

Wachstum und altersabhängige Strukturveränderungen der menschlichen Trachea

G. BENEKE, O. ENDRES, H. BECKER und H. NITSCHKE
Pathologisches Institut der Justus Liebig-Universität Gießen
(Direktor: Prof. Dr. W. SANDRITTER)

Eingegangen am 16. Juli 1966

Für die Physiologie der Atmung hat die Trachea als anatomisches Korrelat des sog. toten Raumes eine Bedeutung. Systematische Untersuchungen über altersbedingte Veränderungen der Luftröhrenstruktur und -funktion sind nicht zahlreich [Zusammenfassung der älteren Literatur s. HART und MAYER (1928)]. Diese Untersuchungen beschäftigen sich meist mit Einzelbeschreibungen oder einzelnen Strukturelementen der Luftröhre, wie z.B. den Trachealknorpeln (LINZBACH, 1944; GLÄSER, 1958; HIERONYMI, 1961). Interessante Studien über altersabhängige Veränderungen der Luftröhrenhistomechanik liegen von HARTUNG (1964) sowie HARTUNG und DÜWELING (1964) vor.

In der vorliegenden Untersuchung sollten das *physiologische Wachstum der Trachea* (s. auch ENGEL, 1950) und die *altersabhängigen Strukturänderungen der Luftröhre nach Abschluß des Wachstums* untersucht werden.

Material und Methode

Die Untersuchungen erfolgten an insgesamt 155 menschlichen Luftröhren. Das untersuchte Material verteilt sich auf folgende Altersklassen (s. Tabelle).

Die Luftröhren wurden aus den Leichen zusammen mit dem Kehlkopf sorgfältig herauspräpariert und am linken Hauptbronchus hinter dem 5. Knorpelring, am rechten Hauptbronchus hinter dem 3. Knorpelring, abgetrennt. Durch das lockere Bindegewebe der Trachealbifurkation wurde ein Faden gezogen, an dem die Trachea aufgehängt werden konnte. Der Kehlkopf wurde bis zur Rima glottis mit Mull verschlossen. Danach wurde die Luftröhre mit heißem, flüssigem Paraffin (ca. 70° C) von den Hauptbronchien her ausgegossen. Nach Abkühlung und Erstarrung des Paraffins wurden die Präparate in 4%igem gepuffertem Formalin 48 Std fixiert und im Bereich der Pars membranacea aufgeschnitten. Die festen Paraffinausgüsse ließen sich so leicht aus der Trachea entfernen.

Die Messung der *Luftröhrlänge* und -*weite* erfolgte an den Paraffinausgüßen von der Rima glottis bis zur Spitze der Bifurkation. Mit einem Stechzirkel wurde in Höhe jedes Knorpelringes der größte transversale und sagittale Durchmesser ermittelt. Die *Knorpelringe* wurden an den fixierten Luftröhren ausgezählt. In der Luftröhre älterer Menschen sind gelegentlich zwei oder sogar mehrere Knorpelringe vollständig oder partiell miteinander verwachsen. Solche zusammengewachsenen Knorpelringe wurden als zwei bzw. drei Knorpelringe gezählt. Das *Volumen der Luftröhren* wurde durch Wasserverdrängung des Paraffinausgusses in einem Meßzylinder ermittelt und in Milliliter angegeben. Zur Kontrolle wurden

Tabelle

Alter	♂	♀
Neugeborene	11	5
1 Monat bis 1 Jahr	1	2
1—4 Jahre	5	1
5—9 Jahre	2	1
10—19 Jahre	4	1
20—29 Jahre	7	3
30—39 Jahre	6	3
40—49 Jahre	6	6
50—59 Jahre	14	12
60—69 Jahre	19	19
70—79 Jahre	15	10
80—89 Jahre	—	1
90—99 Jahre	1	—
Gesamtzahl	92	63

außerdem alle Paraffinausgüsse gewogen. Bei Darstellung des Volumens (ml) und des Gewichtes (g) in einem Koordinatensystem waren beide Parameter linear korreliert. Da das spezifische Gewicht des verwendeten Paraffins bekannt war, ließ sich so das jeweils gemessene Volumen kontrollieren.

Befunde

Beziehungen zwischen Länge der Trachea und Alter. Die Trachea ist bei männlichen und weiblichen Neugeborenen etwa 4 cm lang (Abb. 1a—c). Bis zum Abschluß des Körperlängenwachstums (etwa 20. Lebensjahr) wird die Trachea etwa 11 cm lang. Dies trifft sowohl für Männer wie auch für Frauen zu. Aber auch noch nach dem 20. Lebensjahr verlängert sich die Luftröhre. Die Längenzunahme ist dann allerdings nur noch gering. Sie ist für Männer etwas größer als für Frauen.

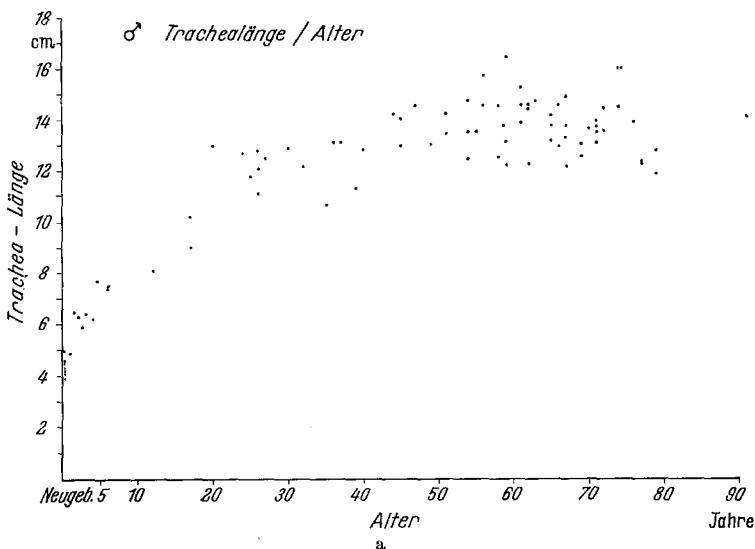


Abb. 1a—c. Beziehungen zwischen Länge der Trachea (cm) und Lebensalter (Jahre). a bei Männern; b bei Frauen; c Vergleich der Mittelwerte bei Männern und Frauen

Beziehungen zwischen Trachealänge und Körperlänge. Vergleicht man die Beziehungen zwischen Trachealänge und Körperlänge bei Männern und Frauen, dann ergeben sich zwei interessante Befunde (Abb. 2a und b). Bis zum Abschluß des Körperlängenwachstums (etwa um das 20. Lebensjahr) ist die Trachea bei beiden Geschlechtern ca. 11 cm lang. Von der Geburt an bis zur Beendigung des Körperwachstums besteht eine lineare Korrelation zwischen Körperlänge und Luftröhrenlänge. Sie ist für beide Geschlechter gleich. Der Anstieg der empirisch ermittelten Gerade in Abb. 2a und b hat den Wert von $a = 0,69$ für Männer und $a = 0,67$ für Frauen.

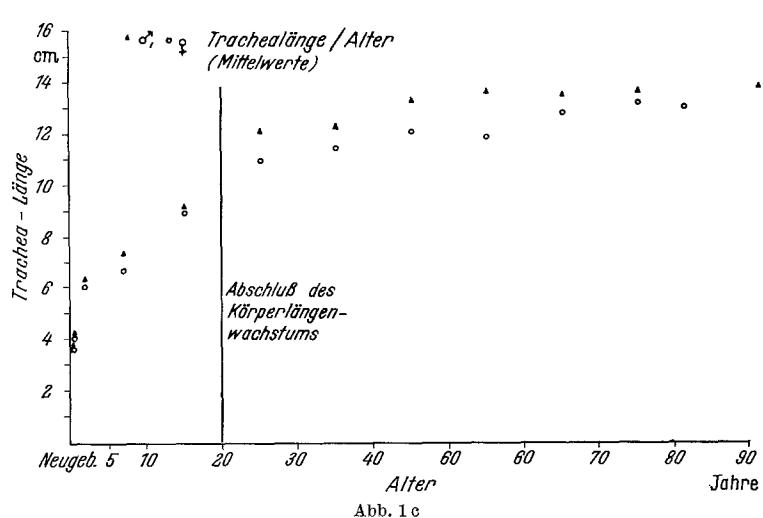
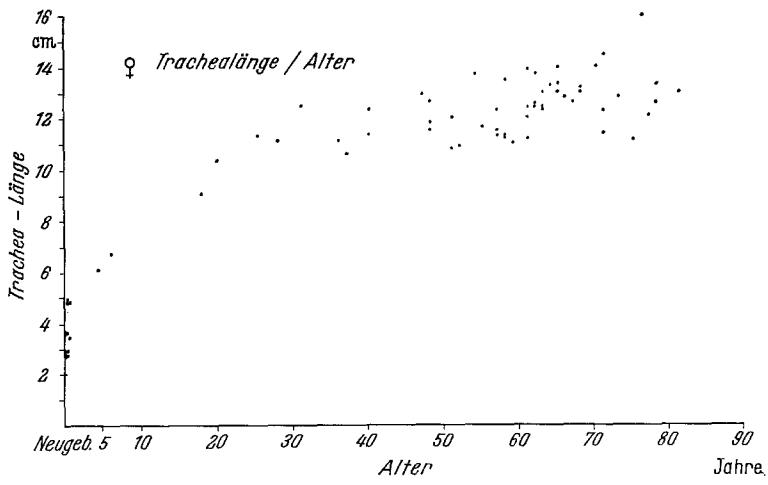
Nach Abschluß des Körperlängenwachstums verlängert sich die Trachea jedoch weiter. Diese Zunahme der Länge ist natürlich nicht mehr mit der Körperlänge korreliert, sondern vom Alter (vgl. Abb. 1a—c) abhängig.

Damit setzt sich die fortdauernde Längenzunahme der Luftröhre während des Lebens aus zwei Komponenten zusammen:

a) einem korrelierten echten Längenwachstum, das mit der Beendigung des Körperlängenwachstums aufhört und

b) einer altersabhängigen nicht auf einem Wachstumsprozeß beruhenden Verlängerung, die bereits nach dem 20. Lebensjahr beginnt.

Beziehungen zwischen der Trachealänge und der Zahl der Knorpelspangen. Wie aus Abb. 3 hervorgeht, nimmt die Zahl der Knorpelspangen während des Lebens nicht zu. Es finden sich beim Neugeborenen genau so viel Knorpelspangen (im



Mittel etwa 17) wie beim erwachsenen und alten Menschen. Das Längenwachstum der Trachea erfolgt somit nicht über eine Vermehrung der Knorpelspangen.

Veränderungen des Tracheavolumens. Das Volumen der Trachea liegt unter unseren Untersuchungsbedingungen bei Neugeborenen um 0,5—1,0 ml (Abb. 4a bis e). Bis zum Ende der Wachstumsperiode (etwa 20. Lebensjahr) vergrößern sich die Volumina für männliche und weibliche Personen etwa in der gleichen Weise. Danach erfolgt für beide Geschlechter eine weitere Trachealvolumenzunahme, die bei Männern aber bedeutend größer ist als bei Frauen. Zwischen

dem 40. und 80. Lebensjahr liegt das mittlere Volumen für männliche Tracheen etwa bei 40 ml, das für weibliche bei 20 ml (Abb. 4c). Da die altersabhängige Längenzunahme bei Männern und Frauen etwa gleich groß ist (vgl. Abb. 1c),

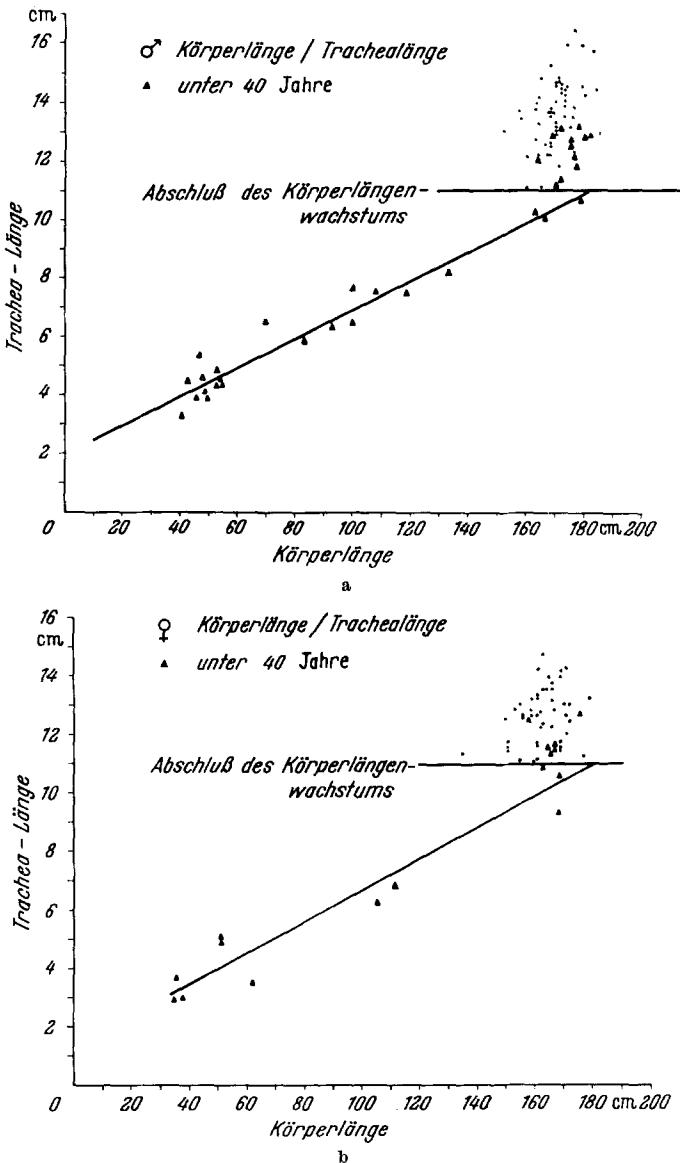


Abb. 2 a u. b. Beziehungen zwischen Länge der Trachea (cm) und Körperlänge (cm). a bei Männern; b bei Frauen

muß die starke Volumenzunahme der Trachea bei Männern, vom 20.—30. Lebensjahr an beginnend, auf einer erheblichen Querschnittserweiterung der Luftröhre beruhen. Inwieweit hierbei ein chronisch-substantielles Lungenemphysem oder eine chronische Bronchitis (bei Männern häufiger als bei Frauen) eine Rolle spielt, wurde in den vorliegenden Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Diese Feststellung wird bekräftigt, wenn man die Ergebnisse in Abb. 5 zu grunde legt. In dieser Abbildung sind die Trachealvolumina in Beziehung zur Trachealänge aufgetragen. Nimmt man (in Annäherung) an, daß die Trachea die Form eines Zylinders hat, dann gilt die Formel:

$$V = \pi r^2 h \quad \text{oder} \quad V/h = \pi r^2.$$

V = Volumen; r = Radius; $\pi = 3,14$; h = Höhe = Länge der Trachea

Den Ausdruck V/h stellt die Kurve in Abb. 5 dar. Die Kurve muß natürlich auch gemäß der obigen Formel für πr^2 gelten. Daraus folgt wiederum aus Abb. 4, daß die Luftröhrenquerschnitte jenseits des Abschlusses des Körperlängenwachstums für Männer bedeutend größer sind als für Frauen.

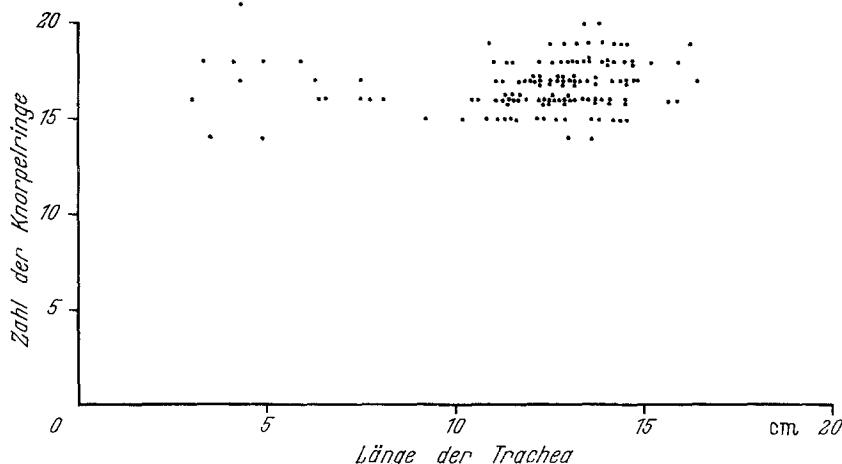


Abb. 3. Beziehungen zwischen Länge der Trachea (cm) und Anzahl der Knorpelspangen

Nach dem Abschluß des korrelierten Luftröhrenwachstums verändert sich das Luftröhrenvolumen durch:

- a) eine altersabhängige Verlängerung der Luftröhre, die bei Männern und Frauen gleiche Größe hat und
- b) eine Vergrößerung des Querschnittes der Luftröhre, die besonders bei Männern zu beobachten ist.

Veränderungen der Tracheastruktur. Die altersabhängige Querschnittsvergrößerung betrifft nicht alle Abschnitte der Luftröhre gleichmäßig. Durch die Ausmessung der Paraffinausgüsse jeweils in der Höhe der einzelnen Knorpelspangen, konnte diese Feststellung begründet werden. Es ließen sich Strukturveränderungen nachweisen, die bei Männern und Frauen unterschiedlich sind. Die Lage der ausgemessenen und in den Abb. 7—10 dargestellten Durchmesser geht aus der Skizze in Abb. 6 hervor.

Veränderung der Tracheastruktur bei Männern. Im Kleinkindesalter (1 bis 4 Jahre) ist die Trachea ein in allen Abschnitten gleichweites Rohr (Abb. 7, Kurve 1; Abb. 8, Kurve 1). Der transversale Durchmesser beträgt im Mittel 8 mm, der sagittale 7 mm. Bereits während des Wachstums, im Alter von 5 bis 9 Jahren, weitet sich die Trachea ungleichmäßig aus. Es kommt zu einer nahezu gleichförmigen Ausweitung in sagittaler Richtung zwischen den Knorpelringen

3—14 (Abb. 7, Kurve 2). In der transversalen Ebene entstehen zwei Ausbuchtungen: einmal zwischen den Knorpelringen 3—9 und zum anderen vor der Bifurkation zwischen den Knorpelringen 14—18 (Abb. 8, Kurve 2). Im Alter

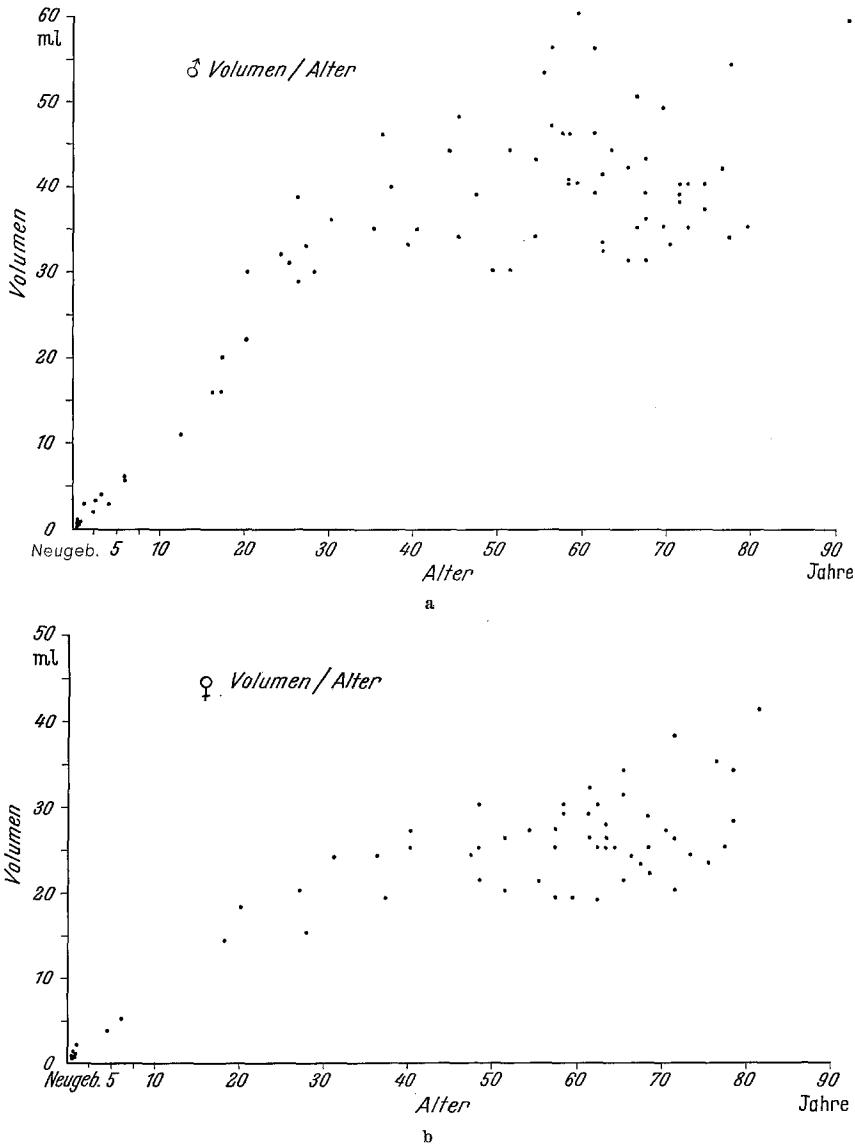


Abb. 4 a—c. Beziehungen zwischen Volumen der Trachea (ml) und Lebensalter (Jahre). a bei Männern; b bei Frauen

zwischen 10—19 Jahren verdeutlicht sich bei gleichzeitigem Wachstum der Trachea diese Ausweitung (Abb. 7, Kurve 3; Abb. 8, Kurve 3). Vom 20. Lebensjahr an, ist für die Weite der Trachea am 1. Knorpelring und am letzten Knorpelring (Knorpelring 18) ein Endpunkt erreicht. Für den Knorpelring 1 beträgt der sagittale Durchmesser jetzt im Mittel 19,5 mm und der transversale um 18 mm.

Die gleichen Werte betragen für den letzten Knorpelring: sagittale Durchmesser 16 mm, transversale 20 mm (vgl. Abb. 7, Kurven 4, 5 und 6; Abb. 8, Kurven 4, 5 und 6). Strukturänderungen erfolgen jetzt nur noch zwischen diesen beiden

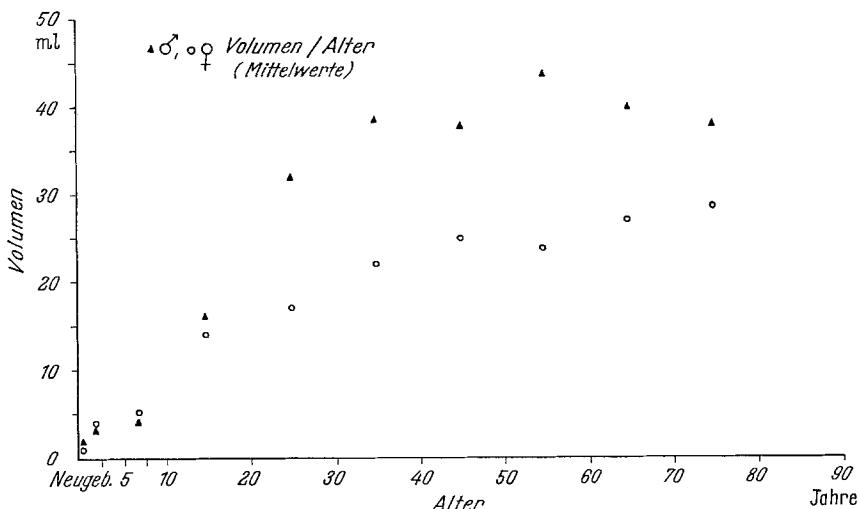


Abb. 4 c. Vergleich der Mittelwerte bei Männern und Frauen

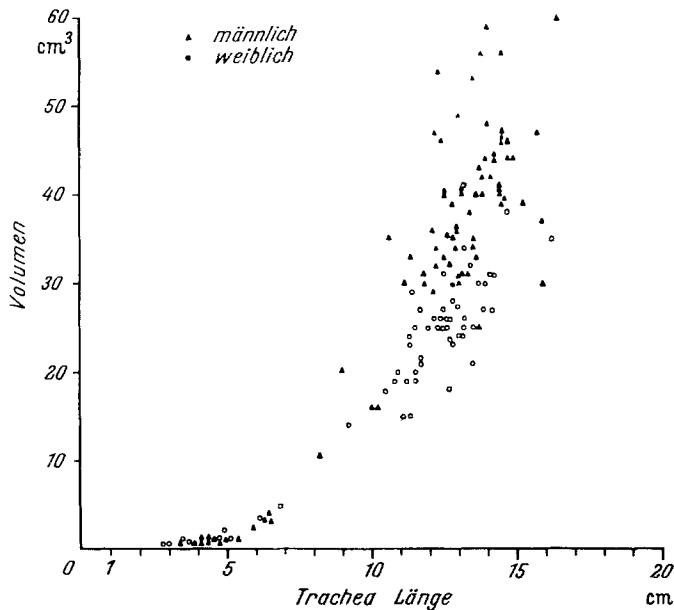


Abb. 5. Beziehungen zwischen Volumen der Trachea (ml) und Länge der Trachea (cm)

Knorpelringen. So dehnt sich der sagittale Durchmesser vornehmlich in der kranialen Luftröhrehälfte weiter aus (Abb. 7, Kurven 4, 5 und 6). Dadurch wird die Trachearückwand (pars membranacea) bauchförmig vorgewölbt. Dieser Prozeß schreitet vom 40.—80. Lebensjahr fort (Abb. 7, Kurven 4, 5 und 6). Auch der transversale Durchmesser verändert sich wesentlich nach dem 20. Lebens-

jahr. Die beiden Ausweitungen, wie sie sich bei 10—19jährigen finden (Abb. 8, Kurve 3), fließen zwischen dem 20. und 39. Lebensjahr weitgehend zusammen (Abb. 8, Kurve 4). Zwischen dem 40.—59. Lebensjahr weitet sich die Trachea vornehmlich in den unteren zwei Dritteln weiter aus (Abb. 8, Kurve 5). Sie ist in ihrem Mittelteil jetzt weiter als im cranialen und caudalen Teil. Nach dem 60. Lebensjahr ist eine eigenartige Umgestaltung festzustellen. Im mittleren Teil der Trachea nimmt der transversale Durchmesser wieder um ca. 4 mm ab (Abb. 8, Kurve 6). Die Alterstrachea nähert sich somit also der Säbelscheidenform.

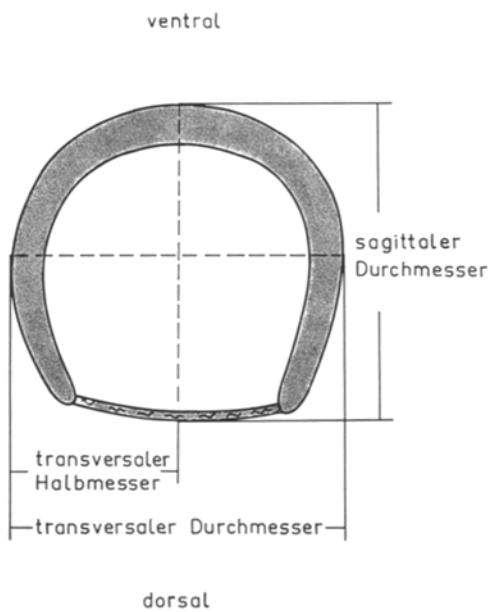


Abb. 6. Lage der in den Abb. 7—10 dargestellten Durchmesser, bezogen auf eine Knorpelspange

Veränderungen der Tracheastruktur bei Frauen. Da bis zum Abschluß des Wachstumalters die Veränderungen der Luftröhre von männlichen und weiblichen Individuen etwa gleichartig sind (vgl. Abb. 7 und 8, Kurven 1, 2 und 3), wurden bei den Frauen nur die Fälle über 20 Jahre ausgewertet. Im sagittalen Durchmesser verändert sich die Luftröhre der Frauen mit zunehmendem Alter analog wie die der Männer ohne jedoch die gleichen absoluten Maße zu erreichen (Abb. 9, Kurven 4, 5 und 6). Es kommt vornehmlich in der oberen Hälfte zu einer Ausweitung nach dorsal. In der unteren Hälfte der Luftröhre ist die Ausweitung auch nachweisbar, jedoch wesentlich geringer als im cranialen Anteil. In der Nähe der Bifurkation verändert sich der sagittale Durchmesser nicht. Der transversale Durchmesser der Luftröhre wird zwischen 20—39 Jahren glockenförmig nach caudal weiter. Die Ausweitung beginnt etwa in Höhe des 6. Knorpelringes (Abb. 10, Kurve 4). Mit zunehmendem Alter weiten sich auch die cranialen Anteile (Abb. 10, Kurve 5) aus. In der unteren Hälfte der Luftröhre ist nun ein Endzustand in der Strukturveränderung erreicht. Zwischen 60—79 Jahren erfolgt nur noch eine geringe Vergrößerung des transversalen Durchmessers in der kranialen Hälfte der Trachea (Abb. 10, Kurve 6). Im Gegensatz zu den Tracheen

der Männer, erfolgt bei den Frauen im höheren Alter keine Umgestaltung im Sinne der Säbelscheidentrachea.

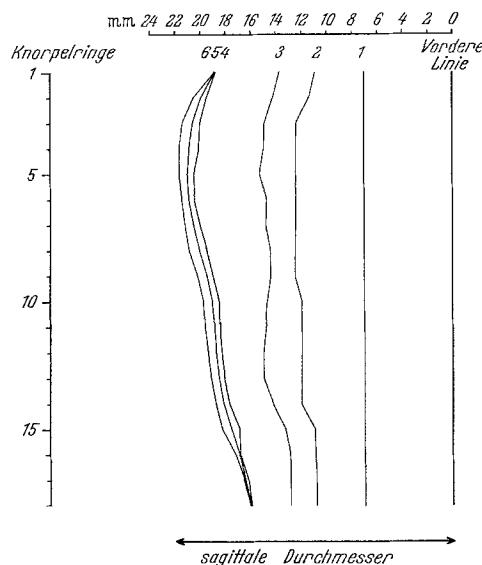


Abb. 7. Veränderungen des sagittalen Durchmessers der Luftröhre in Höhe der einzelnen Knorpelspangen in Abhängigkeit vom Lebensalter (Mittelwerte) bei Männern

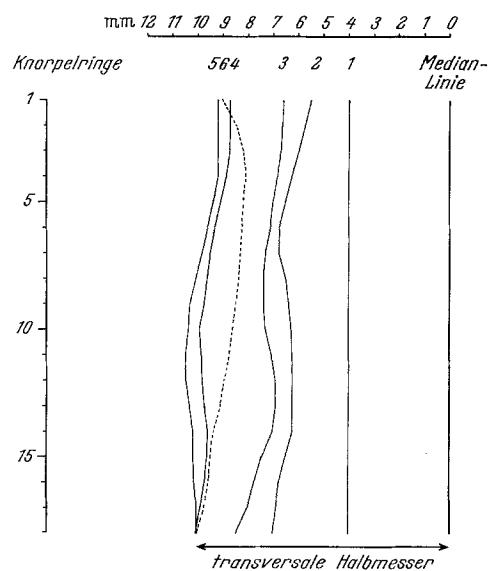


Abb. 8. Veränderungen des transversalen Durchmessers der Luftröhre in Höhe der einzelnen Knorpelspangen in Abhängigkeit vom Lebensalter (Mittelwerte) bei Männern

Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich mit zwei Fragen:

1. Wie erfolgt das Wachstum der Trachea und
2. wie wirken sich nach Abschluß des Wachstums die dauernden rhythmischen Druckschwankungen im Lumen der Trachea auf ihre Struktur aus?

Das physiologische Wachstum der Trachea (Längenwachstum) ist mit dem Körperlängenwachstum linear korreliert und findet mit ihm seinen Abschluß.

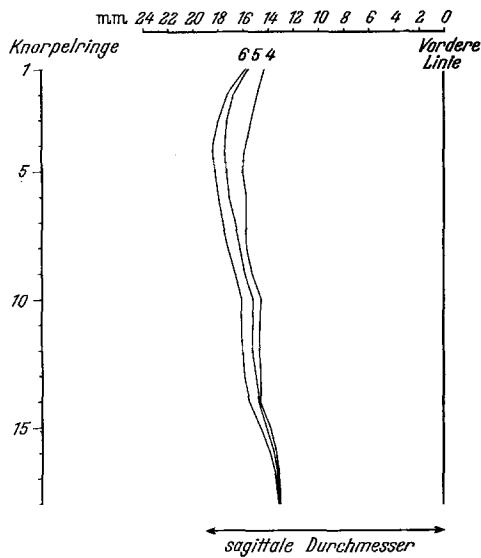


Abb. 9. Veränderungen des sagittalen Durchmessers der Luftröhre in Höhe der einzelnen Knorpelspangen in Abhängigkeit vom Lebensalter (Mittelwerte) bei Frauen

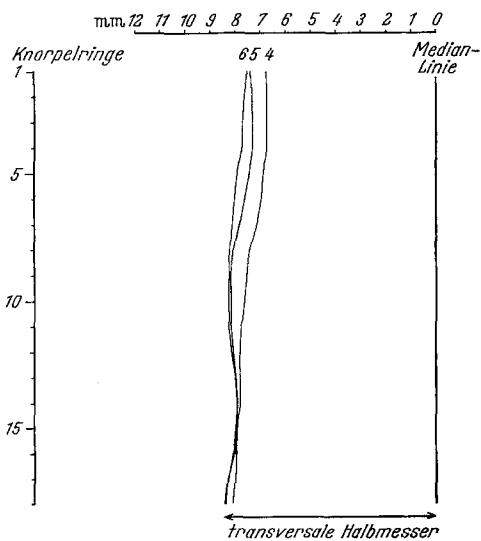


Abb. 10. Veränderungen des transversalen Durchmessers der Luftröhre in Höhe der einzelnen Knorpelspangen in Abhängigkeit vom Lebensalter (Mittelwerte) bei Frauen

Die Trachea wächst in dieser Zeit von 4 cm bei Neugeborenen zu einer Länge von 11 cm bei Männern und Frauen. Das Längenwachstum geht ohne Vermehrung der Knorpelringe vor sich. Es wachsen aber die einzelnen Knorpelringe, wobei die Wachstumsrate der Knorpelringe in craniocaudaler Richtung größer ist und länger anhält als in ventro-dorsaler Richtung. Der Querschnitt des Knorpelringes wird dadurch zu einer Ellipse, was für die Ernährung des gefäßlosen Knorpels

von Bedeutung ist (BENEKE u. Mitarb., 1966). In diesem Alter bereits erfährt die Luftröhre eine Strukturveränderung. Während bei ca. 4jährigen Kindern die Trachea noch ein gleichförmiges Rohr darstellt, dehnt sich im folgenden Alter die Pars membranacea leicht nach dorsal aus. Wie HARTUNG (1964) sowie HARTUNG und DÜWELING (1964) zeigen konnten, beantwortet die Trachea in diesem Alter jedoch eine Druckerhöhung im Lumen in erster Linie noch durch Längsdehnung. Dadurch wird der sagittale Durchmesser der Trachea vergrößert, der transversale Durchmesser wird verkleinert.

Nach *Abschluß des Körperlängenwachstums* muß man hinsichtlich Funktion und Struktur der Trachea zwei Perioden unterscheiden. *Vom 20.—60. Lebensjahr* erfolgt bei beiden Geschlechtern weiterhin eine Volumenzunahme der Luftröhre. Sie ist allerdings nicht mehr so stark wie während der Wachstumsperiode, für Männer aber größer als für Frauen. Die Volumenvermehrung ist einmal durch eine Längenzunahme bedingt, die jetzt nicht mehr mit der Körperlänge linear korreliert ist. Sie ist bereits als beginnende Ptose der inneren Organe aufzufassen. Gleichzeitig mit der Längenzunahme setzt eine Vergrößerung des Querschnittes ein. Diese ist in den einzelnen Tracheaabschnitten unterschiedlich. Im cranialen Bereich kommt es vornehmlich zu einer Ausweitung in dorsaler Richtung mit Ausbuchtung der Pars membranacea. Sie ist durch eine Atrophie vornehmlich der längs verlaufenden elastischen Fasern in der Pars membranacea bedingt (PRZEWOSKI, 1898; YOKOYAMA, 1914). Diese Ausweitung schreitet von cranial nach caudal fort. Im mittleren und caudalen Abschnitt weitet sich die Trachea in transversaler Richtung aus. Diese Ausweitung beginnt unterhalb der Schilddrüse. Diese Strukturänderung ist nach den Untersuchungen von HARTUNG (1964), HARTUNG und DÜWELING (1964) mit einem stärkeren transversalen Dehnungsablauf bei Drucksteigerungen erklärbar.

Zwischen dem *60.—80. Lebensjahr* bleiben Tracheallänge und -volumen im Mittel weitgehend konstant. Die Struktur verändert sich bei Männern und Frauen jetzt jedoch unterschiedlich. Während bei Frauen die transversale Ausweitung gering zunimmt, kommt es bei Männern zu einer Verengung des transversalen Durchmessers. Ihre Luftröhre nähert sich im hohen Alter der Säbelscheidenform. Diese Umgestaltung ist mit der stärkeren Verkalkung und Verknöcherung der Trachealknorpelringe von Männern erklärbar (SIMMONDS, 1905; LINZBACH, 1944). Durch den Wachstumsdruck des Knochens in Richtung der Trachealknorpellängsachse werden die Enden der hufeisenförmigen Knorpelringe einander genähert (LINZBACH, 1944). HARTUNG (1964) konnte zeigen, daß unter diesen Bedingungen bei älteren Menschen der Dehnungsablauf vornehmlich nur noch in sagittaler Richtung durch Dehnung der Pars membranacea erfolgen kann.

Struktur und Funktion der Luftröhre sind somit mindestens in drei Lebensabschnitten unterschiedlich. Die Veränderungen sind als physiologisches Wachstum bzw. als Alterung aufzufassen. Sie bieten die Grundlage für das Verständnis krankhafter Veränderungen.

Zusammenfassung

Untersucht wurden 155 Luftröhren menschlicher Leichen. Die Luftröhren wurden mit Paraffin gefüllt und an den Ausgußpräparaten Volumen, Länge und Durchmesser bestimmt. Diese Werte wurden mit dem Alter korreliert. Die Trachea verlängert sich bis zum Abschluß des Körperlängenwachstums. Während

dieser Periode dehnt sich die Luftröhre zuerst kontinuierlich in allen Teilen später diskontinuierlich in der Mitte aus. Auch nach Abschluß des Körperlängenwachstums vergrößert sich die Länge (beginnende Ptose). Die Ausweitung erfolgt in dieser Phase besonders in der Mitte (Vergrößerung des transversalen Durchmessers der Luftröhre). In der kranialen Partie der Trachea vergrößert sich der sagittale Durchmesser.

Im späteren Alter (60—80 Jahre) verengt sich bei Männern das Lumen der Luftröhre (Säbelscheidentrachea). Bei Frauen dagegen erfolgt in dieser Phase eine geringfügige weitere Ausweitung.

Growth and Age-Dependant Structural Changes of the Human Trachea Summary

One hundred and fifty-five tracheae from human autopsies were studied. The tracheae were filled with paraffin and the volume, length and diameter were determined from the casts. These values were correlated with the age. The trachea increases in length up to cessation of body growth. During this phase the trachea enlarges in all parts continuously, but later irregularly, especially in the midportion. Even after cessation of body growth the trachea increases in length (beginning ptosis). Dilatation of the trachea in this phase occurs especially in the mid-portion (increase of the transversal diameter). In the upper part of the trachea the sagittal diameter increases greatly. In later years (60—80 years) the lumen of the trachea in men becomes narrowed (sabre-sheath trachea). In women, however, the lumen undergoes a slight widening during this phase.

Literatur

- BENEKE, G., O. ENDRES, H. BECKER u. R. KULKA: Über Wachstum und Degeneration des Trachealknorpels. (Im Druck, 1966).
- ENGEL, S.: Die Lunge des Kindes. Stuttgart: Georg Thieme 1950.
- FRÄNKEL, E.: Anatomisch-röntgenologische Untersuchungen über die Luftröhre. Fortschr. Röntgenstr. **20**, 267—284 (1913).
- GLÄSER, A.: Zur biorheutischen Orthologie und Pathologie der Tracheobronchialknorpel. Z. Alternsforsch. **12**, 257—273 (1958).
- HART, C., u. E. MAYER: Kehlkopf, Luftröhre und Bronchien. In: HENKE, F. u. O. LUBARSCH, Handbuch der Speziellen Pathologischen Anatomie und Histologie, Bd. 3/I. Berlin: Springer 1928.
- HARTUNG, W.: Zur Histomechanik der Trachea. Verh. dtsch. Ges. Path. **48**, 330—331 (1964).
- , u. A. DÜWELING: Histomechanische Messungen an menschlichen Leichentracheen. Medicina thoracalis **21**, 257—274 (1964).
- HIERONYMI, G.: Über den durch das Alter bedingten Formwandel menschlicher Lungen. Ergebni. allg. Path. path. Anat. **41**, 1—62 (1961).
- LINZBACH, A. J.: Vergleich der dystrophischen Vorgänge an Knorpel und Arterien als Grundlage zum Verständnis der Arteriosklerose. Virchows Arch. path. Anat. **311**, 432—508 (1944).
- OPPIKOFER, E.: Wachsparaffinausgüsse der Luftröhre, *in situ* der Organe hergestellt. Arch. Laryng. Rhin. (Berl.) **27**, 1—10 (1914).
- PRZEWOSKI, E.: Über Divertikel der Trachea. Arch. Laryng. Rhin. (Berl.) **8**, 422 (1898).
- SIMMONDS, M.: Über Alterssäbelscheidentrachea. Virchows Arch. path. Anat. **179**, 15—28 (1905).
- YOKOYAMA, Y.: Untersuchungen über den elastischen Apparat des Tracheobronchialbaumes, seine physiologische und pathologische Bedeutung. Arch. Laryng. Rhin. (Berl.) **28**, 389—407 (1914).