Veränderungen und Schrumpfungsfaktoren. Gerade diese Probleme limitieren also den Einsatz für die Klärung von Fragestellungen, die endolaryngeale Schleimhäute und deren benachbarte Knorpelgewebe betreffen.

Die Plastinationstechnik wurde erstmals von v. Hagens 1979 beschrieben [34]. Sie ermöglicht den Austausch von Wasser- und Fettanteilen der Gewebe mit einem härtenden Kunststoff auf zellulärer Ebene. Die Technik selbst beinhaltet vier Arbeitsschritte: Fixierung, Dehydratation, Forcierte Imprägnierung und Härtung. Die Technik wurde in früheren Arbeiten detailliert beschrieben [4, 27, 28]. Die erzielten Serienschnittpräparate sind trocken, geruchlos und für eine unbegrenzte Zeit haltbar [4]. Der Grad der Gewebeveränderung der durch die Plastinationstechnik hervorgerufen wird ist begrenzt. Die Ganzorganplastination erlaubt aus diesen Gründen, bei angemessenem Zeit- und Kostenaufwand, die Herstellung von qualitativ hochwertigen Serienschnitten, die einer makroskopischen und morphometrischen Beurteilung zugänglich sind [28].

Frühere Studien über den kindlichen Kehlkopf haben die anatomische Konfiguration der perinatalen [24, 33], präpubertären [12] und pubertären [13] Entwicklung dargestellt. Zur Veränderung der Kollagenfasern in den Stimmlippen liegen ebenfalls Publikationen von mehreren Autoren vor [2, 21, 29]. Pracy hat versucht mit unterschiedlichen endotrachealen Tuben die engste Stelle des subglottischen Atemweges zu ermitteln [20]. Die Arbeiten von Sellars [25] und Too-Chung [30] präsentieren Daten, die an unfixierten kindlichen Kehlköpfen mit mit Zirkeln erhoben wurden.

Die oben erwähnten Untersuchungen stellten die Darstellung der Entwicklung des Ringknorpels in den Mittelpunkt. Eine suffiziente Ermittlung und Vermessung der Glottis und ihrer

umgebenden Strukturen war mit diesen Methoden jedoch schwierig, wenn nicht sogar unmöglich [5]. Tucker hat 1977 als erster anhand einer Serienschnittstudie an perinatalen Kehlköpfen, die V-artige Konfiguration der hinteren Ringknorpelspanne beschrieben [33].

Der menschliche Kehlkopf vollzieht in den ersten Lebensjahren ausgeprägte morphologische und funktionelle Veränderungen [15]. Erwähnt werden sollen hierbei die Absenkung des Kehlkopfes in Relation zur Wirbelsäule, die Entwicklung der Fähigkeit zur willkürlichen Funktion der Stimmlippen mit der Veränderung in Position, Spannung und Form und der Wandel der Konfiguration von einem prominenten kartilaginären hin zu einem prominenten membranösen Teil der Stimmlippe. Der Kehlkopf eines Kindes kann also nicht als „Miniaturausführung“ eines Erwachsenenkehlkopfes betrachtet werden [2]. Die vorliegende Studie liefert morphometrische Daten, die das Wachstum und die Änderung der Dimensionen des Kehlkopfes während der ersten 5 Lebensjahre dokumentieren. Die erhobenen Daten lassen den Schluß zu, daß die Entwicklung des menschlichen Kehlkopfes – im Gegensatz zu anderen Vertebraten – bis zur Geburt nicht vollständig vollzogen und einer postnatalen Reifung unterworfen ist. Die Wandel der Proportionen zwischen den kartilaginären und den membranösen Anteilen der Stimmlippen dokumentiert diesen Reifungsprozeß anschaulich: während der hintere „respiratorische“ Glottisanteil zwischen 60 und 75% der gesamten Glottislänge des Neugeborenen ausmacht, verringert sich dieser Anteil in den ersten 5 Lebensjahren kontinuierlich bis er schließlich im 5. Lebensjahr fast den Verhältnissen des adulten Kehlkopfes (30–45% [6, 9]) entspricht.

Wie Tabelle 1 zeigt, ermittelten wir den subglottischen Atemweg für die Gruppe der 13–24 Monate alten Kinder etwas größer als denjenigen der Trachea. Diese Befunde widersprechen der üblichen Einschätzung in der Literatur, wonach im Kindesalter der subglottische Atemweg stets enger sein soll als derjenige in der Trachea. Es ist denkbar, daß es sich hierbei um eine meßtechnische Artefakt handelt, wenn bei der Anfertigung der Serienschnitte der tatsächliche engste Querschnitt des sub-

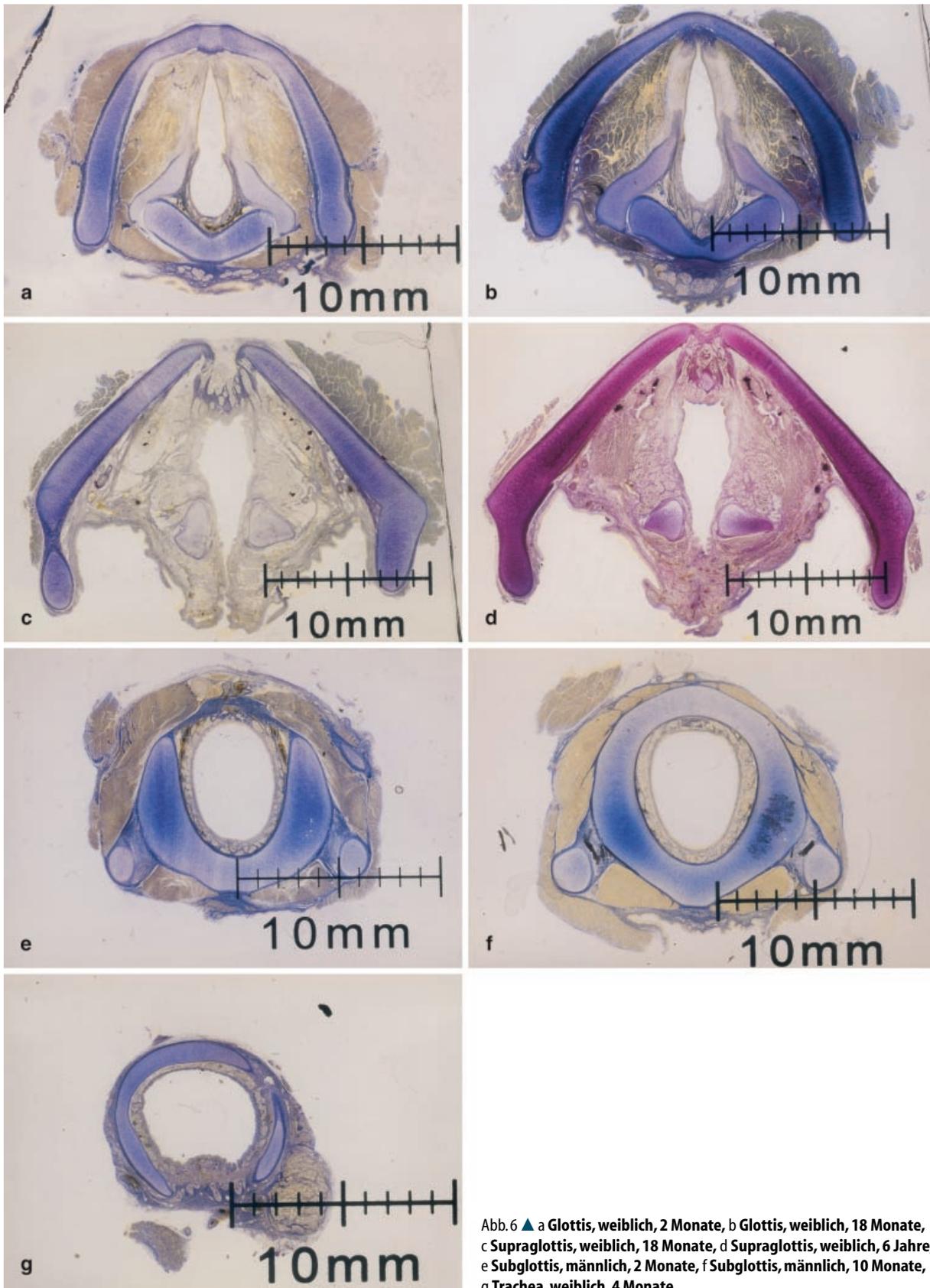


Abb. 6 ▲ a Glottis, weiblich, 2 Monate, b Glottis, weiblich, 18 Monate, c Supraglottis, weiblich, 18 Monate, d Supraglottis, weiblich, 6 Jahre, e Subglottis, männlich, 2 Monate, f Subglottis, männlich, 10 Monate, g Trachea, weiblich, 4 Monate

glottischen Atemwegs gerade nicht erfaßt worden wäre. Andererseits ist es aber auch denkbar, daß die eigenen, hier ermittelten Meßwerte den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen, denn die bis heute allgemein vertretene gängige Lehrmeinung ist durch entsprechende morphometrische Untersuchungen nicht belegt. Der hier aufgedeckte Widerspruch wird daher wohl erst durch weitere Untersuchungen in der Zukunft geklärt werden können.

Anders als bei Erwachsenen [5], und in Übereinstimmung mit der Literatur [13], konnte ein Geschlechtsdimorphismus in diesem Untersuchungsgebiet nicht nachgewiesen werden.

Fazit für die Praxis

Die Studie liefert detaillierte morphometrische Daten, die das Wachstum und die Änderung der Dimensionen des Kehlkopfes während der ersten 5 Lebensjahre dokumentieren. Erstmals wurden hierbei plastinierte Ganzorganerschnittpräparate zur Analyse der kindlichen Larynxanatomie herangezogen. Derartige Daten können das Verständnis von Erkrankungen der oberen Luftwege im Kindesalter erleichtern, sind aber auch für die Kehlkopfchirurgie bei Kindern als Basisinformation notwendig.

Die Autoren danken Frau Sabine Ricke für die Bearbeitung der Präparate und die Hilfe bei den phototechnischen Arbeiten. Ebenso gebührt der Dank Herrn Gregor Held aus dem Kehlkopf Labor der Universitäts-HNO-Klinik Köln für seine Hilfe bei der Plastination der Präparate.

Literatur

1. Bean JK, Verwoerd Verhoef HL, Verwoerd CD (1994) **Intrinsic and extrinsic factors relevant to the morphology of the growing cricoid ring after a combined anterior and posterior cricoid split: an experimental study in rabbits.** *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 29: 129–137
2. Cohen SR, Perelman N, Mahnovski V, Nimni ME, Cheung DT (1993) **Whole organ evaluation of collagen in the developing human larynx and adjoining anatomic structures (hyoid and trachea).** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 102: 655–659

3. Eckel HE, Koebke J, Sittel C, Sprinzel GM, Pototschnig C, Stennert E (1999) **Morphology of the human larynx during the first five years of life studied on whole organ serial sections.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 108: 232–238
4. Eckel HE, Sittel C, Walger M, Sprinzel GM, Koebke J (1993) **Plastination: a new approach to morphological research and instruction with excised larynges.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 102: 660–665
5. Eckel HE, Sittel C, Zorowka P, Jerke A (1994) **Dimensions of the laryngeal framework in adults.** *Surg Radiol Anat* 16: 31–36
6. Eckel HE, Sittel C (1995) **Morphometry of the larynx in horizontal sections.** *Am J Otolaryngol* 16: 40–48
7. Frazer JE (1910) **The development of the larynx.** *J Anat Physiol* 44: 156–191
8. Fried MP, Kelly JH, Strome M (1982) **Comparison of the adult and infant larynx.** *J Fam Pract* 15: 557–8, 561
9. Friedrich G, Kainz J (1988) **Morphometrie des Kehlkopfes an Horizontalschnitten.** *Laryngol Rhinol Otol* 67: 269–274
10. Glanz H (1984) **Carcinoma of the larynx. Growth, p-classification and grading of squamous cell carcinoma of the vocal cords.** *Adv Otorhinolaryngol* 32: 1–123
11. Hirano M, Kurita S, Kiyokawa K, Sato K (1986) **Posterior glottis. Morphological study in excised human larynges.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 95: 576–581
12. Kahane JC (1978) **A morphological study of the human prepupal and pubertal larynx.** *Am J Anat* 151: 11–19
13. Kent RD, Vorperian HK (1995) **Development of the craniofacial-oral-laryngeal anatomy. A review.** Singular Publishing Group, San Diego, London, pp 26–35
14. Kirchner JA (1989) **Fifteenth Daniel C. Baker, Jr, memorial lecture. What have whole organ sections contributed to the treatment of laryngeal cancer?** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 98: 661–667
15. Kirchner JA, Joseph H (1993) **Ogura Memorial Lecture. The vertebrate larynx: adaptations and aberrations.** *Laryngoscope* 103: 1197–1201
16. Lang J (1992) **Larynx.** In: Naumann HH, Helms J, Herberhold C, Kastenbauer E (Hrsg) *Otorhinolaryngologie in Klinik und Praxis*, Bd. 3: Hals. Thieme, Stuttgart New York, S 271–278
17. Lissner H (1911) **Studies on the development of the human larynx.** *Am J Anat* 12: 27–66
18. O’Rahilly R, Müller F (1984) **Chevalier Jackson lecture. Respiratory and alimentary relations in staged human embryos. New embryological data and congenital anomalies.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 93: 421–429
19. O’Rahilly R, Tucker JA (1973) **The early development of the larynx in staged human embryos. I. Embryos of the first five weeks (to stage 15).** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 82: 1–27
20. Pracy R (1983) **The infant larynx.** *J Laryngol Otol* 97: 933–947
21. Reidenbach MM (1995) **Anatomical considerations of closure of the laryngeal vestibule during swallowing.** *Eur Arch Otorhinolaryngol* 254: 410–412
22. Sasaki CT, Levine PA, Laitman JT, Crelin ES (1977) **Postnatal descent of the epiglottis in man. A preliminary report.** *Arch Otolaryngol* 103: 169–171
23. Sasaki CT (1979) **Development of laryngeal function: etiologic significance in the sudden infant death syndrome.** *Laryngoscope* 89: 1964–1982
24. Schild JA (1984) **Relationship of laryngeal dimensions to body size and gestational age in premature neonates and small infants.** *Laryngoscope* 94: 1284–1292
25. Sellars SL (1983) **The Gavin Livingstone Memorial Lecture. The enigma of the infant larynx.** *Clin Otolaryngol* 8: 371–379
26. Sellars I, Keen EN (1990) **Laryngeal growth in infancy.** *J Laryngol Otol* 104: 622–625
27. Sittel C, Eckel HE, Sprinzel GM, Stennert E (1997) **Plastination of the larynx for whole-organ sectioning.** *Eur Arch Otorhinolaryngol* 254: 93–96
28. Sprinzel GM, Eckel HE, Sittel C, Thumfart WF, Koebke J (1995) **Ganzorganplastination in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde.** *HNO* 43: 282–286
29. Paulsen F, Tillmann B (1997) **Functional and clinical anatomy of the posterior insertion of the human vocal ligament.** *Eur Arch Otorhinolaryngol* 254: 442–448
30. Too-Chung MA, Green JR (1974) **The rate of growth of the cricoid cartilage.** *J Laryngol Otol* 88: 65–70
31. Tucker JA, O’Rahilly R (1972) **Observations on the embryology of the human larynx.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 81: 520–523
32. Tucker JA, Tucker GF (1975) **Some aspects of fetal laryngeal development.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 84: 49–55
33. Tucker GF, Tucker JA, Vidic B (1977) **Anatomy and development of the cricoid: serial-section whole organ study of perinatal larynges.** *Ann Otol Rhinol Laryngol* 86: 766–769
34. von Hagens G (1970) **Impregnation of soft biological specimens with thermosetting resins and elastomers.** *Anat Rec* 194: 247–255

Eingegangen am 10. Dezember 1998
 Angenommen am 7. Juni 1999