آزمایشهای کارکرد دستگاه تنفس

Pulmonary Function Tests

مجله نظام پزشکی
سال ششم ، شماره ۳ ، صفحه ۲۱۴ ، ۲۵۳۶

دکتر محمود طباطبائی*

یکی از دستگاههـائی که بعلت آلودگی هوای محیط دستخوش آسیبهای مختلف میگردد ، دستگاه تنفس است . بدین مناسبت درجوامع مـاشینی وصنعتی که مسأله آلودگی هوای زیست هنوز حل نگردیده است ، پزشکان انواع مختلف بیماریهـای دستگاه تنفس را مشاهده خواهند کرد .

آزمـایشهای دستگاه تنفس امکان میدهد که بیماریهای آن را در مراحل اولیه تشخیص داد وحتی‌المقدور از پیشرفت وتوسعه آن جلوگیری کرد . بعلاوه این آزمایشها نقص فیزیولوژیائی‌دستگاه را نشان میدهند وبطور کمّی ، مقدار آسیب و کـم کاری عضو را تعیین میکنند . همچنین این آزمایشها وسیله‌ای است که روند یك بیماری را دنبال کنیم و نیز تأثیر درمان را مورد سنجش قـرار دهیم . درمواری نیز ، تنها وسیله شناخت بیماری استفاده از این آزمایشهااست. مثلادر Alveolar-capillary block syndrome وقتی آزمایشهای بالینی وپیرابالینی دیگر از قبیل پرتونگاری، الکترو کاردیو گرام وغیره، قادربه‌تعیین‌آسیب‌نیستند اندازه‌گیری Pulmonary diffusing capacity ، تشخیص‌راواضح‌خواهد کرد .

برای سهولت کار و براساس عوامل مـورد اندازه‌گیری ، این آزمایشها را به‌پنج دسته تقسیم‌میکنیم(۱،۲،۴):

۱ـ آزمون‌های تهویه (Ventilatory Tests)

۲ـ ظرفیت‌هاوحجمهای‌شش(Lung capacities and Volumes)

۳ـ تهویه (Ventilation)

۴ـ ظرفیت‌انتشارششی واندازه‌گیری‌گازهای‌خون (Pulmonary Diffusing Capacity and Blood Gas Analysis)

۵ـ خصوصیات مکانیکی دستگاه تنفس (Mechanics of Respiration)

۱ـ آزمون‌های تهویه

در این‌گروه ، یکی تعیین ظرفیت حیاتی یا Vital Capacity است . بدنبال یك دم عمیق ، یك بـاز دم عمیق انجـام می‌دهیم ومقدار هوای بازدم را در یك اسپیرومتر جمع میکنیم . ظرفیت حیاتی هم در بیماریهای راه بند (Obstructive) از قبیل آسم ، آمفیزم وبرونشیت، وهم در بیماریهای کاهنده(Restrictive) مثل فیبروز ریه ، کم میگردد .

اندازه‌گیری دیگر عبارت از ظرفیت حیاتی زمانی یا Timed Vital Capacity میباشد . معمولا ظرفیت‌حیاتی را در ثانیه‌اول اندازه میگیرند وبعلامت VC1 یا FEV1 نشان میدهند . مقدار آن ۸۵ـ۸۰ درصد ظرفیت حیاتی است . ولی در افراد مسن تا ۷۰ درصد هـم طبیعی است . FEV1 در بیمـاریهـای راه بند (Obstructive) کم‌میشود ولی درضایعات کاهنده (Restrictive) طبیعی است . اگر FEV1 از یك لیتر کمتر باشد، چنین بیماری بهنگام عمل جراحی درمعرض خطر است (۱، ۱۳).

اندازه‌گیری دیگر ، تعیین مقدار جریان هوای بیشینه در زمان دم وغـالباً در زمـان باز دم میباشد . این مقادیر را بترتیب به MIFR (Maximal Inspiratory Flow Rate) و MEFR (Maximal Expiratory Flow Rate) نشان میدهند و چون MEFR را معمولا دروسط باز دم اندازه‌گیری میکنیم ، آنرا به MMEFR (Maximal Mid Expiratory Flow Rate)خلاصه مینمائیم . این مقادیر را با واحد لیتردر دقیقه گزارش میدهیم .

* دانشکده پزشکی‌دانشگاه پهلوی ـ شیراز.

[Downloaded from jmciri.ir on 2025-08-18]

در بیماریهای راه‌بند مقدار MMEFR کم میشود ولی در نوع کاهنده، طبیعی است. MMEFR از FEV1 در تشخیص بیماریهای راه بند دستگاه تنفس، حساس‌تر است (۴،۱).

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

۲ـ ظرفیت‌ها وحجم‌های شش (۴،۳) :

ظرفیت کامل شش Total Lung Capacity (TLC) عبارت از مقدار هوائی است که درششها بدنبال یك دم عمیق موجود است. هوای باقیمانده یا Residual Volume (RV) مقدارهوائی است که بدنبال یك بازدم عمیق در دستگاه تنفس باقی می‌ماند.

حجم‌های دیگرعبارت ازهوای مکمل دم یا Inspiratory (IRV) Reserve Volume وهوای‌مکمل بازدم‌یا Expiratory (ERV) Reserve Volume و هوای جاری یا Tidal Volume (TV) میباشد.

برای اندازه‌گیری هوای باقی مانده، از Nitrogen Wash-out Method بطریق مداربازیا Open circuit و یا از شیوهٔ مداربسته هلیوم Helium Closed-circuit Technique استفاده میگردد. مقدار هوای باقیمانده معمولا در بیماریهای راه‌بند، افزایش مییابد. TLC در بیماریهای کاهنده کم میشود ودر 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 راه‌بند است.

۳ـ تهویه

در این قسمت، تهویه شش (Pulmonary Ventilation) وتهویه خانه‌های شش (Alveolar Ventilation)، اندازه گیری‌میشود. تهویه شش‌شامل تهویه خانه‌های شش وتهویه فضای مرده (Dead Space Ventilation) است. بعبارت دیگر :

Alveolar Ventilation = Pulmonary Ventilation -Dead Space Ventilation

چون تبادلات گاز که منظور غائی تنفس است، فقط در خانه‌های شش صورت میگیرد، بنابراین، تهویه خانه‌های شش‌حائز اهمیت فراوان است. اگر حجم فضای مرده بعللی افزایش یابدومقدار تهویه شش‌ثابت بماند، به‌ناچار تهویه خانه‌های‌شش کاهش‌میپذیرد.

این مثال ساده نشان میدهد که فقط اندازه گیری تهویه شش (Pulmonary Ventilation) کافی نیست، بلکه باید تهویه‌خانه‌های شش (Alveolar Ventilation) راهم‌تعیین کرد. مقدار تهویه شش، ۶ لیتر در دقیقه وتهویه خانه‌های شش، ۴/۸ لیتر در دقیقه‌است. دراین‌محاسبه حجم فضای‌مرده (Dead space volume) ۱۵۰ میلی‌لیتر، هوای‌جاری ۵۰۰میلی‌لیتر وتعداد تنفس ۱۲ بار در دقیقه درنظر گرفته شده است:

۴ـ ظرفیت انتشار شش (یاتبادل‌گاز) و تجزیه گازهای خون (۹ـ۱۱، ۱۴، ۱۶):

ظرفیت انتشار شش یعنی مقدار گازی که دریك دقیقه بازاء یك میلی‌متر جیوه اختلاف فشار، (ml/minute/mmHg)ازدیواره خانه‌های شش عبور میکند به DL نشان داده میشود.

مطابق قانون هنری (Henry's Law) انتشار گاز در بدن، با حلالیت آن ارتباط مستقیم دارد وچون انیدریدکربنیك بیست و چهار باربیش از اکسیژن دربدن قابلیت حل شدن دارد، ظرفیت انتشار آن بطور قابل ملاحظه‌ای از اکسیژن بیشتر است. بهمین مناسبت دراختلالات عمل تبادل گاز درخانه‌های شش، بهرعلت که باشد، اول تبادل اکسیژن دستخوش کاهش میگردد و فقط در مراحل‌خیلی‌پیشرفته بیماری، تبادل‌انیدریدکربنیك مختل‌میگردد. برای اندازه گیری ظرفیت انتشار شش، معمولا از شیوهٔ تك دم (Single Breath Technique) و گاز ۰/۴-۰/۲ درصد مونوکسیدکربن‌استفاده میشود. هرچندکه مونوکسیدکربن‌سمی است ولی باتوجه بغلظت‌کم آن و نیز اینکه فقط یکبار استنشاق میگردد (Single breath)، مصرف آن دراین‌آزمایش ضرری متوجه بدن نمیکند.

ظرفیت انتشار شش برای مونوکسیدکربن (D_{LCO}) در روش بالا ۲۵ میلی لیتر در دقیقه برحسب یك میلی‌متر جیوه اختلاف فشار (25ml/min/mm Hg) میباشد.

ظرفیت‌انتشاردربیماریهائی که‌موجب‌نشانگان «سندرم» Alveolar Capillary Block میگردند، کاهش مییابد از قبیل فیبروزریه، سارکوئیدوز شش، بریلیوز، آزبستوز، مسمومیت باانیدرید سولفورو (SO2) وغیره.

امروزه با فراوانی انواع جدید ماشینهای تجزیه‌گازهای خون از قبیل ماشین‌های آستروپ(Astrup Machine) و کورنینگ (Corning Machine)، میتوان‌باداشتن‌یك نمونه‌خون‌سرخرگ، فشار اکسیژن (P_aO_2)، فشار انیدریك کربنیك ($P_a CO_2$) و PH را بسهولت اندازه‌گیری‌کرد.

P_aO_2 در حالات زیر نقصان مییابد (۴، ۱۳):

۱ـ کاهش تهویه‌درخانه‌های‌شش(Alveolar Hypoventilation)

[Downloaded from jmciri.ir on 2025-08-18]

۲ـ اختلال در امر انتشار گاز (Impairment of Diffusion)
۳ـ اختلاط خون‌سیاه رگ باخون سرخ رگ (Right to Left Shunt)
۴ـ عدم هماهنگی بین تهویه خانه‌های شش وجریان خون‌درریه (Uneven Ventilation-Perfusion Distribution)

اما تغییرات $P_a Co_2$ فقط ناشی از تغییر درتهویه خانه‌های‌شش است یعنی ازدیاد $P_a Co_2$ بعلت کم هواگیری (alveolar hypoventilation) ونقصان آن معرف پرهواگیری (alveolar hyperventilation) است .

فشار انیدریدکربنیك خون بستگی به‌مقدار انیدریدکربنیك ایجاد شده در بدن دارد ، بنابراین مقدار آن بستگی چندان مستقیمی بافشار محیط ودر نتیجه ارتفاع محیط زیست از سطح دریا ندارد . بعبارت دیگر فشار انیدریدکربنیك خون شریانی و وریدی درسطح شهرهای ایران که تاپنج هزارپا ارتفاع داشته باشند، باسطح دریا مساوی است. ولی فشارگاز اکسیژن ارتباط مستقیم با ارتفاع محیط زیست ازسطح دریا دارد . هرچه ارتفاع محیط زیست از سطح دریا بیشتر باشد ، فشار محیط کمتر است ودر نتیجه فشارگاز اکسیژن هم‌کمتر میشود ، پس فشار آن در خانه‌های شش و خون هم به‌نسبت کم میگردد . اگر فشار محیط معین باشد ، همان فشار در داخل خانه‌های شش هم موجوداست. اگر از مجموع فشار خانه‌های شش ، ۴۷ میلی‌متر جیوه بخاطر فشار بخار آب (PH_2O) و ۴۰ میلی‌متر جیوه را بخاطر فشار انیدریدکربنیك درخانه‌های شش کم کنیم، بقیه فشار درخانه‌های شش مربوط به‌اکسیژن وازت میگردد .

معمولا بین فشار اکسیژن در خانه‌های شش و خون انتهائی مویرگهای ریه اختلاف مختصری در حدود ۴ـ۲ میلی‌متر جیوه موجود است یعنی در خانه‌های شش فشار اکسیژن ۴ـ۲ میلی‌متر جیوه بیشتر است . ولی درمورد انیدریدکربنیك بین دوعضو 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 مونوکسیدکربن به‌ظرفیت انتشار اکسیژن)، باید D_{LCO} رادر عدد ۱/۲۳ ضرب کرد و برای تبدیل D_{LO_2} به D_{LCO_2}، باید D_{LO_2} را درعدد ۲۰/۷ ضرب کرد (۴).

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

دراین قسمت دوکیفیت مورد نظر است : مقاومت (Resistance) وقابلیت اتساع یا پذیرش (Compliance).

مطابق قانون اهم (Ohm's Law) ، مقاومت عبارت است‌ازنسبت اختلاف‌فشار ΔP وجریان (I): $R=\Delta P/I$. برای ایجادجریان هوا(V° = Air flow) بداخل‌وخارج ششها باید اختلاف فشاری بین خارج وداخل ششها موجود باشدکه همان ΔP میباشد . پس مقاومت در دستگاه تنفس را میتوان به $R=\Delta P/V^\circ$ نشان داد. واحد مقاومت در دستگاه‌تنفس‌سانتیمتر آب برحسب لیتر دردقیقه (cm H_2O/liter/minute) میباشد .

سه‌نوع مقاومت در دستگاه تنفس مورد نظر است : یکی مقاومت راه‌های تنفس (Airway resistance) میباشد . در اینجا ΔP مساوی بااختلاف فشار بین دهان وخانه‌های شش در هنگام دم یا بازدم است و Transairwaz pressure نامیده میشود . برای اندازه‌گیری مقاومت راه‌های تنفس ، روشهای مختلف بکارمیرود. استفاده‌از Body plethysmograph (دستگاه‌اندازه‌گیری‌تغییر حجم‌بدن)، درمراکزمهم‌پزشکی،جایگزین‌روشهای‌دیگرگردیده است. (ازاین وسیله میتوان برای اندازه‌گیری هوای باقیمانده، ظرفیت عملی و بازده قلب‌یا Cardiac output هم استفاده‌کرد). مقاومت‌راه‌های تنفس‌درحال‌طبیعی۰/۵ـ۱/۵ سانتیمتر آب‌است. مقدار آن در بیماریهای راه بند دستگاه تنفس افزایش میابد.

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

Pulmonary resistance = airway resistance + tissue resistance. ۸۰ درصد مقاومت شش را مقاومت راه‌های تنفس تشکیل میدهد و۲۰ درصد دیگر آن به‌مقاومت بافت ریه مربوط میشود . دراینجا ΔP عبارت از اختلاف فشار بین دهان وفضای جنب‌میباشد وبنام Transpulmonary pressure نامیده میشود. مقاومت دیگر مقاومت‌کلی (Total resistance) است که شامل مقاومت شش و مقاومت دیوارهٔ سینه است . ΔP در اینمورد بنام Transthoracic pressure نامیده میشود .

معمولا ازاین سه‌مقاومت ، فقط مقاومت راه‌های تنفس در پزشکی بالینی اندازه‌گیری میشود .

کیفیت دیگر مکانیکی ششها ، قابلیت اتساع ، یا پذیرش (Compliance) میباشد . پذیرش عبارت از تغییر حجم‌برحسب تغییر فشار است ($C=\Delta V/\Delta P$) . هرقدر شش قابلیت اتساع بیشتری داشته باشد ، نسبت $\Delta V/\Delta P$ بیشتر میگردد ، یعنی C افزایش میابد . واحد C ، لیتر برحسب سانتیمتر آب (Liter/cm H_2O) است . سه نوع پذیرش باید مورد بحث قرارگیرد: یکی پذیرش شش یا Pulmonary compliance که مقدار آن

[Downloaded from jmciri.ir on 2025-08-18]

۰/۲ میباشد. ΔP دراینموردهمان Transpulmonary pressure است. دیگری پذیرش جدارسینه است که مقدار آنهم ۰/۲ می‌باشد. سومی پذیرش کلی یا Total compliance که شامل پذیرش شش وپذیرش جدار سینه ومقدار آن ۰/۱ لیتر برحسب سانتیمتر آب است . درمورد اخیر ΔP عبارت ازTranstHoracic pressure میباشد .

قابلیت اتساع یاپذیرش در بیماریهای کاهنده ششها ویا جدارسینه کم میگردد . دربیماری آمفیزم ، مقدار آن افزایش مییابد. در بعضی از آزمایشهـا که در بالا بدانهـا اشاره شد از قبیل اندازه گیری ظرفیت‌حیاتی ، ظرفیت بیشینه تنفس ، مقدارجریان هوا ، مقاومت وپذیرش ، احتیاج به همکاری کامل بیمار درانجام صحیح آزمایشها دارد . برای انجام صحیح آنها ، بیمار بـاید آموزش داده شودکه چه کند .

جدولهائی برای مقادیر حجمها و ظرفیت‌های ریه و کمیت‌هـای تهویه برحسب جنس ، سن ، طول قد و مـساحت بـدن تهیه شده است . اندازه‌هـای فردی اگر تا ۲۰ درصد بیشتر ویاکمتر از مقادیر ضبط شده درجدول باشند ، طبیعی محسوب میگردند(۱). در بیماریهای راه‌بند ششها ، کمیت‌های زیر کم میگردد: ظرفیت حیـاتی ، ظرفیت حیاتی زمـانی ، ظرفیت بیشینه تنفس ، مقدار جریان هوا و فشار نسبی اکسیژن خون . کمیت‌هائی که افزایش مییابند عبارتند ازهوای باقیمانده ، RV/TLC ، مقاومت مجاری تنفس ، پذیرش درآمفیزم راه‌بند. در مراحل پیشرفته بیماریها ، فشار انیدریدکربنیك هم ممکن است بالا رود .

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

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. Wo, 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 plethysmogrphic method for measuring thoracic gas volume: A comparison with a nitrogen washout method for measuriug 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 Phsiology: 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.

[Downloaded from jmciri.ir on 2025-08-18]