

中心静脈圧による横隔膜機能モニターの試み

野木村 宏

要 旨

雑種成犬を用いて全麻・自発呼吸下に以下の実験を行い、食道内圧 (Pes)、胃内圧 (Pga)、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。

実験 1 : 横隔神経切断前-片側切断時-両側切断時の ΔP の変化を比較した。実験 2 : Aminophylline 投与前後の ΔP の変化を比較した。

ΔP_{di} と $\Delta P'_{di}$ は共に実験 1 で有意に低下し、実験 2 で有意に上昇した。 $\Delta P_{ga} / \Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc} / \Delta P'_{di}$ は共に実験 1 で有意に低下したが、実験 2 で有意な変化は無かった。

従来より横隔膜の運動機能の指標とされる ΔP_{di} と、 $\Delta P'_{di}$ の間に有意な相関が認められた。中心静脈圧測定が横隔膜機能の連続モニターに応用できる可能性が示唆された。

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

横隔膜の運動機能を評価する方法のひとつに、食道・胃バルーン法¹⁾による安静呼吸時の経横隔膜圧の変化の測定がある。同法を用いた術後の横隔膜機能評価の報告^{2,3)}により同法の有用性は知られているものの、広く一般に普及し活用されるには至っていない。それは同法が食道と胃にバルーンカテーテルを挿入する必要がある為、術後状態の患者での反復・連続した測定が実際に行いにくいからであろう。一方、術後測定されることの多い中心静脈圧が呼吸により変動することはよく知られているものの、経横隔膜中心静脈圧の呼吸による変化の検討は未

だ充分にはなされていない。

今回、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、侵襲の少ない横隔膜機能の連続モニターとしての中心静脈圧測定の応用の可能性を検討した。

方 法

体重 5.0 kg から 13.5 kg までの雑種成犬を用い、Pentobarbital 25 mg/kg により麻酔し、自発呼吸のまま気管内挿管した。X線透視下、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) へ挿入した。また、Esophageal Motility Tube (14 Fr, 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 (Pes)、胃内圧

(Pga), 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($\Delta P'_{di} = \Delta P_{ivc} - \Delta P_{svc}$)及び $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ を求めた. 測定値は10回の呼吸の平均値とした. 体位は supine position と standing position で行った.

実験1: 頸部を横切開し左右の横隔神経を肺尖部胸膜直上で求めて, 横隔神経切断前, 片側(左側)切断後20分, 両側切断後20分の各圧の呼吸による変化を比較した.

実験2: Aminophylline 8 mg/kg を5%ブドウ糖液50 ml に溶解し15分で点滴静注し, 投与前と投与後20分の各圧の呼吸による変化を比較した.

有意差の検定は, 関連3群の比較は二元配置分散分析法で, 関連2群の比較は paired t test で, 独立2群の比較は unpaired t test で各行った. 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

実験1: 呼吸による食道内圧の変化(ΔP_{es})と上大静脈圧の変化(ΔP_{svc})を比べると, 両者共, 横隔神経切断前(oo), 片側切断時(ox), 両側切断時(xx)間で有意差は無かった. supine position (su. po.) と standing position (stand. po.) での体位による差も認められなかった (Fig. 1).

呼吸による胃内圧の変化(ΔP_{ga})と下大静脈圧の変化(ΔP_{ivc})を比べると, 両者共 oo, ox, xx 間で有意差があり, 2群間の有意差検定では, ΔP_{ga} の oo-ox (su. po., stand. po.) と ΔP_{ivc} の oo-ox (su. po.), ox-xx (stand. po.) でのみ有意差を認めなかったが, 他の2群間には有意差を認め, 全体的に両者共低下傾向を示した. 体位による差は ΔP_{ivc} の oo でのみ有意に su. po. < stand. po. であったが, 他は差を認めなかった (Fig. 2).

呼吸による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($\Delta P'_{di} = \Delta P_{ivc} - \Delta P_{svc}$)を比べると, 両者共 oo, ox, xx 間で有意差があり, 2群間でも全て有意差を認め, 全体的に両者共低下傾向を示した. 体位による差は認められなかった (Fig.

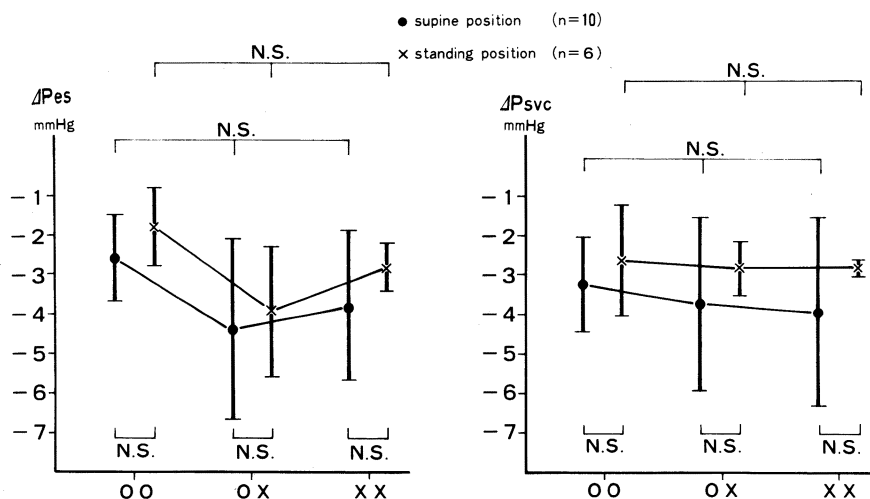


Fig. 1 Changes in ΔP_{es} and ΔP_{svc} , control (oo)–hemiphenectomy (ox)–biphenectomy (xx)

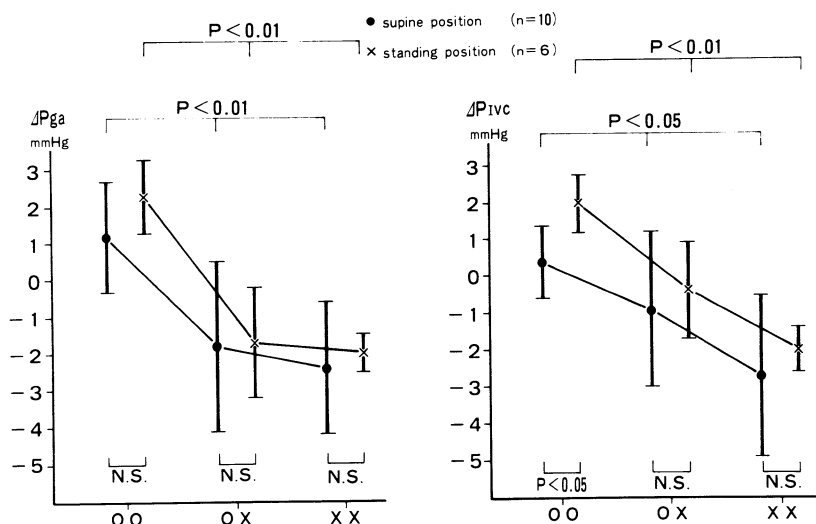


Fig. 2 Changes in ΔP_{ga} and ΔP_{ivc} , control (oo)–hemiphrenectomy (ox)–biphrenectomy (xx)

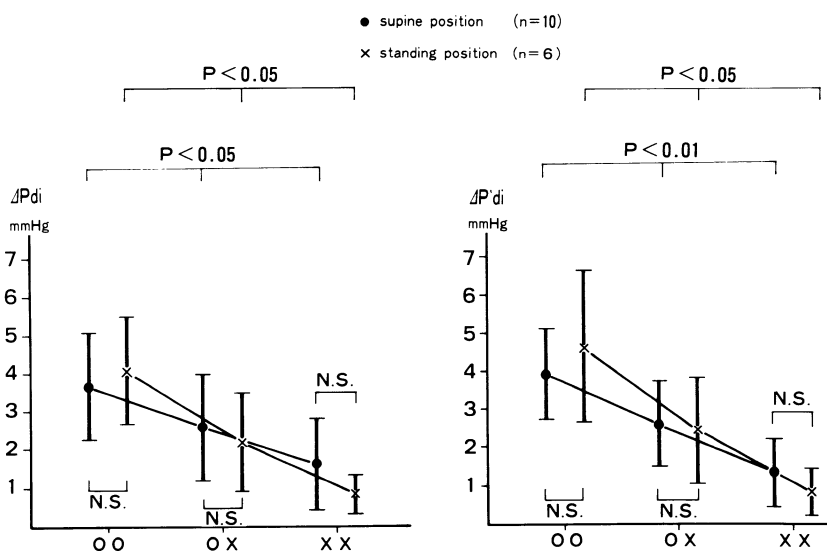


Fig. 3 Changes in ΔP_{di} ($=\Delta P_{ga}-\Delta P_{es}$) and $\Delta P'di$ ($=\Delta P_{ivc}-\Delta P_{svc}$), control (oo)–hemiphrenectomy (ox)–biphrenectomy (xx)

3).

$\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'di$ を比べると、両者共 oo, ox, xx 間で有意差があり、2 群間では $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ の ox-xx (stand. po.) と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'di$ の oo-ox (su. po., stand. po.) で有意差を認めなかったが、他の 2 群間には有意差を認め、

全体的に両者共低下傾向を示した。体位による差は $\Delta P_{ivc}/\Delta P'di$ の oo でのみ有意に su. po. < stand. po. であったが、他は差を認めなかった (Fig. 4).

実験 2 : ΔP_{es} と ΔP_{svc} を比べると、 ΔP_{es} の su. po. で Aminophylline 投与前 (pre) と

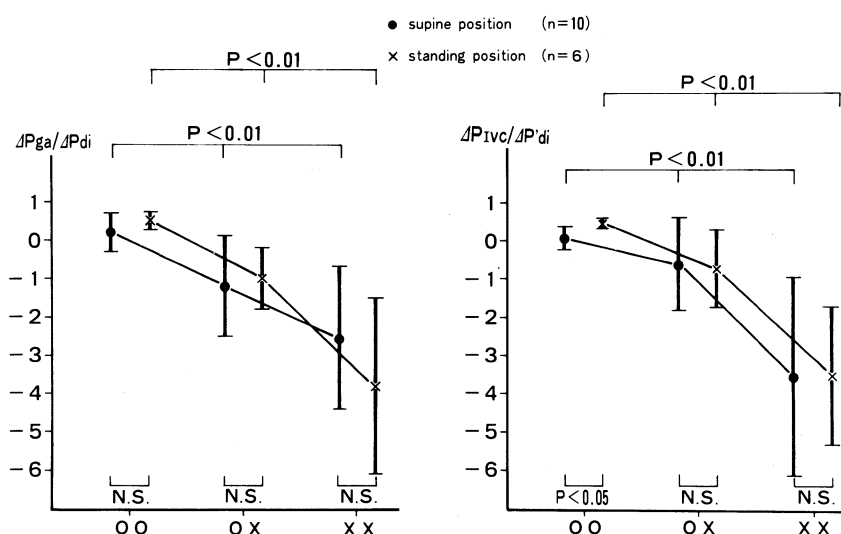


Fig. 4 Changes in $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ and $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$, control (oo)–hemiphrenectomy (ox)–biphrenectomy (xx)

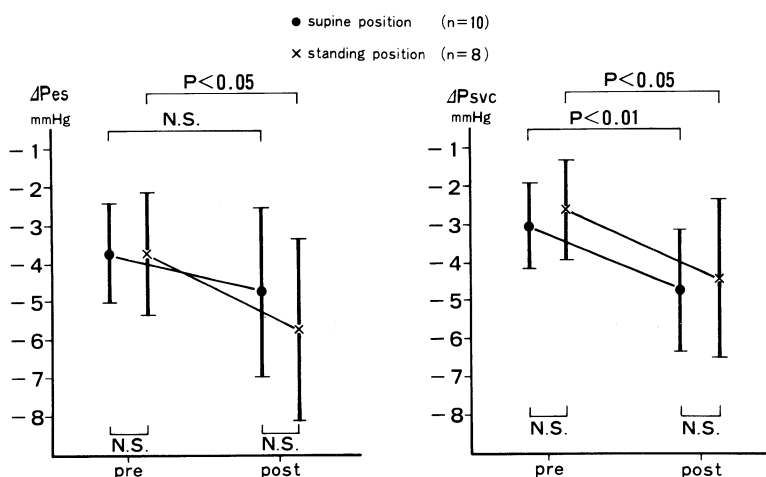


Fig. 5 Changes in ΔP_{es} and ΔP_{svc} , preadministration – postadministration of Aminophylline

投与後(post)で有意差を認めなかったが低下傾向を示し、他の ΔP_{es} (stand. po.)と ΔP_{svc} (su. po., stand. po.)は有意な低下を示した。体位による差は認められなかった (Fig. 5)。

ΔP_{ga} と ΔP_{ivc} を比べると、両者共 pre-post で有意な上昇を示した。体位による差は認められなかった (Fig. 6)。

ΔP_{di} と $\Delta P'_{di}$ を比べると、両者共 pre-post

で有意な上昇を示した。体位による差は認められなかった (Fig. 7)。

$\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$ を比べると、両者共 pre-post で有意な変化は無かった。体位による差も認められなかった (Fig. 8)。

呼吸による経横隔膜消化管内圧の変化と経横隔膜中心静脈圧の変化の相関係数を求めると、各々、 ΔP_{es} と ΔP_{svc} で0.52；0.71 (su. po.；

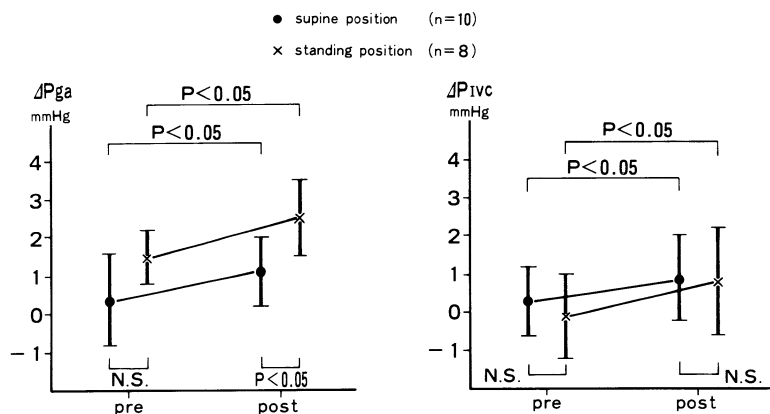


Fig. 6 Changes in ΔP_{ga} and ΔP_{ivc} , preadministration – postadministration of Aminophylline

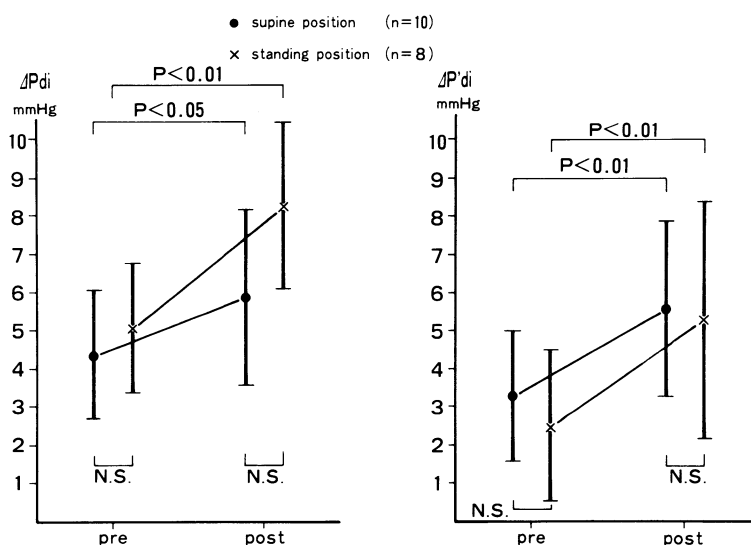


Fig. 7 Changes in ΔP_{di} ($=\Delta P_{ga}-\Delta P_{es}$) and $\Delta P'_{di}$ ($=\Delta P_{ivc}-\Delta P_{svc}$), preadministration – postadministration of Aminophylline

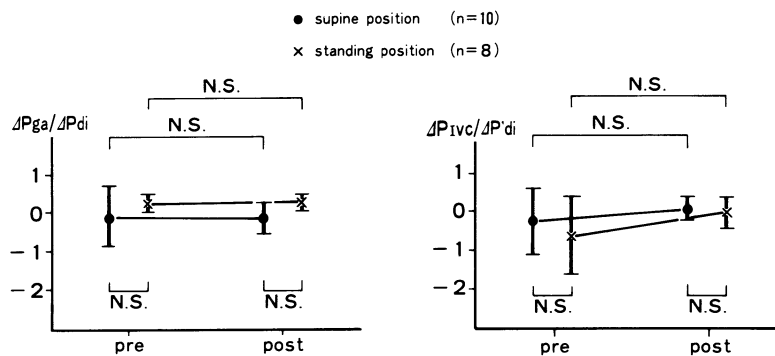


Fig. 8 Changes in $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ and $\Delta P_{ivc}/\Delta P'_{di}$, preadministration – postadministration of Aminophylline

stand. po.), ΔP_{ga} と ΔP_{IVC} で 0.68 ± 0.59 , ΔP_{di} と $\Delta P'_{di}$ で 0.62 ± 0.70 , $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{IVC}/\Delta P'_{di}$ で 0.71 ± 0.86 であり, 全て有意な相関関係であった.

考 察

外科手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が注目されている. 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¹⁾がある. これは, 横隔膜によって隔てられている胸腔内圧と腹腔内圧の差 (経横隔膜圧) に注目し, 一回安静呼吸の間の経横隔膜圧の変化を横隔膜の呼吸運動の機能の指標とする考え方で, 実際は経口的に挿入したバルーンカテーテルにより胸腔内圧=食道内圧, 腹腔内圧=胃内圧として測定した消化管内圧の値を用いている. 現在, 厳密には胃内圧は腹腔内圧を反映しないが経横隔膜圧を求めるための subdiaphragmatic abdominal pressure としては有効であるとされており⁴⁾, 食道・胃バルーン法は横隔膜機能の有力な評価方法として確立されている.

しかし, 同法により上腹部手術²⁾や開胸手術³⁾の術後の横隔膜機能の変化が明らかにされていないものの, 広く一般に同法が活用され術後管理に貢献するような普及はみせてはいない. それは, 同法が食道と胃にバルーンカテーテルを挿入する必要があるため, 術後の測定が実際に行いにくいからであろう.

一方, 術後の患者には輸液ルートも兼ねて中心静脈圧測定用のカテーテルが挿入されていることが多い. そして中心静脈圧が呼吸により変動することはよく知られている. 1976年の Hedstrand らの健康成人を対象とした報告⁵⁾では, 単純には ΔP_{es} と ΔP_{SVC} は一致しないとしている. しかし, この報告及びそれ以降に経横隔膜圧について消化管内圧と中心静脈圧を比較検討した報告は無い.

中心静脈カテーテルは経口的バルーンカテーテルに比べ, その挿入は侵襲が軽く, 反復・連続した圧測定が可能である. よって, 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

呼吸管理の一助となろう.

今回, 経横隔膜消化管圧の測定はバルーン法を用いずにオープンチップ法を用いた. 消化管圧測定は従来より小児外科領域で多く研究がされており, 食道内圧・肛門内圧共にオープンチップ法が広く行われている⁶⁾. オープンチップ法の方がバルーン法に比べ挿入し易く扱いが容易であり, 今回の犬を用いた動物実験では圧変化を捉えるのに特に困難は無かった.

一般に安静呼吸では, 呼吸による胸腔内圧の変化 (ΔP_{PL} = 呼吸終末胸腔内圧 - 吸気終末胸腔内圧) は陰圧に傾き負の値となり, 腹腔内圧の変化 (ΔP_{AB} = 呼吸終末腹腔内圧 - 吸気終末腹腔内圧) は陽圧に傾き正の値となる.

横隔神経切断時の変化は次のように考えられる. 呼吸を維持するために ΔP_{PL} は陰圧が同等か, より強くなり, 値は負のままか, より負になる. 一方 ΔP_{AB} は横隔膜が働かないため陽圧がかからず負に変化する. よって, 経横隔膜圧 ($\Delta P_{DI} = \Delta P_{AB} - \Delta P_{PL}$) は減少する. また, Gilbert らによって呼吸時の横隔膜の相対的寄与の指標とされた $\Delta P_{AB}/\Delta P_{DI}$ の値⁷⁾は減少する.

Aminophylline は Aubier らにより横隔膜に対する運動増強作用が注目された⁸⁾. 常用量の 6 mg/kg 程度で横隔膜の収縮力が増強する. この作用は神経・筋接合部より末梢で筋に直接作用するといわれている⁹⁾. 全身投与すると横隔膜のみならず呼吸全般に作用すると考えられる. すなわち, ΔP_{PL} はより負になる一方, ΔP_{AB} はより正になり, ΔP_{DI} は増大する. $\Delta P_{AB}/\Delta P_{DI}$ は横隔膜とその他の補助呼吸筋の呼吸に対する寄与の割合で変化は異なると思われる.

以上のような予想に基づき今回の実験結果を検討すると, ΔP_{es} と ΔP_{ga} でもとめた ΔP_{di} 系 (消化管内圧による経横隔膜圧の測定系), ΔP_{SVC} と ΔP_{IVC} で求めた $\Delta P'_{di}$ 系 (中心静脈圧による経横隔膜圧の測定系) 共に概ね予想と一致した. Aminophylline 投与により $\Delta P_{ga}/\Delta P_{di}$ と $\Delta P_{IVC}/\Delta P'_{di}$ に有意な変化がみられなかったのは, 横隔膜以外の補助呼吸筋も増強されたためだと考えられる.

そして, 両系の間に統計学的に有意な相関関

係が認められたことより、横隔膜機能に対して ΔP_{di} 系と $\Delta P'_{di}$ 系は共通反応の関係にあると考えられる。ただし、両系は測定の場合が異なり、 $\Delta P'_{di}$ 系は循環動態の影響を受けると考えられるため、実際に ΔP_{di} 系の代わりに $\Delta P'_{di}$ 系を用いる場合には循環動態も考慮されるべきであろう。今回の実験では循環系の条件設定を行わなかったが、圧測定時に同時にモニターしていた心電図上特に個体差は観察されず、循環系はほぼ一定条件下の圧測定であったと考えられる。

体位による差異は supine position に比べ standing position の方が重力による影響によって、より圧較差が現れる、と予想されたが、今回の実験では経横隔膜消化管圧と経横隔膜中心静脈圧共に明かな差も傾向も現れなかった。 ΔP_{IVC} の oo で統計上有意差があり pre. で有意差がなかったが、oo, pre. どちらも対応のある個体のみに限定して統計をやり直すと、共に有意差は認められなかった。他の2群間も同様に対応のある個体のみに限定すると全て有意差は認められなかった。このことより、 ΔP の測定値は異なる個体間での比較には適応しにくく、同一個体での変化を比較検討にのみ適していると考えられた。

今回の実験結果より、 ΔP_{di} 系の有用性が再確認されたと同時に $\Delta P'_{di}$ 系の有用性が証明された。経横隔膜中心静脈圧の測定が侵襲の少ない横隔膜機能の連続モニターとして応用できる可能性が示された。

今後の課題として、 $\Delta P'_{di}$ 系に対する循環動態の影響はどの程度か、また、実際の手術侵襲に対して ΔP_{di} 系と同等に $\Delta P'_{di}$ 系でも圧変化が把握できるか、実験動物ではなく臨床例で $\Delta P'_{di}$ 系は有用であるか、等があり、検討を続けていく考えである。

結 語

動物実験により、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、今回注目した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。経横隔膜中心静脈圧の測定は、術後呼吸管理における侵襲の少ない横隔膜機能の連続モニターとして臨床応用できる可能性があると考えられた。

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ともに、種々の御援助と御協力をいただ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。

なお、本論文の要旨は、第8回日本呼吸器外科学会総会 (1991年5月、長崎) 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) Ford GT, Whitelaw WA, Rosenal TW, et al: Diaphragm function after upper abdominal surgery in humans. *Am Rev Respir Dis* **127**: 431-436, 1983.
- 3) 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.
- 4) 吉野克樹: 呼吸筋力の測定. *呼吸* **7**: 596-600, 1988.
- 5) Hedstrand U, Jakobson S, Nylund U, et al: The Concordance of respiratory Fluctuations in Oesophageal and Central Venous Pressures. *Upsala J Med Sci* **81**: 49-53, 1976.
- 6) 矢野博道, 徳永文雄: 食道内圧. *小児内科* **13**: 1632-1639, 1981.
- 7) Gilbert R, Auchincloss JH, Peppi D: Relationship of rib cage and abdomen motion to diaphragm function during quiet breathing. *Chest* **80**: 607-612, 1981.
- 8) Aubier M, Detroyer A, Sampson M, et al: Aminophylline improves diaphragmatic contractility. *N Engl J Med* **311**: 349-353, 1981.
- 9) Roussos Ch. Ventilatory failure and respiratory muscle. In: Roussos Ch, Macklem PT, eds. *The Thorax*, Dekker. New York: pp 1253-1299, 1987.

Monitoring diaphragm function by continuous transdiaphragmatic central venous pressure measurement

Hiroshi Nogimura

First Department of Surgery, Hamamatsu University School of Medicine

The relationship between diaphragm function and respiratory changes in transdiaphragmatic central venous pressure was studied.

Mongrel dogs were anesthetized allowing spontaneous respiration. The superior vena caval pressures (P_{svc}), inferior vena caval pressures (P_{ivc}), esophageal pressures (P_{es}), and gastric pressures (P_{ga}) were measured to detect pressure changes with respiration (ΔP). Changes in the transdiaphragmatic gastrointestinal pressures ($\Delta P_{\text{di}} = \Delta P_{\text{ga}} - \Delta P_{\text{es}}$) and transdiaphragmatic central venous pressures ($\Delta P'_{\text{di}} = \Delta P_{\text{ivc}} - \Delta P_{\text{svc}}$) were calculated, as well as ratios of $\Delta P_{\text{ga}}/\Delta P_{\text{di}}$ and $\Delta P_{\text{ivc}}/\Delta P'_{\text{di}}$.

Experiment 1: A cervical transection was made to find the left and right phrenic nerves. The pressures were measured before and after left hemiphrenectomy and biphrenectomy.

Experiment 2: The pressures measured before and 20 minutes after the administration of 8 mg/kg aminophylline were compared.

ΔP_{di} and $\Delta P'_{\text{di}}$ decreased significantly after hemiphrenectomy and biphrenectomy. Both pressures increased significantly after the administration of aminophylline. $\Delta P_{\text{ga}}/\Delta P_{\text{di}}$ and $\Delta P_{\text{ivc}}/\Delta P'_{\text{di}}$ decreased significantly after biphrenicotomy, but they did not change significantly after the administration of aminophylline. There were significant correlations between ΔP_{es} and ΔP_{svc} , between ΔP_{ga} and ΔP_{ivc} , between ΔP_{di} and $\Delta P'_{\text{di}}$, and between $\Delta P_{\text{ga}}/\Delta P_{\text{di}}$ and $\Delta P_{\text{ivc}}/\Delta P'_{\text{di}}$.

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