

Die geschichtliche Entwicklung der Intensiv- medizin in Deutschland

Zeitgenössische Betrachtungen

Beatmung

Die Beatmung als intensivmedizinisches Verfahren ist eine Errungenschaft des 20. Jahrhunderts. Zwar bestand schon zu früheren Zeiten umfangreiches anatomisches und physiologisches Wissen über die Funktion des respiratorischen Systems, wie zahlreiche historische Darstellungen belegen. Paracelsus hat im Jahr 1530 wohl als Erster einen Patienten über ein Mundstück mit einem Blasebalg beatmet. Die physiologischen Experimente und Demonstrationen von Andreas Vesalius (1555) [1] und Robert Hooke (1667) [2] bewiesen, dass Tiere nach ausgedehnter Thorakotomie durch die rhythmische Inflation der Lungen mit Hilfe von Blasebälgen am Leben erhalten blieben. Die Anwendung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in der Medizin war zum damaligen Zeitpunkt jedoch keineswegs akzeptiert und konnte für Forscher wie Ärzte ernste Konsequenzen nach sich ziehen. Bei schwer kranken Patienten wurde das Versiegen der Atmung zudem als Zeichen des nahenden Todes gewertet, so dass weitere ärztliche Maßnahme sich erübrigten. Die Beatmung ist eng verknüpft mit der Entwicklung der modernen Intensivmedizin, welche die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen zum Ziel hat. Es ist bemerkenswert, dass es sich bei der Beatmung von kritisch kranken Patienten um die erweiterte Indikation eines Behandlungsprinzips handelte, welches in der Anästhesie v.a. bei thoraxchirurgischen Eingriffen seit längerem angewendet wurde.

T. Hachenberg · B. Pfeiffer

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald

Folge 15: Beatmung, Tracheotomie und prolongierte Intubation

Erste klinische Anwendung der endotrachealen Intubation und intermittierenden Überdruckbeatmung

Trendelenburg hatte 1869 in Deutschland erstmalig bei Patienten die Intubation der Trachea für Operationen an den oberen Luftwegen durchgeführt [3]. Ein aufblasbarer Ballon war am Ende eines Tracheotomietubus angebracht und ermöglichte eine Abdichtung der Trachea, so dass während der Operation die Aspiration von Blut verhindert werden konnte. Die transorale Intubation warf hingegen bei Patienten oft erhebliche Schwierigkeiten auf. Kirstein konstruierte 1895 in Berlin das „Autoskop“ zur direkten Laryngoskopie, empfahl jedoch nicht die Routineanwendung des Instruments zur Platzierung eines Endotrachealtubus [4]. Die kontinuierliche Insufflation der Trachea mit Luft oder Sauerstoff war von dem deutsch-amerikanischen Physiologen Meltzer beschrieben und auch in der Chirurgie mit gutem Erfolg angewendet worden [5, 6]. Die Metallkanüle wurde jedoch nicht unter direkter Laryngosko-

pie in die Trachea eingeführt, sondern transoral ohne Sicht oder durch externe Palpation des Halses. Zwischen 1900 und 1910 entwickelte Kuhn in Kassel flexible metallene Endotrachealtuben und verschiedene Anästhesieapparate zur Überdruckbeatmung und wies damit bereits den Weg in die Zukunft der respiratorischen Therapie [7].

Das Druckdifferenzverfahren

Die weitere Entwicklung dieser und anderer vielversprechender Techniken wurde jedoch zurückgeworfen durch die Präsentation des Sauerbruchschen Druckdifferenzverfahrens (1904). Das Prinzip bestand darin, in einer geschlossenen Kammer einen Unterdruck zu erzeugen, der dem Pleuradruck entsprach, so dass nach Thorakotomie die Lunge

Prof. Dr. Dr. T. Hachenberg

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Friedrich-Loeffler-Straße 23b, 17487 Greifswald

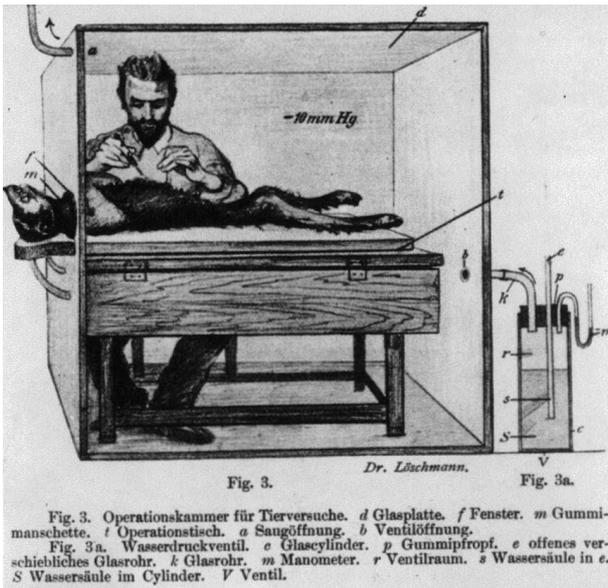


Abb. 1 ◀ Die Negativdruckkammer von Sauerbruch (aus [9]). Das Druckdifferenzverfahren dominierte in Deutschland bis zum Ausbruch des 2. Weltkriegs, obwohl schon früher effektivere Methoden zur Beatmung entwickelt worden waren

nicht kollabierte und eine Spontanatmung weiterhin möglich war [8]. Zwar schlug die initiale Demonstration in von Mikulicz' Breslauer Klinik fehl, aber nach intensiven Verbesserungen der Negativdruckkammer konnte Sauerbruch erfolgreich thoraxchirurgische Eingriffe bei Hunden vornehmen (Abb. 1) [9]. Zur Anwendung des Druckdifferenzverfahrens bei Patienten war es nur ein kleiner Schritt. Viele Chirurgen übernahmen daraufhin die Sichtweise Sauerbruchs, dass nunmehr das „Pneumothoraxproblem“ gelöst sei und gleichzeitig die Schwierigkeiten bei der Intubation der Trachea vermieden werden konnten. Bis zum Ende der 30er Jahre kamen modifizierte Negativdruckkammern oder die in der Handhabung einfacheren Brauerschen Überdruckapparate für thoraxchirurgische Eingriffe zum Einsatz. Für die Beatmung kritisch kranker Patienten waren die Druckdifferenzgeräte jedoch nicht geeignet.

Frühe experimentelle Ventilatoren

Trotz des erheblichen Einflusses von Sauerbruch, der die Einführung der Überdruckbeatmung in Deutschland für Jahre verhinderte, wurden schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts experimentelle Beatmungsgeräte entwickelt und klinisch eingesetzt. Volhard beschrieb in Dortmund (1908) die „künstliche Atmung durch Ventilation der Trachea“ [10]. Es handelte sich dabei um eine Modifikation der intratrachealen O₂-Insuf-

flation, bei der zusätzlich auf einfache Weise eine effektive CO₂-Elimination erzielt wurde (Abb. 2):

„Der abströmende Sauerstoff oder Luft wird in einen Zylinder geführt, welcher in einem etwas weiteren Zylinder eben in Quecksilber eingetaucht. Durch die zuströmende Luft wird die Lunge gebläht bis der Widerstand, welchen das im äusseren Zylinder emporsteigende Quecksilber bietet, überwunden ist und eine Luftblase entweicht; in diesem Moment kollabiert die Lungen und das Spiel beginnt von neuem. An einem eingeschalteten Wasserstandmanometer kann man leicht die Druckschwankungen der Lungenluft kontrollieren.“

In seiner Veröffentlichung analysierte Volhard nicht nur zutreffend die physiologischen Mechanismen des pulmonalen Gasaustauschs unter apnoeischer Oxygenierung und rhythmischer Ventilation, sondern beschrieb auch die An-

wendung seiner Methode bei einem Patienten mit akutem Atemstillstand:

„Durch Zufall bin ich vor kurzem sogar in die Lage gekommen, den (in Abb. 2) beschriebenen Apparat, der zunächst nur für Tierversuche bestimmt war, auch am Menschen zu erproben.

Bei einem Patienten mit otitischem Hirnabszess, den Herr Kollege Mansberg auf der Ohrenabteilung unseres Krankenhauses operierte, setzte plötzlich während der Operation die Atmung aus. Die Operation musste, als auch nach der Tracheotomie die Atmung nicht wiederkehrte, unter manueller künstlicher Atmung vollendet werden. Als nach 3 h lang fortgesetzter künstlicher Atmung durch rhythmische Thoraxkompressionen die spontane Atmung nicht wiederkehrte, wurde der Apparat mittels T-Rohr an die Trachealkanüle angeschlossen und aus einer Bombe durch ein am Heizkörper erwärmtes Rohr Sauerstoff eingeleitet. Der bis dahin unfühlbare Puls wurde bald besser, regelmässig und blieb mehrere Stunden ganz kräftig; der Apparat funktionierte während der 9 h, die der Kranke noch lebte ganz gleichmässig, in regelmässigem Rhythmus, und liess sich leicht so einstellen, dass auf die passive Blähung der Lunge bei ca. 8 cm Wasserdruck eine negative Phase von -3 bis 4 cm Wasser folgte, in welchem also durch die Saugwirkung des schaukelnden Quecksilbers eine direkte Ansaugung von Lungenluft in der Expiration erfolgte. Der Tod erfolgte trotz ausgiebiger Ventilation 12 h nach Eintritt des Atemstillstandes infolge der schweren Hirnläsion. Die Autopsie ergab eine hochgradige enzephalitische Erweichung in der Umgebung des Hirnabszesses.

Die Tatsache, dass man bei Atemlähmung oder Atemstillstand nur die

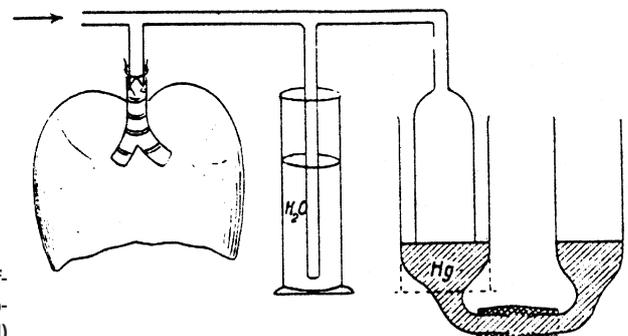


Abb. 2 ▶ Schematischer Aufbau des Insufflationsapparats von Volhard (aus [10])

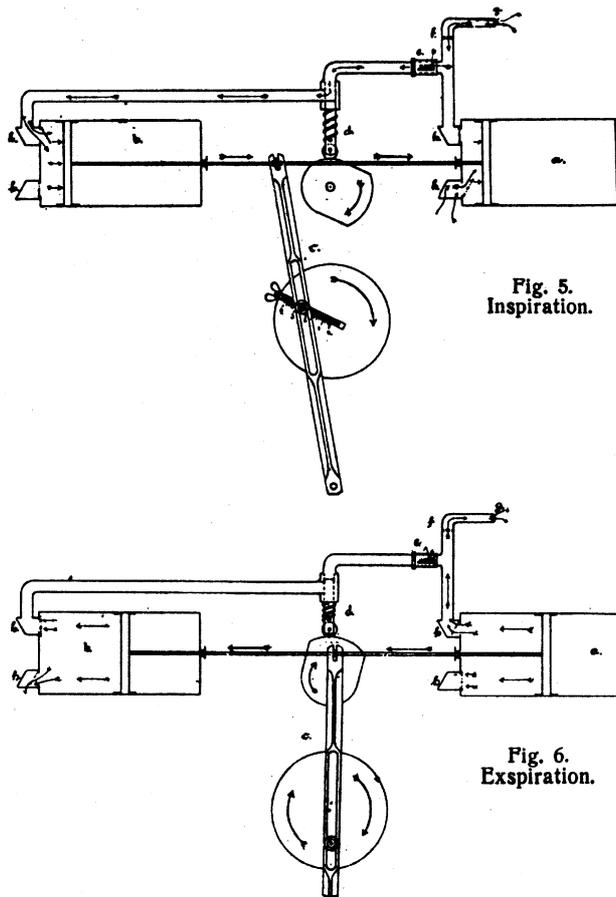


Abb. 3 ▲ Der Doppelpumpenapparat von Läden und Siewers. Über ein pneumatisches Ventil erfolgte die Umschaltung von Inspiration (positiver Atemwegsdruck) und Expiration (negativer Atemwegsdruck), so dass der gesamte respiratorische Zyklus maschinell erfolgte (aus [11])

Trachea mit Sauerstoff zu berieseln braucht, um den Organismus genügend mit Sauerstoff zu versorgen und die grösste Gefahr der sofortigen Erstickung durch Sauerstoffmangel abzuwenden, kann gelegentlich praktisch wichtig werden, denn es wird Zeit gewonnen. Ausserdem gestattet der einfache und leicht improvisierbare Atmungsapparat nicht nur vielfache Verwendung im Laboratorium bei der Kurareanwendung im Tierversuch, sondern er kann auch gelegentlich beim kranken Menschen die für den ausübenden Teil unbequeme und auf die Dauer sehr anstrengende, für den leidenden Teil recht lästige und unangenehme künstliche Atmung durch Thoraxkompressionen ersetzen, auch bei Mediastinaloperationen mit breiterer Eröffnung des Thorax, wo das Unter- oder Ueberdruckverfahren durch ungenügende Beseitigung der Kohlensäure zu Vaguspulsen führt, eventuell mit Nutzen angewandt werden.“

Etwa zur gleichen Zeit wie Vollhard versuchten Läden und Siewers (1910) in Trendelenburgs Leipziger Klinik respiratorische Komplikationen der pulmonalarteriellen Embolektomie zu behandeln [11]. Ein selbst konstruierter Doppelpumpenapparat konnte einen Patienten mit zentral bedingtem Atemstillstand über 9 h am Leben erhalten. Das Verfahren nahm die Wechseldruckbeatmung vorweg, die mehr als 40 Jahre später bei Patienten mit spinobulbärer Paralyse erfolgreich angewendet wurde. Die technischen Modalitäten des Beatmungsgerätes von Läden und Siewers waren erstaunlich modern und umfassten einen Elektromotor, Ventile zur Trennung von Inspirations- und Expirationssystem, eine Einrichtung zur manuellen Beatmung „für den Notfall, dass mitten in der Operation eine Störung der elektrischen Leitung eintreten sollte“ und die Möglichkeit zur Veränderung von Sauerstoffzufuhr und Beatmungsfrequenz (Abb. 3).

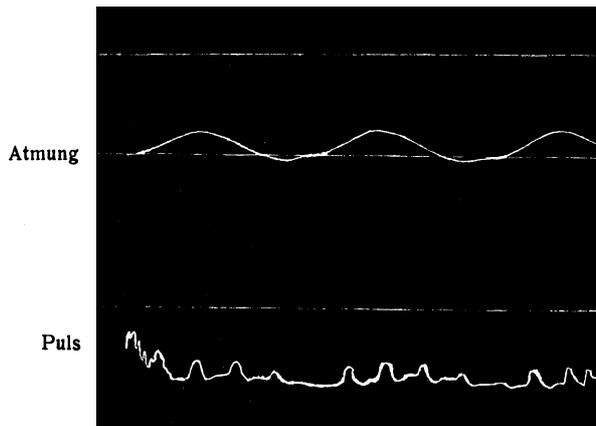
„Der Apparat ist ferner mit einer Einrichtung für Sauerstoffatmung und zur Narkotisierung versehen. Der Sauerstoff wird einer gewöhnlichen Sauerstoffbombe entnommen, die mit einem Luftzuleitungsrohr des Apparats durch einen Drucksicherheitskanal verbunden ist. An der Sauerstoffbombe wird ein Inhaltsmesser mit Reduzierventil und Manometer angebracht. Das Reduzierventil darf bei Oeffnung der Bombe nur einen Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären anzeigen. Durch entsprechend starke Drehung eines Hahnes kann jederzeit die Sauerstoffzuleitung ganz oder zum Teil eingeschaltet werden. Der Apparat gestattet also künstliche Atmung mit:

1. reiner Luft
2. Luft vermengt mit Sauerstoff
3. reinem Sauerstoff
4. Luft mit Narkotikum
5. Luft mit Sauerstoff und Narkotikum

Die Geschwindigkeit des Motors ist so geregelt, dass bei entsprechender Ausschaltung des Anlasswiderstands die künstliche Respiration mit 16 Insufflationen in der Minute eingestellt werden kann. Der Apparat wird also nach der Tracheotomia inferior und Einführung der Tamponkanüle (Der Apparat ist selbstverständlich auch nach dem Kuhn'schen Verfahren mit Tubage zu verwenden) durch drei Handgriffe in Tätigkeit gesetzt: 1. Einschalten der Kraftquelle durch Steckkontakt, 2. Ausschaltung des Widerstandes, 3. Verbindung des Luftzufuhrschlauches mit der Tamponkanüle.“

In ihrer Veröffentlichung dokumentierten Läden und Siewers auch die periodischen Druckverläufe von „Atmung“ und „Puls“ während der „instrumentellen künstlichen Respiration am Menschen“ (Abb. 4) und beschrieben die vielfältigen Möglichkeiten ihres Beatmungsgeräts:

„... Der Apparat soll in erster Linie Verwendung finden bei der Trendelenburgschen Operation der Lungenembolie. Die übrigen Indikationen, bei denen die maschinelle künstliche Atmung und dabei auch unser Apparat gebraucht werden kann, haben eine Besprechung von allen den Autoren gefunden, die sich mit dem Bau ähnlicher Apparate befasst haben. Es handelt sich um Wiederbelebungen bei Vergiftungen, die mit Atemstill-



Puls- und Atmungskurve. 2 Stunden 38 Min. nach Beginn der künstlichen Atmung.

Abb. 4 ◀ **Registrierung der Puls- und Atmungskurve mit dem Sphygmographen von Jacquet während der Beatmung eines Patienten mit Atemstillstand (aus [11])**

stand einhergehen, wie Morphin-, Kohlensäure-, Leuchtgasintoxikationen u. dergl. Hinzufügen möchten wir die Vergiftungsformen, die mit tonischen und klonischen Krämpfen der Respirationsmuskulatur verbunden sind, wie die mit Strychnin und Tetanustoxin. Bei diesen beiden Zuständen wäre erst die Atmungsmuskulatur mit dem gut dosierbaren Kurarin zu lähmen und dann der Apparat in Anwendung zu bringen. Vielleicht gelingt es beim Tetanus traumaticus doch noch, auf diese Weise die schwersten Erkrankungsformen über das akute Stadium hinwegzubringen.

... Auch die Frage, ob die künstliche Respiration berufen ist, bei der Lungenchirurgie eine Rolle zu spielen, ist in letzten Zeit mehrfach diskutiert worden. Sauerbruch geht unseres Erachtens in ihrer Ablehnung zu weit. Unser oben mitgeteilter Fall zeigt doch zunächst, dass einer seiner Haupteinwände, die schädliche Rückwirkung auf die Zirkulation, nicht vollkommen zu Recht bestehen kann: das Herz ist in diesem Falle, wenn auch zeitweilig unter Zuführung von Reizmitteln, 9 h lang in Tätigkeit geblieben und hat den Blutdruck zumeist auf guter Höhe erhalten. Bei intrapleurale Eingriffen kommen derartig lange Zeiträume aber gar nicht in Frage.“

Das Konzept der kontrollierten Beatmung wurde von dem schwedischen Chirurgen Giertz weiter entwickelt, der als Assistent bei Sauerbruch gewesen und vom Druckdifferenzverfahren ebenfalls nicht überzeugt war (1916). In Tierversuchen konnte er zeigen, dass die rhythmische Überdruckbeatmung eine

wesentlich bessere Oxygenierung und CO₂-Eliminierung erzielte [12]. Es gelang Giertz, den Hals-, Nasen-, Ohrenarzt Frencker, den Chirurgen Crafoord und den Ingenieur Anderson für seine Ideen zu begeistern. Dies führte zur Entwicklung verschiedener Endotracheal- und Endobronchialtuben und eines druckgesteuerten Ventilators, dem „Spiropulsator“ [13]. Schwedische Chirurgen erkannten schnell den Nutzen dieses Geräts und setzten es umfangreich bei Operationen ein. Es ist bemerkenswert, dass trotz dieser hervorragenden Kenntnisse und der Tatsache, dass die Grundlagen der Beatmungsphysiologie schon längst bekannt waren, bis 1950 keine Anwendung der intermittierenden Überdruckbeatmung bei kritisch kranken Patienten über einen längeren Zeitraum existierte.

Die intermittierende Negativdruckbeatmung bei respiratorischer Insuffizienz

Eine alarmierende Zahl von schweren Arbeitsunfällen veranlasste 1926 die New Yorker Consolidated Gas Company,

die Entwicklung eines Geräts zur Reanimation nach Elektroschock und Gasvergiftungen zu unterstützen. Der damals sehr verbreitete „Pulmotor®“ der Firma Dräger war vom technischen Prinzip her eine moderne Methode, warf jedoch in der Anwendung Probleme auf [14]. Der Professor für Physiologie an der Harvard Universität, Cecil Drinker und sein Bruder Philipp, ein Ingenieur, konstruierten daraufhin einen „apparatus for prolonged administration of artificial respiration“, welcher später als „Eiserne Lunge“ bezeichnet wurde [15]. Durch eine Pumpe konnte ein positiver oder negativer Druck von bis zu 60 cm H₂O entwickelt werden bei einer Frequenz von 10 bis 40 pro Minute. Das Prinzip der intermittierenden Negativdruckbeatmung war schon 1838 vom schottischen Arzt Dalziel beschrieben worden. Auf der Pariser Weltausstellung 1876 hatte der Franzose Woillez einen Prototyp der „Eisernen Lunge“ vorgestellt, der bereits alle wesentlichen technischen Eigenschaften der späteren Apparate aufwies [16]. Der Tankventilator von Drinker stellte jedoch das erste kommerziell erhältliche und klinisch in größerem Umfang genutzte Beatmungsgerät dar. Während der großen Poliomyelitisepidemien in Los Angeles 1946–1949 wurden Tankventilatoren – teilweise ausgestattet mit einem externen Zusatzgerät für Überdruckbeatmung – mit bemerkenswertem Erfolg eingesetzt (Tabelle 1).

Die Tankventilatoren bestimmten zunächst auch in Deutschland die Behandlung der akuten respiratorischen Insuffizienz bei spinobulbärer Paralyse. Die Medizinische Abteilung des Allgemeinen Krankenhauses Hamburg-Altona unter der Leitung von Prof. Aschenbrenner wurde zum Behandlungszentrum von jugendlichen und erwachsenen Patienten mit Poliomyelitis be-

Tabelle 1
Ergebnisse der intermittierenden Negativdruckbeatmung am Los Angeles County Hospital 1946 – 1949 (nach [44])

Jahr	Anzahl der Patienten mit Poliomyelitis	Anzahl der beatmungspflichtigen Patienten	Mortalität (n [%])
1946	1284	48	38 (79)
1947	402	21	14 (67)
1948	3094	294	123 (42)
1949	1128	130	22 (17)

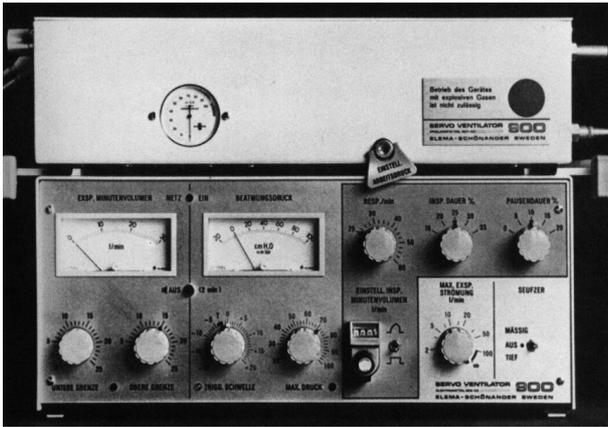


Abb. 5 ◀ Der „Servo 900“ der Firma Siemens

stimmt. In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg wurden dort unter schwierigsten Bedingungen Poliopatienten mit „Eisernen Lungen“ beatmet, die teilweise aus umgebauten Torpedorohren gefertigt waren [17]. Im Jahr 1950 stellte die Firma Dräger einen Tankventilator vor, der während der Polioepidemien große Verbreitung fand. Aschenbrenner veröffentlichte später die Ergebnisse der künstlichen Beatmung von 105 Poliomyelitispatienten, die von 1947 bis 1952 in seiner Abteilung mit Tankventilatoren behandelt worden waren. Von diesen Patienten mit akuter respiratorischer Insuffizienz überlebten 59%, was einen Meilenstein für die Entwicklung der Intensivmedizin in Deutschland bedeutete. Auch die wichtigsten Prinzipien der respiratorischen Therapie wie Anfeuchtung der Atemluft, Verminderung des Atemwegtraumas, physikalische Therapie, manuelle Unterstützung des Hustenstosses, Lagerungsdrainage und das regelmäßige Absaugen von Atemwegssekret wurden in dieser Zeit entwickelt.

Die Entwicklung moderner Beatmungskonzepte

Trotz der Erfolge bei der Behandlung ateminsuffizienter Patienten stellte die „Eiserne Lunge“ keine endgültige Lösung für die Langzeitbeatmung dar. Ein bedeutender Fortschritt in der modernen Intensivmedizin ist dem Anästhesisten Bjørn Ibsen zuzuschreiben. Im Jahre 1952 war Dänemark von einer Poliomyelitisepidemie beispiellosen Ausmaßes betroffen. Vom 24. Juli bis zum 3. Dezember wurden 2 722 Poliofälle ins Kopenhagener Blegdam Hospital überwiesen, von denen 315 eine schwere respiratorische Insuffizienz aufwiesen [18]. Im

Gegensatz zur Situation in Los Angeles standen in Kopenhagen zu Beginn der Epidemie lediglich ein Tank- und sechs Cuirass-Ventilatoren zur Verfügung. Von den ersten 31 Patienten mit Bulbärparalyse starben 27, die Mehrzahl davon innerhalb von drei Tagen. Als beim 32. Patienten, einem 12-jährigen Mädchen, die respiratorische Insuffizienz in ihr finales Stadium trat, wurde Ibsen konsultiert. Schnellstmöglich nahm man eine Tracheotomie vor und beatmete das Kind manuell über eine Trachealkanüle. Zur Verbesserung des Zustands mussten zudem die Behandlung einer schweren Azidose und Kreislaufinsuffizienz mit Infusionslösungen und Bluttransfusionen erfolgen. Damit hatte Ibsen den Nutzen einer intermittierenden Positivdruckbeatmung erneut gezeigt und gleichzeitig die Brücke gespannt zwischen Maßnahmen, welche Anästhesisten in ihrer täglichen Praxis im Operationssaal vornahmen und der Behandlung kritisch kranker Patienten [19]. Die manuelle Überdruckbeatmung war ebenso effektiv wie die intermittierende Negativdruckbeatmung; die Mortalität der spinobulbären Paralyse sank von 87% auf unter 30%. Dieser Erfolg hinterließ einen tiefen Eindruck bei den medizinischen Fachgesellschaften und führte zur Etablierung spezieller intensivmedizinischer Einrichtungen [20–22] und zur raschen Entwicklung von Beatmungsgeräten.

In Deutschland wurde 1952 der druckgesteuerte Poliomat® der Firma Dräger für die kontrollierte Beatmung eingeführt [14]. Der Patient war über eine Trachealkanüle mit dem Gerät verbunden. Eine Umschaltdose erzeugte einen intermittierenden Über- und Unterdruck und steuerte so die In- und Expi-

ration. Diese Positiv-Negativ-Druckbeatmung hatten 40 Jahre zuvor bereits Löwen und Sievers in Leipzig erfolgreich angewendet. Die Beatmungsfrequenz und das Atemhubvolumen ergaben sich beim Poliomat® aus den einstellbaren Beatmungsdrücken, die über ein geeichtes Manometer überwacht wurden. Da bei tracheotomierten Patienten der Nasen-Rachen-Raum ausgeschaltet worden war, setzte man Nickelsiebpakete als Atemluftanfeuchter ein. Parallel entstand der Pulmomat® der Firma Dräger, der an einen Narkoseapparat angeschlossen werden konnte. Es war ein volumen-druck-gesteuertes Gerät für die kontrollierte Beatmung, was durch die zunehmende Verwendung von Muskelrelaxanzien in der Anästhesie notwendig wurde.

Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung von Langzeitbeatmungsgeräten stellte der „Engström-Universal-Respirator“ dar, der auch in Deutschland vielfach angewendet wurde. Gestützt auf die ersten Ergebnisse von Blutgasanalysen bei beatmeten Patienten und eigene klinische Erfahrungen hatte Engström ein Beatmungsgerät konstruiert, das definierte Hubvolumina administrieren konnte, also volumen- statt druckgesteuert war. Mit diesen neuentwickelten Beatmungsgeräten konnten Patienten über längere Zeiträume, teilweise sogar jahrelang beatmet werden. Zusammen mit Herzog entwickelte Engström auch Ventilationsnomogramme, um die individuelle Ventilation genauer einstellen zu können [23]. Vielfach mussten auch Narkosegeräte auf den Intensivstationen eingesetzt werden, da in den meisten Abteilungen keine anderen Beatmungsgeräte zur Verfügung standen. Rügheimer schildert eindrücklich, wie schwierig die Entscheidung fiel, das einzige Narkosebeatmungsgerät aus dem Operationssaal auf die Intensivtherapiestation zu verbringen, um dort einen Patienten mit respiratorischer Insuffizienz zu beatmen [24].

Mit zunehmender klinischer Erfahrung entwickelte sich die Beatmung von einer Substitutionstherapie bei Ausfall der Atmung durch zentrale oder periphere Atemlähmung zu einer Therapie der respiratorischen Insuffizienz und pulmonaler Erkrankungen. Anfänglich waren die Intensivmediziner in der Beurteilung der Beatmung mehr auf subjektive klinische Eindrücke als auf ob-

jektive Messparameter angewiesen. Neue technische Entwicklungen ermöglichen die Bestimmung der Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrücke im Blut, wodurch die Überwachung der Beatmung wesentlich erleichtert wurde [25].

Positiv-Negativ-Druckbeatmung vs. intermittierende Positivdruckbeatmung

Die Überlegung, welcher maschinellen Beatmungsform der Vorzug zu geben sei, wurde von dem Wunsch geprägt, möglichst physiologische kardiopulmonale Verhältnisse zu erhalten. Die Positiv-Negativ-Druckbeatmung sollte den Vorteil geringerer Kreislaufdepression durch die Senkung des mittleren intrathorakalen Drucks haben. Die Unterschiede zur intermittierenden Positivdruckbeatmung waren jedoch gering [26] und experimentelle Untersuchungen zeigten, dass der negative intrathorakale Druck durch Störung der alveolären Oberflächenspannung die mechanischen Eigenschaften der Lunge beeinträchtigte [27].

Deshalb setzte sich die intermittierende Positivdruckbeatmung durch, welche konzeptionell auf zwei Wegen verfolgt wurde: der druckgesteuerten Beatmung mit Monitoring des Atemhubvolumens und der volumenkonstanten Beatmung. Die druckgesteuerte Beatmung bot jedoch verschiedene Probleme, die erst mit Verbesserung der Gerätetechnik gelöst werden konnten. Durch den konstanten Atemgasfluss traten in der Inspiration mitunter hohe Atemwegsspitzen drücke auf, die das Lungenparenchym einer starken mechanischen Belastung aussetzten. Da in der Plateauphase durch das geschlossene Ausatemungsventil zudem keine Expiration möglich war, konnten erhebliche Störungen der Atmung resultieren. Diese Schwierigkeit wurde vielfach durch Hyperventilation zur Dämpfung des Atemantriebs oder durch starke Analgosedierung und Muskelrelaxierung behoben, d.h. durch Anpassung des Patienten an das Beatmungsgerät. Erst durch technische Weiterentwicklungen der Ventilatoren war es möglich, dieses wenig sinnvolle Therapieprinzip zu verlassen.

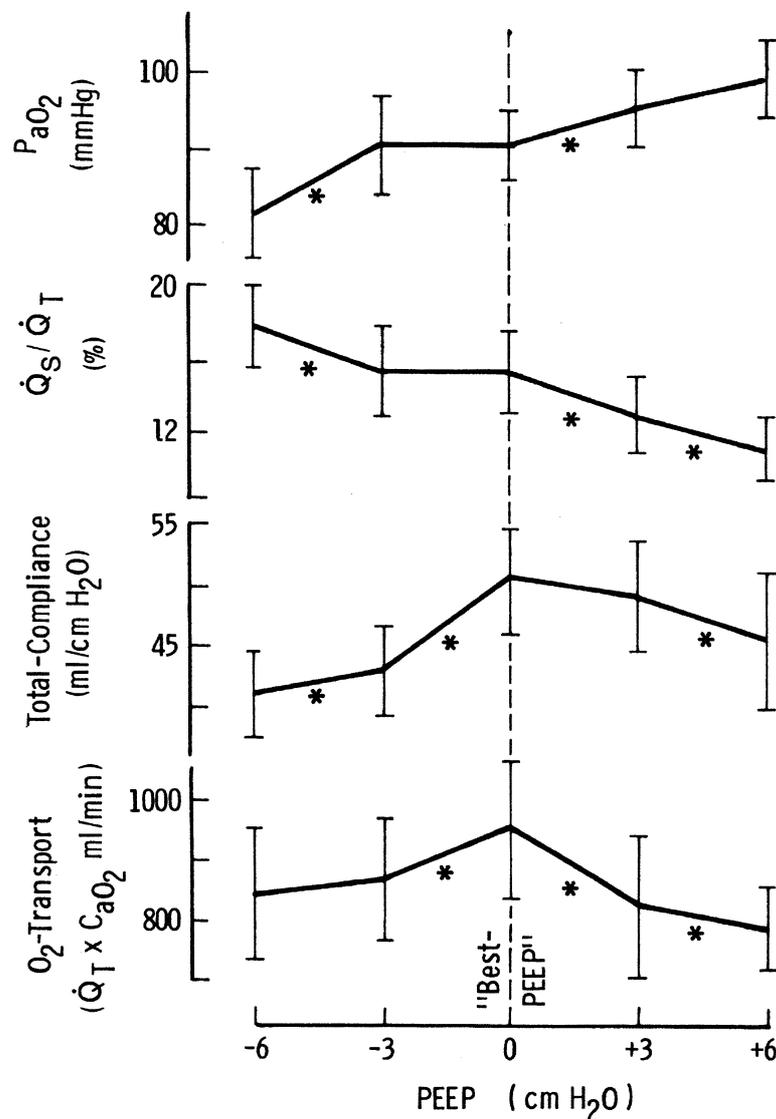
Zunehmend wurden in den Beatmungsgeräten auch elektronische Komponenten und Monitorfunktionen verwendet, die Veränderung und Überwachung verschiedener Variablen wie Hub-

volumen, Frequenz, Beatmungsspitzen- und plateaudruck, inspiratorische Gasströmung und Inspirations-zu-Expirationsverhältnis ermöglichten. Beispielfhaft seien der Servo 900® der Firma Siemens (Abb. 5) und der UV 1® der Firma Dräger genannt, die in Deutschland weit Verbreitung fanden.

Beatmung mit positiv endexpiratorischem Druck (PEEP)

Ashbaugh et al. hatten Ende der 60er Jahre das „Adult respiratory distress

syndrome (ARDS)“ beschrieben und neue Wege bei der Behandlung dieses Krankheitsbildes aufgezeigt [28]. Der Einsatz von PEEP bei verschiedenen Formen des akuten Lungenversagens, sein Einfluss auf pulmonale und hämodynamische Funktionen und die prophylaktische Behandlung des ARDS bestimmte für die nächste Dekade die Diskussion um die optimale Beatmungstherapie in Deutschland [29]. Während die Rekrutierung von nicht-ventilierten Lungenarealen zunächst im Vordergrund stand, wurde zunehmend die Sau-



* signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) bei jeder Zunahme des PEEP um 3 cm H₂O

Abb.6 ▲ Arterieller O₂-Partialdruck (paO₂), Rechts-links-Shunt (Q_s/Q_T), Compliance des respiratorischen Systems und Sauerstofftransport unter kontrollierter Beatmung mit verschiedenen PEEP-Niveaus (aus [30])

erstoffversorgung verschiedener Organsysteme in die Therapie mit einbezogen. Das Konzept des „optimum PEEP“ von Suter et al. hat die Behandlung des ARDS stark beeinflusst und wies auf die Bedeutung des Sauerstofftransports hin (Abb. 6) [30].

Durch die breite Anwendung der Beatmung von kritisch kranken Patienten entstand eine intensive Auseinandersetzung mit Technologien und Konzepten zur schonenden Entwöhnung vom Ventilator. Die Intermittent Mandatory Ventilation (IMV) wurde von Kirby et al. 1971 als unterstützende Beatmungsmethode bei Kindern mit Atemnotsyndrom und 1973 von Downs et al. zur Entwöhnung von der Beatmung bei ARDS-Patienten eingeführt. Da IMV eine größere Flexibilität der $F_{I}O_2$ - und PEEP-Therapie ermöglichte, wurde es auch bei der Behandlung des ARDS eingesetzt, um eine unterstützte Spontanatmung bei Patienten mit schwerem Lungenversagen zu erhalten [31]. Dieses Konzept wurde durchaus kontrovers diskutiert und setzte sich erst später mit dem Biphase Positive Airway Pressure-Verfahren durch (s. unten).

Ein technisch vollkommen verschiedenes Prinzip stellte die druckunterstützte Spontanatmung dar. Mit Beginn der aktiven Inspiration wurde im Ventilatorsystem die Druck- oder Gasflussveränderung erfasst. Nach Öffnung eines Ventils erfolgte die maschinelle inspiratorische Gasströmung, so dass der Atemwegsdruck rasch auf ein vorgewähltes Niveau angehoben und während der gesamten Einatemphase konstant gehalten wurde. Die zeitliche Steuerung der Druckunterstützung erfolgte bei den meisten Geräten so, dass mit Abnahme der inspiratorischen Gasströmung unter einen Schwellenwert oder nach Erreichen des vorgewählten Atemwegsdrucks die Druckunterstützung beendet wurde und der Patient passiv bis auf ein definiertes PEEP-Niveau ausatmen konnte. Die druckunterstützte Spontanatmung hat sich als Standardverfahren bei der Entwöhnung von der Beatmung etabliert.

Nicht-konventionelle Beatmungsformen

Die traditionellen Vorstellungen der Beatmung beschrieben eine Verteilung des inspiratorischen Hubvolumens entspre-

chend der regionalen Compliance und Resistance. In den 70er Jahren wurden verschiedene Beatmungsformen entwickelt wie die High frequency positive pressure ventilation (HFPPV), die High frequency oscillation (HFO) und später die High frequency jet ventilation (HFJV), die mit Atemhubvolumina im Bereich des Totraums oder darunter arbeiteten und dennoch einen ausreichenden Gasaustausch gewährleisteten. Diese nicht-konventionellen Beatmungsformen führten zur Erweiterung der physiologischen Konzepte des pulmonalen Gasaustauschs. Im Falle der HFO wurde von einer „Anregung“ der Lunge gesprochen, da die hohen Frequenzen (10–50 Hz) das intrapulmonale Gasvolumen und das Lungenparenchym in oszillierende Schwingungen versetzte [32]. Obwohl die Hochfrequenzbeatmung beim ARDS nicht die in sie gestellten Erwartungen erfüllen konnte, hat sie in der Behandlung des Atemnotsyndroms des Neugeborenen (IRDS) einen festen Stellenwert bekommen.

Alternative Formen der Beatmung wurden weniger wegen der unzureichenden Möglichkeiten der konventionellen Beatmung, sondern wegen der unerwünschten pulmonalen Nebenwirkungen gesucht. Experimentelle und klinische Untersuchungen wiesen nach, dass durch die Anwendung hoher Hubvolumina und Beatmungsdrücke die Lunge stark traumatisiert werden konnte (Volutrauma und Barotrauma der Lunge). Ausgehend von den positiven Auswirkungen einer verlängerten Inspirationsdauer bei der Behandlung des IRDS wurde in Deutschland und Österreich die Inversed ratio ventilation bei Patienten mit akutem Lungenversagen eingesetzt [33]. Die Verlängerung der Inspiration sollte zu einer besseren Ventilation von Lungenabschnitten mit längeren Zeitkonstanten und damit zu einer homogenen inspiratorischen Gasverteilung führen. Gleichzeitig sollte eine verkürzte Expirationszeit ein „Air-trapping“ und eine Adaptierung des PEEP an regionale Bedingungen der einzelnen Lungenabschnitte bewirken. Hauptnachteil dieser Beatmungsform mit I:E-Verhältnissen von 1:1 bis 3:1 war die schwierige Adaptation der Patienten, die eine starke Sedierung und gelegentlich eine Muskelrelaxierung erforderlich machte.

In zunehmendem Maße setzten sich Beatmungskonzepte durch, die eine Spon-

tanatmung des Patienten solange wie möglich erhielten und eine Normoventilation mittels mandatorischer Atemzüge gewährleisteten. Die Vorteile lagen nicht nur in einer Verminderung der kardiopulmonalen Nebenwirkungen und Verbesserung der Ventilations-Perfusions-Verhältnisse. Die kontinuierliche Spontanatmung sollte einer Atrophie und pathologischen Erschöpfung des Atemmuskulatur entgegenwirken. Eine sehr variable Form der respiratorischen Therapie ist die Biphase positive airway pressure (BIPAP)-Ventilation, die 1989 von Benzer et al. vorgestellt wurde [34].

BIPAP gestattet eine weitgehende Spontanatmung des Patienten bis hin zur kompletten Übernahme der Atemarbeit durch das Beatmungsgerät und wird in Deutschland vielfach als Standardtherapie bei respiratorischer Insuffizienz eingesetzt.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick auf die wichtigsten Entwicklungen verschiedener Beatmungsformen bei Patienten mit akuter respiratorischer Insuffizienz.

Tracheotomie und prolongierte Intubation

Eine erfolgreiche Behandlung der akuten respiratorischen Insuffizienz konnte nur bei Sicherstellung offener Atemwege gelingen. Sowohl die Tracheotomie wie auch die Intubation der Trachea wurden in verschiedenen medizinischen Schriften zur Atemspende beschrieben. Die Tracheotomie als lebensrettende Maßnahme bei drohender Erstickung ist seit dem Altertum bekannt [35]. Im Rahmen der Notfallmedizin sind schon im 18. Jahrhundert Beatmungen über verschiedene Arten von Trachealtuben beschrieben worden. Bis um 1870 erfolgten Tracheotomien über einen pharyngealen Zugang, danach wurde allgemein der tracheale Weg gewählt. Im Jahre 1869 hatte der Chirurg Trendelenburg erstmalig die Trachealkanüle als Aspirationschutz bei Operationen im Mund-Kiefer-Bereich eingesetzt (s. oben). Dieser Zugangsweg blieb bis in die 50er Jahre des 20. Jh. die häufigste Technik zur Sicherstellung offener Atemwege bei akuter respiratorischer Insuffizienz. Die erste blinde orotracheale Intubation beim Menschen wurde 1878 von Sir William Macewen mit flexiblen Metallendo-

Tabelle 2

Entwicklungen bei der Behandlung der respiratorischen Insuffizienz in Deutschland

19. Jahrhundert

Intubation der Trachea für Operationen im Kopfbereich
 Entwicklung von Trachealtuben
 Beschreibung des Autoskops (Laryngoskop)
 Manuelle Beatmung durch Thoraxkompression

1900–1920

Endotracheale Intubation und Positivdruckbeatmung bei anästhesierten Patienten
 Endotracheale Insufflation mit Luft oder Sauerstoff
 Druckdifferenzverfahren
 Brauersche Überdruckapparate
 Positiv-Negativ-Druckbeatmung bei akuter respiratorischer Insuffizienz
 Pulmotor® zur Reanimation Verunfallter

1921–1940

Tankventilatoren
 Cuirass-Beatmungsgeräte
 Einrichtung von postoperativen Wachstationen

1941–1960

Manuelle Beatmung bei spinobulbärer Paralyse
 Tankventilatoren
 Positiv-Negativ-Druckbeatmung
 Druckkontrollierte Beatmung
 Volumenkontrollierte Beatmung
 Einrichtung von respiratorischen Intensivstationen

1961–1980

Anwendung von IPPV mit positiv end-expiratorischem Druck (PEEP)
 Intermittent Mandatory Ventilation (IMV)
 Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)
 High Frequency Positive Pressure Ventilation (HFPPV)
 High Frequency Oscillation (HFO)
 High Frequency Jet Ventilation (HFJV)
 Therapiekonzepte zur Beatmung mit PEEP
 Augmentierte Spontanatmung

1981–2000

Inverse Ratio Ventilation (IRV)
 Kinetische Therapie beim ARDS
 Extracorporeal CO₂-removal with low-frequency positive pressure ventilation (ECCO₂R-LFPPV)
 Extracorporeale Membranoxygenation (ECMO)
 Heparinbeschichtete ECMO-Systeme
 Druck-volumenbegrenzte Beatmung mit permissiver Hyperkapnie
 Intratracheale O₂-Insufflation zur Reduktion der Totraumventilation
 Airway Pressure Release Ventilation (APRV)
 Biphasic Positive Airway Pressure Ventilation (BIPAP)
 Einführung der Dilatationstracheotomie in die intensivmedizinische Praxis
 Automatische Kompensation des Tubuswiderstands
 „Open lung“-Konzept
 Inhalation von Stickstoffmonoxid/Prostazyklin zur Therapie des ARDS
 Nicht-invasive Ventilation bei akuter/chronischer respiratorischer Insuffizienz
 Pulmonale Instillation von Perfluorocarbon beim ARDS
 Molekularbiologische Untersuchungen zur akuten respiratorischen Insuffizienz

trachealtuben durchgeführt. In Deutschland beschrieben 1895 Kirstein und Kilian die direkte Laryngoskopie, ohne jedoch die Technik für die Intubation zu empfehlen. Der Einsatz von endotrachealen Tuben beschränkte sich in der Anästhesie bis zum Anfang des 20. Jh. auf Patienten mit erhaltener Spontanatmung. Jackson führte 1907 die Laryngoskopie zur sicheren Platzierung eines endotrachealen Tubus ein; dennoch verging in Deutschland eine geraume Zeit, bis die Intubation zum Standard in der Allgemeinanästhesie wurde.

Bei intensivmedizinischen Patienten verlief die Entwicklung dagegen anders. Die folgende Übersicht zu beiden Verfahren geht in chronologischer Reihenfolge vor, wobei zunächst die Tracheotomie behandelt wird, die bei der Beatmung von Patienten mit respiratorischer Insuffizienz über lange Zeit das dominierende Verfahren war. Sie wurde dann von der prolongierten Intubation abgelöst, welche verschiedene Probleme der Tracheotomie vermeiden konnten, hingegen selbst mit spezifischen Nachteilen behaftet war. Erst in den letzten Jahren hat die Tracheotomie durch die Einführung perkutaner Dilatationstechniken wieder an Bedeutung zugenommen. Sowohl die Tracheotomie wie auch die prolongierte Intubation verfolgten die gleichen Ziele, nämlich die Sicherstellung der oberen Atemwege, technische Umsetzung der Beatmung, Vermeidung einer Aspiration und Erleichterung einer effektiven Sekretabsaugung.

Tracheotomie

In der Notfall- und Intensivmedizin wurde die Indikation zur primären Tracheotomie zunächst weit gestellt. Sie umfasste Patienten mit schweren obstruktiven oder restriktiven Lungenerkrankungen, bewusstlose Patienten mit abgeschwächtem oder fehlendem Hustenreflex, Polytraumatisierte mit instabilem Thorax oder paradoxen Atembewegungen und paraplegische Patienten mit eingeschränktem Atemantrieb oder erhöhter Aspirationsgefahr. Des Weiteren sah man die Indikation bei ausgedehnten Gesichtsverletzungen, Trümmerfrakturen im Nasen- und Gesichtsbereich, schweren Gesichtsverbrennungen, Kehlkopfverletzungen, hochgradigen Glottis- und subglottischen Steno-

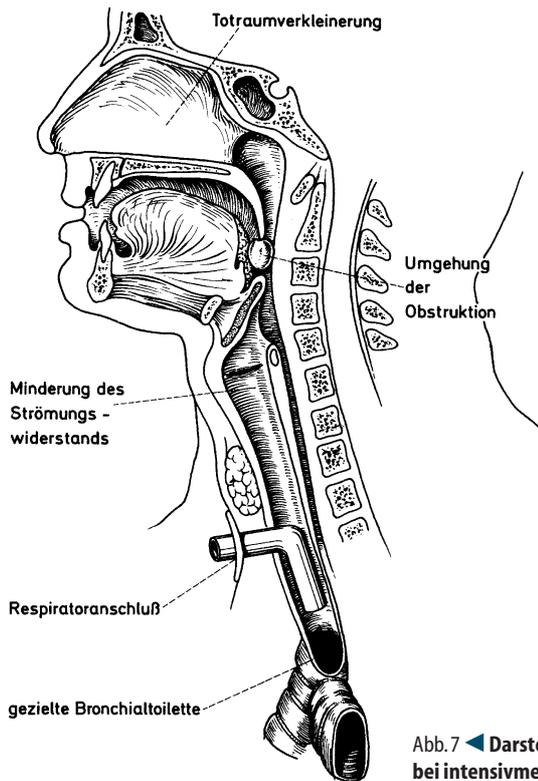


Abb.7 ◀ Darstellung der Vorteile einer Tracheotomie bei intensivmedizinischen Patienten (aus [36])

sen bei misslungener Intubation, Missbildungen von Larynx und der Trachea bei Neugeborenen und vorhersehbarer Langzeitbeatmung über Wochen oder Monate [36].

Mit Etablierung der Laryngoskopie und endotrachealen Intubation in der Anästhesie wurde zwar die Nottracheotomie durch die Notintubation als primär lebensrettende Maßnahme abgelöst. Bei intensivmedizinischen Patienten mit respiratorischer Insuffizienz stellte jedoch die Tracheotomie den Standardatemwegszugang dar. Als Hauptargumente wurden angeführt (Abb. 7):

1. Verbesserung der alveolären Ventilation durch Reduktion des anatomischen Totraums.
2. Verminderung des Atemwegwiderstands durch Umgehung der oberen Luftwege.
3. Trennung von Larynx und Pharynx zum Abschluss der Aspiration.
4. Sofortige Möglichkeit zum Anschluss eines Beatmungsgeräts.
5. Erleichterte direkte und gezielte Absaugung zur Bronchial- und Trachealtoilette.
6. Die Inspiration oder Inhalation von Arzneistoffen in den Tracheobron-

chialbaum kann auf kürzestem Wege erfolgen.

7. Entlastung des Herzens bei pulmonalem Hypertonus infolge von Hyperkapnie und Hypoxie.

Obwohl die angeführten Punkte sich nicht vollständig in klinischen Untersuchungen bestätigen ließen, war die

Tracheotomie vom Beginn des 20. Jh. bis etwa 1960 die häufigste Methode zur Sicherung des Atemwegs bei kritisch kranken Patienten. Diese unbestrittenen Vorteile der Tracheotomie konnten größtenteils auch mit einer endotrachealen Intubation erreicht werden. Zu den technischen Problemen der Platzierung des Endotrachealtubus bei kritisch kranken Patienten kamen jedoch Komplikationen, die auf das verwendete Material zurückzuführen waren (Abb. 8).

Bereits 1893 hatte der österreichische HNO-Arzt Eisenmenger einen Hartgummitubus mit Blockermanschette entwickelt, der später auch in der Intensivmedizin angewendet wurde. Allerdings traten bei diesem Endotrachealtubus schnell Larynxschäden auf. Im Regelfall erfolgte bei Beatmungspflichtigkeit die translaryngeale Intubation nur für eine sehr kurze Periode mit konsekutiver Umwandlung in eine Tracheotomie [37].

Verschiedene Trachealkanülen wurden im Laufe der Zeit entwickelt, um das Atemwegstrauma zu vermindern. Beispielhaft erwähnt sei die flexible Trachealkanüle nach Rügheimer ohne festen Tracheo-Stoma-Winkel aus dünnem hochelastischem Walzstahl mit PVC-Kunststoffüberzug (Abb. 9). Im Vergleich zu den anatomisch vorgeformten PVC-Tuben passte sie sich den jeweiligen Verhältnissen an, wodurch sekundäre Komplikationen weniger häufig auftraten.

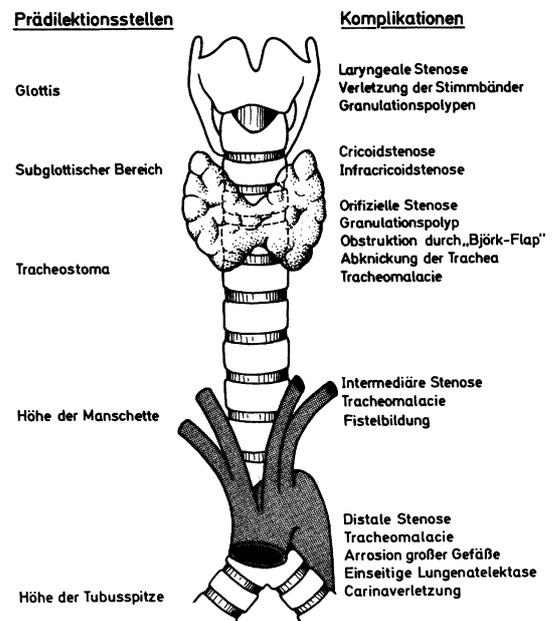


Abb.8 ▶ Komplikationen der prolongierten Intubation und Tracheotomie (aus [36])

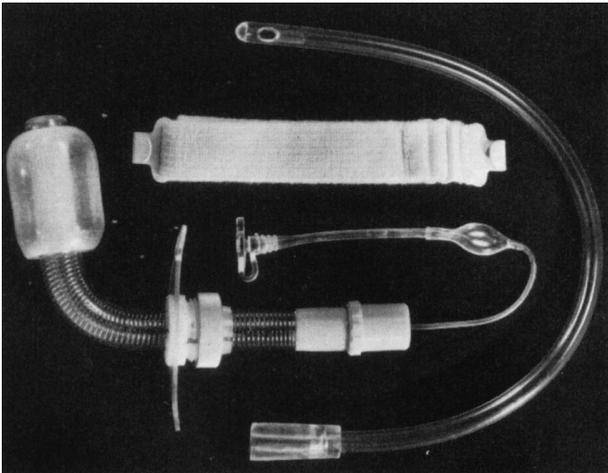


Abb. 9 ◀ Tracheoflexkanüle nach Rügheimer der Firma Rüsch

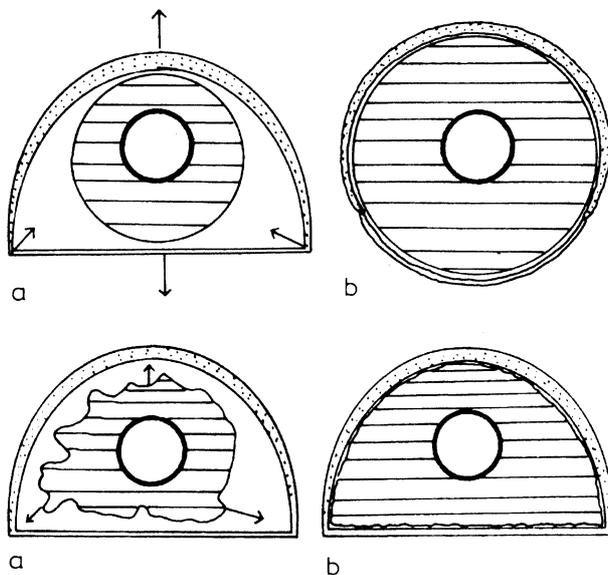


Abb. 10 ◀ Regionale Effekte eines „low volume high pressure“ Blockungsmanschette (oben) und einer modernen „low pressure high volume“ Blockungsmanschette (unten) auf die Trachea (aus [38])

Prolongierte Intubation

Unter prolongierter Intubation versteht man in Anlehnung an die Langzeitbeatmung die Platzierung eines Endotrachealtubus für mehr als 24 h. Seit etwa 1970 änderte sich das Konzept des Atemwegszugangs bei intensivmedizinischen Patienten. Mit Verbesserung der Materials sowie des Designs von Tubus und Cuff nahm in Deutschland die Akzeptanz der translaryngealen Langzeitintubation zu [38]. Für die prolongierte Intubation wurden high-volume low-pressure Tuben mit walzen- oder birnenförmigen Cuffs empfohlen, um Mukosaverletzungen zu vermeiden. Großvolumige Niederdruck-Blockungsmanschetten hatten den Vorteil, dass sie sich den vielfältigen Formvariationen der Trachea anpassen konnten (Abb. 10, 11). Endotra-

chealtuben mit Druckkompensationsventil erlaubten außerdem eine Regulation des Cuffdrucks über einen Latexpilotballon mit höherer Dehnbarkeit und einem Überdruckventil. Die günstigen Materialeigenschaften der neu entwickelten Endotrachealtuben erlaubten eine oro- oder nasotracheale Langzeitintubation, welche sich zum Standardverfahren in der Intensivmedizin entwickel-

te. Die Entscheidung zur Tracheotomie erfolgte im Regelfall nur, wenn eine längerfristige Intubation geplant war [36].

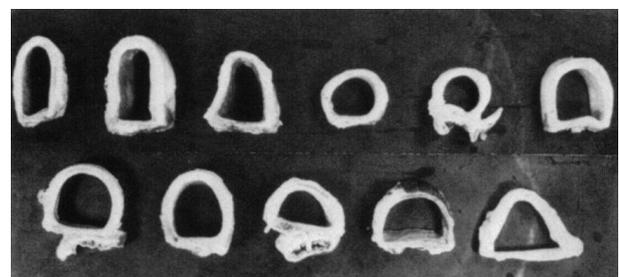
Zu der restriktiven Haltung gegenüber der chirurgischen Tracheotomie trug bei, dass sie mit erheblichen Komplikationen belastet war. Die Infektions- und Blutungsrate lag bei 36%, bei 4% der Patienten traten Pneumothorax und Herzstillstand auf. Auch das Langzeitergebnis war nicht befriedigend; bei 60% der nachuntersuchten Patienten wurde eine Trachealstenose diagnostiziert [37].

Ob eine nasotracheale oder orotracheale Intubation für die Langzeitbeatmung bevorzugt werden sollte, wurde kontrovers diskutiert und von den Vor- und Nachteilen und Komplikationen der jeweiligen Verfahren abhängig gemacht. Wenngleich 20–90% der Patienten nach 5 Tagen nasotrachealer Intubation eine maxillare Flüssigkeitsansammlung aufwiesen, ließ sich ein signifikant häufigeres Auftreten von nosokomialen Sinusitiden unter nasotrachealer Intubation im Vergleich zur orotrachealen Intubation nicht nachweisen [37]. Als Vorteile der nasotrachealen Intubation wurden die bessere Tubusfixierung, Verhinderung einer akzidentellen Extubation und erleichterte Mund-Rachen-Pflege angeführt. Jedoch waren die schwierigere Technik, eine mögliche Traumatisierung von Nasenseptum, großer Nasenmuschel oder Hypopharynx und ein erhöhter Atemwegswiderstand in Folge des kleineren Tubusdurchmessers von Nachteil. Daraus folgte seit etwa 1980 die zunehmende Favorisierung der orotrachealen Intubation in der Intensivtherapie, falls durch den operativen Eingriff keine Indikation für eine nasotracheale Intubation bestand.

Moderne perkutane Tracheotomieverfahren in der Intensivmedizin

Trotz ständiger Verbesserungen des Tubusmaterials stellte die prolongierte

Abb. 11 ▶ Anatomische Variationen der Trachea (aus [38])



translaryngeale Intubation für das mittel- und langfristige Atemwegsmanagement ein problematisches Verfahren dar. Zu den typischen Komplikationen gehörten die Perichondritis, Stimmband-synechien, Stenosen der posterioren Kommissur, Arytenoidknorpelfixation, bzw. -luxation und die subglottische Trachealstenose. Schweregrad und Häufigkeit dieser Komplikationen standen in direktem Zusammenhang mit der Anwendungsdauer der prolongiertentranslaryngealen Intubation, wobei zwischen den oro- oder nasotrachealen Verfahren kein bedeutsamer Unterschied nachgewiesen werden konnte. Durch die Entwicklung wenig invasiver, perkutaner Techniken entstand daher ein erneutes Interesse an der Tracheotomie.

Die erste perkutane Tracheotomie wurde schon 1953 von Shelden durchgeführt und 1955 publiziert [39]. Aufgrund der Komplikationsrate mit teilweise letal endenden Verletzungen der Halsweichteile konnte sich diese Technik zunächst nicht durchsetzen. Erst durch die Einführung der perkutanen Dilatationstracheotomie durch Ciaglia (1985) wurde die Tracheotomie vermehrt für die Langzeitbeatmung in Betracht gezogen [40]. Sie stellte nicht nur wegen der Schonung des Larynx eine Alternative zur translaryngealen Intubation dar. Weitere Vorteile waren die Platzierung eines großlumigeren Tubus zur Minimierung der Atemarbeit, eine bessere Möglichkeit zur endotracheale Absaugung und zur Bronchoskopie, ein geringerer Bedarf an Analgosedierung, eine leichtere Entwöhnung von der Beatmung und eine insgesamt reduzierte Intensiv- und Krankenhausbehandlungszeit. Zwei weitere Methoden der bettseitigen Dilatationstracheotomie konnten sich ferner etablieren: die perkutane Dilatationstechnik mittels der sog. „Guide-Wire-Dilating-Forceps“-Technik (Griggs 1990) [41] und die Dilatation mittels eines von translaryngeal eingebrachten Tubus (Fantoni 1997) [42].

Die Dilatationstracheotomie wies bei Berücksichtigung der Kontraindikationen (schwere Oxygenierungsstörungen, dekompensierte Gerinnungsstörungen, unübersichtliche anatomische und postoperative Verhältnisse, Alter <14–18 Jahre) ein geringeres Komplikationsrisiko als die konventionelle chirurgische Tracheotomie auf und ist zum Standardverfahren in der Intensivmedi-

zin geworden [35]. Weitere Vorteile der bettseitig durchführbaren perkutanen Dilatationstracheotomie sind das fehlende Transportrisiko, die wesentlich geringeren Kosten insbesondere durch Nichtinanspruchnahme von OP-Kapazitäten und die Zeitersparnis.

Die derzeit gültige Empfehlung für das Atemwegsmanagement bei der Langzeitbeatmung erwachsener Patienten wurde 1989 in einer Konsensuskonferenz festgelegt: 1. Die translaryngeale prolongierte Intubation ist indiziert, wenn die voraussichtliche Intubationsdauer unter 10 Tagen liegt; 2. Die Frühtracheotomie (3.–5. Tag) ist indiziert bei einer voraussichtlichen Intubationsdauer, von mehr als 21 Tagen; 3. Bei primär unklarer Intubationsdauer sollte täglich die Entscheidung über Sinn einer Tracheotomie diskutiert werden.

Schlußfolgerungen

Die geschichtliche Entwicklung der Beatmung in Deutschland spannt den Bogen von experimentellen und frühen klinischen Versuchen im 19. Jh. bis zu hochentwickelten elektronischen Geräten am Anfang des 21. Jh. zur Behandlung schwerster Formen der respiratorischen Insuffizienz. Ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nicht abzusehen, es stellt sich jedoch die Frage, ob mit immer komplizierteren Apparaten auch größere Therapieerfolge erzielt werden können. Wie bei den Beatmungsmethoden spiegelt auch das Atemwegsmanagement sehr unterschiedliche Präferenzen wider, die von den technischen Bedingungen, der Erfahrung der Intensivmediziner und den Komplikationen der jeweiligen Verfahren bestimmt wurden.

Zunehmend rücken ethische und ökonomische Fragen der Intensivmedizin in den Mittelpunkt des Interesses und die Indikationen zur Beatmung werden nicht mehr aus den Möglichkeiten der Intensivmedizin abgeleitet. Ähnlich wie bei Nierenersatzverfahren, parenteraler und enteraler Ernährung oder kontinuierlichen Kreislaufunterstützungssystemen lassen sich Patienten am Leben erhalten, bei denen das Grundleiden wenig Aussicht auf Therapieerfolg bietet [29]. Diese Problematik wird deutlich, wenn man die Ergebnisse einer Studie aus dem Jahre 1979 betrachtet, die den klinischen Verlauf von beatmungspflichtigen Patienten mit mali-

gnem Grundleiden untersuchte. Von den 180 kritisch kranken Patienten konnten lediglich 26% extubiert und aus dem Krankenhaus entlassen werden. Nach zwei Monaten waren noch 13% und nach sechs Monaten noch 7% am Leben [43]. Die faszinierenden technologischen Fortschritte können nur dann zum Nutzen intensivmedizinischer Patienten eingesetzt werden, wenn sie begleitet werden von einer kritischen Auseinandersetzung über die medizinischen, ethischen, rechtlichen und ökonomischen Möglichkeiten und Grenzen der Behandlung.

Literatur

1. Vesalius A (1555) **De Humani Corporis Fabrica Libra Septem**. Basel
2. Hooke R (1667) **Account on an experiment, made by R. Hooke, of preserving animals alive by blowing through their lungs by bellows**. Philos Trans R Soc Lond 2:539–540
3. Trendelenburg F (1871) **Beiträge zu den Operationen an den Luftwegen**. 2. Tamponade der Trachea. Arch Klin Chir 12:121–133
4. Kirstein A (1895) **Autoskopie des Larynx und der Trachea**. Arch Laryngol Rhinol 3:156–164
5. Meltzer SJ, Auer J (1909) **Continuous respirations without respiratory movements**. J Exp Med 11:622–625
6. Meltzer SJ (1914) **Der gegenwärtige Stand der intratrachealen Insufflation**. Berl Med Wochenschr 51:677–682
7. Kuhn F (1905) **Peroral Intubation mit Überdrucknarkose**. Dtsch Z Chir 76:148
8. Sauerbruch F (1904) **Zur Pathologie des offenen Pneumothorax und die Grundlagen meines Verfahrens zu seiner Ausschaltung**. Mitt Grenzgeb Med Chir 8:399–411
9. Sauerbruch F (1920) **Das Druckdifferenzverfahren**. Springer, Berlin
10. Volhard F (1908) **Ueber künstliche Atmung durch Ventilation der Trachea und eine einfache Vorrichtung zur rhythmischen künstlichen Atmung**. Münch Med Wochenschr 55:1–3
11. Läden, Sievers (1910) **Zur praktischen Anwendung der instrumentellen künstlichen Respiration am Menschen**. Münch Med Wochenschr 57:2221–2225
12. Giertz HK (1916) **Studier över tryckdifferensandning enligt Sauerbruch och över konstgjord andning (rytmisk luftinbläsning vid intrathoracala operationer)**. Ups Läkareför Forh [Suppl] 22:1–7
13. Crafoord C (1938) **On the technique of pneumectomy in man**. Acta Chir Scand [Suppl 54] 81:1–142

14. Fürniss H (1984) **Vom Dräger Poliomaten zum Spiromaten.** In: Lawin P, Peter K, Scherer R (Hrsg) Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. Thieme, Stuttgart New York, S 28–47
15. Drinker P, McKann CF (1927) **The use of a new apparatus for the prolonged administration of artificial respiration.** JAMA 92:1658–1660
16. Woollam CHM (1976) **The development of apparatus for intermittent negative pressure respiration.** (1) 1832–1918. Anaesthesia 31:537–547
17. Dönhard A (1980) **Beatmung mit der Eisernen Lunge.** In: Lawin P, Peter K, Scherer R (Hrsg) Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. Thieme, Stuttgart New York, S 20–27
18. Lassen HCA (1953) **A preliminary report on the 1952 epidemic of poliomyelitis in Copenhagen.** Lancet I:37–40
19. Ibsen B (1954) **The anaesthetist's viewpoint on the treatment of respiratory complications in poliomyelitis during the epidemic in Copenhagen.** Proc R Soc Med 47:67–71
20. Holmdahl MH (1962) **The respiratory care unit.** Anesthesiology 23:559–567
21. Safar P, DeKornfeld TJ, Pearson JW, Redding JS (1961) **The intensive care unit; a three year experience at Baltimore City Hospitals.** Anaesthesia 16:275–284
22. Woolf CR (1961) **The respiratory care unit at the Toronto General Hospital.** Can Med Assoc J 84:466–469
23. Herzog P (1980) **Der Beginn der Langzeitbeatmung.** In: Lawin P, Peter K, Scherer R (Hrsg) Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. Thieme, Stuttgart New York, S 12–19
24. Rügheimer E (1980) **Bilanz der Beatmung 1960–1980.** In: Lawin P, Peter K, Scherer R (Hrsg) Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. Thieme, Stuttgart New York, pp 75–89
25. Severinghaus J, Bradley AF (1958) **Electrodes for blood PO₂ and PCO₂ determinations.** J Appl Physiol 13:515–520
26. Stoffregen J (1956) **Hämodynamische Veränderungen bei der künstlichen Atmung (Dauerbeatmung).** Klin Wschr 15:422–426
27. Benzer H, Coraim F, Fitzal S, Haider W, Mutz N, Pauser G (1979) **Pathophysiologie unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächenspannung bei der Schocklunge.** Anästh Intensivmed 20:196–201
28. Ashbaugh DG, Petty TL, Bigelow DB, Harris TM (1969) **Continuous positive-pressure breathing (CPB) in adult respiratory distress syndrome.** J Thorac Cardiovasc Surg 57:31–41
29. Lawin P (1977) **Erkennung und Behandlung der arteriellen Hypoxie.** Prakt Anästh 12:159–172
30. Suter PM, Fairley HB, Isenberg MD (1975) **Optimum end-expiratory airway pressure in patients with acute respiratory failure.** N Engl J Med 292:284–289
31. Lamy M (1980) **Intermittent Mandatory Ventilation (IMV).** In: Lawin P, Peter K, Scherer R (Hrsg) Maschinelle Beatmung gestern – heute – morgen. Thieme, Stuttgart New York, S 107–117
32. Lunkenheimer PP, Frank I, Ising H, Keller H, Dickhut HH (1973) **Intrapulmonaler Gaswechsel unter simulierter Apnoe durch transtrachealen, periodischen intrathorakalen Druckwechsel.** Anaesthesist 22:232–238
33. Baum M, Benzer H, Mutz N, Pauser G, Tonczar L (1980) **Inverse Ratio Ventilation (IRV).** Anaesthesist 29:592–596
34. Baum M, Benzer H, Putensen C, Koller W, Putz G (1989) **Biphasic positive airway pressure (BIPAP) – eine neue Form der augmentierten Beatmung.** Anaesthesist 38:452–458
35. Westphal K, Byhahn C, Lischke V (1999) **Die Tracheotomie in der Intensivmedizin.** Anaesthesist 48:142–156
36. Rügheimer E (1982) **Die Tracheotomie.** In: Benzer H, Frey R, Hügin W, Mayhofer O (Hrsg) Anaesthesiologie, Intensivmedizin und Reanimatologie. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 814–828
37. Bause H, Prause A (1998) **Alternative Atemwege.** Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 33:501–5044
38. Lawin P, Morr-Strathmann U (1981) **Prolongierte Intubation und Tracheotomie.** In: Lawin P (Hrsg) Praxis der Intensivbehandlung. Thieme, Stuttgart New York, S 15.1–15
39. Shelden CH, Pudenz RH, Freshwater DB, Crue BL (1955) **A new method for tracheotomy.** J Neurosurg 12:428–431
40. Ciaglia P, Firshing R, Syniec C (1985) **Elective percutaneous dilatational tracheostomy. A new simple bedside procedure; preliminary report.** Chest 87:715–719
41. Griggs WM, Worthley LIG, Gilligan JE, Thomas PD, Myburgh JA (1990) **A simple percutaneous tracheostomy technique.** Surg Gynecol Obstet 170:543–545
42. Fantoni A, Ripamonti D (1997) **A nonderivative, non-surgical tracheostomy: the translaryngeal method.** Intensive Care Med 23:386–392
43. Snow RM, Miller WC, Rice DL, Ali MK (1979) **Respiratory failure in cancer patients.** JAMA 241:2039–2042
44. Bower AG, Bennett VR, Dillon JB, Axelrod B (1950) **Poliomyelitis report: investigations on the care and treatment of poliomyelitis patients.** Part I: Development of equipment. Part II: Physiologic studies of treatment procedures and mechanical equipment. Ann West Med Surg 4:559–582; 686–716