

●解 説●

食道内圧の測定方法

妙中浩紀・吉田健史・内山昭則・藤野裕士

キーワード：食道内圧，経肺圧，急性呼吸不全，自発呼吸

I. はじめに

食道内圧 (esophageal pressure : Pes) 測定は、胸膜圧 (pleural pressure : Ppl) を低侵襲的にモニタリングする方法で、50 年以上の長きにわたり肺生理学・呼吸力学に関する研究で使用されてきた¹⁾。現在では、Pes 測定を行うことによって、不均一な含気分布を呈する傷害肺の肺メカニクスを患者ごとに評価できるようになり、急性呼吸不全患者に対する人工呼吸管理法の個別化治療が可能になってきた²⁾。しかしながら、世界 50 か国以上で行われた大規模観察研究-LUNG SAFE STUDY において、2014 年の時点で急性呼吸促進症候群 (acute respiratory distress syndrome : ARDS) 患者の 1% 未満でしか Pes 測定が行われていないことが報告された³⁾。

実臨床で Pes 測定が拡がらない理由を挙げる。

① Pes 測定の技術的要素

本邦においては入手できる食道バルーン、Pes を表示できる人工呼吸器が限られているために、こうした人工呼吸器がない場合の Pes 測定方法が確立されていない。また Pes 測定の際、食道バルーンに注入する適切な空気の量を認識する必要がある^{4,5)}。こうした測定技術に関する複雑さが導入の妨げになっていると考えられる。

② Pes 値の信憑性

重力方向に、Ppl の圧勾配が存在するため (仰臥

位の場合、背側がより高く、腹側がより低い)⁶⁾、Pes がどの肺領域の Ppl を表すのか不明である。周囲の臓器 (例：心臓などの縦隔組織) が食道を直接圧迫することによって、Pes は Ppl を過大評価している可能性も指摘されている⁷⁾。

③ Pes 測定には 2 つの方法が存在する

Pes から経肺圧 (transpulmonary pressure : PL) を計算する際、2 つの異なる方法が存在する (測定された Pes の絶対値にもとづく計算方法⁸⁾ と胸壁と呼吸器系のエラスタンス比にもとづく方法^{9,10)})。しかし、これら 2 つの計算方法はまったく異なる PL を算出することが示されており¹¹⁾、この計算値の矛盾が Pes 測定の妥当性についても懸念を引き起こしている。

したがって、本稿ではベッドサイドにおける Pes 測定の理解を深めるために、Pes 測定に関連する技術的、生理学のおよび臨床的詳細を解説する。

II. 実際の測定方法

Pes 測定値が正確に Ppl を反映するには、食道バルーンを適切な位置に配置し、バルーンを適切な量の空気で膨らませる必要がある。以下にその技術的手法について、最近の総説を参照して述べる^{2,12,13)}。

1. カテーテルの種類

Pes を測定するための最も一般的な方法として、カテーテルに接続された、空気で充填される食道バルーンが使用される。第一世代の食道バルーンはカスタムメ

イドで、主に研究目的に使用された。その後、この10年間で数種類の第2世代のバルーンが開発され、現在、6つの食道カテーテルが市販、臨床で使用されている(図1)。ただし、日本で市販されているものはSmartCath (Avea SmartCath; Carefusion、米国)とSmartCathG (Avea SmartCath nasogastric pressure; Carefusion、米国)のみである。

2. 挿入方法

すべての種類の食道バルーンは、まず三方活栓に接続して虚脱させた後、経鼻的に(約55cm)または経口的に(約40cm)胃内まで挿入し、最小の推奨容量—minimal non-stress volumeで膨らませる(後述)。食道バルーンが胃内にあるかどうかは、腹壁を愛護的に用手圧迫した際に、圧曲線が正に振れることによって確認できる。次に、圧曲線上に心臓のアーチファクトが現れるまでバルーンを引き抜く。これにより圧力測定部位(バルーン)が食道下部3分の1—Pesの至適測定部位にあることが分かる¹⁾。なお、経鼻胃管が留置されている場合でもPesの測定に大きな影響を与えないことが報告されており¹⁴⁾、すでに挿入されている栄



図1 食道内圧カテーテル

本邦で使用可能な食道内圧カテーテル SmartCath (Carefusion、米国; 許可を得て掲載)。

養チューブ類に加えて食道バルーンを使用することが可能である。

3. 食道バルーンの空気量

空気充填量が少ないバルーンはPesを正しく伝達せず、Pplを過小評価する。空気充填量が多いバルーンは食道壁の弾性による圧が上昇するためPesはPplを過大評価する¹⁾。そのため、食道壁の弾性力を発生させない最小の容量、つまりMinimal non stress volumeで膨らませることが重要である。適切な充填量は、食道バルーンの形状や材質によって異なり、市販の各カテーテルにおける値は、Mojoliらの研究で評価されている⁴⁾。各食道バルーンにおけるminimal non stress volumeは表1の通りである。食道カテーテルを挿入する前に、適切なminimal non stress volumeを確認することが推奨される。

4. 位置とキャリブレーション

食道バルーン的位置の検証方法は自発呼吸の有無により2通りある。自発呼吸がある患者の場合には、呼吸終末に気道を閉塞させ、吸気努力中の気道内圧 (airway pressure: Paw) とPesの変化の割合をみる (Baydur test)¹⁵⁾。自発呼吸がない患者の場合には、呼吸ポーズ中に胸骨を圧迫しPawとPesの変化の割合をみる (positive pressure occlusion test)¹⁶⁾。気道閉塞時および呼吸ポーズ時、肺容積が一定のため(ガスの流入・流出がない)、PLも一定である。したがって、PesがPplを正確には反映しているのであれば、Pawの変化(ΔPaw)とPesの変化(ΔPes)は、ほぼ同じになる¹⁵⁾。すなわち $\Delta Pes/\Delta Paw$ 比が 1.0 ± 0.2 の範囲内であれば、PesがPplを正確に反映していると考えられている。範囲外の場合、PesはPplを正しく反映しないので、食道バルーン的位置を修正すべきであり、バルーンの容

表1 各食道バルーンにおける minimal non stress volume (文献4をもとに作成)

種類	Volume (mL)
Cooper (Cooper Surgical, Trumbull, CT, USA)	0.8
Marquat (Marquat Genie Biomedical, Boissy-Saint-Léger Cedex, France)	1.3
Microtek (Microtek, Zutphen, The Netherlands)	2.0
NutriVent (NutriVent, Sidam, San Giacomo Roncole, Mirandola, Modena, Italy)	1.3
SmartCath (Avea SmartCath, Carefusion, San Diego, CA, USA)*	1.3
SmartCathG (Avea SmartCath nasogastric pressure, Carefusion, San Diego, CA, USA)*	1.0

*本邦で入手可能、アイ・エム・アイ社が代理店

積も再確認する必要がある^{1,17)}。

5. モニタリング方法

食道バルーンは、専用のモニター装置、人工呼吸器付属の圧力ポート、または生体情報モニターの圧力トランスデューサーに接続しモニタリングできる。実際に（本邦の）臨床でどうやって画面に出すか、その方法を以下に紹介する。

1) 人工呼吸器のポートに接続し画面に表示する場合

本邦で使用でき、食道カテーテルを接続可能な人工呼吸器は AVEA™ ventilator (Vyair Medical、米国) と HAMILTON-G5 (HAMILTON MEDICAL、スイス)

がある。人工呼吸器本体の専用ポートに食道カテーテルを接続する。Pes、Paw とそれらから算出された PL を同時に画面表示することが可能である。

2) 圧トランスデューサーに接続する場合

上述の人工呼吸器がない場合、生体情報モニターの圧力トランスデューサーを用いて、Pes を表示することができる。食道カテーテルのモニター接続部を切断して（SmartCath の場合）静脈留置用カテーテルを挟んで圧ラインに接続することで、生体情報モニター画面に Pes を表示できる。Pes 専用のパラメーターは存在しないので、モジュールのパラメーターは実際に計測していないものを選択する（図 2、図 3・4）。

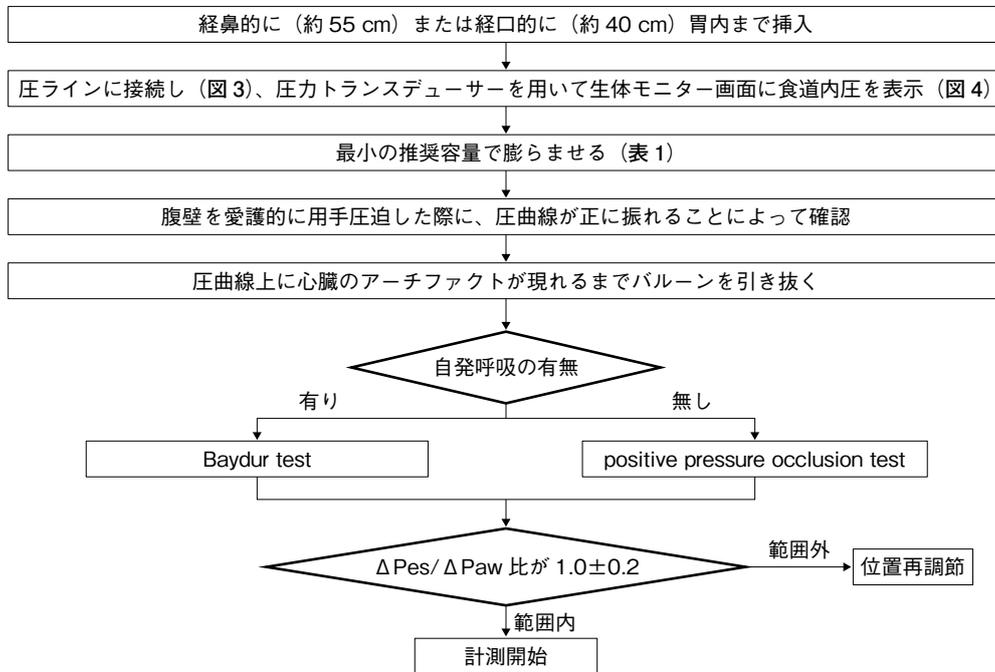


図 2 実際の手順

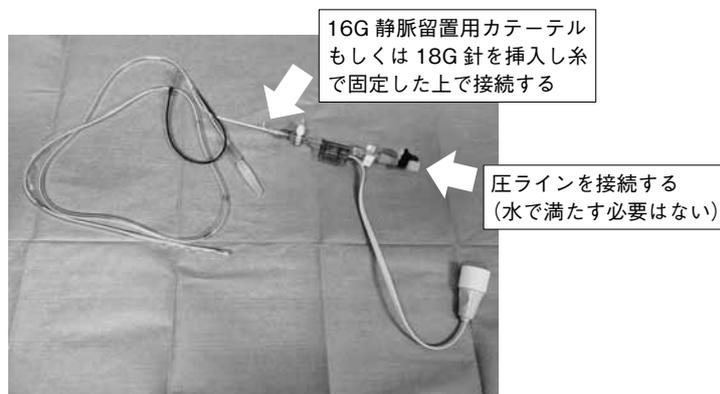


図 3 食道内圧カテーテルと圧ラインの接続方法

SmartCathG (Avea SmartCath nasogastric pressure ; Carefusion、米国) を使用



図4 食道内圧を生体モニターに表示
図中枠内 (P4) に食道内圧を表示している。

Ⅲ. Pes 測定の臨床的意義

1. PL : 肺に対するストレスの推定

人工呼吸器が呼吸器系に作用する圧-気道内圧 (Paw) は、肺を膨らませるための PL と胸壁を動かすための Ppl の 2 つの要素に分けられる。PL は次のように計算される。

$$PL = P_{aw} - P_{pl}$$

Ppl すなわち PL の計算方法には 2 つの方法が提唱されており、直接測定された Pes の絶対値から求める方法⁸⁾、または気道プラトー圧および胸壁の呼吸器系に対するエラストランス比を使用して求める方法^{9,10)}がある。

1) Pes の絶対値を使用する方法

Pes の絶対値は Ppl を正確に反映していると仮定しているため、PL は次のように直接計算される⁸⁾。

$$PL = P_{aw} - P_{es}$$

2) 胸壁の呼吸器系に対するエラストランス比を使用する方法

2 つめの方法は、呼吸器系と胸壁のエラストランス比にもとづいている^{9,10)}。この方法には 2 つの仮定がある。

- ①胸壁の呼吸器系に対するエラストランス比 (E_{cw}/E_{rs}) は、どの呼気肺容量から計算しても一定 (例: PEEP 0 [機能的残気量] からプラトー圧で計算されるエラストランス比は、PEEP 10 [機能的肺容量以上の呼気肺容量] からプラトー圧で計算されるエラストランス比は等しい)。
- ②機能的残気量で Ppl=0 であること。機能的残気量では、肺は拡張も虚脱もしていないので、PL=0 でなければならない。Paw=0 (機能的残気量) である時に、PL=0 であるためには Ppl=0 でなけれ

ばならない。

したがって、 $\Delta P_{pl} = \Delta P_{aw} \times (E_{cw}/E_{rs})$ は、 $P_{pl} = P_{aw} \times (E_{cw}/E_{rs})$ として計算できる結果、PL は次のように表される。

$$PL = P_{aw} - P_{aw} \times E_{cw}/E_{rs}$$

$E_{rs} = \Delta P_{aw} / \Delta V_T$ 、 $E_{cw} = \Delta P_{es} / \Delta V_T$ なので $E_{cw}/E_{rs} = \Delta P_{es} / \Delta P_{aw}$ となり、

$$PL = P_{aw} - P_{aw} \times \Delta P_{es} / \Delta P_{aw}$$

で計算することができる。

最近の基礎研究 (ブタ ARDS モデルと献体) により、Pes の絶対値は、心臓など縦隔の重さの影響を受けず、食道バルーンに隣接する肺局所の Ppl (中間肺~背側領域) を正確に反映することが明らかになった^{14,15)}。ARDS では、無気肺は中間肺~背側肺領域で優位に認められる。背側無気肺を防ぐために、呼気時の Pes 絶対値から計算された呼気 PL を陽圧にするような呼気終末陽圧 (PEEP) を設定することは理にかなっていない。Talmor らは、肺胞の虚脱を防ぐためには、呼気 PL を 0 以上にするような PEEP が必要という仮説のもと、単一施設でのランダム化比較試験 (randomized controlled trial: RCT) を行った。結果、呼気 PL を 0 以上に保つよう PEEP を付加した群のほうが、酸素化能の改善、呼吸器系コンプライアンスの改善を認めた⁸⁾。さらに 2 群で死亡率や人工呼吸器不要日数をアウトカムとした EPVENT2 では有意差がなかったが、Pes を用いた群でレスキュー治療が少ない結果となった¹⁸⁾。

また、エラストランス比から計算された吸気 PL は、腹側肺領域の PL を反映していることも明らかになった。これは、前述の想定を満たす肺領域が腹側領域であるためと考えられる (例: PEEP 0 の時 [機能的肺容量]、腹側肺領域が Ppl 0 に最も近く、背側にいくにしたがい Ppl は 0 以上となる)。したがって、エラストランス比から計算された吸気 PL は、人工呼吸器関連肺傷害 (ventilator-associated lung injury: VALI) を最も受けやすい、いわゆる baby lung の局所的な PL を反映しているため、VALI を最小限にするための新たなターゲットになる可能性がある¹⁹⁾。

まとめると、中間肺~背側肺領域の肺胞虚脱を防ぐためには Pes の絶対値にもとづく呼気 PL、腹側肺領域の吸気過膨張を防ぐためにはエラストランス比にもとづく吸気 PL を使用することがよいと思われる (図 5)。

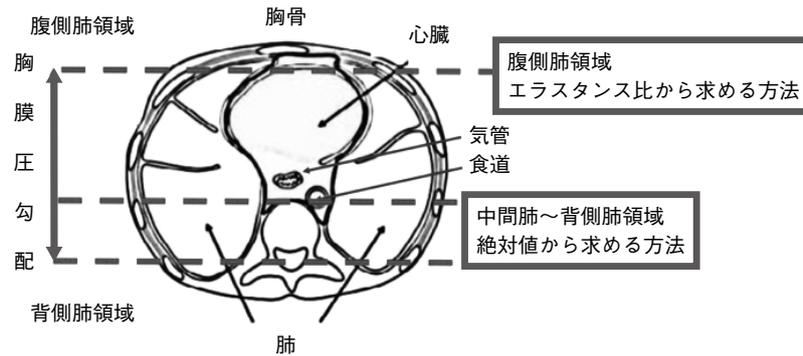


図5 肺領域と経肺圧の計算方法 (文献19をもとに作成)

2. 自発呼吸関連肺傷害の早期発見

ARDS患者では自発呼吸の温存が推奨されている^{3,20)}。これは、自発呼吸を温存したほうが、酸素化が良好で²⁰⁾、横隔膜萎縮のリスクが軽減されているためである^{21,22)}。しかし、ARDSが重症な場合や自発呼吸努力が強く、人工呼吸器と同調していない場合には、自発呼吸が肺傷害をさらに悪化させる可能性がある。この肺傷害は自己傷害型-自発呼吸関連肺傷害 (patient self-inflicted lung injury : P-SILI) と呼ばれている²³⁾。自発呼吸努力が強い患者はとくに予後が悪く²⁴⁾、Pesを用いて呼吸努力の程度を測定することで、P-SILIのリスクを最小限にする可能性がある。

1) 局所肺に対するストレスの増加

正常肺では、横隔膜収縮で発生した陰圧のPplは背側肺領域から胸膜表面全体に速やかに伝達される²⁵⁾。対照的に、重度ARDSでは、横隔膜収縮で発生した陰圧のPplは背側肺領域に存在する無気肺によって、その圧伝達が障害される結果、背側肺領域に局在化する^{26,27)}。ゆえに背側肺領域に局在化したより大きな陰圧のPplは他の肺領域、たとえば腹側肺領域から空気を吸い込むことにより、背側肺領域に局所的な過伸展を引き起こす (これはベンデルフト現象と呼ばれる)^{26~28)}。

したがって、自発呼吸努力はP-SILIを最小限にするために適度に維持されるべきであり、自発呼吸努力のあるARDS患者のPesをモニタリングすることが強く推奨される²⁾。呼吸筋による圧力 (inspiratory muscle pressure : Pmus) は、胸壁の静的弾性圧 (recoil pressure of the chest wall : Pcw,rel) とPesの振幅の差として計算され ($P_{mus} = P_{cw,rel} - P_{es}$)、我々の最近のレビューでは、自発呼吸努力をしているARDS患者では、Pmusを5~10cmH₂Oに制限することが提案され

ている²⁾。

2) 患者と人工呼吸器との相互作用

不同調は肺損傷を悪化させる可能性がある。「Double triggering」とは、1回目の吸気後に非常に短い呼気に続いて2回目の吸気が起こる現象であり²⁹⁾、一回換気量 (tidal volume : V_T) が2倍近くに増加するため有害であると考えられている。Double triggeringは、より強い自発呼吸を有する患者で起こりやすいことが知られている³⁰⁾。さらに人工呼吸器装着患者50人のデータによると、不同調が多く求められる患者の死亡率はより高いことが示された³¹⁾。通常の人工呼吸器グラフィックからの情報-気道内圧 (Paw) とフローだけでは、不同調の多くをマスクしてしまうが、Pesを用いることで不同調をより検出することができる可能性がある。

3) 肺血管拡張圧の推定

血管壁を伸展する力は経血管圧 (transvascular pressure) と呼ばれ、血管の内側と外側の圧力の差によって決定される³²⁾。

$$\text{経血管圧} = \text{血管内圧} - \text{血管周囲圧}$$

経血管圧の増加は血管内容積の増加を示唆し、胸腔内の経血管圧は肺血管の伸展圧の推定に使用することができる。胸腔内の血管 (たとえば中心静脈圧、肺動脈楔入圧など) の周囲圧は、Pplであるために、Pesで代用することができる^{33,34)}。胸腔内の血行力学を解釈するには、PesによるPplの測定は肺血管伸展圧をより正確に反映できる可能性がある (表2)。

IV. 結 論

Pes測定は複雑なテクニックではなく、その原理と測定手順を理解すれば、不均一な含気分布を呈する傷

表2 食道内圧測定の臨床的意義

臨床状況	Pes による指標	意義	推奨値・対処法
経肺圧の推定	ΔPL	肺実質へのストレスの評価	ARDS患者で10～12cmH ₂ O以下
	吸気終末PL	肺実質へのストレスの評価	ARDS患者で20～25cmH ₂ O以下
	呼気終末PL	0以下では肺胞の虚脱を示唆	ARDS患者で0cmH ₂ O以上
自発呼吸努力の評価	PTPes	呼吸努力の評価	正常値：100cmH ₂ O s min ⁻¹ 前後
	Pmus	呼吸努力の評価	正常値：5～10cmH ₂ O
	Work of breathing	呼吸努力の評価	正常値：0.35～2.4J min ⁻¹
不同調の検出	人工呼吸器による受動換気後に散在性にPesが負に振れる	リバーストリガーの検出	筋弛緩もしくは鎮静の調整
	人工呼吸器の加圧を伴わずにPesが負に振れる	無効な吸気努力	PEEPやPSの調整、NAVA考慮
	人工呼吸器の吸気時間より長いPesの吸気時間	ダブルトリガーの検出	吸気時間を増やす、NAVAやPAV考慮、アシドーシスや脳症の除外
	人工呼吸器の加圧の前にPesが負に振れない	オートトリガーの検出	リーク、トリガー設定、回路内の水分の確認、鎮静の減量考慮
経壁血管圧の推定	CVP-PesやPAOP-Pes	経壁血管圧の推定	CVPやPAOPを算出しvolume statusを評価

Pes : esophageal pressure、PL : transpulmonary pressure、PTP : pressure time products、Pmus : inspiratory muscle pressure、CVP : central venous pressure、PAOP : pulmonary artery occlusion pressure、ARDS : acute respiratory distress syndrome

害肺をより正確にベッドサイドで評価できるモニタリングである。VALIやP-SILIのリスクを最小限にできる可能性があり、臨床的に有用なモニタリングと思われる。

COIに関し、吉田健史は科学研究費ならびに福田記念医療技術振興財団から200万円超の研究費収入がある。その他の著者には規定されたCOIはない。

参考文献

- Milic-Emili J, Mead J, Turner JM, et al : Improved technique for estimating pleural pressure from esophageal balloons. *J Appl Physiol*. 1964 ; 19 : 207-11.
- Mauri T, Yoshida T, Bellani G, et al : Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting : meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med*. 2016 ; 42 : 1360-73.
- Bellani G, Laffey JG, Pham T, et al : Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in Intensive Care Units in 50 countries. *JAMA*. 2016 ; 315 : 788-800.
- Mojoli F, Chiumello D, Pozzi M, et al : Esophageal pressure measurements under different conditions of intrathoracic pressure. An in vitro study of second generation balloon catheters. *Minerva Anesthesiol*. 2015 ; 81 : 855-64.
- Mojoli F, Iotti GA, Torriglia F, et al : In vivo calibration of esophageal pressure in the mechanically ventilated patient makes measurements reliable. *Crit Care*. 2016 ; 20 : 98.
- Pelosi P, D'Andrea L, Vitale G, et al : Vertical gradient of regional lung inflation in adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994 ; 149 : 8-13.
- Washko GR, O'Donnell CR, Loring SH : Volume-related and volume-independent effects of posture on esophageal and transpulmonary pressures in healthy subjects. *J Appl Physiol* (1985). 2006 ; 100 : 753-8.
- Talmor D, Sarge T, Malhotra A, et al : Mechanical ventilation guided by esophageal pressure in acute lung injury. *N Engl J Med*. 2008 ; 359 : 2095-104.
- Staffieri F, Stripoli T, De Monte V, et al : Physiological effects of an open lung ventilatory strategy titrated on elastance-derived end-inspiratory transpulmonary pressure : study in a pig model*. *Crit Care Med*. 2012 ; 40 : 2124-31.
- Chiumello D, Cressoni M, Colombo A, et al : The assessment of transpulmonary pressure in mechanically ventilated ARDS patients. *Intensive Care Med*. 2014 ; 40 : 1670-8.
- Gulati G, Novero A, Loring SH, et al : Pleural pressure and optimal positive end-expiratory pressure based on esophageal pressure versus chest wall elastance : incompatible results*. *Crit Care Med*. 2013 ; 41 : 1951-7.
- Yoshida T, Brochard L : Esophageal pressure monitoring : why, when and how? *Curr Opin Crit Care*. 2018 ; 24 : 216-22.
- Yoshida T, Brochard L : Ten tips to facilitate understanding and clinical use of esophageal pressure manometry. *Intensive Care Med*. 2018 ; 44 : 220-2.
- Niknam J, Chandra A, Adams AB, et al : Effect of a naso-

- gastric tube on esophageal pressure measurement in normal adults. *Chest*. 1994 ; 106 : 137-41.
- 15) Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, et al : A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique. *Am Rev Respir Dis*. 1982 ; 126 : 788-91.
 - 16) Akoumianaki E, Maggiore SM, Valenza F, et al : The application of esophageal pressure measurement in patients with respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014 ; 189 : 520-31.
 - 17) Higgs BD, Behrakis PK, Bevan DR, et al : Measurement of pleural pressure with esophageal balloon in anesthetized humans. *Anesthesiology*. 1983 ; 59 : 340-3.
 - 18) Beitler JR, Sarge T, Banner-Goodspeed VM, et al : Effect of titrating positive end-expiratory pressure (PEEP) with an esophageal pressure-guided strategy vs an empirical high PEEP-Fio₂ strategy on death and days free from mechanical ventilation among patients with acute respiratory distress syndrome : a randomized clinical trial. *JAMA*. 2019 ; 321 : 846-57.
 - 19) Yoshida T, Amato MBP, Grieco DL, et al : Esophageal manometry and regional transpulmonary pressure in lung injury. *Am J Respir Crit Care Medicine*. 2018 ; 197 : 1018-26.
 - 20) Putensen C, Zech S, Wrigge H, et al : Long-term effects of spontaneous breathing during ventilatory support in patients with acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Medicine*. 2001 ; 164 : 43-9.
 - 21) Levine S, Nguyen T, Taylor N, et al : Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med*. 2008 ; 358 : 1327-35.
 - 22) Goligher EC, Dres M, Fan E, et al : Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018 ; 197 : 204-13.
 - 23) Brochard L, Slutsky A, Pesenti A : Mechanical ventilation to minimize progression of lung injury in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 ; 195 : 438-42.
 - 24) Bellani G, Laffey JG, Pham T, et al : Noninvasive ventilation of patients with acute respiratory distress syndrome. Insights from the LUNG SAFE Study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 ; 195 : 67-77.
 - 25) D'Angelo E, Agostoni E : Continuous recording of pleural surface pressure at various sites. *Respir Physiol*. 1973 ; 19 : 356-68.
 - 26) Yoshida T, Torsani V, Gomes S, et al : Spontaneous effort causes occult pendelluft during mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013 ; 188 : 1420-7.
 - 27) Yoshida T, Nakahashi S, Nakamura MAM, et al : Volume-controlled ventilation does not prevent injurious inflation during spontaneous effort. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017 ; 196 : 590-601.
 - 28) Yoshida T, Roldan R, Beraldo MA, et al : Spontaneous effort during mechanical ventilation : maximal injury with less positive end-expiratory pressure. *Crit Care Med*. 2016 ; 44 : e678-88.
 - 29) Pohlman MC, McCallister KE, Schweickert WD, et al : Excessive tidal volume from breath stacking during lung-protective ventilation for acute lung injury. *Crit Care Med*. 2008 ; 36 : 3019-23.
 - 30) Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, et al : Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 2006 ; 32 : 1515-22.
 - 31) Blanch L, Villagra A, Sales B, et al : Asynchronies during mechanical ventilation are associated with mortality. *Intensive Care Med*. 2015 ; 41 : 633-41.
 - 32) Magder S : Invasive hemodynamic monitoring. *Crit Care Clin*. 2015 ; 31 : 67-87.
 - 33) Jardin F, Farcot JC, Boisante L, et al : Influence of positive end-expiratory pressure on left ventricular performance. *N Engl J Med*. 1981 ; 304 : 387-92.
 - 34) Marini JJ, Culver BH, Butler J : Mechanical effect of lung distention with positive pressure on cardiac function. *Am Rev Respir Dis*. 1981 ; 124 : 382-6.