

## آزمایشهای کارکرد دستگاه تنفس

### Pulmonary Function Tests

مجله نظام پزشکی

سال ششم، شماره ۳، صفحه ۲۱۴، ۲۵۳۶

دکتر محمود طباطبائی\*

۵- خصوصیات مکانیکی دستگاه تنفس (Mechanics of Respiration)

#### ۱- آزمونهای تهویه

در این گروه، یکی تعیین ظرفیت حیاتی یا Vital Capacity است. بدنبال یک دم عمیق، یک بازدم عمیق انجام می‌دهیم و مقدار هوای بازدم را در یک اسپرومتر جمع می‌کنیم. ظرفیت حیاتی هم در بیماریهای راه بند (Obstructive) از قبیل آسم، آمفیزم و برونشیت، و هم در بیماریهای کاهنده (Restrictive) مثل فیروز ریه، کم می‌گردد.

اندازه‌گیری دیگر عبارت از ظرفیت حیاتی زمانی یا Timed Vital Capacity میباشد. معمولاً ظرفیت حیاتی را در ثانیه اول اندازه می‌گیرند و به علامت VC1 یا FEV1 نشان می‌دهند. مقدار آن ۸۵-۸۰ درصد ظرفیت حیاتی است. ولی در افراد مسن تا ۷۰ درصد هم طبیعی است. FEV1 در بیماریهای راه بند (Obstructive) کم می‌شود ولی در ضایعات کاهنده (Restrictive) طبیعی است. اگر FEV1 از یک لیتر کمتر باشد، چنین بیماری به هنگام عمل جراحی در معرض خطر است (۱، ۱۳).

اندازه‌گیری دیگر، تعیین مقدار جریان هوای بیشینه در زمان دم و غالباً در زمان بازدم میباشد. این مقادیر را بر ترتیب به MIFR (Maximal Inspiratory Flow Rate) و MEFR (Maximal Expiratory Flow Rate) نشان می‌دهند و چون MEFR را معمولاً در وسط بازدم اندازه‌گیری می‌کنیم، آنرا به MMEFR (Maximal Mid Expiratory Flow Rate) خلاصه می‌نماییم. این مقادیر را با واحد لیتر در دقیقه گزارش می‌دهیم.

یکی از دستگاههایی که به علت آلودگی هوای محیط دستخوش آسیب‌های مختلف می‌گردد، دستگاه تنفس است. بدین مناسبت در جوامع ماشینی و صنعتی که مسأله آلودگی هوای زیست‌هنوز حل نگردیده است، پزشکان انواع مختلف بیماریهای دستگاه تنفس را مشاهده خواهند کرد.

آزمایشهای دستگاه تنفس امکان می‌دهد که بیماریهای آن را در مراحل اولیه تشخیص داد و حتی المقدور از پیشرفت و توسعه آن جلوگیری کرد. علاوه بر این آزمایشها نقص فیزیولوژیائی دستگاه را نشان می‌دهند و بطور کمی، مقدار آسیب و کم‌کاری عضو را تعیین می‌کنند. همچنین این آزمایشها وسیله‌ای است که روند یک بیماری را دنبال کنیم و نیز تأثیر درمان را مورد سنجش قرار دهیم. در مواردی نیز، تنها وسیله شناخت بیماری استفاده از این آزمایشهاست. مثلاً در Alveolar-capillary block syndrome وقتی آزمایشهای بالینی و پیرابالینی دیگر از قبیل پرتونگاری، الکترو کاردیوگرام و غیره، قادر به تعیین آسیب نیستند اندازه‌گیری Pulmonary diffusing capacity، تشخیص را واضح خواهد کرد.

برای سهولت کار و براساس عوامل مورد اندازه‌گیری، این آزمایشها را به پنج دسته تقسیم می‌کنیم (۴، ۲۰۱):

- ۱- آزمونهای تهویه (Ventilatory Tests)
- ۲- ظرفیت‌ها و حجمهای شش (Lung capacities and Volumes)
- ۳- تهویه (Ventilation)
- ۴- ظرفیت‌ها و انتشارش و اندازه‌گیری گازهای خون (Pulmonary Diffusing Capacity and Blood Gas Analysis)

\* دانشکده پزشکی دانشگاه پهلوی - شیراز.

این مثال ساده نشان میدهد که فقط اندازه گیری تهویه شش (Pulmonary Ventilation) کافی نیست، بلکه باید تهویه خانه‌های شش (Alveolar Ventilation) را هم تعیین کرد. مقدار تهویه شش، ۶ لیتر در دقیقه و تهویه خانه‌های شش، ۴/۸ لیتر در دقیقه است. در این محاسبه حجم فضای مرده (Dead space volume) ۱۵۰ میلی‌لیتر، هوای جاری ۵۰۰ میلی‌لیتر و تعداد تنفس ۱۲ بار در دقیقه در نظر گرفته شده است:

۴- ظرفیت انتشار شش (یا تبادل گاز) و تجزیه گازهای خون (۱۱-۱۴، ۱۶):

ظرفیت انتشار شش یعنی مقدار گازی که در یک دقیقه با زاء یک میلی‌متر جیوه اختلاف فشار، (ml/minute/mmHg) از دیواره خانه‌های شش عبور میکند به DL نشان داده میشود.

مطابق قانون هنری (Henry's Law) انتشار گاز در بدن، با حلالت آن ارتباط مستقیم دارد و چون انیدرید کربنیک بیست و چهار بار بیش از اکسیژن در بدن قابلیت حل شدن دارد، ظرفیت انتشار آن بطور قابل ملاحظه‌ای از اکسیژن بیشتر است. بهمین مناسبت در اختلالات عمل تبادل گاز در خانه‌های شش، بهر علت که باشد، اول تبادل اکسیژن دستخوش کاهش میگردد و فقط در مراحل خیلی پیشرفته بیماری، تبادل انیدرید کربنیک مختل میگردد. برای اندازه گیری ظرفیت انتشار شش، معمولاً از شیوه تک دم (Single Breath Technique) و گاز ۴/۲-۰/۲ درصد مونو کسید کربن استفاده میشود. هر چند که مونو کسید کربن سمی است ولی با توجه به غلظت کم آن و نیز اینکه فقط یکبار استنشاق میگردد (Single breath)، مصرف آن در این آزمایش ضرری متوجه بدن نمیکند.

ظرفیت انتشار شش برای مونو کسید کربن (DLCO) در روش بالا ۲۵ میلی لیتر در دقیقه بر حسب یک میلی‌متر جیوه اختلاف فشار (25ml/min/mm Hg) میباشد.

ظرفیت انتشار در بیماریهایی که موجب نشانگان «سندرم» Alveolar Capillary Block میگرددند، کاهش مییابد از قبیل فیبروز ریوی، سارکوئیدوز شش، بریلوز، آربستوز، مسمومیت با انیدرید سولفور (SO<sub>2</sub>) و غیره.

امروزه با فراوانی انواع جدید ماشینهای تجزیه گازهای خون از قبیل ماشینهای آستروپ (Astrup Machine) و کورنینگ (Corning Machine)، میتوان با داشتن یک نمونه خون سرخرگ، فشار اکسیژن (P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>)، فشار انیدرید کربنیک (P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>) و PH را بهسولت اندازه گیری کرد.

P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> در حالات زیر نقصان مییابد (۴، ۱۳):

۱- کاهش تهویه در خانه‌های شش (Alveolar Hypoventilation)

در بیماریهای راه بند مقدار MMEFR کم میشود ولی در نوع کاهنده، طبیعی است. MMEFR از FEV<sub>1</sub> در تشخیص بیماریهای راه بند دستگاه تنفس، حساس تر است (۱، ۴).

آزمایش دیگر اندازه گیری ظرفیت تنفس بیشینه (MBC) Maximal Breathing Capacity میباشد. در این آزمایش، بیمار برای ۱۰ ثانیه، بسرعت و بشدت نفس میکشد و هوای بازدم اندازه گیری می‌شود. سپس مقدار آن در دقیقه بر حسب لیتر، محاسبه میگردد. MBC در بیماریهای راه بند دستگاه تنفس کم میشود ولی در نوع کاهنده تغییری نمیکند (۴).

۳- ظرفیت‌ها و حجم‌های شش (۴، ۴):

ظرفیت کامل شش Total Lung Capacity (TLC) عبارت از مقدار هوایی است که در ششها بدنال یک دم عمیق موجود است. هوای باقیمانده با Residual Volume (RV) مقدار هوایی است که بدنال یک بازدم عمیق در دستگاه تنفس باقی می‌ماند. حجم‌های دیگر عبارت از هوای مکمل دم یا (IRV) Inspiratory Reserve Volume و هوای مکمل بازدم یا (ERV) Expiratory Reserve Volume و هوای جاری یا (TV) Tidal Volume میباشد.

برای اندازه گیری هوای باقی مانده، از Nitrogen Wash-out Method بطریق مدار باز یا Open circuit و یا از شیوه مدار بسته هلیوم Helium Closed-circuit Technique استفاده میگردد. مقدار هوای باقیمانده معمولاً در بیماریهای راه بند، افزایش مییابد. TLC در بیماریهای کاهنده کم میشود و در نوع راه بند، طبیعی و یا بیش از اندازه است. نسبت RV/TLC اگر از ۳۰ درصد بیشتر شود، غیر طبیعی است و از نشانه‌های بیماریهای راه بند است.

۳- تهویه

در این قسمت، تهویه شش (Pulmonary Ventilation) و تهویه خانه‌های شش (Alveolar Ventilation)، اندازه گیری میشود. تهویه شش شامل تهویه خانه‌های شش و تهویه فضای مرده (Dead Space Ventilation) است. عبارت دیگر:

Alveolar Ventilation = Pulmonary Ventilation - Dead Space Ventilation

چون تبادلات گاز که منظور غائی تنفس است، فقط در خانه‌های شش صورت میگردد، بنا بر این، تهویه خانه‌های شش حائز اهمیت فراوان است. اگر حجم فضای مرده بعللی افزایش یابد و مقدار تهویه شش ثابت بماند، به ناچار تهویه خانه‌های شش کاهش میپذیرد.

اختلاف فشار  $\Delta P$  و جریان (I):  $R = \Delta P / I$ . برای ایجاد جریان هوا ( $\text{Air flow} = V^\circ$ ) بداخل و خارج ششها باید اختلاف فشاری بین خارج و داخل ششها موجود باشد که همان  $\Delta P$  میباشد. پس مقاومت در دستگاه تنفس را میتوان به  $R = \Delta P / V^\circ$  نشان داد. واحد مقاومت در دستگاه تنفس ساعتیتر آب بر حسب لیتر در دقیقه  $(\text{cm H}_2\text{O}/\text{liter}/\text{minute})$  میباشد.

سه نوع مقاومت در دستگاه تنفس مورد نظر است: یکی مقاومت راههای تنفس (Airway resistance) میباشد. در اینجا  $\Delta P$  مساوی با اختلاف فشار بین دهان و خانههای شش در هنگام دم یا بازدم است و Transairwaz pressure نامیده میشود. برای اندازه گیری مقاومت راههای تنفس، روشهای مختلف بکار میرود. استفاده از Body plethysmograph (دستگاه اندازه گیری تغییر حجم بدن)، درمراکز مهم پزشکی، جایگزین روشهای دیگر گردیده است. (از این وسیله میتوان برای اندازه گیری هوای باقیمانده، ظرفیت عملی و بازده قلب با Cardiac output هم استفاده کرد). مقاومت راههای تنفس در حال طبیعی  $1/5 - 0/5$  سانتیمتر آب است. مقدار آن در بیماریهای راه بند دستگاه تنفس افزایش مییابد.

مقاومت دیگر عبارت از مقاومت شش است (Pulmonary resistance) که شامل دو قسمت یکی مقاومت راههای تنفس و دیگری مقاومت بافت ریه میباشد. عبارت دیگر:

$$\text{Pulmonary resistance} = \text{airway resistance} + \text{tissue resistance}$$
 ۸۰ درصد مقاومت شش را مقاومت راههای تنفس تشکیل میدهد و ۲۰ درصد دیگر آن به مقاومت بافت ریه مربوط میشود. در اینجا  $\Delta P$  عبارت از اختلاف فشار بین دهان و فضای جنب میباشد و بنام Transpulmonary pressure نامیده میشود. مقاومت دیگر مقاومت کلی (Total resistance) است که شامل مقاومت شش و مقاومت دیواره سینه است.  $\Delta P$  در این مورد بنام Transthoracic pressure نامیده میشود.

معمولا از این سه مقاومت، فقط مقاومت راههای تنفس در پزشکی بالینی اندازه گیری میشود.

کیفیت دیگر مکانیکی ششها، قابلیت اتساع، یا پذیرش (Compliance) میباشد. پذیرش عبارت از تغییر حجم بر حسب تغییر فشار است ( $C = \Delta V / \Delta P$ ). هر قدر شش قابلیت اتساع بیشتری داشته باشد، نسبت  $\Delta V / \Delta P$  بیشتر میگردد، یعنی C افزایش مییابد. واحد C، لیتر بر حسب سانتیمتر آب (Liter/cm H<sub>2</sub>O) است. سه نوع پذیرش باید مورد بحث قرار گیرد: یکی پذیرش شش یا Pulmonary compliance که مقدار آن

۲- اختلال در امر انتشار گاز (Impairment of Diffusion)  
 ۳- اختلاط خون سیاه رگ باخون سرخرگ (Right to Left Shunt)

۴- عدم هماهنگی بین تهویه خانههای شش و جریان خون در ریه (Uneven Ventilation-Perfusion Distribution)  
 اما تغییرات  $P_a \text{CO}_2$  فقط ناشی از تغییر در تهویه خانههای شش است یعنی ازدیاد  $P_a \text{CO}_2$  بعلمت کم هواگیری (alveolar hypoventilation) و نقصان آن معرف پر هواگیری (alveolar hyperventilation) است.

فشار انیدرید کربنیک خون بستگی به مقدار انیدرید کربنیک ایجاد شده در بدن دارد، بنابراین مقدار آن بستگی چندانی مستقیمی با فشار محیط و در نتیجه ارتفاع محیط زیست از سطح دریا ندارد. بعبارت دیگر فشار انیدرید کربنیک خون شریانی و وریدی در سطح شهرهای ایران که تا پنج هزار پا ارتفاع داشته باشند، با سطح دریا مساوی است. ولی فشار گاز اکسیژن ارتباط مستقیم با ارتفاع محیط زیست از سطح دریا دارد. هر چه ارتفاع محیط زیست از سطح دریا بیشتر باشد، فشار محیط کمتر است و در نتیجه فشار گاز اکسیژن هم کمتر میشود، پس فشار آن در خانههای شش و خون هم به نسبت کم میگردد. اگر فشار محیط معین باشد، همان فشار در داخل خانههای شش هم موجود است. اگر از مجموع فشار خانههای شش، ۴۷ میلی متر جیوه بخاطر فشار بخار آب ( $\text{PH}_2\text{O}$ ) و ۴۰ میلی متر جیوه را بخاطر فشار انیدرید کربنیک در خانههای شش کم کنیم، بقیه فشار در خانههای شش مربوط به اکسیژن و ازت میگردد.

معمولا بین فشار اکسیژن در خانههای شش و خون انتهایی مویرگهای ریه اختلاف مختصری در حدود ۴-۲ میلی متر جیوه موجود است یعنی در خانههای شش فشار اکسیژن ۴-۲ میلی متر جیوه بیشتر است. ولی در مورد انیدرید کربنیک بین دو عضو بالا اختلاف فشاری نیست، زیرا ظرفیت انتشار آن خیلی بیشتر از ظرفیت انتشار اکسیژن است.

برای تبدیل  $D_{LCO}$  به  $D_{LO_2}$  (یعنی تبدیل ظرفیت انتشار مونوکسید کربن به ظرفیت انتشار اکسیژن)، باید  $D_{LCO}$  را در عدد  $1/23$  ضرب کرد و برای تبدیل  $D_{LO_2}$  به  $D_{LCO_2}$ ، باید  $D_{LO_2}$  را در عدد  $20/7$  ضرب کرد (۴).

۵- خصوصیات مکانیکی دستگاه تنفس (۳، ۸، ۵، ۱۵):

در این قسمت دو کیفیت مورد نظر است: مقاومت (Resistance) و قابلیت اتساع یا پذیرش (Compliance). مطابق قانون اهم (Ohm's Law)، مقاومت عبارت است از نسبت

جدولهایی برای مقادیر حجمها و ظرفیت‌های ریه و کمیت‌های تهویه بر حسب جنس، سن، طول قد و مساحت بدن تهیه شده است. اندازه‌های فردی اگر تا ۲۰ درصد بیشتر و یا کمتر از مقادیر ضبط شده در جدول باشند، طبیعی محسوب میگردند (۱). در بیماریهای راه‌بند ششها، کمیت‌های زیر کم میگردد: ظرفیت حیاتی، ظرفیت حیاتی زمانی، ظرفیت بیشینه تنفس، مقدار جریان هوا و فشار نسبی اکسیژن خون. کمیت‌هایی که افزایش مییابند عبارتند از هوای باقیمانده،  $RV/TLC$ ، مقاومت مجاری تنفس، پذیرش در آمفیزم راه‌بند. در مراحل پیشرفته بیماریها، فشار انیدرید کر بنیک هم ممکن است بالا رود.

در بیماریهای ریه از نوع کاهنده کمیت‌های زیر، کم میشود: ظرفیت حیاتی، ظرفیت کامل ریه، قابلیت اتساع یا پذیرش ششها و گاهی فشار نسبی اکسیژن.

۰/۲ مییابد.  $\Delta P$  در این مورد همان Transpulmonary pressure است. دیگری پذیرش جدار سینه است که مقدار آن هم ۰/۲ می باشد. سومی پذیرش کلی یا Total compliance که شامل پذیرش شش و پذیرش جدار سینه و مقدار آن ۰/۸ لیتر بر حسب ساعتیمتر آب است. در مورد اخیر  $\Delta P$  عبارت از Transthoracic pressure می باشد.

قابلیت اتساع یا پذیرش در بیماریهای کاهنده ششها و یا جدار سینه کم میگردد. در بیماری آمفیزم، مقدار آن افزایش مییابد. در بعضی از آزمایشها که در بالا بدانها اشاره شد از قبیل اندازه‌گیری ظرفیت حیاتی، ظرفیت بیشینه تنفس، مقدار جریان هوا، مقاومت و پذیرش، احتیاج به همکاری کامل بیمار در انجام صحیح آزمایشها دارد. برای انجام صحیح آنها، بیمار باید آموزش داده شود که چه کند.

#### REFERENCES :

- 1- Bates, D.V., and Christie, R.F.: Respiratory Function in Disease. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1964.
- 2- Comroe, J.H., Jr. (ed.): Pulmonary function tests. In Methods in Medical Research (Chicago: Year Book Medical Publishers, Inc., 1950), Vol. 2, PP. 74-244.
- 3- Comroe, J.H.: Physiology of Respiration, second edition, Year Book Medical Publishers, Chicago, 1974.
- 4- Comroe, J.H., Jr., Forster, R.E., DuBois, A.B., Briscoe, W.A., and Carlsen, E.: The Lung: Clinical Physiology and Pulmonary Function Tests (2nd ed., Chicago: Year Book Medical Publishers, Inc., 1962).
- 5- DuBois, A.B.: Resistance to breathing. In Fenn, W.O., and Rahn H (eds.): Handbook of Physiology: Sec. 3. Respiration, Vol. 1 (Washington, D.C.: American Physiological Society, 1964), PP. 451-462.
- 6- DuBois, A.B., Botelho, S.Y., Bedell, G.N., Marshall, R., and 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: 322-326, 1956.
- 7- DuBois, A.B., Botelho, S.Y., and 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: 327-335, 1956.
- 8- DuBois, A.B., and Ross, B.B.: A new method for studying mechanics of breathing using a cathode ray oscillograph. Proc. Soc. Exper. Biol. Med. 78:546-549, 1951.
- 9- Forster, R.E.: Exchange of gases between alveolar air and pulmonary capillary blood. Pulmonary Diffusing Capacity. Physiol. Rev. 37: 391-452, 1957.
- 10- Forster, R.E.: Rate of gas uptake by red cells. In Fenn, W.O. Rahn, H. (eds.): Handbook of Physiology: Sec. 3. Respiration, Vol. 1 (Washington, D.C.: American Physiological Society, 1964), PP. 827-838.
- 11- Forster, R.E.: Diffusion of gases. In Fenn, W.O. Rahn, H. (eds.): Handbook of Physiology: Sec. 3. Respiration, Vol. 1 (Washington, D.C.: American Physiological Society, 1964), PP. 839-872.
- 12- Forster, R.E., et al: The absorption of CO by the lungs during breath-holding. J. Clin. Invest. 33: 1135-1145, 1954.
- 13- Kazemi, H.: Pulmonary Function Tests. J. Am. Med. Assoc. 206: 2302-2304, 1968.
- 14- Krogh, M.: Diffusion of gases through the lungs of man. J. Physiol. (London) 49: 271-300, 1914-15.
- 15- Mead, J.: Mechanical properties of lungs. Physiol Rev. 41: 281-330, 1961.
- 16- Roughton, F.J.W: Kinetics of gas transport in blood. Brit. Med. Bull. 19: 80-89, 1963.