

〔一般演題〕

人工呼吸中の終末呼気酸素濃度の測定

高橋光太郎* 高倉 康* 中嶋一雄* 後藤幸生*

肺胞気の酸素分圧は通常肺胞方程式を用いた理論値として算出されている。一方、肺胞気の炭素ガス分圧は、終末呼気炭酸ガス濃度を実測して求められている。ところが最近応答速度の速いジルコニア酸素濃度計が開発され終末呼気酸素濃度の実例が可能となった。そこでわれわれは終末呼気酸素濃度を測定して肺胞気酸素分圧を算出し、肺胞方程式から得られたそれとを比較検討した。また、吸入気と終末呼気の酸素濃度較差より肺胞換気量を算出し、死腔換気率から得られた値とを比較検討した。

方法

ICUにおいて気管内挿管下に呼吸管理を受けている急性呼吸不全あるいは術後患者19例を対象に計21回の測定を行った。ミナト医科製レスピロモニターR-300を用いて、分時換気量(\dot{V}_E)、酸素消費量($\dot{V}O_2$)、吸入気酸素濃度(F_{IO_2})、終末呼気酸素濃度($F_{ET}O_2$)、平均呼気炭酸ガス濃度($F_{E}CO_2$)を測定し、同時に動脈血ガス分析を行った。肺胞気酸素分圧(P_{AO_2})は簡易肺胞方程式 $P_{AO_2} = P_{IO_2} - P_{ACO_2}/R$ ($R = 0.8$)と $F_{ET}O_2$ の実測値より算出した。肺胞換気量(\dot{V}_A)は、生理学的死腔換気率 VD/VT と \dot{V}_E とから $\dot{V}_A = \dot{V}_E (1 - VD/VT)$ により算出した。また $\dot{V}O_2$ と吸入気肺胞気酸素濃度較差とから $\dot{V}O_2 = \dot{V}_A (F_{IO_2} - F_{ET}O_2)$ により算出した。

また、上記19例とは別に、高炭酸ガス血症6例についても、 \dot{V}_A を VD/VT からと、吸入気肺胞気酸素濃度較差から算出した。

結果

1) 21回の計測結果は、 $F_{ET}O_2$ は $33.5 \pm$

6.0% 、 F_{IO_2} は $37.9 \pm 5.0\%$ 、 P_{AO_2} は 113.8 ± 32.1 torrであった。

2) 肺胞方程式より得られた P_{AO_2} は 220.1 ± 41.6 torrであったのに対し、 $F_{ET}O_2$ を実測して得られた P_{AO_2} は 226.6 ± 40.8 torrで、両者間に $P < 0.05$ の有意差がみとめられた。なお相関係数は 0.976 であった。

3) 死腔換気率から得られた肺胞換気量は 5490 ± 1250 mlで、吸入気肺胞気酸素濃度較差から求めた肺胞換気量は 5150 ± 1590 mlであった。両者間に有意差はなく、相関係数は 0.822 であった。

4) 高炭酸ガス血症患者6例のうち4例は、COLDあるいはARDSの末期で死腔換気率がいずれも 80% 以上であった。残り2例は死腔換気率の低い、肺胞低換気症候群といえる症例であった。これらの症例について、 \dot{V}_A を測定してみると、死腔換気率の高い症例では、吸入気肺胞気酸素濃度較差が2%前後と非常に低く、したがって \dot{V}_A は 10 L以上にも達した。しかし、この \dot{V}_A を死腔換気率から算出すると、いずれも 4 L以下であった。

また死腔換気率の低い2症例では、吸入気肺胞気酸素濃度較差は 8% 以上で、 \dot{V}_A は 3 L~ 4 Lであり、これは死腔換気率から算出した値とほぼ同じであった。

考案

終末呼気酸素濃度を実測して P_{AO_2} を算出し、従来の肺胞方程式から得られたものとを比較すると、有意の差を以って前者の方が高かった。これは肺胞方程式の R を 0.8 として算出したが、実際は対象患者のほとんどが、グルコースを主体とした経静脈的栄養管理を受けており R はむしろ 1 に近かったと思われる。したがって P_{AO_2} を過少評

* 福井医科大学麻酔科

値する結果となったのだろう。しかし、有意差があったとはいえ、その差は6 mmHg, 3%弱と非常に小さく、また相関係数0.976と高い相関を示したことから、両者はほぼ同じと考えてよいだろう。したがって、A-aDO₂を知る目的でP_AO₂を求めるのなら、終末呼気酸素濃度を測定するまでもなく、従来通り、肺胞方程式を用いるべきであろう。正常人においても肺胞気は均一なものではなく、肺内酸素濃度の分布は不均等である。しかも、時間的にも吸気呼気相のズレや肺内再分布などがあり、平均的な肺胞気酸素濃度を終末呼気というspot samplingにより測定するのは問題があると思われる。PaCO₂=P_ACO₂, R=0.8という仮定のもとに成り立っている肺胞方程式にも問題はあろうが、酸素療法下にA-aDO₂を知る目的で算出するのなら、肺胞死腔が大きい患者においてもさほどの誤差は生じないだろうし、終末呼気酸素濃度を測定するよりは実際的だろう。ただ終末呼気のみでなく、吸気呼気の酸素濃度を連続記録することにより、呼吸不全患者の換気の不均等分布などを知ることができるかもしれない。

つぎに、 $\dot{V}O_2 = \dot{V}_A (F_{IO_2} - F_{ET}O_2)$ により \dot{V}_A を求め、死腔換気率から得られた \dot{V}_A と比較した。この式から解るように、吸入気終末呼気酸素濃度較差から算出された \dot{V}_A は肺胞死腔換気量を含んだものであり、換気血流比を考える場合にあってはまるものである。これに対し死腔換気率から算出された \dot{V}_A は肺胞死腔を含まない本当の有効肺胞換気量である。したがって、前者の方が後者より大でなければならない。ところが今回の比較では逆に前者が5150 ml/に対し後者が5490 ml/と後者が大であった。これは、われわれの測定方法あるいは計算方法に誤りがあったためである。すなわち、F_{IO₂}を気管内チューブ近位端より採取して測定しており、実際に肺に吸入される平均酸素濃度は死腔の酸素濃度により修飾されてより低いものになっているはずである。したがって今回の測定では吸入気終末呼気較差を過大評価することにより、 \dot{V}_A が低く算出されてしまった。F_{IO₂}を気管分岐部より採気すべきであった。あるいは平均呼気酸素濃度を測定することにより、解剖学的死腔換気率を算出し、これにより \dot{V}_A を

算出すべきであった。すなわち、 $VD/VT = F_{EO_2} - F_{ET}O_2 / F_{IO_2} - F_{ET}O_2$ により求めることができる。

今回、 $\dot{V}O_2 = \dot{V}_A (F_{IO_2} - F_{ET}O_2)$ より \dot{V}_A を求めたが、F_{IO₂}-F_{ET}O₂は酸素摂取量に対して肺胞換気量が充分であるか否かを示す指標である。この較差が大であることは、 \dot{V}_A が少なすぎるかあるいは $\dot{V}O_2$ が大きすぎるかを意味する。これは血液の動静脈酸素濃度較差が $\dot{V}O_2$ と心拍出量との需給関係を示すのと同様である。混合静脈酸素飽和度が循環動態の重要な指標であると同様、F_{ET}O₂も換気動態を知るうえでの有用なパラメーターとなり得るだろう。

$\dot{V}O_2 = \dot{V}_A (F_{IO_2} - F_{ET}O_2)$ であり、血液の方では、 $\dot{V}O_2 = Q (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$ である。両者は等しいから、 $\dot{V}_A (F_{IO_2} - F_{ET}O_2) = Q (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$ である。したがって $\dot{V}_A / Q = CaO_2 - C\bar{v}O_2 / F_{IO_2} - F_{ET}O_2$ となる。すなわち吸入気終末呼気酸素濃度較差は \dot{V}_A / Q を判定する指標にもなり得る。これが大であることは \dot{V}_A / Q が小さい、すなわちシャント様効果による低酸素血症の可能性を示唆するものである。この式は、肺全体はもちろん、肺のどの部分にも適用できる。われわれは、呼吸不全患者を対象に、右下葉における吸入気終末呼気酸素濃度較差を測定し、同一吸入酸素濃度、同一終末呼気圧下でPEEPとCPAPとで比較した。PEEP時の方がCPAP時に比し、この較差が有意に大となり、A-aDO₂も大となることを報告した。すなわちdependent zoneにおける \dot{V}_A / Q はPEEP下では小となり、酸素化効率が低下すると考えられた。

高炭酸ガス血症の患者について、F_{IO₂}-F_{ET}O₂より \dot{V}_A を算出したところ、肺胞死腔が大きい患者では、この較差が極端に小さく、 \dot{V}_A が有効肺胞換気量の3倍にも達した。この差が肺胞死腔換気量である。一方、肺胞死腔が小さい、肺胞低換気を示す患者では、吸入気終末呼気酸素濃度較差が非常に大となり、これにより算出された \dot{V}_A は、VD/VTより算出された \dot{V}_A とよく一致した。

以上、終末呼気酸素濃度を測定し、人工呼吸中の呼吸機能の指標としての有用性を検討した。

結 語

1) $A-aDO_2$ を算出する目的での終末呼気酸素濃度の測定は無意味である。吸気呼気酸素濃度連

続記録により動的換気の検討を今後検討したい。

2) 吸入気終末呼気酸素濃度較差は肺胞換気量，あるいは換気血流比を予測するための有用な指標である。
