

## 人工呼吸器と人工呼吸管理の進歩

集中治療部診療部長 原山 信也

「人工呼吸器が進歩しても、人工呼吸器で呼吸不全の原疾患そのものを治療できるわけではない。」

そう長年に渡っていわれてきました。確かにその通りでもあり、例えば細菌性肺炎の患者さんに、最も奏効するであろう治療は適切な抗菌薬投与で、呼吸不全に対する人工呼吸管理が細菌性肺炎を治すわけではありません。普段、集中治療医は、患者さんの自発呼吸を温存しながら、人工呼吸器のトリガー、モード、吸気時間等々を調整して、人工呼吸器が患者さんの自発呼吸に同調するようにし、患者さんが少しでも楽に呼吸できるように努めています。筋弛緩薬を使うことは、よっぽどの旧式の人工呼吸器で、どうしても患者さんとの同調が得られない場合に限られてきたように思います。筋弛緩薬を使用すれば、患者さんの自発呼吸が消失して、肺での換気血流（V/Q）ミスマッチが増大し、酸素化が悪化するということもしばしば経験されることです。

しかし、呼吸不全の患者さんに筋弛緩薬を使用することについて、重症例ではむしろ積極的に使用した方が良いのではないかという知見もあります。2010年に、発症早期の重症の急性呼吸促迫症候群（acute respiratory distress syndrome; ARDS）患者に対する48時間の筋弛緩薬投与は、生存率を改善すると報告されました（N Engl J Med. 2010;363:1107-16.）。筋弛緩薬が奏効した理由として、人工呼吸器関連（誘発）肺傷害（ventilator-induced lung injury; VILI）や自発呼吸誘発性肺傷害（patient self-inflicted lung injury; P-SILI）が抑制されたことが、その機序の一つかもしれません。

重症の呼吸不全の患者さんには、人工呼吸器を用いた人工呼吸管理を行わないと治療ができませんが、炎症で機能が低下した肺に酸素や空気を無理に送り込む

ことで、人工呼吸器が肺そのものを傷害してしまうというのがVILI（図1）です。

図1

### Mechanism of Ventilator-Induced Lung Injury (VILI)

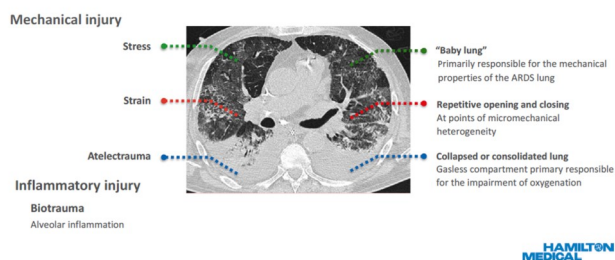


図1: ARDS患者のCT画像と、人工呼吸器関連肺傷害 VILI 発生のメカニズム

人工呼吸器関連肺傷害 VILIの発生機序には、機械的傷害としてbarotrauma（圧外傷）、volutrauma（容量外傷）、そして換気に伴って肺泡が拡張と虚脱を繰り返すことによって生じるatelectraumaがあるといわれています。

人工呼吸は必要悪ともいえて、不適切な人工呼吸器設定はVILIをさらに増悪させてしまうので、細心の注意が必要になります。また、患者さんの自発呼吸においても、患者さん自身の大きな呼吸や速い呼吸など強すぎる自発呼吸は、肺に無理な力がかかり、肺を傷害してしまうことが分かってきて、それをP-SILI（図2）と呼んでいます。

図2

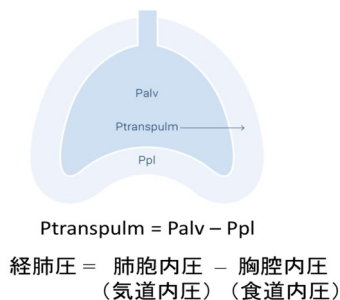


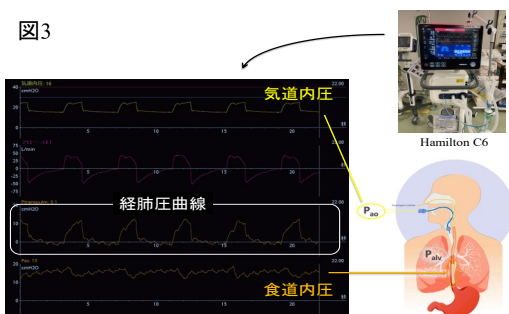
図2: 経肺圧と自発呼吸誘発性肺傷害 P-SILI 発生のメカニズム

経肺圧は「肺胞内圧 - 胸腔内圧」で求められます。自発呼吸でも強い吸気努力などの場合には、胸腔内圧が大きく陰圧になります。肺胞内圧と胸腔内圧の差が大きくなり、shear stressが増大し、P-SILIの肺傷害が発生します。

重症ARDSのような重篤な呼吸不全の患者さんでは、VILI、P-SILIを回避するために、肺保護換気に徹することになります。換気量や換気圧、呼吸数を制限し、肺胞の歪み (strain) の低減緩和をはかりますが、ここでいつも悩ましくなるのが、呼気終末陽圧 (positive end expiratory pressure; PEEP) の設定です。症例によっても異なり、また経時的にも変化する人工呼吸管理下の患者さんの呼吸状態に対して、PEEPをどの程度かけるのが良いのか、集中治療医も判断に迷うことが少なくありません。

この、至適PEEPは・・・?という問題に対して、人工呼吸器の機械の進歩により、一定の問題解決ができるようになってきました。最新の人工呼吸器を用いて、『経肺圧』を指標にPEEPを設定するという方法です。陽圧換気による肺胞へのshear stressがVILIを引き起こしますが、P-SILIでは強い吸気努力など肺胞内圧と胸腔内圧の差が大きくなり、shear stressが増大することがその原因です。この肺胞内圧と胸腔内圧の圧差を『経肺圧』と呼んでいます。胸腔内圧は食道内圧に近似しており、食道内にバルーン付きのカテーテルを挿入し、食道内圧を測定すれば、『経肺圧 = 気道内圧 - 食道内圧』としてモニタリングすることができます (図3)。

図3



Hamilton C6の経肺圧曲線 (最上段: 気道内圧、最下段: 食道内圧)

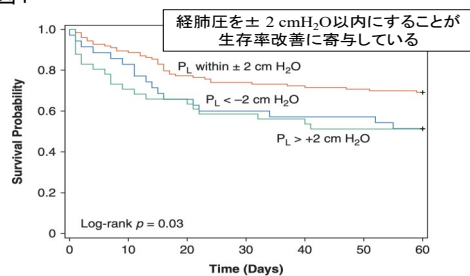
**図3: 経肺圧曲線**

胸腔内圧は食道内圧に近似すると考えられるため、食道内に食道内圧測定カテーテルを挿入することで、「経肺圧 = 気道内圧 - 食道内圧」としてモニタリングすることが可能になります。右上の写真のHamilton C6には、経肺圧モニタ以外にも、closed-loop systemによる自動人工呼吸モードや、圧容曲線から肺のRecruitabilityを評価し、至適PEEP設定できる機能等が搭載されています。

終末呼気時の経肺圧が0を上回るようにPEEPを設定することで、shear stressを軽減できると考えられています。

2021年に、この経肺圧を±2cmH<sub>2</sub>O以内にするのがARDS患者の生存率改善に寄与しているという報告がなされました (Am J Respir Crit Care Med. 2021;204:1153-63.) (図4)。

図4



Am J Respir Crit Care Med. 2021;204:1153-63.

**図4: 経肺圧での生存率の違い**

ARDS患者において、経肺圧を±2 cmH<sub>2</sub>O以内にすることが、生存率改善に寄与しているとの報告です (Am J Respir Crit Care Med. 2021;204:1153-63.)。高すぎる圧も低すぎる圧も予後を悪くしてしまうことが分かります。

高すぎる圧は予後を悪くし、また低すぎる圧も生存率を下げてしまいます。人工呼吸器の機械の力を借りることで、至適に近いPEEP設定が可能になるように思われます。

「人工呼吸器で原疾患の治療はできなくても、人工呼吸管理に伴うVILIやP-SILIによる肺傷害の進行は、人工呼吸器の進歩で抑制できるようになってきている。」  
今は、そういえるのかもしれませんが。

(出典)

図1,2,3 : Hamilton Medical社

図4 : Am J Respir Crit Care Med. 2021;204:1153-63.

