

Professional Quest™

Vol. 46

分離肺換気中の低酸素への対処と CPAPシステム



はじめに

分離肺換気自体は、決して新しい麻酔技術ではないが、手術技術の向上等に伴い、肺の状態が悪い重症患者に対して分離肺換気を実施しなくてはならない機会も増加しているのではないかだろうか？その際には、手術中の低酸素血症に悩まされることもあるだろう。本稿では、分離肺換気中の低酸素の予測、対処法、またその際のCPAPシステムの有用性についてまとめてみたい。

佐藤 仁 先生

横浜市立大学 生体制御・麻酔科学
横浜市立大学附属市民総合医療センター
麻酔科／医療の質・安全管理部
大阪大学医学部附属病院 中央クオリティマネジメント部

ご略歴

- 1999年 札幌医科大学医学部卒業
1999年～2007年
　札幌医科大学麻酔科 関連病院
2007年 横浜市立大学附属病院 麻酔科
2016年 横浜市立大学附属市民総合医療センター 麻酔科
2018年 横浜市立大学附属市民総合医療センター 麻酔科 部長
2020年 横浜市立大学附属市民総合医療センター 麻酔科
　大阪大学医学部附属病院
　中央クオリティマネジメント部 特任講師



切除後の肺機能予測

古くから、切除後の肺機能予測として、肺全体を42のセグメントに分ける方法が用いられてきた。(図1) 例えば、右下葉切除であれば、 $12/42 (29\%)$ の切除となるため、これを $\text{FEV}_1\% = \text{術前FEV}_1\% \times 0.71$ となる。40%以上あれば手術リスクは低リスク、30%以下は高リスクと判断される。同様に、一酸化炭素肺拡散能 (Diffusing Capacity for Carbon Monoxide: DLCO) は肺胞・毛細血管間の機械的な表面積を反映しており、切除後の肺機能予測によく用いられる。 $\text{FEV}_1\%$ と同様に計算でき、40%以下は高リスクと考えられる。重症の肺気腫患者に対する肺容量現象手術において、手術後の $\text{FEV}_1\%$ かDLCOの予測値が20%を下回る場合は、術後の死亡のリスクが手術による利益を上回るとされている。^[1]

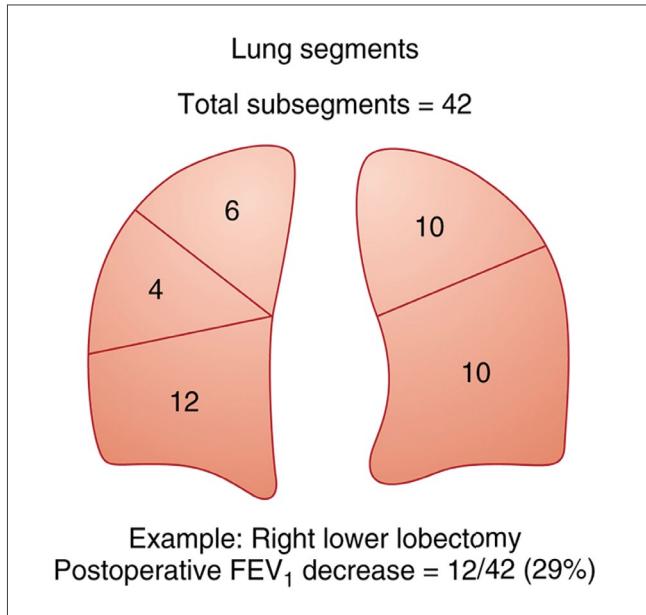


図1 ^[9]

術前的心肺機能の評価

運動耐用能の評価として、多くの麻酔科医はMET (metabolic equivalent of task) を用いているだろう。1 MET=酸素消費 3.5 ml/kg/min とされる。階段2階分を休まずにのぼる運動能が肺切除のために必要な最低限の心肺能力とされ、4METsに相当する。6分間で歩行できる最大の距離である6-Minute walk test:6MWT(メートル) もよく用いられる。最大酸素摂取量とよく相関する。COPD患者においては、6MWTを30で割るとおよその最大酸素摂取量に相当する。例えば、6MWTが450メートルであれば、最大酸素摂取量はおよそ 15 ml/kg/min と予測される。開胸術後の予後の指標として、最大酸素摂取量が 10 ml/kg/min 未満だと非常にリスクが高く、 20 ml/kg/min を上回れば術後の呼吸器合併症は少ないとされる。最大酸素摂取量が 10 ml/kg/min を下回る場合の6MWTは、300メートルということになる。ちなみにツール・ド・フランス7度のチャンピオンで、ドーピング疑惑でその資格が剥奪されたランス・アームストロング選手の最大酸素摂取量は 85 ml/kg/min ということである。参考になるだろうか。さらに、簡単に、運動時、 SpO_2 が4%以上低下する患者の肺切除はリスクが高いとされている。

一側肺換気中の SpO_2 低下が予測される因子

両肺換気中の低酸素

あまりにも当然ではあるが、一側肺換気を開始する前の両肺換気中、特に側臥位になった後に低酸素となる場合、一側肺換気開始により高率に SpO_2 低下が生ずる。

術前の換気・血流スキャン

術前の換気・血流スキャンでの非手術側肺への優位な換気・血流分布は、一側肺換気中の低酸素の予測因子である。

右側肺手術

前出の肺のセグメンテーションからも分かるとおり、左側肺は右側肺より10%小さい。右側肺手術時は、左側肺時より PaO_2 で 70 mmHg 程度低い傾向がある。

COPDが無い

COPDの閉塞性障害の程度と一側肺換気中の酸素化は逆相関する。内因性PEEPが正常肺の患者よりも高いことに関連する。



一側肺換気中の酸素化に影響する低酸素生肺攣縮

Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction: HPV

HPVの効果は、2相性の経過を示す。第1相は数秒以内に始まり、約15分で最大となる。中等度の低酸素(PaO_2 30~50mmHg弱)では反応が継続し30分~60分で第2相が開始する。肺血管抵抗はさらに上昇し約2時間でピークとなる。^[2] このHPVの変動に対応して、一側肺換気中の動脈血酸素分圧は、一側肺換気開始20~30分で最低となる。その後安定するか、HPVの漸増に伴って2時間程度、徐々に改善する。一側肺換気後の両肺換気再開後も、HPVの影響による肺血管抵抗の上昇は継続することが動物実験で示されている。^[3] また、数時間の低酸素にさらされたあとは、肺血管抵抗の増加は低酸素前の約2倍に増強される。^[4] このことは、臨床的には1回目の一側肺換気より2回目、3回目の一側肺換気の方が SpO_2 は低下しにくいことを示唆する。また、両側の肺の手術では、2つ目の手術の方が SpO_2 は低下しやすい傾向がある。アルカローシスがHPVを抑制することが、高地での健常成人に対する研究で示されている。^[5]

これは、一側肺換気時のpHの適正化が換気血流比の最適化に寄与する可能性を示している。

側肺換気中の酸素化を改善するには？

心拍出量の影響

心拍出量は、大きすぎるとHPVに打ち勝って換気血流比を悪化させる可能性があるが、小さすぎると肺血流が減少して PaO_2 を低下させる可能性がある。^[6](図2)

心拍出量を維持し、必要に応じて昇圧薬・血管作動薬を適切に使用する。また、血管拡張薬は中止し、吸入麻酔薬は1MAC程度にとどめる。

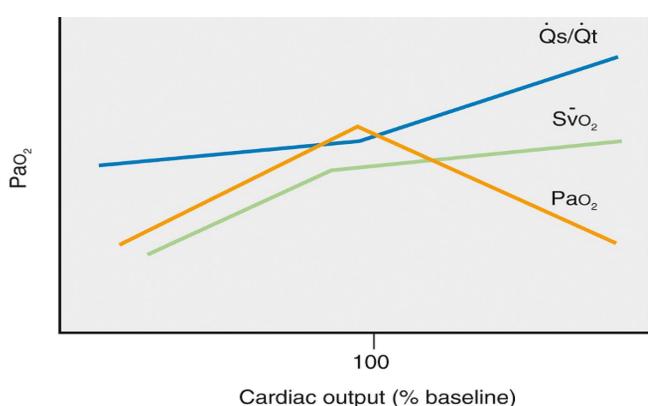


図2^[9]

PEEPとリクルートメント

特に、一側肺換気開始前のリクルートメントが効果的であるとされている。^[7] リクルートメントに関しては、20cmH₂Oかそれ以上の圧力で15~20秒程度加圧とされている。一過性の低血圧や、非換気肺への血流のシフトが起こる可能性がある。それによる一過性のさらなる PaO_2 低下の可能性がある。PEEPに関しては、換気側の肺にPEEPを加えることで、呼気終末の肺気量を機能的残気量付近に近づけ、肺血管抵抗を最低にする。PEEP値は5~10cmH₂O程度とし、PEEPを加える前に可能ならリクルートメントを行う。適切なPEEPは、患者によって異なるので、個々の患者の状態を確認しながら調整する。

前出のように、すでに内因性PEEPが高いCOPD患者へのさらなるPEEP付加は有害な可能性がある。

CPAPと無呼吸酸素吸入

非換気側肺へのCPAPは、 PaO_2 を上昇させる一つの方法である。確実な効果を得るために、リクルートされた肺である必要がある。リクルートされていれば1~2cmH₂O程度でも効果がある可能性がある一方で、完全な無気肺の領域に対しては再開通させるために20cmH₂O程度の圧が必要な場合もあり、5~10cmH₂Oでも不足する可能性がある。正常肺とCOPD患者におけるPEEPとCPAPの効果を示す。(図3)

非換気側の肺に細いカテーテルを通して、その先端から一側肺換気開始15分後に、3l/minの酸素流量で酸素を流した場合(無呼吸酸素吸入)、低酸素の発症が減少したとする報告がある。^[8] 一方で、この方法で5l/minの酸素を流すと24cmH₂Oの圧力が生じたとする報告もあり、酸素が流入することで酸素化が改善するのかCPAPと同様の効果のせいで酸素化が改善するのかはっきりしない点もある。また、従来から気管支内に吸引カテーテルを留置していて先端が切断されたり組織に吻合され抜去困難となるアクシデントも報告され注意を要する。

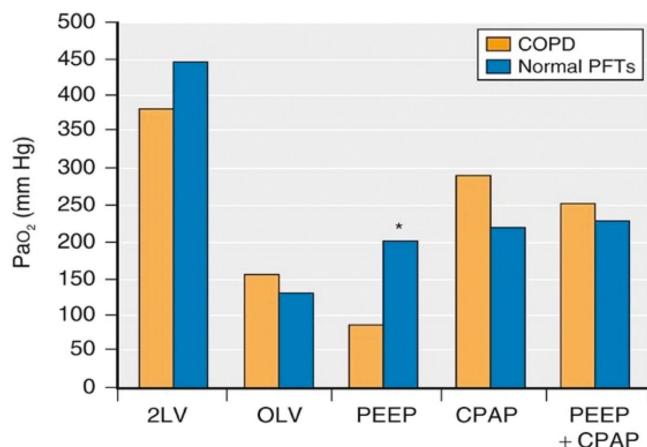


図3^[9]



プロンコキャス専用CPAPシステム

プロンコキャス使用時には、非換気側のルーメンに直接接続でき、CPAP値を細かく調整できるCPAPシステムが使用でき便利である。上記のような切断や遺残のリスクもなくCPAPや無呼吸酸素吸入時には使用できるとよい。(図4)



図4 プロンコ・キャス™ 気管支内チューブ CPAPシステム

Reference

- 1 Fishman A, Martinez F, Naunheim K, et al. A randomized trial comparing lung-volume-reduction surgery with medical therapy for severe emphysema. *N Engl J Med* 2003; 348: 2059-73
- 2 Talbot NP, Balanos GM, Dorrington KL, Robbins PA. Two temporal components within the human pulmonary vascular response to approximately 2 h of isocapnic hypoxia. *J Appl Physiol* (1985) 2005; 98: 1125-39
- 3 Kozian A, Schilling T, Freden F, et al. One-lung ventilation induces hyperperfusion and alveolar damage in the ventilated lung: an experimental study. *Br J Anaesth* 2008; 100: 549-59
- 4 Smith TG, Balanos GM, Croft QP, et al. The increase in pulmonary arterial pressure caused by hypoxia depends on iron status. *J Physiol* 2008; 586: 5999-6005
- 5 Loeppky JA, Scotto P, Riedel CE, Roach RC, Chick TW. Effects of acid-base status on acute hypoxic pulmonary vasoconstriction and gas exchange. *J Appl Physiol* (1985) 1992; 72: 1787-97
- 6 Russell WJ, James MF. The effects on increasing cardiac output with adrenaline or isoprenaline on arterial haemoglobin oxygen saturation and shunt during one-lung ventilation. *Anaesth Intensive Care* 2000; 28: 636-41
- 7 Peel JK, Funk DJ, Slinger P, Srinathan S, Kidane B. Positive end-expiratory pressure and recruitment maneuvers during one-lung ventilation: A systematic review and meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2020; 160: 1112-22 e3
- 8 Jung DM, Ahn HJ, Jung SH, et al. Apneic oxygen insufflation decreases the incidence of hypoxemia during one-lung ventilation in open and thoracoscopic pulmonary lobectomy: A randomized controlled trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017; 154: 360-6
- 9 Peter S, Javier H.C. (2019). Anesthesia for Thoracic Surgery In M.A.Gropper,L.I.Eriksson,et al. Miller's Anesthesia 9th ed ELSEVIER,p1649



プロンコ・キャス™ 気管支内チューブ CPAP
システム クイックガイドについて

販売名 プロンコ・キャス気管支内チューブ CPAPシステム
医療機器承認番号 22100BZX00147000

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2021-2022 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。
TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。

Medtronic

お問い合わせ先
コヴィディエンジャパン株式会社

Tel: 0120-998-971
medtronic.co.jp

mt-prqu(46)2203
RMS_2021_0999-A-1