

Möglichkeiten und Grenzen moderner Lungenfunktionsprüfungen mit konventionellen Methoden

Autor(en): **Keller, R. / Mahlich, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **27 (1971)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-307884>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aus der Abteilung für Atmungskrankheiten (Leiter: Prof. H. Herzog) der Medizinischen
Universitätsklinik (Vorsteher: Prof. F. Koller), Basel

Möglichkeiten und Grenzen moderner Lungenfunktions- prüfungen mit konventionellen Methoden

R. KELLER und J. MAHLICH

Zwei Wünsche sind es vor allem, welche heute regelmässig an eine moderne Lungenfunktionsprüfung gerichtet werden: 1. Eine möglichst differenzierte Diagnostik vorliegender Funktionsstörungen (qualitative Funktionsanalyse). 2. Die möglichst exakte Bestimmung des Ausmasses vorliegender Funktionsstörungen (quantitative Funktionsanalyse).

Diese Aufgaben können heute weitgehend durch einige wenige Methoden bewältigt werden, welche sich im routinemässigen Laborbetrieb bereits gut bewährt haben, welche ohne Verwendung radioaktiver Substanzen durchführbar sind und welche auch wirtschaftlichen Kriterien bezüglich ihres betrieblichen, technischen und finanziellen Aufwandes gerecht werden. In dieser Hinsicht gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Methoden derzeit als recht brauchbare Kombination für die Durchführung moderner Lungenfunktionsprüfungen [18, 33].

I.

Funktionsstörungen der Ventilation auf Grund atemmechanischer Veränderungen werden seit langem durch die Messgrössen der Spirometrie im offenen oder geschlossenen System erfasst [4, 10]. Die Ganzkörperplethysmographie bietet heute neben einer Rationalisierung des Arbeitsgangs noch die Möglichkeit zusätzlicher und differenzierterer Untersuchungen [13, 12, 25]. Hauptaufgabe beider Methoden bildet indessen weiterhin die Unterscheidung in restriktive und obstruktive Funktionsstörungen sowie die Diagnostik des Lungenemphysems.

a) Die *Restriktion* als Folge eines verminderten Ausdehnungsvermögens der Lungen manifestiert sich in einer Verminderung von Vital- und Totalkapazität. Zur Beurteilung beider Messgrössen ist jedoch die Kenntnis ihrer Normalwerte sowie des Ausmasses der physiologischen Streuungen erforderlich. Bei einem im Rahmen der Basler Studie [2] untersuchten Kollektiv von über 1200 gesunden Versuchspersonen konnte allein bei der Vitalkapa-

Tabelle 1

Methode	Messwerte	Funktion	Dauer min	Preis ca. Fr.	Personal
<i>Spirometrie</i> im geschlossenen System (Fremdgas-Methode)	VK, SK, FRK, RV, TK, Mischzeit	Ventilation, Atemmechanik	45	25 000.–	Laborant
<i>Plethysmographie</i> mit Spirometrie im offenen System	VK, SK, FRK, RV, TK, Resistance, Compliance	Ventilation, Atemmechanik	20	100 000.–	Laborant
<i>Blutgasanalyse</i> kapillär arteriell	pO ₂ , pCO ₂ , pH	pulmonaler Gasaustausch	15	15 000.–	Laborant Arzt
<i>Ergometrie</i> mit Blutgasen	Differenzierung des Gasaustauschs, pulmonale Leistungsprüfung	pulmonaler Gasaustausch, pulmonale Leistungsprüfung	45	5 000.–	Arzt
<i>Diffusionsmessung</i> mit CO (Steady-state-Methode)	DICO, V _d /V _t , AMV, V _A , V _{CO₂}	Diffusion, Ventilation	20	25 000.–	Laborant

zität eine Streuung von rund 30% um den Mittelwert beobachtet werden. Nach unseren bisherigen Erfahrungen sollte bei einer Verminderung der Vitalkapazität um 15% und der Totalkapazität um 10% bereits eine restriktive Ventilationsstörung vermutet werden.

Warum reicht die alleinige Bestimmung der Vitalkapazität nicht zur Beurteilung einer Restriktion aus?

1. Die gleichzeitige Messung von Totalkapazität und Residualvolumen bei den rein restriktiven Formen ermöglicht vielfach die Unterscheidung zweier pathogenetisch verschiedenartiger Funktionsstörungen (Abb. 1): a) der retrahierten Lunge als Folge einer intrapulmonalen Restriktion, beispielsweise durch fibrotische Veränderungen oder Lungenresektionen, b) der gefesselten Lunge als Folge einer extrapulmonalen Restriktion, beispielsweise bei Pleuraschwarte oder Kyphoskoliose.

2. Bei inhomogener Obstruktion der Atemwege durch asthmatische oder bronchitische Erkrankungen wird die Vitalkapazität durch ein «funktionelles expiratorisches air trapping» ebenfalls vermindert (Abb. 2). Eine Restriktion darf in diesen Fällen nur dann angenommen werden, wenn gleichzeitig die Totalkapazität erniedrigt ist.

3. Eine Besonderheit der restriktiven Funktionsstörungen findet man schliesslich beim «anatomischen air trapping», wo grössere intrathorakale Luftmengen vollständig von der Ventilation abgeschlossen sind, wie beispielsweise bei Lungenzysten, bei Emphyseblasen oder beim Pneumothorax (Abb. 3). Die Bestimmung der Lungenvolumina mit der Fremdgas-

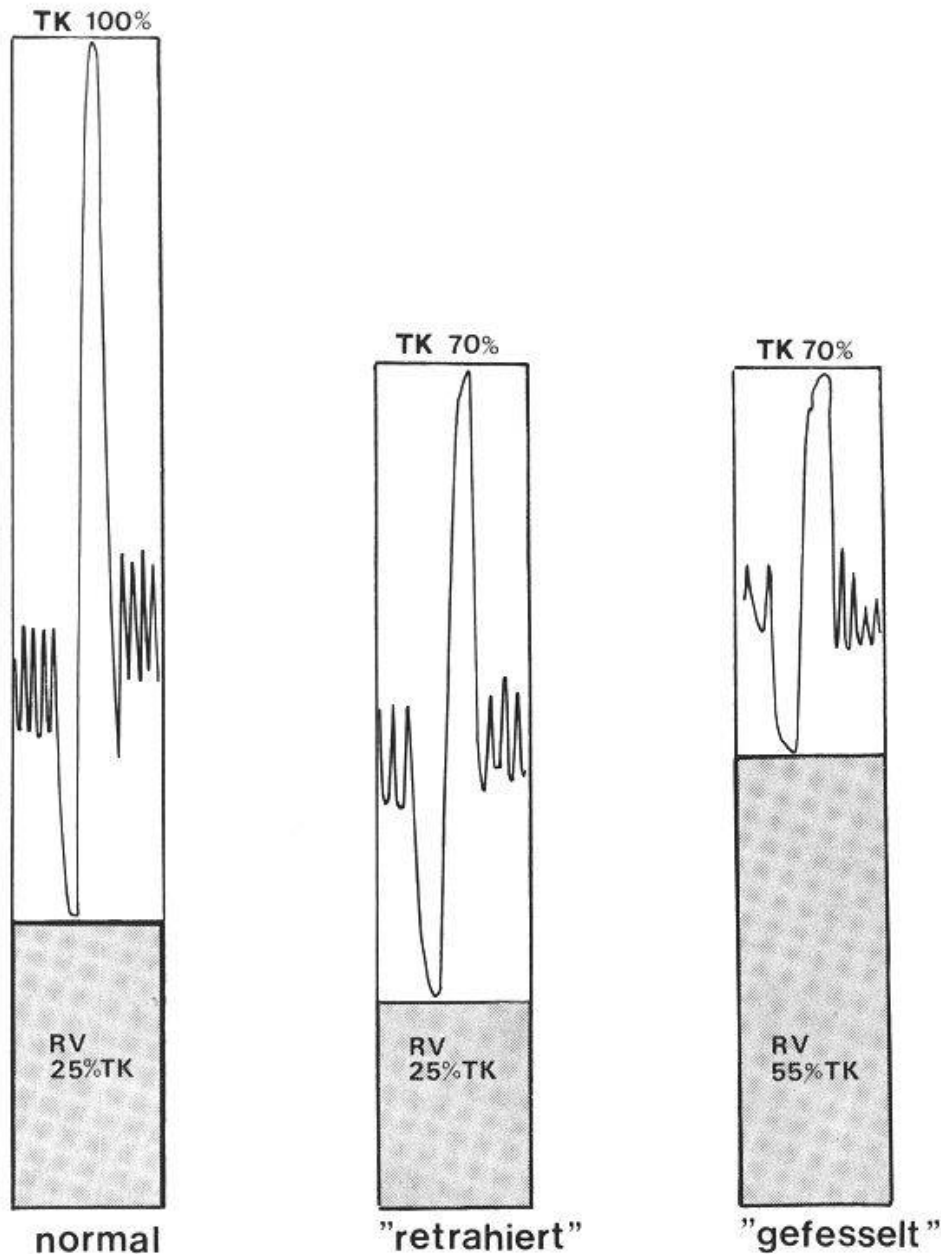


Abb. 1. Lungenvolumina bei restriktiver Ventilationsstörung: Bei der «retrahierten Lunge» ist jede der einzelnen Volumeneinheiten in gleichem Masse eingeschränkt, ihr Verhältnis zueinander entspricht der Verteilung im Normalfall. Bei der «gefesselten Lunge» ist sowohl Inspiration wie Expiration behindert, wodurch eine Abnahme der Totalkapazität (TK) mit gleichzeitiger Erhöhung des Residualvolumens (RV) auftritt. Die effektive Restriktion kann allein anhand der Vitalkapazität beurteilt werden.

Einmischmethode im geschlossenen spirometrischen System ergibt in diesen Fällen regelmässig den Typ der retrahierten Lunge entsprechend dem verminderten ventilierbaren Lungenvolumen. Wird dieselbe Lunge jedoch plethysmographisch analysiert, mit einer Methode folglich, welche auch das nicht belüftete intrathorakale Gasvolumen erfasst, so zeigt sich die eigentümliche Konstellation einer verminderten Vitalkapazität, eines erhöhten Residualvolumens und vielfach einer noch normalen Totalkapazität. Ein Vergleich von spirometrischer und plethysmographischer Messung kann

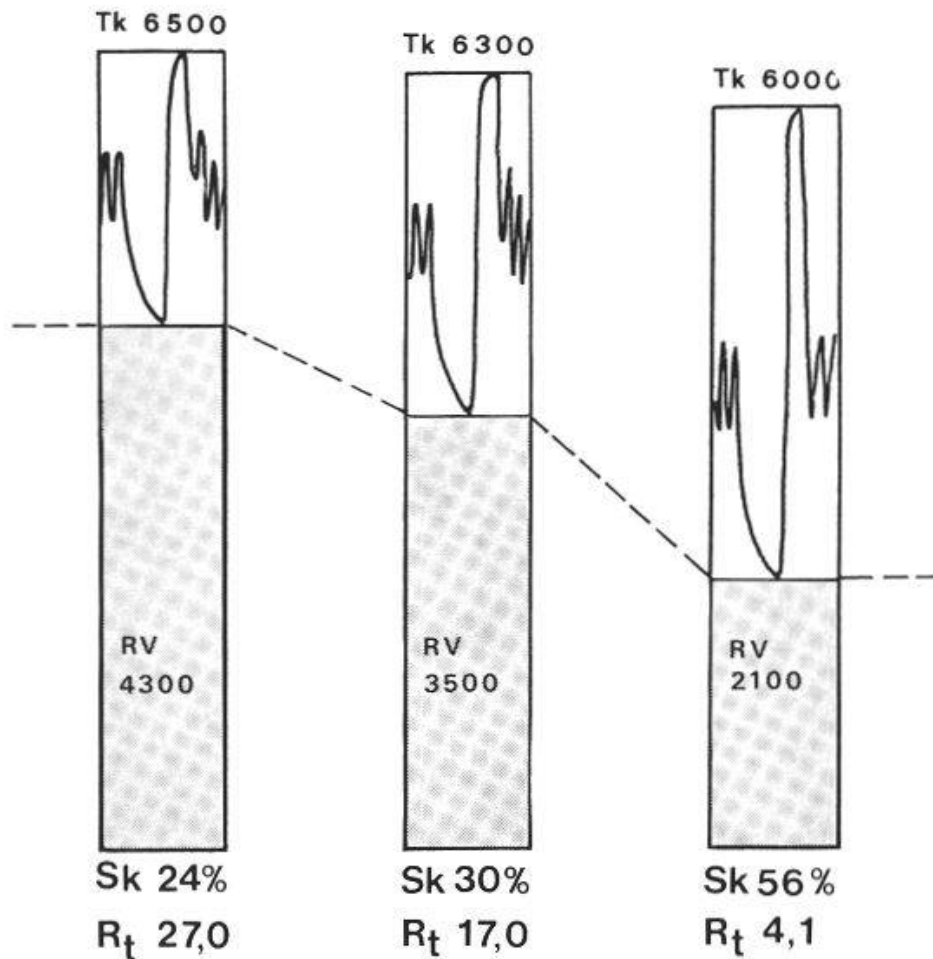


Abb. 2. Verminderung der Vitalkapazität durch funktionelles «air trapping» bei Asthma bronchiale (O. B., 38jährig). Die Verlaufskontrolle zeigt, dass bei Rückbildung des bronchialen Strömungswiderstandes (R_t) und Zunahme der Sekundenkapazität (Sk) sich das Residualvolumen (RV) sukzessive verringert zugunsten einer steigenden Vitalkapazität. Die effektive Restriktion kann allein anhand der Totalkapazität (Tk) beurteilt werden, die sich in diesem Beispiel mit abnehmender Obstruktion etwas vermindert als Ausdruck eines reversiblen Volumen pulmonum auctum.

dann in diesen Fällen die Situation klären und den Nachweis des «anatomischen air trapping» erbringen.

Eine exakte, quantitative Bestimmung restriktiver Funktionsstörungen ist vor allem zur Beurteilung der Operabilität vor grösseren thoraxchirurgischen Eingriffen notwendig [1, 6, 20]. Den erwähnten spirometrischen Methoden sind jedoch insofern Grenzen gesetzt, als damit nur globale Veränderungen der Lunge erfasst werden können. Für eine genauere Beurteilung der postoperativ verbleibenden Ventilationsreserven ist deshalb gelegentlich die getrennte Spirometrie der Lungen, die Bronchospimetrie, erforderlich. Eine charakteristische Indikation dazu stellte sich beispielsweise beim Fall eines Patienten mit ausgedehnter verkalkter Pleuraschwarte rechts und einem frisch entdeckten Lungenkarzinom links (Abb. 4 und 5).

b) Bei den *obstruktiven Erkrankungen* der Atemwege findet sich als Folge der erhöhten Strömungswiderstände stets eine Verminderung der Sekunden-

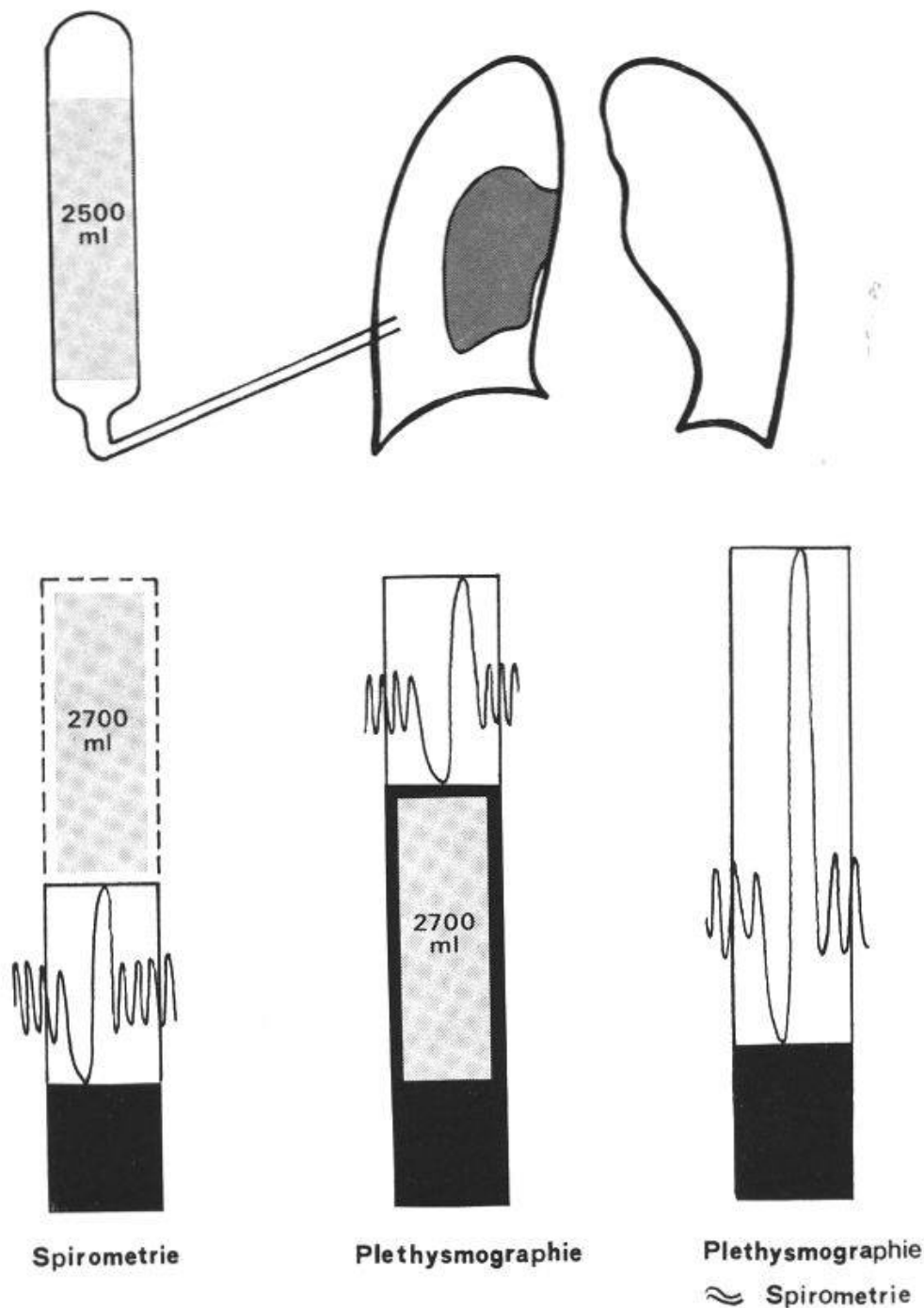


Abb. 3. Unterschiedliche Konstellation der Lungenvolumina beim Pneumothorax mit «anatomischem air trapping» durch die spirometrischen und plethysmographischen Messgrößen (M. R., 52jährig). Nach Entleerung des Pneumothorax ergeben beide Methoden wiederum identische Volumeneinheiten.

kapazität in der expiratorischen Atemstosskurve nach TIFFENEAU [36]. Das Volumen der Sekundenkapazität ist allerdings auch bei den restriktiven Erkrankungen vermindert, als Relativwert in Beziehung zur Vitalkapazität jedoch ausschliesslich bei obstruktiver Funktionsstörung. Die Beziehung zur Vitalkapazität bedeutet jedoch, dass für eine zuverlässige Beurteilung sowohl der Atemstoss wie auch die Vitalkapazität korrekt ausgeführt werden müssen, beides jedoch Übungen, welche eine optimale Mitarbeit

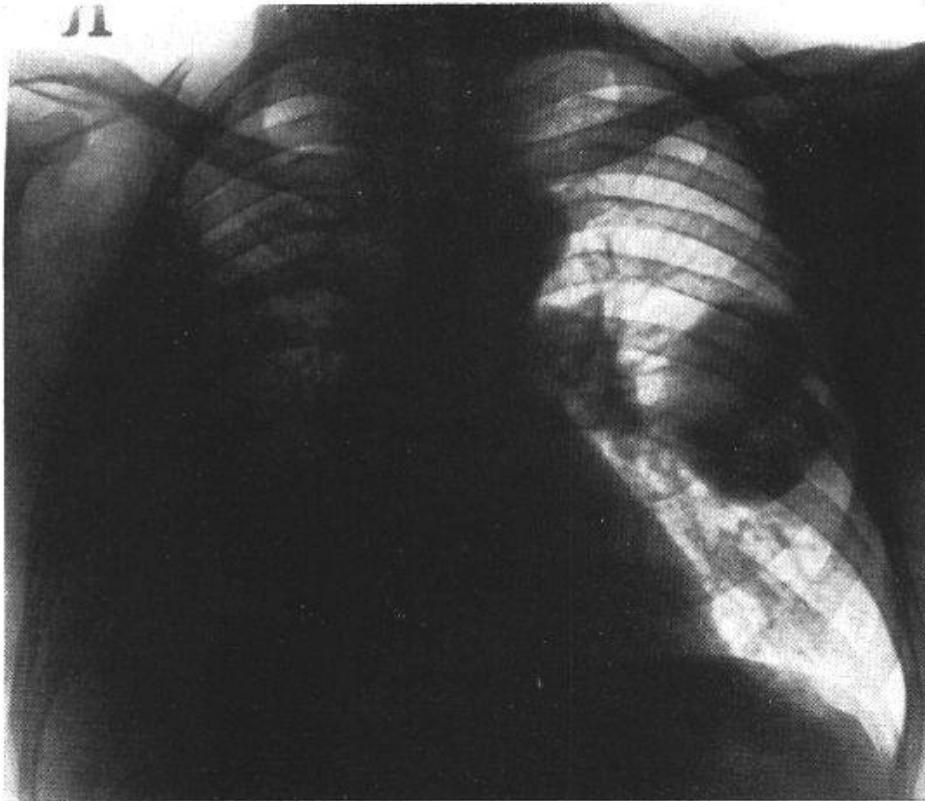


Abb. 4. Thoraxröntgenaufnahme eines Patienten (W. F., 63jährig) mit verkalkter Pleuraschwarte rechts und peripherem Lungenkarzinom links.

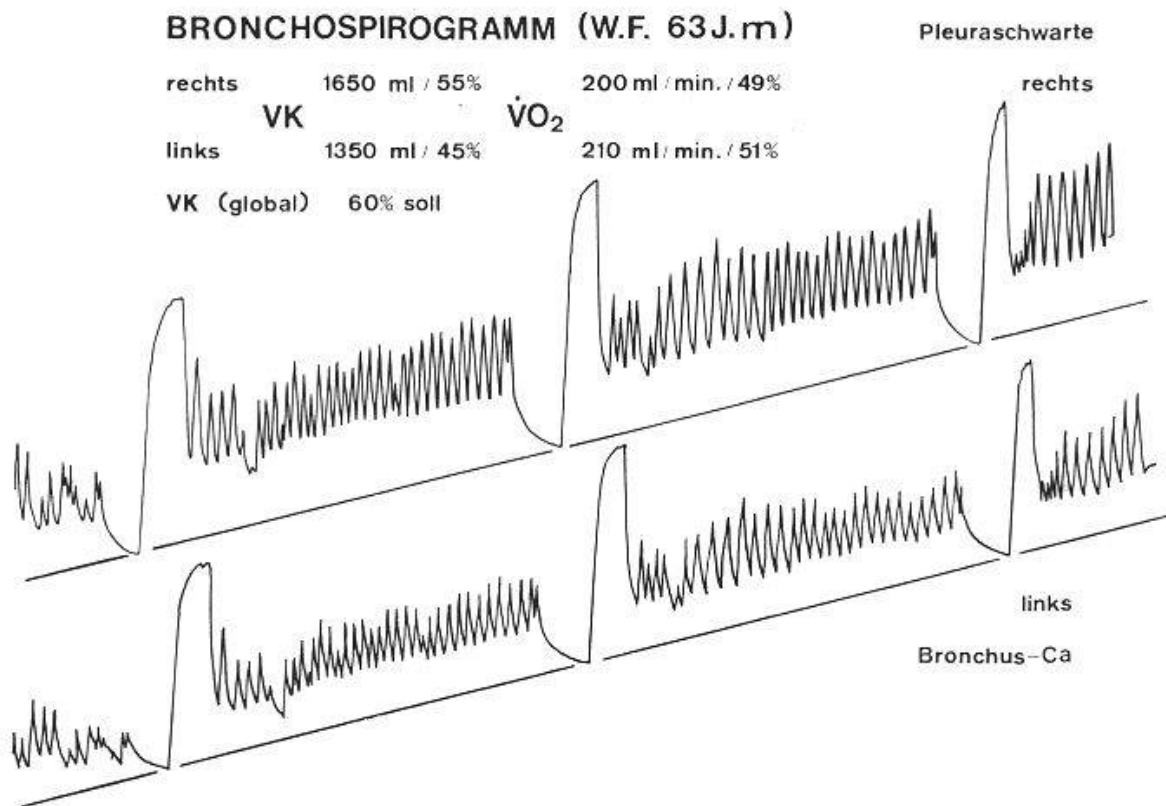


Abb. 5. Bronchospirogramm desselben Patienten wie in Abb. 4. Die schwartig veränderte rechte Seite weist noch eine erstaunlich gut erhaltene Ventilation (VK) und Perfusion ($\dot{V}O_2$) auf. Auf Grund dieses Befundes wurde beim Patienten eine Lobektomie links mit Entfernung des Tumors möglich.

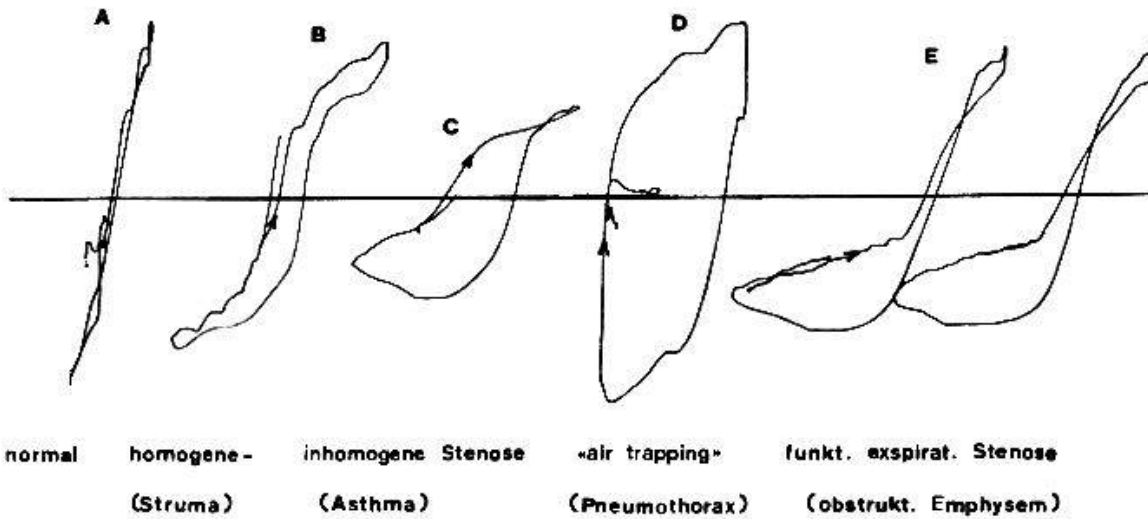


Abb. 6. Charakteristische Schleifenformen plethysmographischer Druck-Fluss-Diagramme. – A: steile und geschlossene Schleife mit annähernd identischen in- und expiratorischen Widerständen bei einer lungengesunden Versuchsperson. – B: Schleifenform bei homogener Stenose der Trachea infolge intrathorakaler Struma. – C: offene Schleife bei inhomogener Stenose mit «funktionellem air trapping» infolge asthmatischer Bronchitis. – D: offene Schleife bei «anatomischem air trapping» infolge eines einseitigen Pneumothorax. – E: vorwiegend expiratorische Atemwegobstruktion infolge funktioneller Stenose bei obstruktivem Lungenemphysem mit Bronchialkollaps.

des Patienten erfordern. Demgegenüber bringt die direkte Messung des Atemwegwiderstandes mit der ganzkörperplethysmographischen Technik eine gewisse Vereinfachung und in mancher Hinsicht auch eine Erweiterung der Funktionsdiagnostik obstruktiver Erkrankungen [3, 22, 26, 30, 31, 38, 39]:

1. Die Messwerte werden in der Regel während ruhiger und spontan gewählter Atmung registriert; sie sind dadurch von der Mitarbeit unabhängig und gut reproduzierbar.

2. Eine genauere Formanalyse des Druckströmungsdiagramms ergibt oftmals nähere Aufschlüsse über die Art der Funktionsstörung; so finden sich charakteristische Kurven bei homogenen und inhomogenen Stenosen, bei Ventilationsstörungen mit «air trapping» oder bei vorwiegend expiratorischer funktioneller Atemwegstenose (Abb 6).

3. Gelegentlich beobachtet man bei gewissen Patienten trotz eines normalen, plethysmographisch bestimmten Strömungswiderstandes während ruhiger Atmung eine deutlich verminderte Sekundenkapazität. Diese Konstellation findet sich beispielsweise bei bewusster oder unbewusster Kooperationsschwäche des Patienten im Atemstosstest, ferner bei der funktionellen expiratorischen Atemwegstenose infolge eines Tracheobronchialkollapses oder seltener bei Myopathien der Atmungsmuskulatur. Die Aufzeichnung des Druckströmungsdiagramms beim maximalen expiratorischen Atemstoss im Ganzkörperplethysmographen kann diese Fälle klären helfen [32].

Auch bei den obstruktiven Erkrankungen sind dem Untersucher durch die beschriebenen Methoden dann Grenzen gesetzt, wenn es gilt, die Atemwegstenose zu lokalisieren. Hierfür ist oftmals die Technik der intrabronchialen

Tabelle 2

Lungenfunktion beim obstruktiven Emphysem mit globalrespiratorischer Insuffizienz
(n = 61)

Blutgase:		
O ₂ -Spannung	(mm Hg)	57,8 ± 9,7
CO ₂ -Spannung	(mm Hg)	52,0 ± 7,1
pH		7,37 ± 0,06
Plethysmographie:		
Totalkapazität	(% Soll)	132 ± 18
Vitalkapazität	(% Soll)	65 ± 18
Sekundenkapazität	(% VK)	30 ± 8
	(% Soll)	28 ± 9
Bronchialwiderstand	(cm H ₂ O/l/sec)	10,4 ± 4,9

Druckmessung nützlich, durch welche Ort und Ausmass der erhöhten Strömungswiderstände ermittelt werden können [21, 24].

e) Auch beim *Lungenemphysem* finden sich charakteristische Veränderungen der spirometrischen Messwerte (Tab. 2). Bezeichnend dafür sind die Erhöhung der Totalkapazität als Ausdruck eines irreversiblen Volumen pulmonum auctum, ein vergrössertes Residualvolumen und vor allem eine deutlich erniedrigte Sekundenkapazität [9]. Der bronchiale Strömungswiderstand ist vielfach infolge einer obstruierenden Begleitbronchitis deutlich erhöht; nach adäquater antibronchitischer Behandlung kann er sich jedoch gelegentlich vollständig normalisieren [23, 28]. Die Sekundenkapazität bleibt dabei weiterhin erniedrigt, da sie ja nicht nur durch die bronchitische Obstruktion, sondern gleichzeitig durch einen stets vorhandenen expiratorischen Bronchialkollaps beeinträchtigt wird [19]. In der Praxis hat sich denn auch die Sekundenkapazität als die wichtigste Messgrösse bei der Beurteilung des obstruktiven Emphysems eingebürgert [9, 28].

II.

Die *Störungen des intrapulmonalen Gasaustauschs infolge veränderter Ventilations-Perfusions-Verhältnisse* oder infolge *Diffusionsstörungen* verursachen häufig pathologische arterielle Blutgasspannungen.

a) Bei der arteriellen Blutgasanalyse lassen sich anhand der Kohlen-säurespannung die Abweichungen der globalen alveolären Belüftung im Sinne von Hyper- bzw. Hypoventilation ermessen. Durch gleichzeitige Bestimmung des pH können derartige Ventilationsstörungen vielfach näher umschrieben werden; so finden wir bei der alveolären Minderbelüftung

Tabelle 3

Blutgase bei obstruktivem und restriktivem Syndrom mit respiratorischer Insuffizienz

	pO ₂	pCO ₂	pH	st-HCO ₃ ⁻
Kompensierte respirat.				
Azidose (n = 20)	46,6 ± 3,4	61,2 ± 2,7	7,40 ± 0,02	33,0 ± 1,4
Dekompensierte respirat.				
Azidose (n = 24)	37,8 ± 4,8	70,5 ± 8,5	7,30 ± 0,05	30,9 ± 3,3
Akute respirat.				
Azidose (n = 12)	29,4 ± 7,0	86,0 ± 33,0	7,16 ± 0,27	21,4 ± 3,0

typische Konstellationen bei chronischen kompensierten und dekompenzierten sowie bei akuten Formen (Tab. 3). Eine erniedrigte Sauerstoffspannung (Hypoxämie) deutet ferner auf eine der drei bekannten Funktionsstörungen hin: 1. Partialinsuffizienz bei gestörtem Ventilations-Perfusions-Verhältnis mit funktionellem oder anatomischem Rechts-Links-Shunt. 2. Globalinsuffizienz bei alveolärer Minderbelüftung. 3. Diffusionsstörung für Sauerstoff bei alveolokapillärem Block oder verkürzter Kontaktzeit des Lungenkapillarbluts.

b) Zur Differenzierung der im Einzelfall verantwortlichen Funktionsstörung hat sich die Bestimmung der Blutgase unter Sauerstoffmangelatmung, unter reiner Sauerstoffatmung und während körperlicher Belastung bewährt [11, 34, 35]. Bestehen kombinierte Störungen von Ventilation, Perfusion und Diffusion, so sind für eine sichere Abgrenzung und Beurteilung der einzelnen Komponenten mitunter aufwendigere Methoden notwendig [16, 17, 35].

Indessen ist die Bestimmung der Blutgase während körperlicher Belastung am Ergometer eine wertvolle und sehr objektive Methode in der Beurteilung der pulmonalen Leistungsfähigkeit, insbesondere im Rahmen einer thoraxchirurgischen Operabilitätsabklärung oder auch zur Begutachtung der Arbeitsfähigkeit bei pulmonalen Erkrankungen [7, 8]. Nur als funktionsdiagnostisches Hilfsmittel zur Abklärung einer Hypoxämie erscheint uns jedoch der Aufwand, welchen eine Ergometrie mit sich bringt, recht beachtlich.

c) Eine weniger aufwendige Methode zumindest zur Erfassung von Diffusionsstörungen ist die Bestimmung der Diffusionskapazität mit Kohlenmonoxyd, einem Fremdgas mit ähnlichem Diffusionsvermögen wie der Sauerstoff [5, 14, 15]. So fanden wir in unserem Krankengut eine statistisch signifikante Übereinstimmung zwischen der CO-Diffusionskapazität in Ruhe einerseits und den Befunden der Blutgasanalyse in Ruhe und unter körperlicher Belastung andererseits (Abb. 7). Die unbefriedigende Korrelation in einzelnen Fällen dürfte dabei auf den zahlreichen methodischen Fehlermöglichkeiten

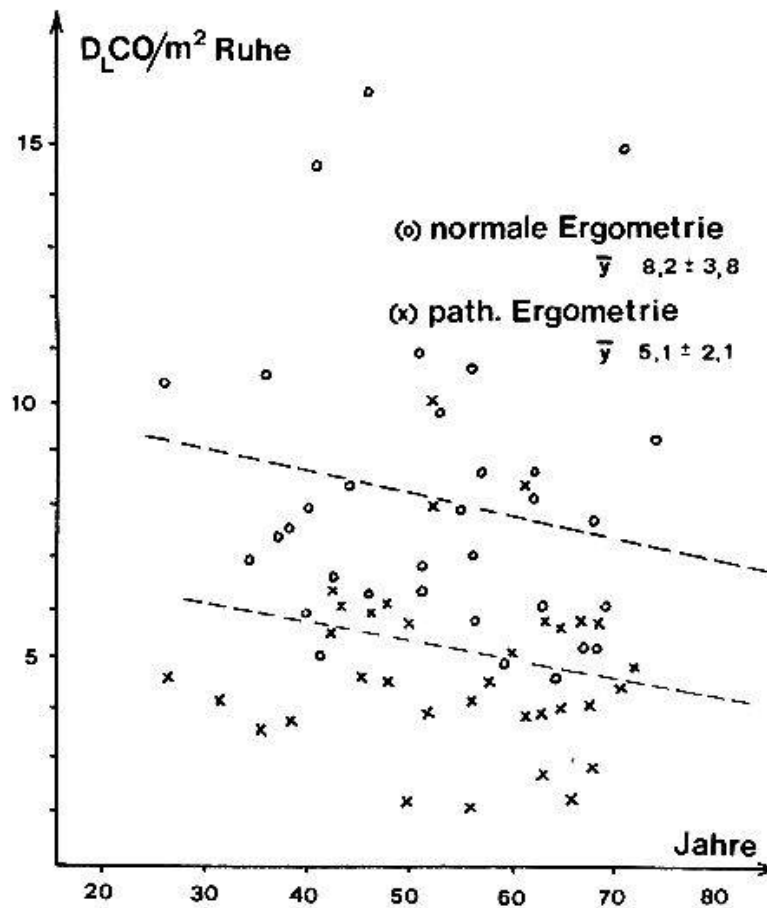


Abb. 7. Vergleich von CO-Diffusionskapazität nach der «steady-state»-Methode in Ruhe mit den Befunden der arteriellen Blutgasanalyse unter körperlicher Belastung. Normale Ergometrie — normale O_2 -Spannung unter Belastung. Neben der Altersabhängigkeit beeinflussen weitere Faktoren den Messwert der CO-Diffusionskapazität (vgl. Text).

der Diffusionsmessung mit CO beruhen, deren Messwerte beispielsweise durch Veränderungen des Atemtypus, der Atemlage, durch Ventilationsstörungen mit inhomogener Belüftung, durch das aktuelle kapilläre Blutvolumen und andere Faktoren mehr beeinflusst werden können [29, 32, 37]. Trotzdem erscheint uns die Messung der Diffusionskapazität mit CO als einfache Screening-Methode recht wertvoll, in der Meinung, dass in Zweifelsfällen weiterhin auch auf den Befund der Blutgasanalyse und der Ergometrie abgestellt werden sollte.

Mit den erwähnten Methoden können Störungen des pulmonalen Gasaustausches wiederum nur in ihrer globalen Auswirkung erfasst werden. Indessen wäre in vielen Fällen eine regionäre Funktionsanalyse ebenso wünschenswert; eine Forderung, die in neuester Zeit durch die Verwendung von Radioisotopen zumindest teilweise erfüllt werden kann.

Zusammenfassung

Mit den heute im Routinebetrieb verwendbaren Methoden der Lungenfunktionsprüfung können globale Veränderungen der Ventilation und des pulmonalen Gasaustauschs weitgehend erfasst werden. Die Spirometrie im geschlossenen System wie auch die Ganzkörperplethysmographie mit Spirometrie im offenen System dienen vorzugsweise der Diagnostik restriktiver und obstruktiver Ventilationsstörung einschliesslich des Lungenemphysems. Pathologische Veränderungen des pulmonalen Gasaustauschs lassen sich in der Regel anhand der arteriellen Blutgasspannungen unter verschiedenartigen Versuchsbedingungen erkennen und auch näher differenzieren. Die Bestimmung der Diffusionskapazität für Kohlenmonoxyd hat sich als brauchbare Screening-Methode zur Erfassung von Diffusionsstörungen der Lunge bewährt. Die beschriebenen Methoden leisten wertvolle Dienste sowohl für die qualitative wie auch für die quantitative Analyse pulmonaler Funktionsstörungen; ihre Grenzen sind dort erreicht, wo es gilt, Atemfunktionsstörungen genauer zu lokalisieren.

Résumé

Les méthodes d'analyse de la fonction pulmonaire utilisées en pratique courante aujourd'hui donnent des renseignements assez complets sur les modifications globales de la ventilation et de l'échange gazeux pulmonaire. La spirométrie en système fermé ainsi que la pléthysmographie du corps entier avec spirométrie en système ouvert, servent surtout à diagnostiquer les troubles respiratoires de nature obstructive ou restrictive, emphysème pulmonaire compris. En règle générale l'on peut reconnaître et différencier des altérations pathologiques de l'échange gazeux pulmonaire en ayant recours à la détermination des tensions gazeuses artérielles dans des conditions différentes. La détermination de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone s'est révélée être une méthode de «screening» utilisable pour mettre en évidence les troubles de diffusion des poumons. Ces différentes méthodes sont tout à fait valables pour l'analyse aussi bien qualitative que quantitative des troubles pulmonaires fonctionnels; mais elles sont insuffisantes dès qu'il s'agit de localiser les troubles de la fonction respiratoire.

Riassunto

Grazie ai metodi di determinazione della funzione polmonare, usati oggi in pratica corrente, è possibile di determinare le alterazioni globali della ventilazione come pure lo scambio gassoso polmonare. La spirometria a sistema chiuso, come pure la pletismografia di tutto il corpo con spirometria a sistema aperto, servono in particolare alla diagnosi di alterazioni della ventilazione di natura restrittiva e ostruttiva, enfisema polmonare compreso. Le alterazioni patologiche del ricambio gassoso polmonare possono in generale essere differenziate ulteriormente sulla base delle tensioni arteriose

del gas ematico, misurate in condizioni sperimentali differenti. La determinazione della capacità di diffusione dell'ossido di carbonio si è imposta quale metodo di selezione per diagnosticare i disturbi della diffusione polmonare. I metodi descritti sono di grande aiuto sia per l'analisi qualitativa che quella quantitativa delle alterazioni funzionali del polmone; il loro limite è raggiunto quando si tratta di localizzare più esattamente le alterazioni della funzione respiratoria.

Summary

With the routine methods of lung function tests at present in use, global changes in ventilation and pulmonary gas exchange can be largely determined. Spirometry in the closed system, as also whole body plethysmography with spirometry in the open system, are preferred for the diagnosis of restrictive and obstructive disturbances of ventilation, including lung emphysema. Pathological changes of the pulmonary gas exchange can usually be recognised by the arterial blood gas tensions under different experimental conditions, and they can be more closely differentiated. The determination of diffusion capacity for carbon monoxide has proved a useful screening method to determine the disorders in diffusion of the lung. The methods described are valuable both for the qualitative and for the quantitative analysis of pulmonary disorders of function; they are limited when a more exact localisation of the disturbance of respiratory function is required.

1. AEPLI R.: Die Beurteilung der Operabilität bei thoraxchirurgischen Eingriffen. *Schweiz. med. Wschr.* 99, 728 (1969).
2. AMREIN R., KELLER R., JOOS H. und HERZOG H.: Neue Normalwerte für die Lungenfunktionsprüfung mit der Ganzkörperplethysmographie. *Dtsch. med. Wschr.* 94, 1785 (1969).
3. BACHOFEN H. und SCHERRER M.: Über die Messung des Bronchialwiderstandes mit dem Körperplethysmographen. *Schweiz. med. Wschr.* 96, 112 (1966).
4. BALDWIN E. F., COUNNAND A. und RICHARDS D. W.: Pulmonary insufficiency. I. Physiological classification, clinical methods of analysis, standard values in normal subjects. *Medicine (Baltimore)* 27, 243 (1948).
5. BATES D. V. und PEARCE J. F.: The pulmonary diffusing capacity. *J. Physiol. (Lond.)* 132, 232 (1956).
6. BOUSKY S. F., BILLIG D. M., NORTH L. B. und HELGASON A. H.: Clinical course related to preoperative and postoperative pulmonary function in patients with bronchogenic carcinoma. *Dis. Chest* 59, 383 (1971).
7. BÜHLMANN A.: Ergometrie, in: Begutachtung von Lungenfunktionsstörungen. Thieme, Stuttgart 1968.
8. BÜHLMANN A., SCHERRER M. und HERZOG H.: Vorschläge zur einheitlichen Beurteilung der Arbeitsfähigkeit durch die Lungenfunktionsprüfung. *Schweiz. med. Wschr.* 91, 105 (1961).
9. BURROWS B., NIDEN A. H. und STRAUSS R. H.: Chronic obstructive lung disease. III. Interrelationships of pulmonary function data. *Amer. Rev. resp. Dis.* 91, 861 (1965).
10. CHRISTIE R. V.: Lung volume and its subdivisions. *J. clin. Invest.* 11, 1099 (1932).
11. COMROE J. H., FORSTER R. E., DUBOIS A. B., BRISCOE W. A. und CARLSEN E.: Die Lunge. *Klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfungen*. Schattauer, Stuttgart 1964.

12. DuBois A. B., Botelho S. Y., Bedell G. N., Marshall R. und Comroe J. H.: A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume: a comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *J. clin. Invest.* 35, 322 (1956).
13. DuBois A. B., Botelho S. Y. und Comroe J. H.: A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J. clin. Invest.* 35, 327 (1956).
14. Filley G. F., MacIntosh D. J. und Wright G. W.: Carbon monoxide uptake and pulmonary diffusing capacity in normal subjects at rest and during exercise. *J. clin. Invest.* 33, 530 (1956).
15. Forster R. E.: Exchange of gases between alveolar air and pulmonary capillary blood: pulmonary diffusing capacity. *Physiol. Rev.* 37, 391 (1957).
16. Gurtner H. P.: Die Verteilung der Lungendurchblutung beim chronischen Emphysem. Huber, Bern 1968.
17. Hertle F. H. und Vogel H. R.: Verteilungsstörungen bei chronischer Bronchitis, in: Chronische Bronchitis. Schattauer, Stuttgart 1968.
18. Hertz C. W.: Klinische Anwendung moderner Lungenfunktionsprüfungen und ihre Indikation. *Verh. dtsh. Ges. inn. Med.* 69, 237 (1963).
19. Herzog H.: Pathophysiologie und Klinik der chronischen Emphysebronchitis. *Helv. med. Acta Suppl.* 49, 17 (1969).
20. Herzog H. und Keller R.: Postoperative Lungeninsuffizienz. *Chirurg* 42, 156 (1971).
21. Herzog H., Keller R., Maurer W., Baumann H. R. und Nadjaft A.: Distribution of bronchial resistance in obstructive pulmonary diseases and in dogs with artificially induced tracheal collapse. *Respiration* 25, 361 (1968).
22. Herzog H., Keller R., Amrein R., Matthys H. und Joos H.: Patterns of correlation of pulmonary function values determined by spirometry and body plethysmography. *Progr. Resp. Res.* 4, 205 (1969).
23. Herzog H., Knuchel R., Nosbaum R., Baumann H. R. und Keller R.: Funktionelle Erfolge in der Behandlung der chronischen Bronchitis. *Progr. Resp. Res.* 6, 181 (1971).
24. Herzog H., Keller R. und Allgöwer M.: Special methods of diagnosing and treating obstructive diseases of the central airways. *Chest* 60, 49 (1971).
25. Jaeger M. J. und Otis A. B.: Measurement of airway resistance with a volume displacement body plethysmograph. *J. appl. Physiol.* 19, 813 (1964).
26. Keller R., Paganoni O. und Herzog H.: Examen de la fonction pulmonaire par la pléthysmographie corporelle globale. *Méd. et Hyg. (Genève)* 26, 634 (1968).
27. Keller R. und Herzog H.: Erweiterte Funktionsdiagnostik obstruktiver Erkrankungen der Atemwege mit der Ganzkörperplethysmographie. *Beitr. Klin. Tuberk.* 139, 100 (1969).
28. Keller R. und Herzog H.: Die Beurteilung des obstruktiven Lungenemphysems durch routinemässige Lungenfunktionsprüfungen. *Pneumology* 144, 85 (1971).
29. Kreukniel J. und Visser B. F.: Die Diffusionskapazität der Lungen für Kohlenmonoxyd berechnet mit Hilfe des arteriellen und alveolären Kohlendioxidpartialdruckes bei Patienten mit Verteilungsstörungen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 277, 585 (1963).
30. Matthys H., Keller R. und Herzog H.: Plethysmographic assessment of trapped air in man. *Respiration* 27, 447 (1970).
31. Nolte D., Reif E. und Ulmer W. T.: Die Ganzkörperplethysmographie. Methodische Probleme und Praxis der Bestimmung des intrathorakalen Gasvolumens und der Resistance-Messung bei Spontanatmung. *Respiration* 25, 14 (1968).
32. Podlesch I. und Stevanovic M.: Die Altersabhängigkeit der Diffusionskapazität der Lunge in Ruhe und während Belastung. *Med. thorac.* 23, 144 (1966).
33. Reichel G.: Forderungen für die Funktionsdiagnostik, Minimal-Maximalprogramm. *Beitr. Klin. Tuberk.* 133, 312 (1966).
34. Rossier P. H., Bühlmann A. und Wiesinger K.: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Springer, Heidelberg 1958.

35. SCHERRER M.: Störungen des Gasaustausches in der Lunge. Huber, Bern 1961.
36. TIFFENEAU R. und DRUTEL P.: L'épreuve du cycle respiratoire maximum pour l'étude spirométrique de la ventilation pulmonaire. *Presse méd.* 60, 640 (1952).
37. TURINO G. M., BRANDFONBRENER M. und FISHMAN A. P.: The effect of changes in ventilation and pulmonary blood flow on the diffusing capacity of the lung. *J. clin. Invest.* 38, 1186 (1959).
38. ULMER W. T. und REIF E.: Die obstruktiven Erkrankungen der Atemwege. *Dtsch. med. Wschr.* 90, 1803 (1965).
39. WICK R., JAEGER M. J. und SCHERRER M.: Vor- und Nachteile der Körperplethysmographie als klinische Lungenfunktionsprüfung. *Med. thorac.* 21, 315 (1964).

Adresse des Autors: Dr. R. Keller, Lungenfunktionslabor der medizinischen und chirurgischen Universitätskliniken, Bürgerspital, CH-4000 Basel.