

特集

体外式陽陰圧式人工呼吸

急性呼吸不全

三井誠司<sup>1)</sup>・竹田晋浩<sup>2)</sup>

はじめに

呼吸不全に対する人工呼吸の手段として、Noninvasive Positive Pressure Ventilation (NPPV) は標準的な治療としての地位を確立しました。それに対してもう一つの Noninvasive Ventilation (NIV) である、体外式陽陰圧式人工呼吸についてはどうなのでしょう。ここでは急性呼吸不全の病態 / 原疾患ごとに紹介したいと思います。

I. COPD 急性増悪

長年の Corrado らの努力により<sup>1, 2)</sup>、(鉄の肺によるデータですが) COPD の急性増悪は体外式陽陰圧式人工呼吸の最も一般的な適応でしょう。陽圧人工呼吸 (Positive Pressure Ventilation: PPV) の進歩によって鉄の肺による管理が衰退して以後、体外式陽陰圧式人工呼吸についてはイタリアなどで uncontrolled study として報告されるのみでした。COPD 急性増悪に対する体外式陽陰圧式人工呼吸に関しては 1990 年代までにいくつかの研究が報告されました。鉄の肺やポンチョ・キューラスによる体外式高頻度換気 (External High Frequency Oscillation; EHFO) のいずれも、血液ガスや高炭酸ガス血症による中枢神経障害・意識障害を改善し気管挿管を回避することが可能であると報告さ

れています<sup>3, 4)</sup>。侵襲的人工呼吸との比較では、人工呼吸期間・在院日数を短縮し肺炎などの重篤な合併症も減らすことが示されました<sup>5)</sup>。これらのデータは体外式陽陰圧式人工呼吸の NIV としての特徴をあらわしているといえます。

では、NPPV と比べるとどうでしょうか。体外式陽陰圧式人工呼吸では、顔面・上気道は完全に開放されているので経口摂取や咳嗽・排痰・気管支鏡検査など人工呼吸を中断せずに行うことが可能です<sup>3)</sup>。ADL に関してもベストやキューラスタイプのものであれば運動負荷をかけることも可能です<sup>6)</sup>。鉄の肺による体外式陽陰圧式人工呼吸は NPPV では禁忌とされる意識障害患者に対しても良い結果を出しています<sup>7)</sup>。しかしながら、意識レベルの悪い症例では誤嚥と上気道閉塞の危険があります。体外式陽陰圧式呼吸による下部食道括約筋の障害<sup>8)</sup> やキューラス内の圧変化によって食道圧・胃内部圧が変化することが示されています<sup>9)</sup>。これらの現象により胃食道逆流を引き起こし嘔吐する可能性があります。メトクロプラミドの投与によって予防できるとされており<sup>8)</sup>、経鼻胃管を挿入し胃内容物をドレナージしておくことも推奨されています<sup>1, 2)</sup>。健常者でも睡眠中や完全にリラックスしているときには声門・声門上レベルの上気道は狭窄しやすくなります<sup>10)</sup>、NPPV を併用することでこの問題に対処できます<sup>11)</sup>。意識レベルの悪い患者では舌根沈下による上気道閉塞を起こしやすいので、経口エアウェイ<sup>1, 2)</sup> や経鼻エアウェイ<sup>12)</sup> を挿入し気道確保しておきます。

意識障害例に対する体外式陽陰圧式人工呼吸の適用

<sup>1)</sup> 日本医科大学麻酔科学講座・集中治療室  
現・財団法人日本心臓血管研究振興会附属榊原記念病院麻酔科

<sup>2)</sup> 日本医科大学麻酔科学講座・集中治療室

は、経験を積んだ施設でないとは危険であり、侵襲的人工呼吸へ速やかに移行できる体制を整備しておく必要があります。

## II. 神経筋疾患の急性増悪

もともと20世紀のポリオの大流行時には体外式陽陰圧式人工呼吸が使用されていました。気管切開による陽圧換気に比べると、球麻痺のある患者では誤嚥性肺炎が起りやすく予後を悪くしていたために、体外式陽陰圧式人工呼吸管理は一般的ではなくなりました<sup>1, 2)</sup>。体外式陽陰圧式人工呼吸によって、健常者あるいは慢性呼吸不全患者でも正常な動脈血ガス分圧を維持するための肺胞換気量を得ることが可能です<sup>13, 14)</sup>。また体外式陽陰圧式人工呼吸のインターフェイスを問わず(鉄の肺・キューラス・ポンチョ)呼吸筋の仕事量を減らして呼吸筋を休めることが可能であり<sup>15)</sup>、全身の酸素需要が増加して呼吸仕事量が増えても呼吸仕事量を減らすことができます<sup>6)</sup>。つまり、体外式陽陰圧式人工呼吸によって部分的～完全な呼吸補助療法を行うことが可能なのです。神経筋疾患の呼吸不全は呼吸筋疲労が主な原因なので、球麻痺をきたしていない症例で誤嚥と上気道閉塞に十分な配慮をするならば、NPPVと同様に良い適応となります<sup>1, 2)</sup>。

## III. 心原性肺水腫

体外式陽陰圧式人工呼吸が心血管系に及ぼす影響については様々な研究があります。鉄の肺のように体全体が体外式陽陰圧式人工呼吸器に覆われている場合、胸腔内圧は体表圧よりも相対的に上昇します。これはPPVを行っているのと同じ状態であり、PPVと同様な副作用があります<sup>16)</sup>。対照的に、キューラスやポンチョのような胸壁・上腹部に限定された体外式陽陰圧式人工呼吸の場合は、心係数(Cardiac Index: CI)・一回拍出量係数(Stroke Volume Index: SVI)を増やします。当初この現象は、胸腔内圧の選択的低下がもたらす相対的な右房圧の低下(体の他部位と比較して)の結果、静脈還流量と前負荷が増加するためであると説明されていました<sup>16-18)</sup>。しかし、気管挿管全身麻酔下の患者でPEEPなし(ZEEP)での自発呼吸時に経食道エコーを行いEHFOの影響を観察したところ、左室拡張終期面積が有意に拡大している( $14.0 \pm 2.4$  vs.  $15.4 \pm 2.7\text{cm}^2$ ,  $p < 0.001$ )ほかは前負荷の増加

を示すデータが得られませんでした<sup>14)</sup>。キューラスによるEHFO中の胸腔内圧低下が確認されていることから<sup>19)</sup>、左室拡張終期面積の拡大は“transmural pressure”の上昇が原因であると考えられます。心原性肺水腫に対してキューラスによるEHFOを行った研究では<sup>20)</sup>、PaCO<sub>2</sub>は30分後から有意に低下し、1時間後にはCIやSVIの増加と共に酸素供給にも改善が見られ2～3時間後には心拍数は低下してPaO<sub>2</sub>が改善しています(表1)。興味深いことに、EHFO終了1時間経過してもその効果は継続しています。しかしながらEHFOにより呼吸仕事量が減少し全身の酸素需給比が改善するとはいえ、EHFOによるpositive inotropic activityで心筋仕事量を増加させることが急性心不全の予後に影響があるか否かは明らかではありません。

## IV. 周術期呼吸不全/ALI/ARDS

Dr.Hayekら<sup>21)</sup>により、今日入手可能なキューラストタイプの小型な体外式陽陰圧式人工呼吸器(Hayek Oscillator)が実用化されると体外式陽陰圧式人工呼吸の周術期における使用も増加し、まず小児先天性心疾患に対して臨床応用されました<sup>22)</sup>。成人では冠動脈バイパス術後に間欠的陽圧呼吸と直接比較した報告があります<sup>23)</sup>。個々の細かいパラメータでは差異がありますが、その他の研究の結果も<sup>24)</sup> CIとSVIを増加させるという点で一致しており、その理由は前述の通りtransmural pressureの上昇です。

ALI/ARDSという観点からの体外式陽陰圧式人工呼吸の臨床研究はあまり多くはないのですが、ALI患者に対してキューラスによるEHFOが検討されています<sup>24, 25)</sup>。この研究ではEHFOの有効性の他に、EHFO開始直後のバイタルサインの変化を捉えています。EHFOの開始後5分で呼吸機能が改善すると共に呼吸数の減少が見られました。PaCO<sub>2</sub>も10分後には低下し始めて30分後には心拍数が、1時間経過する頃には酸素化も有意に改善しています(表2)。NPPVなどの他の人工呼吸療法と同様に人工呼吸開始直後からバイタルサインに変化が現れており、これは急性期における治療効果の判断に有用です。

Driverら<sup>9)</sup>は冠動脈バイパス術後に横隔神経麻痺を合併した症例に対して急性期より数ヶ月間にわたりキューラスによるEHFOを使用し気管切開を避けられたと報告しています。また、Hartkeら<sup>26)</sup>は術後の

胸骨感染による胸骨切除後、自発呼吸では前胸部の奇異性動揺が生じてPPVを離脱できなかった症例に対して前胸部にキューラスでContinuous Negative Pressure (CNEP)を施行したところ、吸気時の前胸壁動揺を

是正しPPVを離脱することが出来たと報告しています。

なお、外科医にとっては創部への影響が気になることです。呼吸不全の起きやすい開胸・上腹部手術後に使用されていますが創部離開、感染といった合併症

表1 EHFOの血行動態・呼吸への影響（文献20より引用）

	Baseline	EHFO 開始				EHFO 終了	
		10min	30min	1 h	2 h	5 min	1 h
MAP (mmHg)	70 ± 8	76 ± 10	77 ± 14	78 ± 12	76 ± 12	75 ± 8	73 ± 10
HR (beats · min <sup>-1</sup> )	98 ± 24	97 ± 19	97 ± 17	95 ± 17	99 ± 16	95 ± 16	95 ± 19
CVP (mmHg)	16 ± 6	16 ± 5	16 ± 5	15 ± 5	14 ± 4	14 ± 3	13 ± 2
MPAP (mmHg)	31 ± 10	33 ± 13	33 ± 14	32 ± 12	30 ± 10	30 ± 10	28 ± 9
PAWP (mmHg)	22 ± 3	22 ± 4	22 ± 5	20 ± 4	20 ± 3	20 ± 3	19 ± 2
CI (L · min <sup>-1</sup> · m <sup>-2</sup> )	2.3 ± 0.5	2.3 ± 0.4	2.5 ± 0.4	2.5 ± 0.5*	2.6 ± 0.4**	2.6 ± 0.4**	2.7 ± 0.3**
SVI (mL · m <sup>-2</sup> )	24 ± 7	25 ± 5	26 ± 5	28 ± 8*	28 ± 7*	28 ± 6**	30 ± 9**
SVRI (dynes · s · cm <sup>-5</sup> · m <sup>-2</sup> )	2,046 ± 725	2,096 ± 579	2,017 ± 590	2,062 ± 575	1,997 ± 639	1,911 ± 523	1,833 ± 564
PVRI (dynes · s · cm <sup>-5</sup> · m <sup>-2</sup> )	296 ± 203	308 ± 179	344 ± 345	427 ± 382	341 ± 261	290 ± 237	278 ± 207
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	39 ± 10	39 ± 7	39 ± 8	40 ± 8	39 ± 7	37 ± 7	39 ± 5
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	70 ± 4	79 ± 22	86 ± 18	95 ± 23**	104 ± 29**	106 ± 26**	130 ± 45**
RR (breaths · min <sup>-1</sup> )	28 ± 3	—	—	—	—	22 ± 3**	23 ± 2**

EHFO, external high-frequency oscillation ; MAP, mean arterial pressure ; HR, heart rate ; CVP, central venous pressure ; MPAP, mean pulmonary artery pressure ; PAWP, pulmonary artery wedge pressure ; CI, cardiac index ; SVI, stroke volume index ; SVRI, systemic vascular resistance index ; PVRI, pulmonary vascular resistance index. Hemodynamic values were assessed prior to EHFO (baseline) and at 10min, 30min, 1h, and 2h after EHFO, and at 5min and 1h after the termination of EHFO. Each value represents the mean ± SD. Differences from baseline : \*P < 0.05 ; \*\*P < 0.01

表2 EHFO 開始後の血液ガスとバイタルサインの変化（文献25より改変引用）

	Baseline	5 min	10min	30min	60min
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	61 ± 8	—	48 ± 7**	44 ± 5**	43 ± 5**
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	74 ± 10	—	75 ± 12	83 ± 18	95 ± 22**
HR (beats/min)	108 ± 27	—	106 ± 32	101 ± 24*	98 ± 20**
RR (breaths/min)	25.1 ± 2.9	19 ± 2.9**	—	—	18.4 ± 2.6**

PaCO<sub>2</sub>、動脈血二酸化炭素分圧 ; PaO<sub>2</sub>、動脈血酸素分圧 ; HR、心拍数 ; RR、呼吸数  
mean ± SD, \* Baseline に対して有意差 (p < 0.05)、\*\* Baseline に対して有意差 (p < 0.01)

は報告されておらず<sup>23, 25)</sup>、開胸・上腹部手術後での使用を積極的に否定するものではないと思われます。

EHFOの術中使用についてもいくつかの報告があります。Monksら<sup>27)</sup>はラリngoマイクロサージャリーの41症例の麻酔に体外式陽陰圧式人工呼吸を使用しています。完全静脈麻酔で経鼻エアウェイから4L酸素投与し、EHFOで人工呼吸管理を行ったところ、換気に関しては問題なかったものの出血が多く気管支鏡による吸引が必要になった症例がありました。Sutcliffeら<sup>28)</sup>は、帝王切開術中の呼吸不全と術後のPPVからのウィーニングに使用しています。症例は重度の気管狭窄を合併しており、手術時間が延長するうちに呼吸不全となり内径4mmのチューブで気管挿管となりました。EHFOに目視で同期しながら用手換気を行い、術後もEHFO補助下で抜管に成功したと報告しています<sup>28)</sup>。他にも頭頸部・脳外科領域の麻酔管理に応用が可能かもしれませんが、挿管が不可能な特殊な状況下<sup>29)</sup>でしか適応はありません。しかし、四肢・下腹部などの手術で呼吸補助が必要であるが挿管を避けたい症例では、挿管あるいはNPPVにかわる選択肢となる可能性があるでしょう。Pleinら<sup>30)</sup>は、心臓MRI検査時にEHFOを心拍同期させることで人工呼吸器を止めることなく良質な画像を得られると報告しています。今後、麻酔科医が手術室の外で検査や処置の際にMonitored Anesthesia Care<sup>31)</sup>を行う場面が増えることが予想されますが、体外式陽陰圧式人工呼吸に習熟しているのであれば侵襲的人工呼吸やNPPVと共に選択肢の一つとなるかもしれません。

## V. 外 傷

外傷に対する体外式陽陰圧式人工呼吸の使用には、flail chest症例の報告があります。蘇生後の多発肋骨骨折に対しCNEPをキューラスで行ったところ、自発呼吸時の胸郭の奇異性動揺を抑え胸壁が安定化した結果、PPVのウィーニングに成功しています<sup>32)</sup>。胸壁自体の障害による奇異性動揺に対しては良い適応と考えられます<sup>26, 32)</sup>。また、NPPVではマスクフィッティングの観点から禁忌となる、頭頸部の変形や外傷といった症例にも体外式陽陰圧式人工呼吸は適しているといえます<sup>33)</sup>。

## VI. 蘇 生

EHFOによる胸腹部の運動が“Vest-CPR”<sup>34)</sup>と似ていると考えた研究者がいました。Vest-CPRとは、もともと心室細動の患者に咳嗽をさせると意識を保つのに十分な心拍出量が得られることが観察された(Cough-CPR)<sup>35)</sup>ことをヒントとして、機械的に“咳嗽”を強制的に行わせることでCPRを行うものです。Cough-CPRの効果はstandardなCPRと同等であることが示されています<sup>34)</sup>。Smithlineら<sup>36)</sup>はACLSで蘇生できなかった症例でEHFOによる蘇生(EHFO-CPR)の効果を検討しています。EHFO-CPRでは冠灌流圧は胸骨圧迫のみを行うCPRデバイスに比べて有意に増加しましたが、換気や末梢循環に関しては良い結果は得られませんでした。これはVest-CPRや胸骨圧迫を行うデバイスに比べるとEHFO-CPRに使用した人工呼吸器(Hayek Oscillator)のパワーが十分ではないためであると考えられます<sup>36)</sup>。

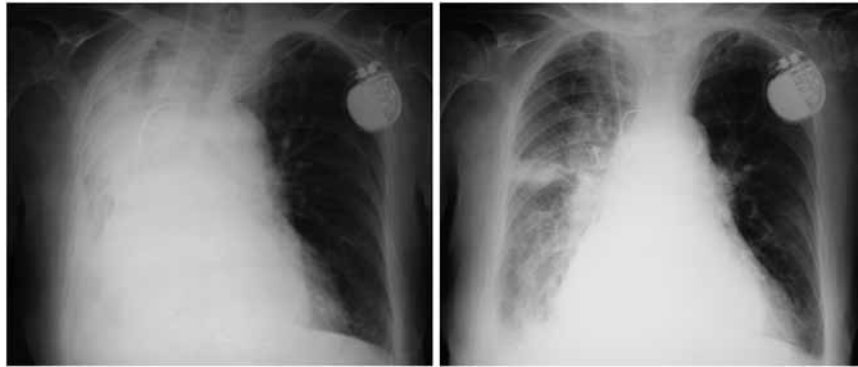
私たち日本人にとって興味深いことに、呼吸筋麻痺患者が大量に発生した状況—神経ガスによるテロリズム—を想定したEHFOの利用も検討されています<sup>37~39)</sup>。これらの研究においては、EHFOが有効であることと共に、運用(適切なフィッティングと本体の操作)が非常に容易であることも示されています。

## VII. 陽圧人工呼吸からのウィーニング

既述の通り、体外式陽陰圧式人工呼吸は完全な呼吸筋補助が可能で、体外式陽陰圧式人工呼吸そのものは患者の頭部や上気道へのアクセスが自由であり、さらにポンチョやキューラスタイプであれば身体運動の制限も少ないので、PPVからの離脱が困難な症例に対して体外式陽陰圧式人工呼吸によるNIVを行うのはごく自然な発想です。EHFOを用いた周術期の人工呼吸器ウィーニング<sup>28)</sup>や、挿管管理となったCOPD症例で通常のウィーニング(Tピース、PSV、CPAP、SIMV)に失敗した症例に対して鉄の肺を用いて抜管に成功しています<sup>40)</sup>。また、NPPVを受容できない症例に対してポンチョによる体外式陽陰圧式人工呼吸が有用であったという症例報告もあります<sup>41)</sup>。

## VIII. リクルートメント・肺理学療法として

RTXレスピレータが他の人工呼吸器と比べてもっ



A: リクルートメント前

B: リクルートメント後

図1 EHFO+体位ドレナージの効果

(文献45より著者の厚意により引用)



図2 体位ドレナージとの併用

(文献45より著者の厚意により引用)

ともユニークな点は、“Secretion Clearance”モードを備えていることでしょう。Cystic Fibrosis 症例では、喀痰の排出には効果がなかったという研究や<sup>42)</sup>他の理学療法との効果の差が認められていない<sup>43)</sup>一方で、食道癌術後のリクルートメントに有効であった症例も報告されています<sup>44)</sup>。Katoらのケース<sup>45)</sup>(図1)では、患側を上方に向けた側臥位で体位ドレナージを行いながら(図2)“Secretion Clearance”モードを使用したところ、喀痰のドレナージに成功しリクルートメントが可能であったと報告しています。全身状態の悪い症例では十分なパワーのある咳嗽が出来ないことも多く、体外式陽陰圧式人工呼吸器に加えて体位ドレナージやサクシオン介助などを併用するとより効果があるかもしれません。

## 最後に

体外式陽陰圧式人工呼吸は、NIVとして気管挿管を回避したり早期抜管を可能にしたり、NPPVでは不可能な肺理学療法としての側面も併せ持っています。急性呼吸不全における体外式陽陰圧式人工呼吸の長期予後はまだ明らかでないことが多いのですが、おそらくNPPVと同様に気管挿管とそれに伴う合併症をさらに減らす可能性が高いのではないのでしょうか。NPPVとの使い分けや、NPPVと組み合わせて使用することでNIVの可能性を大きく広げることでしょう。

## 参考文献

- 1) Corrado A, Gorini M, Vilella G, et al: Negative pressure ventilation in the treatment of acute respiratory failure: an old noninvasive technique reconsidered. *Eur Respir J.* 1996; 9: 1531-1544.
- 2) Corrado A, Gorini M: Negative-pressure ventilation: is there still a role? *Eur Respir J.* 2002; 20: 187-197.
- 3) Corrado A, Gorini M, De Paola E, et al: Iron lung treatment of acute on chronic respiratory failure: 16 yrs of experience. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1994; 49: 552-555.
- 4) Spitzer SA, Fink G, Mittelman M: External high-frequency ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Chest.* 1993; 104: 1698-1701.
- 5) Corrado A, Ginanni R, Vilella G, et al: Iron lung versus conventional mechanical ventilation in acute exacerbation of COPD. *Eur Respir J.* 2004; 23: 419-424.
- 6) Yamanaka Y, Ishikawa A, Miyasaka T, et al: The influence of RTX respirators on the ventilation of healthy adults. *The Hokkaido Journal of Physical Therapy.* 2004; 21: 80-84.
- 7) Boix, J, Tejada M, Alvarez F, et al: Comparison of nasal

- positive-pressure ventilation to external high-frequency oscillatory ventilation in severe COPD. *Respir Care*, 1996 ; 41 : 187-190.
- 8) Marino W, Jain N, Pitchumoni C : Induction of lower esophageal sphincter (LES) dysfunction during use of the negative pressure body ventilator. *Am J Gastroenterol*. 1988 ; 83 : 1376-1380.
  - 9) Driver AG, Blackburn BB, Marcuard SP, et al : Bilateral diaphragm paralysis treated with cuirass ventilation. *Chest*. 1987 ; 92 : 683-685.
  - 10) Sanna A, Veriter C, Stănescu D : Upper airway obstruction induced by negative-pressure ventilation in awake healthy subjects. *J Appl Physiol*. 1993 ; 75 : 546-552.
  - 11) Rapoport DM, Garay SM, Goldring RM : Nasal CPAP in obstructive sleep apnea : mechanisms of action. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1983 ; 19 : 616-620.
  - 12) Goldstein RS, Stradling JR : An artifact induced by negative pressure ventilation. *Chest*. 1992 ; 101 : 563-565.
  - 13) Hardinge F, Davies R, Stradling J : Effects of short term high frequency negative pressure ventilation on gas exchange using the Hayek oscillator in normal subjects. *Thorax*. 1995 ; 50 : 44-49.
  - 14) Shiga T, Takeda S, Nakanishi K, et al : Transesophageal echocardiographic evaluation during negative-pressure ventilation using the Hayek oscillator. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1998 ; 12 : 527-532.
  - 15) Fitting JW : Respiratory muscles during ventilatory support. *Eur Respir J*. 1994 ; 7 : 2223-2225.
  - 16) Lockhat D, Langleben D, Zidulka A : Hemodynamic differences between continual positive and two types of negative pressure ventilation. *Am Rev Respir Dis*. 1992 ; 146 : 677-680.
  - 17) Hayek Z, Sohar E : External high frequency oscillation-concept and practice. *Intensive Care World*. 1993 ; 10 : 36-40.
  - 18) Petros AJ, Fernando SS, Shenoy VS, et al : The Hayek oscillator. Nomograms for tidal volume and minute ventilation using external high frequency oscillation. *Anaesthesia*. 1995 ; 50 : 601-606.
  - 19) Zucker T, Skjodt NM, Jones RL : Effects of high-frequency chest wall oscillation on pleural pressure and oscillated flow. *Biomed Instrum Technol*. 2008 ; 42 : 485-491.
  - 20) Takeda S, Nakanishi K, Takano T, et al : Effect of external high-frequency oscillation on severe cardiogenic pulmonary edema. *J Anesth*. 1997 ; 11 : 83-87.
  - 21) Hayek Z, Ryan CA, Eyal F, et al : Comparison of high-frequency chest wall compression with conventional mechanical ventilation in cats. *Crit Care Med*. 1987 ; 15 : 676-681.
  - 22) Penny D, Hayek Z, Redington A : The effects of positive and negative extrathoracic pressure ventilation on pulmonary blood flow after total cavopulmonary shunt procedure. *Int J Cardiol*. 1991 ; 30 : 128-130.
  - 23) Sidenö B, Vaage J : Ventilation by external high-frequency oscillations improves cardiac function after coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1997 ; 11 : 248-257.
  - 24) Takeda S, Nakanishi K, Takano T, et al : The combination of external high-frequency oscillation and pressure support ventilation in acute respiratory failure. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1997 ; 41 : 670-674.
  - 25) Takeda S, Nakanishi K, Takano T, et al : External high-frequency oscillation for hypercapnia after upper abdominal surgery. *J Nippon Med Sch*. 1997 ; 64 : 440-445.
  - 26) Hartke RH Jr, Block AJ : External stabilization of flail chest using continuous negative extrathoracic pressure. *Chest*. 1992 ; 102 : 1283-1285.
  - 27) Monks PS, Broomhead CJ, Dilkes MG, et al : The use of the Hayek Oscillator during microlaryngeal surgery. *Anaesthesia*. 1995 ; 50 : 865-869.
  - 28) Sutcliffe N, Remington SA, Ramsay TM, et al : Severe tracheal stenosis and operative delivery. *Anaesthesia*. 1995 ; 50 : 26-29.
  - 29) Broomhead CJ, Dilkes MG, Monks PS : Use of the Hayek oscillator in a case of failed fiberoptic intubation. *Br J Anaesth*. 1995 ; 74 : 720-721.
  - 30) Plein S, Bulughapitiya S, Jones TR, et al : Cardiac MR imaging with external respirator : synchronizing cardiac and respiratory motion-feasibility study. *Radiology*. 2003 ; 227 : 877-882.
  - 31) Ghisi D, Fanelli A, Tosi M, et al : Monitored anesthesia care. *Minerva Anesthesiol*. 2005 ; 71 : 533-538.
  - 32) Linton DM, Sviri S : Conservative management of flail chest after cardiopulmonary resuscitation by continuous negative extrathoracic pressure. *Crit Care Resusc*. 2006 ; 8 : 339-340.
  - 33) Segawa J, Nakashima Y, Kuroiwa A, et al : The efficacy of external high frequency oscillation : experience in a quadriplegic patient with alveolar hypoventilation. *Kokyu To Junkan*. 1993 ; 41 : 271-275.
  - 34) Swenson RD, Weaver WD, Niskanen RA, et al : Hemodynamics in humans during conventional and experimental methods of cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. 1988 ; 78 : 630-639.
  - 35) Niemann JT, Rosborough J, Hausknecht M, et al : Cough-CPR : documentation of systemic perfusion in man and in an experimental model : a "window" to the mechanism of blood flow in external CPR. *Crit Care Med*. 1980 ; 8 : 141-146.
  - 36) Smithline HA, Rivers EP, Rady MY, et al : Biphasic extrathoracic pressure CPR. A human pilot study. *Chest*. 1994 ; 105 : 842-846.
  - 37) Schonfeld T, Ben-Abraham R : Is external high frequency oscillation in the treatment of organophosphate poisoning in cats a useful and easily applied method for prehospital

- ventilatory support ? *Med Sci Monit.* 2003 ; 9 : 208-211.
- 38) Ben-Abraham R, Gur I, Bar-Yishay E, et al : Application of a cuirass and institution of biphasic extra-thoracic ventilation by gear-protected physicians. *J Crit Care.* 2004 ; 19 : 36-41.
- 39) Gur I, Bar-Yishay E, Ben-Abraham R : Biphasic extrathoracic cuirass ventilation for resuscitation. *Am J Emerg Med.* 2005 ; 23 : 488-491.
- 40) Del Bufalo C, Fasano L, Quarta CC, et al : Use of extrathoracic negative pressure ventilation in weaning COPD and kyphoscoliotic patients from mechanical ventilation. *Respir Care.* 1994 ; 39 : 21-29.
- 41) Ambrosino N, Rubini F, Callegari G, et al : Noninvasive mechanical ventilation in the treatment of acute respiratory failure due to infectious complications of lung transplantation. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1994 ; 49 : 311-314.
- 42) Phillips GE, Pike SE, Jaffé A, et al : Comparison of active cycle of breathing and high-frequency oscillation jacket in children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol.* 2004 ; 37 : 71-75.
- 43) Morrison L, Agnew J : Oscillating devices for airway clearance in people with cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009 ; (1) : CD006842.
- 44) Chari S, King J, Rajesh PB, et al : Resolution of left lower lobe collapse postesophagectomy using the Medivent RTX respirator, a novel noninvasive respiratory support system. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2004 ; 18 : 482-485.
- 45) Kato K, Sato N, Takeda S, et al : Marked improvement of extensive atelectasis by unilateral application of the RTX respirator in elderly patients. *Intern Med.* 2009 ; 48 : 1419-1423.