

Kommentar von RL/MH:

Gute Übersicht und super erklärt; aber für Erwachsene!

## Praxis-Spirometrie

Markus Gnädinger<sup>a</sup>, Monika Curschellas<sup>b</sup>, Nadja Natterer<sup>c</sup>, Robert Thurnheer<sup>c</sup><sup>a</sup> Institut für Hausarztmedizin und Versorgungsforschung, Universität, Zürich<sup>b</sup> Medizinisches Zentrum gleis d AG, Chur<sup>c</sup> Medizinische Diagnostik, Kantonsspital, Münsterlingen

### Quintessenz

- Der Artikel richtet sich an medizinische Praxisassistentinnen, Pflegende und Ärzte, welche Spirometrien in Praxen und Spitalambulatorien durchführen. Trotz hoher Verfügbarkeit, erschwinglichem Preis und Einfachheit der Untersuchung wird die Spirometrie zu selten eingesetzt. Handhabung des Gerätes, geduldige Patienteninstruktion und korrekte Durchführung des Tests sind entscheidend für die Qualität des Untersuchungsergebnisses.
- Die Spirometrie eignet sich zur Diagnose und Verlaufsbeurteilung von obstruktiven Ventilationsstörungen wie Asthma und COPD. Die Lungenüberblähung und Effekte entsprechender Therapien entgehen aber der alleinigen Spirometrie; dafür ist zusätzlich die Plethysmographie nötig.
- Restriktive Ventilationsstörungen können ebenfalls quantifiziert werden, hier sind jedoch meist zusätzliche, nur plethysmographisch zu erhebende Parameter wie die totale Lungenkapazität und Informationen über den Gasaustausch gewünscht.
- Zur Interpretation gehört die Beurteilung der Mitarbeit, Untersuchungsqualität, Reproduzierbarkeit und ggf. des Akuteffekts einer Bronchodilatation. Bereits die Form der in- und expiratorischen Fluss-Volumen-Kurve lässt Rückschlüsse über eine mögliche Ventilationsstörung zu, für eine Quantifizierung sind die Messwerte einzubeziehen.

### Einleitung

Die Spirometrie ist einfach, kostengünstig und ungefährlich. Trotzdem besteht eine auffällige «Unternutzung» dieser Methode. Während bei Patienten mit Thoraxschmerzen routinemässig ein EKG angefertigt wird, wird bei akuter Dyspnoe oft ohne Lungenfunktionsprüfung empirisch behandelt. Dyspnoe unkritisch mit einer Bronchialobstruktion und der Indikation für eine Kombinationstherapie mit einem Betastimulator und einem Kortikosteroid gleichzusetzen kann zu falschen, unnötigen oder gar schädlichen Therapien führen. In einer Untersuchung einer Gemeinschaftspraxis-Ambulanz liess sich eine rein klinisch gestellte Asthmadignose bei 150 von 499 Patienten nicht bestätigen [1]. Auch eine COPD-Diagnose lediglich auf eine Tabak-Anamnese verbunden mit Dyspnoe zu stützen genügt der mittlerweile differenzierten COPD-Phänotypisierung nicht. Eine Obstruktion und deren Schweregrad, die Reversibilität einer Bronchialobstruktion oder der Nachweis einer Restriktion reichen jedoch bereits aus, die häufigsten Diagnosen zu stellen und Therapieentscheide zu treffen.



Markus  
Gnädinger

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

### Messwerte der Spirometrie

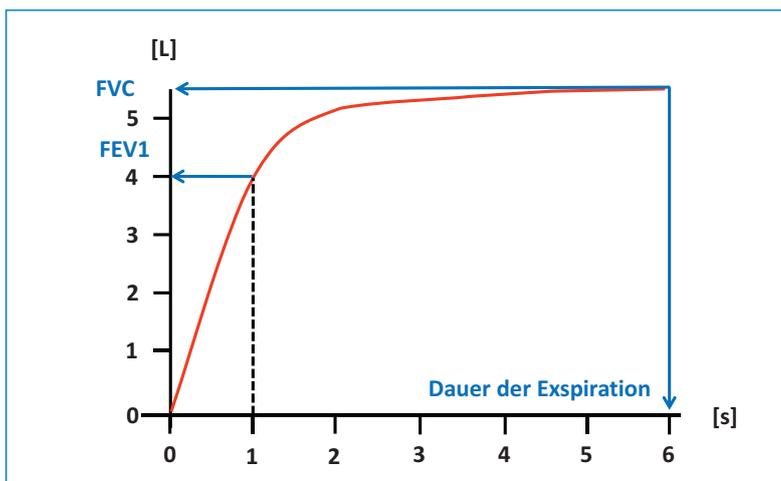
Mit einem forcierten Ausatemmanöver von mindestens 6 Sekunden Dauer lässt sich in der Fluss-Zeit-Kurve (Abb. 1 ) eine forcierte Vitalkapazität (FVC) darstellen. Bei langsamer Aus- oder Einatmung lässt sich eine Vitalkapazität (SVC) messen, die weniger vom bronchialen Widerstand abhängt und i.d.R. etwas höhere Messwerte als die FVC ergibt. Meist wird jedoch die Flussgeschwindigkeit mit einem forcierten Manöver über die Zeit der gesamten Expiration integriert. Daraus resultieren die uns vertrauten expiratorischen Fluss-Volumen-Kurven, welche von heute üblichen elektronischen Geräten graphisch dargestellt werden (Abb. 2 ). Das Verhältnis des Erstsekundenvolumens (FEV<sub>1</sub>, blau schraffierte Fläche) zur gesamten Vitalkapazität (ganz korrekt wäre hier eine langsame inspiratorische Vitalkapazität einzusetzen) ergibt den Tiffeneau-Quotienten [2]. Ist dieser erniedrigt, liegt eine Atemwegsobstruktion vor. Meist wird der «Tiffeneau-Quotient» jedoch gerade aus dem forcierten Manöver aus dem Verhältnis FEV<sub>1</sub>/FVC berechnet. In dieser Darstellung ist auch der Peak-Flow, der Spitzenfluss, ersichtlich. Die Inspiration zeigt üblicherweise eine runde Form an, hier findet sich keine Flusslimitation durch die Bronchien. Die Flussgeschwindigkeiten bei 25, 50 und 75% der Vitalkapazität werden von den meisten Geräten gemessen (Abb. 3 ), der pathophysiologische oder prognostische Wert dieser Information ist jedoch vernachlässigbar [3].

### Indikationen zur Spirometrie

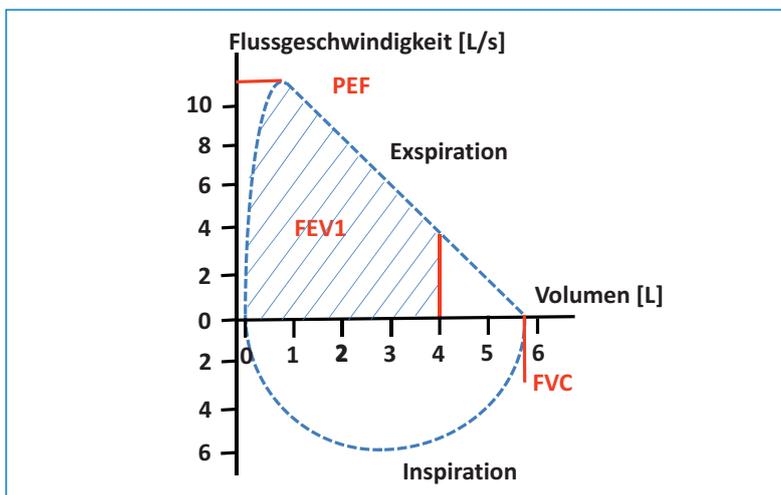
Jede Störung der Atmung, die nicht zwanglos einer harmlosen und reversiblen Ursache zugeschrieben werden kann, soll mittels Spirometrie untersucht werden [4]. Diese eignet sich ebenso zur Verlaufsbeurteilung, zur präoperativen Abklärung und als Instrument zur Motivationsarbeit beim Patienten. Folgende Symptome sollten Anlass zur Veranlassung einer Spirometrie geben: Dyspnoe, Beklemmung, rasche Atmung, giemende Ge-

#### Abkürzungen

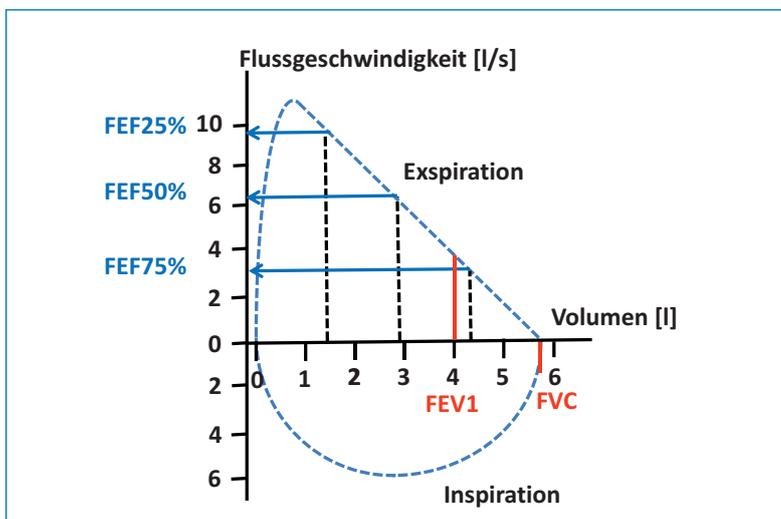
COPD = Chronisch obstruktive Pneumopathie  
 FEF/FIV = Forcierter (E) expiratorischer oder (I) inspiratorischer Fluss  
 FEV<sub>1</sub> = Erstsekundenkapazität (Forced expiratory volume in 1 second)  
 FVC = Forcierte Vitalkapazität  
 PEF = Expiratorischer Spitzenfluss (Peak expiratory flow)  
 SVC = Langsame (i.d.R. inspirativ gemessene) Vitalkapazität (slow vital capacity)  
 VCD = Vocal cord dysfunction



**Abbildung 1**  
Volumen-Zeit-Kurve, idealtypische Darstellung. Das Rechteck zeigt die Erstsekundenkapazität (FEV<sub>1</sub>) an.



**Abbildung 2**  
Fluss-Volumen-Kurve, idealtypische Darstellung (gleicher Patient wie in Abb. 1). PEF = Maximaler Ausatemungsfluss; FVC = Forcierte Vitalkapazität; die Erstsekundenkapazität (FEV<sub>1</sub>) ist schraffiert dargestellt.



**Abbildung 3**  
Fluss-Volumen-Kurve, idealtypische Darstellung (gleicher Patient wie in Abb. 1) mit Darstellung der Forcierten expiratorischen Flussgeschwindigkeiten (FEF) bei 25, 50 und 75% der Vitalkapazität.

räusche, Husten, Auswurf, Exposition gegenüber Rauch, Stäuben, Chemikalien.

Absolute Kontraindikationen, ausser während des lebensbedrohlichen Asthmaanfalls und bei einem Pneumothorax, gibt es nicht. Vorsicht ist geboten bei Frischoperierten; bei Thoraxwandschmerzen oder abdominellen Beschwerden sind Spirometrien kaum aussagekräftig. Starker Husten und allgemeine Schwäche werden zu unbrauchbaren Resultaten führen.

### Gerätehandhabung

Die meisten käuflich erhältlichen Geräte lassen sich an eine Software anschliessen oder haben diese integriert. Geräteeinstellungen sollten überprüft werden, ein falsches Datum führt zu fehlerhaften Altersberechnungen des Patienten und damit falschen Normwerten. Zur Normwertberechnung müssen Ethnie, Geschlecht, Grösse und Alter angegeben werden [5]. Einige Geräte müssen geeicht werden, ggf. müssen der Barometerdruck und die Luftfeuchtigkeit eingegeben werden. Die jeweiligen Hygiene-Empfehlungen des Herstellers sind zu beachten [6].

### Patienteninstruktion, Durchführung der Untersuchung

Die Untersuchungstechnik der Spirometrie wird entscheidend durch die Kooperation des Patienten beeinflusst. Deswegen ist eine geduldige, aber konsequente Begleitung durch die medizinisch-technische Assistenz, bei Bedarf ergänzt mit Dolmetscher, wichtig. Die Untersuchung findet in der Regel am sitzenden Patienten statt, dem zuvor die Nase mit einer Klemme verschlossen wird. Enge Kleider/Gürtel müssen vorgängig entfernt werden. Die Kopfhaltung soll gerade sein, das Kinn leicht vorgestreckt. Dem Patienten werden die folgenden Instruktionen gegeben: «Atmen Sie maximal tief ein, nehmen Sie dann das Mundstück in den Mund und umschliessen Sie es vollständig mit den Lippen. Atmen Sie langsam und vollständig aus, bis es nicht mehr geht (langsame Vitalkapazität)». Nach einer kurzen Pause soll der Patient erneut maximal einatmen. Anschliessend erfolgt das sofortige maximal kräftige Ausatmen, «so fest und lange als möglich» oder «wie wenn Sie alle brennenden Kerzen auf einer Torte ausblasen wollten». Dieser Test wird mindestens dreimal gemacht werden müssen. Wichtig ist ein unmittelbar nach Inspiration erfolgendes Startsignal für die Expiration und eine dauernde Ermunterung, diese vollständig fortzusetzen: «weiter – weiter – weiter». Bei Verdacht auf eine zentrale Atemwegsobstruktion oder Stimmband-Dysfunktion (Struma, tracheale Stenose, *vocal cord dysfunction*) soll auch eine forcierte Inspiration durchgeführt werden. Für die Objektivierung einer Obstruktion müssen Bronchodilatoren vorgängig abgesetzt werden, die Karenz für kurzwirksame Betamimetika und Anticholinergika sollte mindestens 8 Stunden, jene für langwirksame Bronchodilatoren mindestens 24 Stunden betragen. Da bei einer Reversibilitätsprüfung einer Atemwegsob-

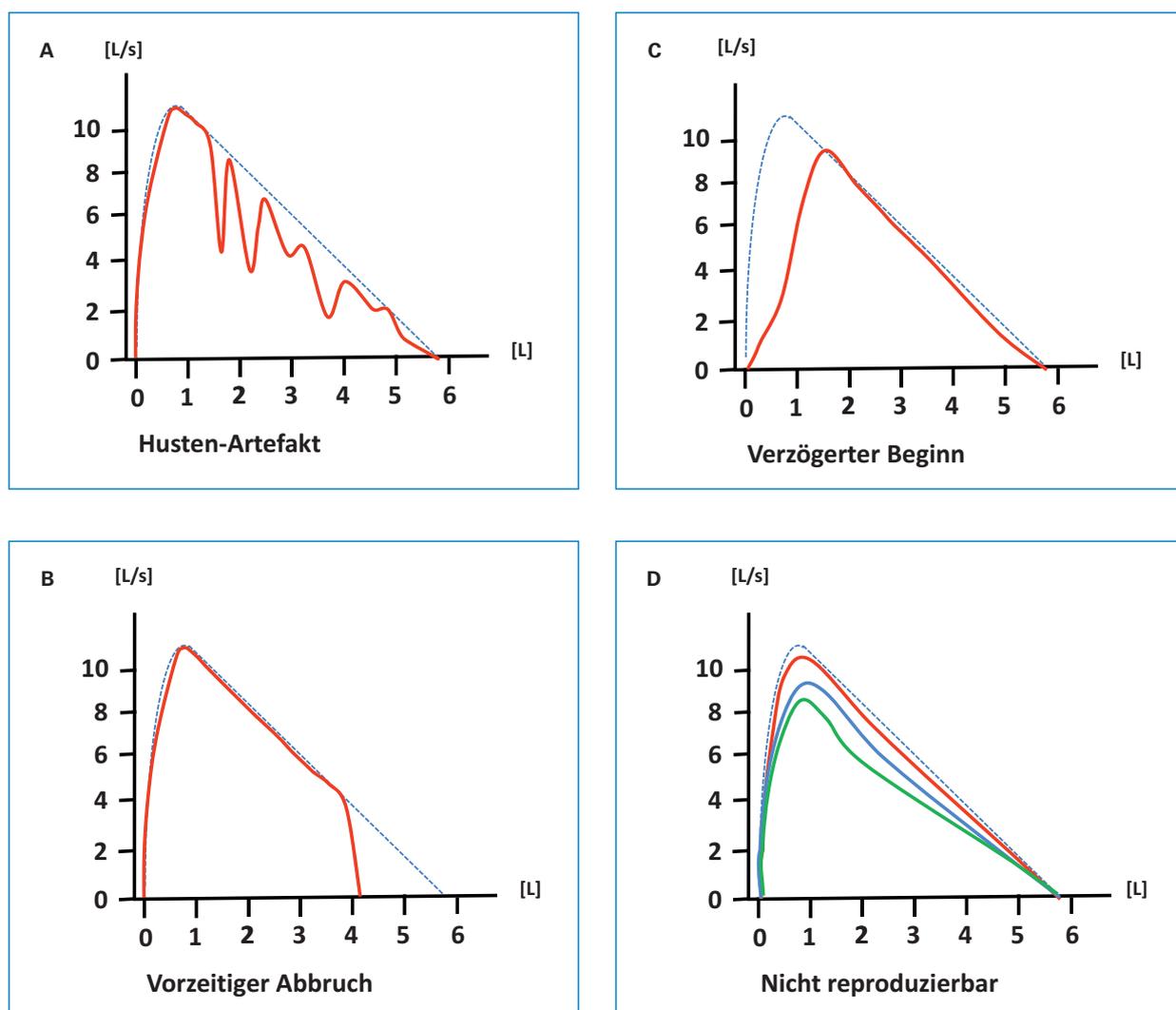
struktion mindestens 15 Minuten nach Inhalation eines rasch wirksamen Betamimetikums gewartet werden muss, ist aus Kosten- und Praktikabilitätsgründen in einer Praxis-Ambulanz eine vorausschauende Planung der Sprechstunde nötig.

Die häufigsten Fehler der Patienten sind: unvollständige Einatmung, Husten (Abb. 4A ) , vorzeitiger Abbruch (Abb. 4B ) , verzögerter Start (Abb. 4C ) , submaximale Anstrengung mit fehlender Reproduzierbarkeit (Abb. 4D ) , zwischenzeitliches Wiedereinatmen, Leck im Lippenbereich [4].

Teilweise enthalten die kommerziell erhältlichen Spirometriegeräte bereits eine Qualitätskontrolle, die den Untersucher während der Durchführung des Tests unterstützt und den Test erst als beendet erklärt, wenn die erforderliche Reproduzierbarkeit und Plausibilität erreicht sind. Die Qualität der Untersuchung wird z.B. beim EasyOne® mit A bis E semiquantitativ beschrieben; gültige Resultate können bei den Qualitätsstufen A bis C erwartet werden.

## Interpretation der Messresultate

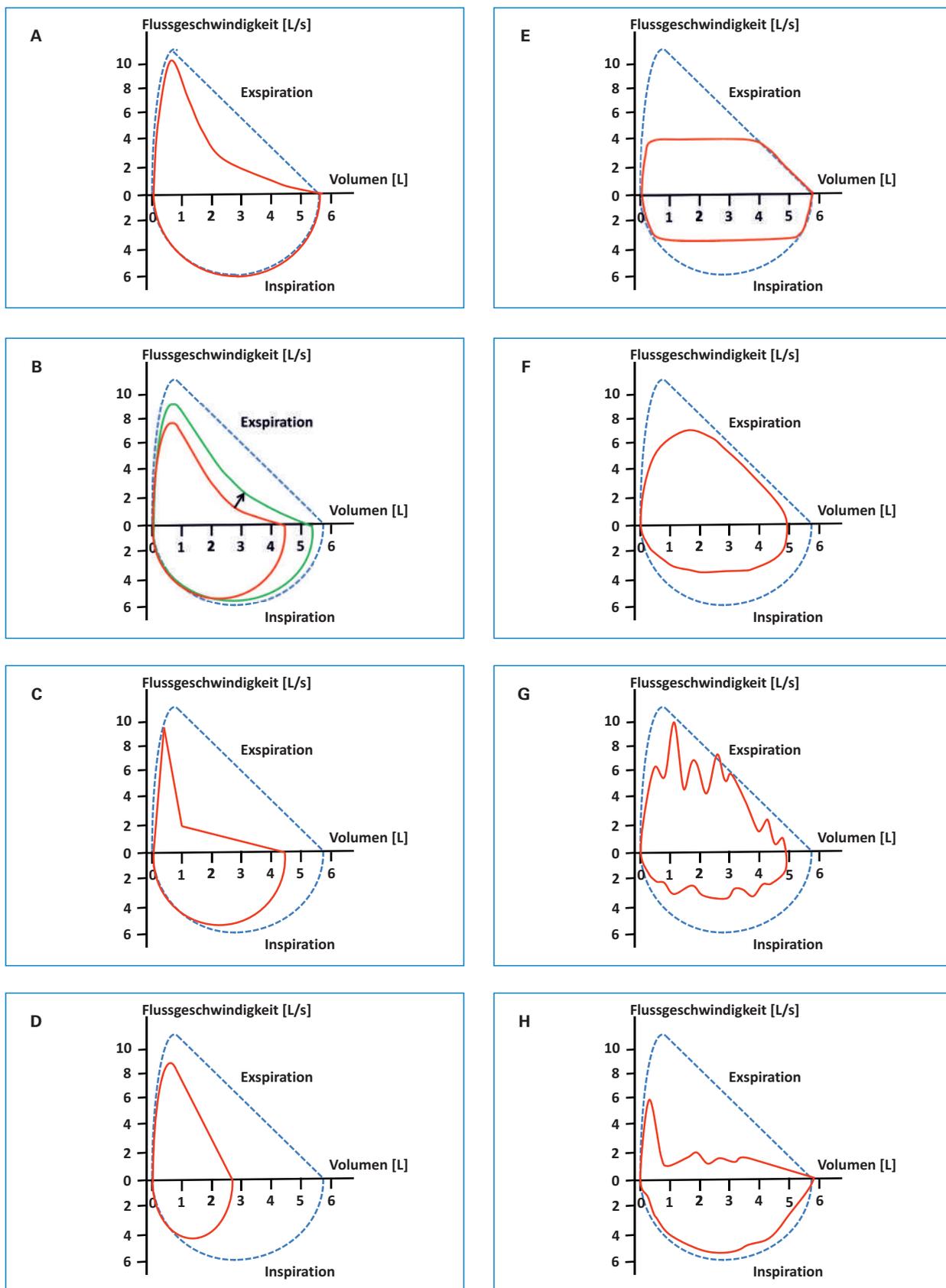
Die Kriterien für die Gültigkeit der Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 1  zusammengefasst. Für die Interpretation gültiger Messungen kann zuerst die Form der Fluss-Volumen-Kurve herangezogen werden. Die Abbildung 5A-F  zeigt die Kurvenform-Charakteristika verschiedener Erkrankungen. Bei obstruktiven Lungenerkrankungen führt die Flusslimitation in den Bronchien zur Form eines konkaven, «durchhängenden» Kurvenverlaufs. Eine teilreversible obstruktive Ventilationsstörung vor und nach Broncholyse mit Beta<sub>2</sub>-Mimetika findet sich in Abbildung 5B. Eine Teilreversibilität gilt als *signifikant*, wenn ein Gewinn von 12% und absolut 200 ml im FEV<sub>1</sub> erreicht werden. Liegt ein Emphysem vor, fehlen durch den Untergang von interstitiellem Gewebe Retraktionskräfte für die Bronchien, welche diese normalerweise offen halten. Die forcierte Expiration kann hier einen Atemwegskollaps herbeiführen, der sich typischerweise als Knick in der expira-



**Abbildung 4**

Technische Fehler bei der Durchführung der Spirometrie und ihre Abbildung in der Fluss-Volumen-Kurve, idealtypische Darstellung.

- A** Husten-Artefakt.
- B** Vorzeitiger Abbruch.
- C** Verzögerter Beginn.
- D** Submaximale Anstrengung und fehlende Reproduzierbarkeit.



**Abbildung 5**  
 Pathologische Fluss-Volumen-Kurven, idealtypische Darstellung.  
**A** Asthma bronchiale.  
**B** Asthma bronchiale mit Teilreversibilität im Broncholysetest.  
**C** Lungenemphysem.  
**D** Restriktion.

**E** Fixierte tracheale Stenose.  
**F** Einseitige hochgradige Obstruktion des Hauptbronchus.  
**G** Stimmbanddysfunktion mit «Sägezahn»-Kurve.  
**H** Tracheomalazie (hochgradiger expiratorischer Bronchialkollaps).

**Tabelle 1**

Qualitätskriterien der Spirometrie [10].

<b>Akzeptabilität</b>	Keine Artefakte wie Husten (mindestens in den ersten 3 Sekunden), kein Glottis-Schluss, Valsalva-Manöver, vorzeitiger Abbruch, submaximale Anstrengung, Leck, verstopftes Mundstück, kein Ein-atmungsmanöver während Expiration.
	Steiler Anstieg der Kurve aus dem Nullpunkt, Erreichen des Peak-Flow nach spätestens 150 ms.
	Dauer der Expiration mindestens 6 Sekunden.
<b>Reproduzierbarkeit</b>	Es müssen mindestens drei akzeptable Kurven vorliegen.
	Die zwei höchsten Messwerte von FVC und FEV <sub>1</sub> dürfen max. 0,15 Liter voneinander abweichen.

torischen Fluss-Volumen-Kurve zeigt (Abb. 5C). Bei anstrengungsbedingt forcierter Atmung versuchen Patienten mit Emphysem darum, den Bronchialkollaps durch positiven endexpiratorischen Druck (Lippenbremse) zu vermeiden.

Bei der restriktiven Pneumopathie (z.B. nach Lungenteilresektion oder bei Lungenfibrose) zeigt sich eine normalgeformte, aber gesamthaft verkleinerte Kurve (Abb. 5D). Eine normale forcierte Vitalkapazität (FVC) schliesst eine bedeutsame Restriktion weitgehend aus. Bei eingeschränkter FVC sollte die Vitalkapazität mit einem langsamen Manöver (*slow vital capacity* [SVC]) wiederholt werden. Bei langsamem Ausatmen werden die Atemwege weniger verengt, was zu einer höheren Vitalkapazität führen kann.

Eine fixierte *obere* Atemwegsobstruktion, z.B. eine tracheale Stenose, führt zu einer in- und expiratorischen Atemflusslimitation, weshalb die In- und Expiration «abgeflacht» sind (Abb. 5E). Allerdings ist eine erhebliche Atemwegsverengung nötig, bis sich dies lungenfunktionell zeigt. Der Schweregrad einer Trachealstenose lässt sich aus der Lungenfunktion recht gut approximativ berechnen [7]. Eine einseitige Bronchialobstruktion, z.B. bei einem zentralen Tumor, kann zu einer Fluss-Volumen-Kurve wie in Abbildung 5F gezeigt führen. Eine mangelhafte Kooperation kann ähnliche Fluss-Volumen-Kurven produzieren. Bei einer funktionellen Störung im Bereich der Stimmbänder (VCD) kann eine in- und expiratorische «Sägezahnkurve», bedingt durch die funktionelle Instabilität, beobachtet werden (Abb. 5G ) , bei der VCD findet sich gelegentlich diese Veränderung auch nur inspiratorisch; bei der Tracheomalazie imponiert die Expiration ähnlich wie bei einem Hustenartefakt oder zeigt einen Totalkollaps, die Inspiration hingegen ist normal (Abb. 5H ) .

## Befundung

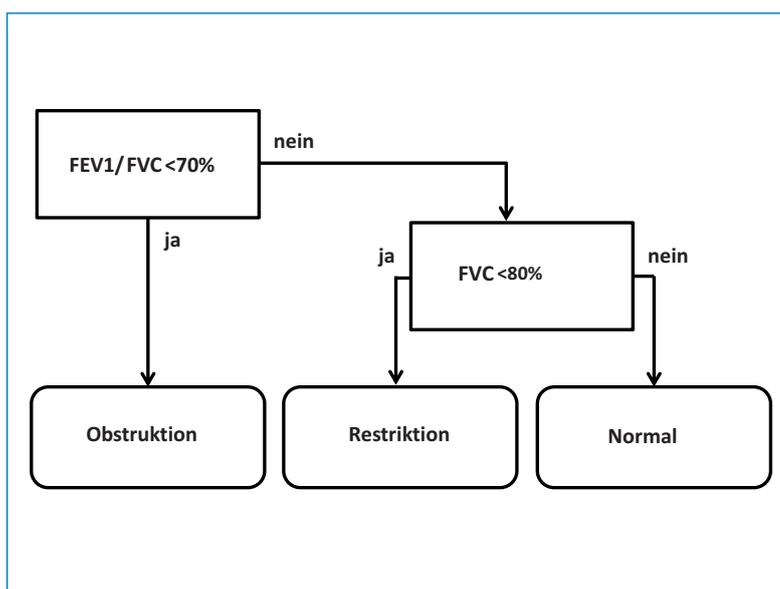
Eine einleitende Aussage über die Qualität ist hilfreich für die Beurteilung. Für die Befundung lohnt sich ein schematisches Vorgehen, um die hauptsächliche Störung zu identifizieren (Abb. 6 ) : Liegt der Tiffeneau-Quotient unterhalb der Norm, wird eine Obstruktion diagnostiziert. Der Quotient FEV<sub>1</sub>/FVC <70% gilt nur für die Diagnose der COPD nach GOLD, nicht aber für die Obstruktion per se. Bei Patienten mit Emphysem kann der Quotient FEV<sub>1</sub>/FVC, bedingt durch einen Bronchialkollaps, falsch hoch sein.

Ist der Tiffeneau-Quotient, der altersabhängig ist, normal und liegen FVC und FEV<sub>1</sub> unter der Norm, liegt eine Restriktion vor. Gemischte respiratorische Störungen sind ebenfalls möglich. Eine gemischt obstruktiv-restriktive Ventilationsstörung findet sich gelegentlich bei einer Sarkoidose oder bei adipösen Patienten mit einer Atemwegsobstruktion («Habitus-bedingte Pseudorestriktion»). Die Interpretation der Messwerte wird durch die im Gerät hinterlegten Normalwerte (nach Alter, Grösse und Geschlecht) erleichtert, die zudem von der Rassenzugehörigkeit abhängen. Besonderer Wert kommt der Bestimmung des FEV<sub>1</sub> zu, da dieses bei der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) zur Stadieneinteilung hinzugezogen wird. Der erniedrigte Tiffeneau-Quotient (FEV<sub>1</sub>/FVC) definiert obstruktive Erkrankungen wie Asthma (reversible Obstruktion) oder COPD (keine oder kaum Reversibilität durch Inhalation von Betamimetika). Eine Angabe der Absolut- und Prozentwerte der drei wichtigsten Parameter (Tiffeneau-Quotient, FVC und FEV<sub>1</sub>) erlaubt jedem nachbehandelnden Arzt eine erste Einschätzung und ist wertvoller als eine rein qualitative Beschreibung.

Obstruktionen werden gemäss ATS/ERS 2005 in ihrem Schweregrad in leichtgradig FEV<sub>1</sub> >70%, mittelgradig (60–69%), mittel- bis schwergradig (50–59%), schwergradig (35–49%) und sehr schwer <35% eingeteilt. Häufig verwendet wird die COPD-Schweregradeinteilung nach GOLD, wobei Grad I FEV<sub>1</sub> >80%, Grad II >50–80%, Grad III >30–50% und Grad 4 <30% «Post-Bronchodilatation» entspricht.

## Heimselfmessung

Teilweise wurden «abgespeckte» Spirometer zur Überwachung von Asthmapatienten abgegeben. In der Regel genügt jedoch meist eine Peak-Flow-Messung zur Therapie- und Verlaufskontrolle bei Asthmapatienten. Besonders geeignet sind diese Untersuchungen auch bei Verdacht auf berufsbedingte Atemwegsprobleme. Eine reproduzierbare Verschlechterung an Arbeitstagen, Verbesserung an Wochenenden und während der Ferien kann wertvolle Indizien beisteuern [8]. Bei Patienten mit COPD oder interstitiellen Pneumopathien sind Peak-Flow-Heimmessungen nicht indiziert. Bei Kindern hat sich jedoch eine deutlich bessere Reproduzierbarkeit der Spirometrie als der alleinigen Peak-Flow-Messung gezeigt, so dass der Spirometrie der Vorzug gegeben werden sollte [9].



**Abbildung 6**

Einteilung der Ventilationsstörungen aufgrund der Lungenfunktionstestung. Ist der Tiffeneau-Quotient kleiner als 70%, so handelt es sich um eine Obstruktion; ist er grösser oder gleich 70%, aber die Vitalkapazität erniedrigt, so handelt es sich um eine Restriktion.

### Weiterführende Untersuchungen

Bei Patienten mit vermutetem Asthma, aber aktuell normaler Lungenfunktion, kann ein Bronchoprovokationstest (Methacholin) ein latentes Asthma demaskieren.

Da die Spirometrie nicht zwischen einer Erhöhung des Residualvolumens (*air trapping*, bei Obstruktion) und einer Restriktion unterscheiden kann, ist es mitunter sinnvoll, die Untersuchung mittels einer Plethysmographie zu ergänzen. Über den Gasaustausch kann zudem die Messung der CO-Diffusionskapazität Auskunft geben. Auch die Messung der arteriellen Blutgase und die transkutane Messung der Sauerstoffsättigung, eventuell ergänzt durch einen Belastungstest (Spiro-Ergometrie), können hilfreich sein.

### Zusammenfassung

Die Spirometrie ist eine einfache, kostengünstige und hilfreiche Untersuchung, praktisch gefahrlos und beliebig wiederholbar durchführbar. Sie eignet sich zur Diagnose und Verlaufsbeurteilung von obstruktiven Ventilationsstörungen wie Asthma und COPD. Die Lungenüberblähung und Effekte entsprechender Therapien entgehen aber der alleinigen Spirometrie; dafür ist zusätzlich die Plethysmographie nötig. Die korrekte Durchführung der Untersuchung erfordert gelegentlich etwas Geduld vom Untersucher und Kooperationsbereitschaft seitens des Patienten. Bei Bronchialobstruktion ist ein Broncholysetest mit einem kurz- und raschwirksamen Betamimetikum nötig zur Differentialdiagnose zwischen Asthma und COPD, aber auch zur korrekten Stadienzuteilung im Falle einer COPD. Auch restriktive Ventilationsstörungen werden in der Spirometrie erfasst und können dadurch weiteren Abklärungen zugeführt werden. Bei der Interpretation lohnt sich ein systematisches Vorgehen. Eine gut verständliche Anleitung zu Praxis-Spirometrie und weiterführenden Untersuchungen wurde von Thomas Rothe verfasst [10].

### Danksagung

Dr. Thomas Rothe hat freundlicherweise dieses Manuskript gegengelesen und auf Praxisrelevanz geprüft.

### Korrespondenz:

Prof. Dr. med. Robert Thurnheer  
 Chefarzt Ambulante Medizinische Diagnostik  
 Spitalcampus 1  
 CH-8596 Münsterlingen  
[robert.thurnheer\[at\]stgag.ch](mailto:robert.thurnheer[at]stgag.ch)

### Empfohlene Literatur

– Rothe T. Lungenfunktion – leicht gemacht. 7. Ausgabe. Jungjohann-Verlag; 2012.

Die vollständige nummerierte Literaturliste finden Sie unter [www.medicalforum.ch](http://www.medicalforum.ch).