

経横隔膜中心静脈圧による術後横隔膜機能モニターの実験的試み

野木村 宏

要 旨

術後の横隔膜機能と経横隔膜中心静脈圧の関連性について、動物実験にて検討した。

雑種成犬を用い全麻・自発呼吸下に上腹部正中切開で開腹した。全麻・自発呼吸（室内気）下における手術前後の食道内圧 (P_{es})、胃内圧 (P_{ga})、上大静脈圧 (P_{svc})、下大静脈圧 (P_{ivc}) を測定し、各圧の呼吸による変化 (ΔP) から経横隔膜消化管圧の変化 ΔP_{di} ($=\Delta P_{ga}-\Delta P_{es}$) と経横隔膜中心静脈圧の変化 $\Delta P'_{di}$ ($=\Delta P_{ivc}-\Delta P_{svc}$) および $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ を求め比較した。

ΔP_{di} 、 $\Delta P'_{di}$ 共有意に低下し ($p<0.01$, $p<0.05$)、各々の変化率は、 $-37.25\pm 20.17\%$ と $-23.25\pm 10.30\%$ で有意な相関を示した ($r=0.85$, $p<0.01$)。 $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ 、 $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ は共に有意な変化は無かった。

経横隔膜中心静脈圧を術後横隔膜機能の連続モニターの指標として臨床応用する可能性が示された。

索引用語：呼吸筋，横隔膜機能，経横隔膜圧，中心静脈圧

respiratory muscle, diaphragm function, transdiaphragmatic pressure, central venous pressure

はじめに

横隔膜機能障害は上腹部手術や胸部手術に伴う術後合併症として注目されている。

横隔膜の運動機能の評価方法のひとつに、食道・胃バルーン法による経横隔膜消化管圧の測定があるが¹⁾、術後の反復・連続した測定には使用しにくい。一方、術後の患者には中心静脈カテーテルが挿入されていることが多く、経横隔膜圧を中心静脈圧により知ることができれば術後呼吸管理に応用できると考えられる。

これまでの動物実験により、経横隔膜消化管圧の呼吸による変化と経横隔膜中心静脈圧の呼

吸による変化との間に有意な相関が得られた²⁾。今回は、実際の手術侵襲に対して経横隔膜中心静脈圧の測定が有用であるか、動物実験で検討した。

方 法

体重5.5 kg から8.6 kg の雑種成犬8匹を用いて、Pentobarbital 25 mg/kg 静注により麻酔し、自発呼吸のまま気管内挿管した。上腹部正中切開（剣状突起から臍上部まで）にて開腹・閉腹し、全麻・自発呼吸（室内気）下で、術前と術後24時間（同様に麻酔・挿管）に以下の方法で圧測定を行った。

X線透視下に、CV Catheter (14G, アーガイル®) を頸静脈から上大静脈へ、大腿静脈から下大静脈（臍部付近）へ、計2本挿入した。また、Esophageal Motility Tube (14Fr, 段位3方向8 cm, アーガイル®) を遠位孔が胃内に、

近位孔が気管分岐部付近になるように、各々挿入して、低圧用 transducer に接続した。以上により、食道内圧(P_{es})、胃内圧(P_{ga})、上大静脈圧(P_{svc})、下大静脈圧(P_{ivc})を測定して、各圧の呼吸による変化(ΔP)を算出し、経横隔膜消化管圧の変化($\Delta P_{di} = \Delta P_{ga} - \Delta P_{es}$)と経横隔膜中心静脈圧の変化($\Delta P'_{di} = \Delta P_{ivc} - \Delta P_{svc}$)および $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ を求めた。

測定は背臥位で行い、10回の呼吸の平均値を求めた。圧測定と同時に、呼吸数と動脈血酸素飽和度(SaO_2)も調べた。

また、術前・術後の ΔP の変化率 $\% \Delta (\Delta P)$ は、 $(\Delta P, \text{post op} - \Delta P, \text{pre op}) \times 100 / \Delta P, \text{pre op}$ で求めた。

関連2群の有意差検定は paired t test で行った。また、相関係数は Pearson の相関係数を求め、相関係数の有意性の検定は正規分布検定

で行った。全て $p < 0.05$ ならば有意であるとした。

結 果

ΔP_{es} と ΔP_{svc} は両者共術前・術後で有意差は無く (Fig. 1), ΔP_{ga} と ΔP_{ivc} は共に有意に低下した(共に $p < 0.05$) (Fig. 2). ΔP_{di} と $\Delta P'_{di}$ は両者共術前・術後で有意に低下し (各々 $p < 0.01, p < 0.05$) (Fig. 3), $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ は共に有意差は無かった (Fig. 4).

術前・術後の、 ΔP_{di} の変化率 $\% \Delta (\Delta P_{di})$ と $\Delta P'_{di}$ の変化率 $\% \Delta (\Delta P'_{di})$ は、各々 $-37.25 \pm 20.17\%$ と $-23.25 \pm 10.30\%$ であり、両者の相関係数は 0.85 で有意な相関関係であった ($p < 0.01$) (Fig. 5).

呼吸数は術前・術後で有意に増加したが ($p < 0.05$), SaO_2 は有意差が無かった (Fig. 6).

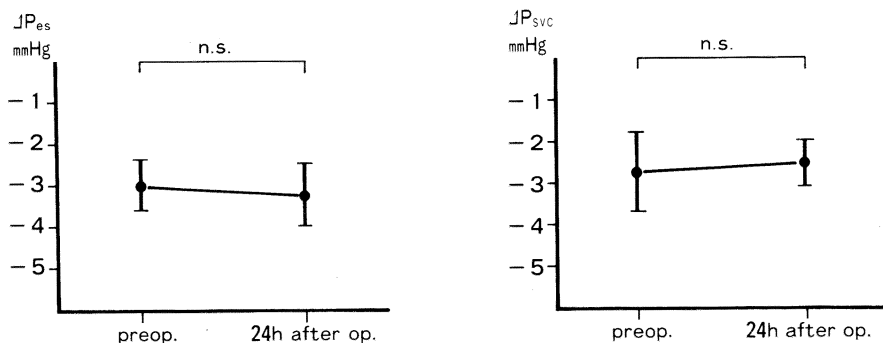


Fig. 1 Changes in ΔP_{es} and ΔP_{svc} , before-after laparotomy (n=8)

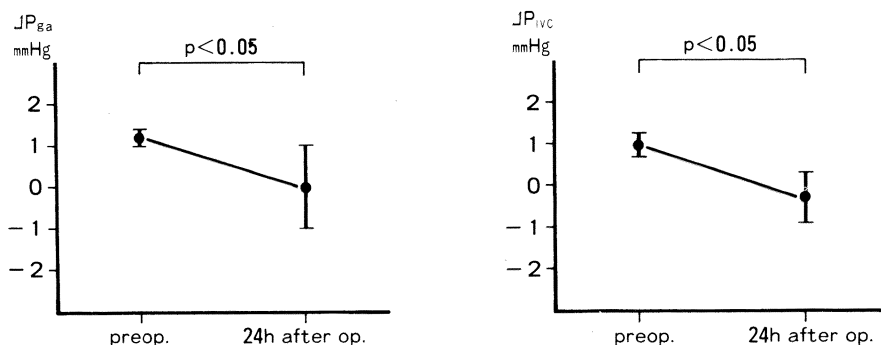


Fig. 2 Changes in ΔP_{ga} and ΔP_{ivc} , before-after laparotomy (n=8)

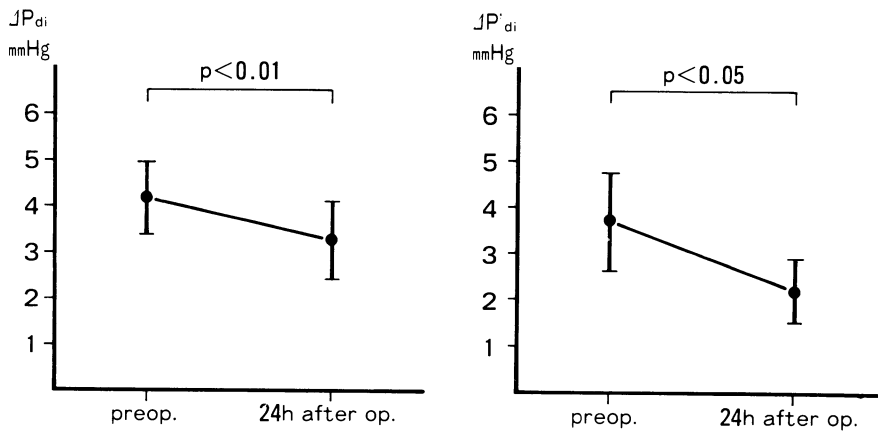


Fig. 3 Changes in ΔP_{di} ($=\Delta P_{ga}-\Delta P_{es}$) and $\Delta P'_{di}$ ($=\Delta P_{IVC}-\Delta P_{SVC}$), before-after laparotomy (n=8)

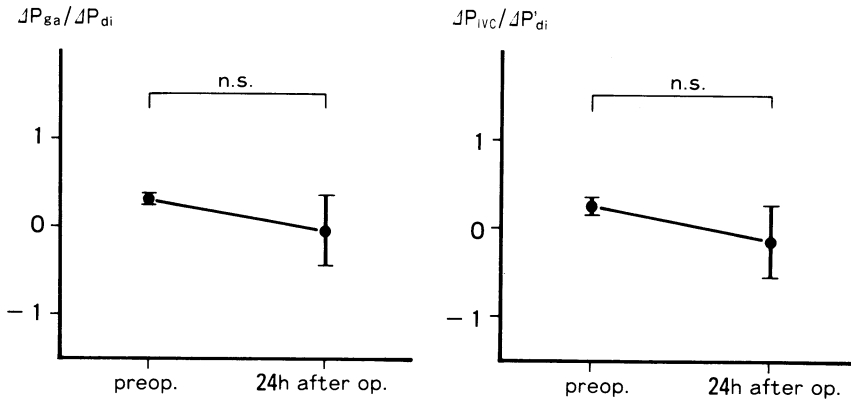


Fig. 4 Changes in $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ and $\Delta P_{IVC}/\Delta P_{di}$ before-after laparotomy (n=8)

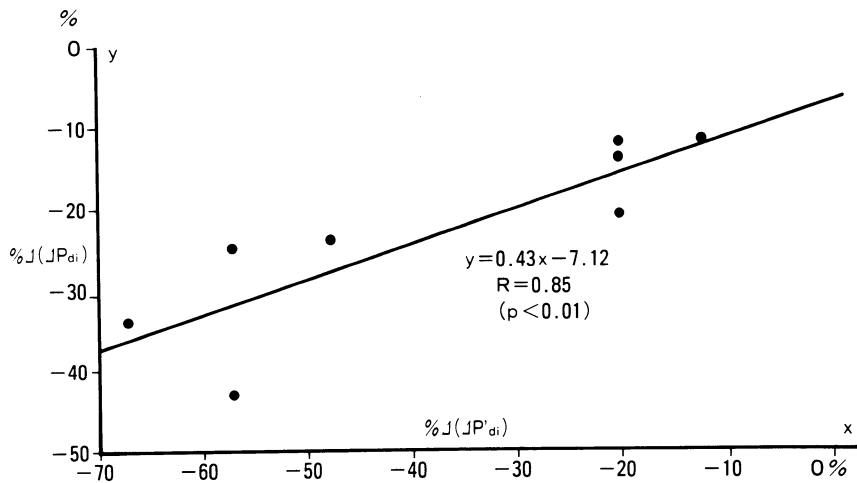


Fig. 5 Correlation between $\% \Delta(\Delta P_{di})$ and $\% \Delta(\Delta P'_{di})$ (n=8)

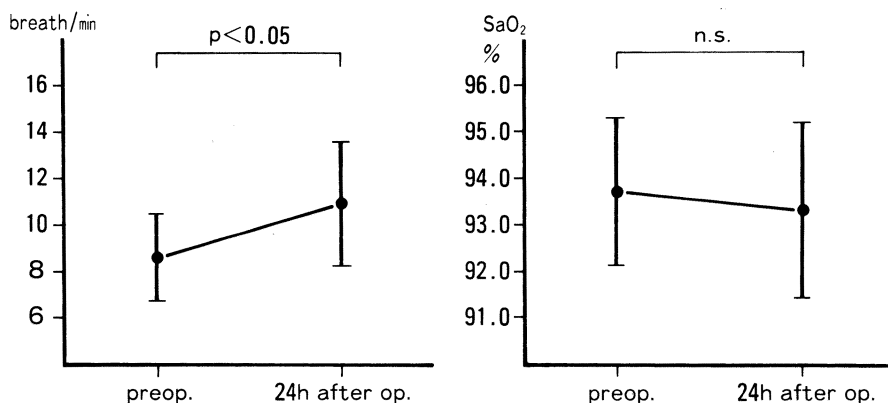


Fig. 6 Changes in respiratory rate and saturation O₂ (room air) before-after laparotomy (n=8)

考 察

横隔膜の運動機能の評価方法として、経横隔膜圧（胸腔内圧と腹腔内圧の差）を測定する食道・胃バルーン法は確立され¹⁾、既に同法により上腹部手術術後^{3,4)}や開胸手術術後⁵⁾の横隔膜機能の変化が明らかにされている。しかし、同法は経横隔膜消化管圧を測定する為に食道と胃にバルーンカテーテルを挿入する必要がある、術後の患者での測定が実際に行いにくい。外科手術術後の肺合併症の発生原因のひとつとして、術後の呼吸筋、特に横隔膜の機能低下を注目するには、侵襲が軽くて反復・連続した測定が可能なモニターが望まれる。

一般に、術後の患者のモニターとして、輸液ルートも兼ねて中心静脈カテーテルが挿入されることは多く、中心静脈圧が呼吸により変動することもよく知られている。経横隔膜圧を中心静脈圧により知ることができれば、食道・胃バルーン法に比べ侵襲が軽くて反復・連続した測定が可能なモニターになると考えた。これまでに動物実験により、経横隔膜消化管圧の呼吸による変化と経横隔膜中心静脈圧の呼吸による変化を比較し、前者と同様に後者も有用であることを確認した²⁾。今回は引き続き、実際の手術侵襲に対して経横隔膜中心静脈圧の測定が有用であるかを、動物実験（上腹部開腹術）で検討し

た。

臨床例を対象とした食道・胃バルーン法による上腹部開腹手術前後の経横隔膜圧変化についての Ford ら³⁾と Simonneau ら⁴⁾の報告では、術前・術後 2～8 時間³⁾ないし術後 1 日⁴⁾の比較で、胸腔内圧の呼吸による変化 (ΔP_{PL}) は有意な変動は無いが、腹腔内圧の呼吸による変化 (ΔP_{AB}) は有意に低下して、 $\Delta P_{DI} (= \Delta P_{AB} - \Delta P_{PL})$ と $\Delta P_{AB}/\Delta P_{DI}$ は共に有意に低下したと述べられている。また、呼吸数は有意に増加し⁴⁾、肺活量・残気量・肺動脈血酸素分圧較差・動脈血酸素分圧は有意に低下した³⁾とも述べられている。

これらの報告と今回の手術前後の経横隔膜圧の呼吸による変化 (ΔP_{di} , ΔP_{ga} , ΔP_{es}) と経横隔膜中心静脈圧の呼吸による変化 ($\Delta P'_{di}$, ΔP_{IVC} , ΔP_{SVC}) の測定の結果を比較すると、概ね一致をみた。 ΔP_{PL} と ΔP_{es} および ΔP_{SVC} , ΔP_{AB} と ΔP_{ga} および ΔP_{IVC} , ΔP_{DI} と ΔP_{di} および $\Delta P'_{di}$ は同様な変化を示したが、 $\Delta P_{AB}/\Delta P_{DI}$ と $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ および $\Delta P_{IVC}/\Delta P'_{di}$ は異なった変化を示した。

$\Delta P_{AB}/\Delta P_{DI}$ は呼吸運動での横隔膜の相対的寄与の指標とされ⁶⁾、ヒトを対象とした研究があるが^{7,8)}、イヌの場合は横隔膜とその他の補助呼吸筋の関係が必ずしもヒトと同じではないと考えられる。これまでに報告した結果でも、イ

ヌの場合 $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{IVC}/\Delta P_{di}$ は共に、横隔神経切断時には変化を示したが、Aminophylline 投与時には変化を示さなかった²⁾。また、動物実験は自発呼吸であっても全麻下で測定しているので単純な比較はできないが、呼吸数の変化は一致したが SaO_2 の変化は一致しなかった。

これまでの検討で、 ΔP の測定は他の個体との比較より、同一個体での ΔP の変化を検討するのに有用であると考えられた²⁾。今回は、消化管内圧と中心静脈圧とで開腹術前後の経横隔膜圧の変化率を比較した。両者には有意な相関が認められたことより、術前後の横隔膜機能の変化に対して両者は共通反応の関係にあると考えられる。

以上から、実際の手術侵襲に対して経横隔膜中心静脈圧の測定が有用であると確認された。

中心静脈圧を測定する際の問題として、中心静脈圧への循環動態の影響が挙げられる。臨床応用もあわせ、今後引き続き検討を重ねていく考えである。

結 語

動物実験により、手術侵襲に対して、従来から横隔膜の運動機能の指標とされる経横隔膜消化管圧の呼吸による変化と同様に、経横隔膜中心静脈圧の呼吸による変化も有用であるとの結論が得られた。さらに、経横隔膜中心静脈圧の測定は、術後の横隔膜機能の連続モニターの指標として、臨床応用できると考えられた。

稿を終えるに当たり、御指導並びに御校閲を

賜った恩師原田幸雄教授に深甚なる謝意を捧げると共に、種々の御援助と御協力を戴いた浜松医科大学第一外科教室諸兄、文部技官長谷川敏彦氏に深く感謝の意を表します。

本論文の要旨の一部は、第32回日本胸部疾患学会総会(1992年5月、札幌)にて発表した。

文 献

- 1) Agostini E, Rahn H: Abdominal and thoracic pressures at different lung volumes. *J Appl Physiol* **15**: 1087-1092, 1960.
- 2) 野木村 宏: 中心静脈圧による横隔膜機能モニターの試み. *日呼外会誌* **6**: 2-9, 1992.
- 3) Ford GT, Whitelaw WA, Rosental T W, et al: Diaphragm function after upper abdominal surgery in humans. *Am Rev Respir Dis* **127**: 431-436, 1983.
- 4) Simonneau G, Vivien A, Sartene R, et al: Diaphragm dysfunction induced by upper abdominal surgery. *Am Rev Respir Dis* **128**: 899-903, 1983.
- 5) Maeda H, Nakahara K, Ohno K, et al: Diaphragm function after pulmonary resection: relationship to postoperative respiratory failure. *Am Rev Respir Dis* **137**: 678-681, 1988.
- 6) Gilbert R, Auchincloss JH, Peppi D: Relationship of rib cage and abdomen motion to diaphragm function during quiet breathing. *Chest* **80**: 607-612, 1981.
- 7) Girmby G, Gooldman M, Mead J: Respiratory muscle action inferred from rib cage and abdominal V-P partitioning. *J Appl Physiol* **41**: 739-751, 1976.
- 8) Mengeot PM, Bates JHT, Martin JG: Effect of mechanical loading on displacement of chest wall during breathing in humans. *J Appl Physiol* **58**: 477-484, 1985.

Monitoring postoperative diaphragm function by measuring transdiaphragmatic central venous pressure, an experimental study

Hiroshi Nogimura

First Department of Surgery, Hamamatsu University School of Medicine

The relationship between postoperative diaphragm function and changes in transdiaphragmatic central venous pressure during respiration was studied.

Mongrel dogs were anesthetized and allowed to breath spontaneously. Laparotomy by upper abdominal median incision was performed. The superior vena cava pressure (P_{SVC}), inferior vena cava pressure (P_{IVC}), esophageal pressure (P_{es}), and gastric pressure (P_{ga}) were measured and pressure changes during respiration (ΔP) were recorded. Changes in the transdiaphragmatic gastrointestinal pressure ($\Delta P_{di} = \Delta P_{ga} - \Delta P_{es}$) and transdiaphragmatic central venous pressure ($\Delta P'_{di} = \Delta P_{IVC} - \Delta P_{SVC}$) were calculated, as well as the ratios of $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ and $\Delta P_{IVC}/\Delta P'_{di}$. The pressures were measured before and 24 hrs after laparotomy.

ΔP_{di} and $\Delta P'_{di}$ decreased significantly after laparotomy. There was a significant correlation between $\% \Delta (\Delta P_{di})$ and $\% \Delta (\Delta P'_{di})$. There were no significant changes in $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ and $\Delta P_{IVC}/\Delta P'_{di}$ after laparotomy.

Correlations were noted between changes in transdiaphragmatic gastrointestinal pressure during respiration, which are said to indicate postoperative diaphragm function, and those in transdiaphragmatic central venous pressure. The results suggest that measurement of transdiaphragmatic central venous pressure can be employed as a parameter for continuous monitoring of postoperative diaphragm function.