

特 集

体外式陽陰圧式人工呼吸

リハビリテーションの立場から

山中悠紀¹⁾・浦辺幸夫¹⁾・石川 朗²⁾・堀田麻実子³⁾・菅原好孝⁴⁾

はじめに

陽・陰圧体外式人工呼吸（体外式陽陰圧式人工呼吸）器 RTX[®]レスピレータ（メディVENT社）は、胸郭をキュイラスと呼ばれる胴鎧で覆い、その内部を陰圧から陽圧までコントロールすることで非侵襲的に呼吸補助、調節呼吸などを行う体外式人工呼吸器である¹⁾。気管内陽圧式人工呼吸器とほぼ同等の換気機能を搭載し、1) 挿管や気管切開の必要がない、2) 装着が容易で吸気のみでなく呼気の補助が可能である、3) 喀痰排出を促進するモードを有するなどの特徴をもつ²⁾。呼吸リハビリテーションにおいても RTX[®]は注目されており、患者の自発呼吸にキュイラス内を持続的に陰圧にして肺容量を増加させる continuous negative モード、患者の呼吸をコントロールする control モード、分泌物の除去を目的とした clearance モードの利用が報告され^{2~4)}、呼吸補助や排痰介助などの効果が期待されている。

本稿では呼吸リハビリテーションにおける RTX 使用の現状を概説するとともに、筆者らが行ってきた研究を紹介し、慢性閉塞性肺疾患（chronic obstructive pulmonary disease：COPD）を中心とした慢性呼吸不全患者に対する RTX[®]使用の可能性について述べる。

¹⁾ 広島大学大学院保健学研究科

²⁾ 札幌医科大学保健医療学部

³⁾ 井上病院

⁴⁾ おびひろ呼吸器科内科病院

I. 呼吸リハビリテーションにおける
陽・陰圧体外式人工呼吸器の使用

RTX[®]に代表されるキュイラスを用いた体外式人工呼吸器は、急性呼吸不全患者^{5, 6)} や周術期患者⁷⁾ のみでなく、COPD 患者⁸⁾、QOL を考慮した呼吸管理を必要とする神経筋疾患患者^{9, 10)}などの呼吸管理に使用され、呼吸器合併症の軽減や呼吸筋疲労の改善が示されている。ただ、慢性呼吸不全患者の長期呼吸管理に使用されている非侵襲的陽圧換気療法（noninvasive positive pressure ventilation：NPPV）にとって代わるものではなく¹¹⁾、RTX[®]の利点を生かすためには間欠的陽圧換気法（intermittent positive-pressure ventilation：IPPV）の代替として考えるよりも、新たな呼吸理学療法機器として捉える方が現実的であるとの意見も示されている。さらに、近年では人工呼吸器としての効果に加えて、直接胸郭運動に関与するため呼吸理学療法の側面から胸郭のストレッチなどの胸郭への影響と換気補助による CO₂ 排出の促進・喀痰排出などの効果が期待されている^{2~4, 12)}。しかし、呼吸リハビリテーションにおける RTX[®]の使用に関する報告はまだ少なく、どのような状況下でどのような効果が期待できるのかについては不明な点も多い。よって、RTX[®]の適切な使用には様々な病態をもつ症例の集積や解析はもちろんのこと³⁾、実験研究を含めた検討によって、使用条件や効果機序などを明確にする必要があると考える。

慢性呼吸不全患者では、呼吸困難が強く運動療法の導入や継続が困難な症例が少なくないことから、運動療法の実施において自覚症状の軽減が重要な課題であ

る。先行研究では呼吸困難の軽減や運動時間の増加などを目的として、NPPVによる運動中の換気補助の効果が示されている¹³⁾。ただ、気道分泌物の貯留に加えて、呼吸困難が強い患者では閉塞感を生むマスクの装着が困難な場合があり、NPPVと比較してマスク装着による違和感や閉塞感などの不快感が少ないRTX[®]の使用が有益かもしれない。また、臨床では呼吸仕事量が増加した患者の換気パターンを改善して呼吸困難の軽減をはかる目的で呼気助動が利用されていることから、RTX[®]の呼気換気の補助が自覚症状の軽減に有用な可能性がある。そこで、次に筆者らが健常者を対



図1 RTX[®]による換気補助を行った状態での運動負荷試験 (文献14より)

象として行ったRTX[®]による換気補助による自覚症状への影響に関する研究を紹介する。

Ⅱ. 陽・陰圧体外式人工呼吸器による運動時換気補助の自覚症状への影響

筆者らは、RTX[®]による換気補助が自覚症状に与える影響を検討するため、運動習慣のない健常成人男性12名を対象として、自転車エルゴメータを用いた通常の漸増運動負荷試験とRTX[®]を装着し換気補助を行った状態での漸増運動負荷試験(図1)を実施し、換気代謝諸量および自覚症状の比較を行った¹⁴⁾。その結果、RTX[®]装着により、peak \dot{V}_{O_2} 時のO₂pulse (Normal: 13.5 ± 1.9 mL/beats、RTX[®]: 12.3 ± 1.9 mL/beats、 $P=0.04$)、呼吸困難 (Normal: 5.0 ± 2.2、RTX[®]: 3.3 ± 1.9、 $P=0.007$) が有意に低下し、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} 、 \dot{V}_E 、呼吸数 (RR) が低値を示した(表1)。また、1分毎の換気代謝諸量と自覚症状の比較では \dot{V}_{CO_2} 、呼吸困難にRTX[®]装着による有意な効果を認め(図2)、 \dot{V}_{O_2} は低下傾向を示した。

表1 RTX[®]装着の有無による換気代謝諸量および自覚症状の比較

	peak \dot{V}_{O_2} 時		P 値
	Normal	RTX [®]	
負荷量 (watt)	199.3 ± 30.9	204.8 ± 30.5	0.25
\dot{V}_{O_2} (mL/min)	2,254.1 ± 372.4	2,134.9 ± 355.5	0.22
\dot{V}_{CO_2} (mL/min)	2,921.1 ± 435.5	2,782.0 ± 487.2	0.33
HR (回/min)	168.1 ± 18.6	173.3 ± 6.6	0.29
O ₂ pulse (mL/beats)	13.5 ± 1.9	12.3 ± 1.9	0.04
\dot{V}_E (L/min)	78.5 ± 18.4	76.5 ± 23.7	0.78
RR (breaths/min)	37.6 ± 10.7	34.7 ± 10.9	0.38
V_T (L/breaths)	2.19 ± 0.48	2.26 ± 0.35	0.36
呼吸困難 (BS)	5.0 ± 2.2	3.3 ± 1.9	0.007
下肢疲労 (BS)	7.0 ± 1.9	6.6 ± 1.6	0.26

略語は分時酸素消費量 (oxygen consumption: \dot{V}_{O_2})、分時二酸化炭素産出量 (carbon dioxide production: \dot{V}_{CO_2})、心拍数 (heart rate: HR)、酸素脈 (O₂pulse)、分時換気量 (minute ventilation: \dot{V}_E)、呼吸数 (respiratory rate: RR)、1回換気量 (tidal volume: V_T)、修正ボルグスケール (BS) を示す。

(文献14より)

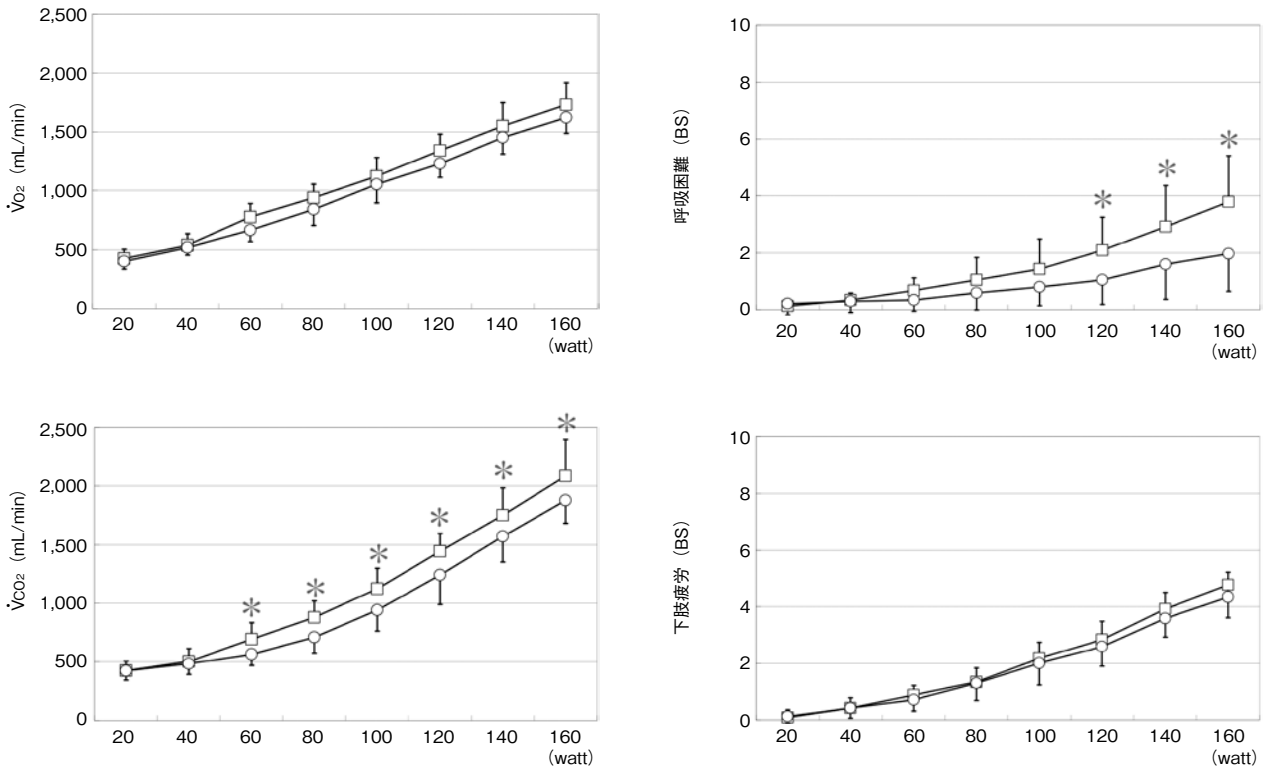


図2 RTX®装着の有無による1分毎の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, 自覚症状の比較

図には12名全員が到達した負荷量までの1分毎の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, 自覚症状の推移を示す (□: Normal, ○: RTX)。* : P < 0.05 (Normal vs RTX)。 (文献14より)

peak $\dot{V}O_2$ 時の呼吸困難が低下した理由として、RTX®装着時に5%程度 peak $\dot{V}O_2$ の低下が示されたことから、換気補助によって呼吸仕事量の軽減が図られた可能性がある。また、最大負荷量による定常運動負荷試験時の比例補助機械換気によってHRに変化はないが心拍出量(CO)が有意に減少し、運動時のCOの増加の一部が呼吸筋の血流増加による可能性が報告されている¹⁵⁾。そのため、RTX®装着時の O_2 pulseの有意な低下は、換気補助による1回拍出量(SV)の低下を反映している可能性があり、呼吸仕事量が軽減したことで呼吸困難が低下したと考える。また、RTX®装着によって peak $\dot{V}O_2$ 時の \dot{V}_E , RRが低値を示し、本文にデータは示していないが1分毎の換気代謝諸量の比較では負荷の増大に伴い \dot{V}_E , V_T が低下したことから、 V_T を増加させることでRRを低下させ、相対的に \dot{V}_E を減少させた可能性がある。そのため、RTX®による換気様式の変化は、呼吸仕事量の軽減による運動負荷の増大に対する換気応答の減少によってもたらされたと考えられた。健常者を対象としてRTX®を用いた換気補助



図3 COPD患者に対するRTX®を用いた運動時の換気補助

による換気代謝諸量や自覚症状の変化が確認できたことから、COPD患者などの有疾患者を対象とした具体的な検討が今後の課題である。

Ⅲ. 慢性閉塞性肺疾患患者に対する陽・陰圧体外式人工呼吸器使用の可能性

図3に筆者らがCOPD患者に対してRTXによる運動時の換気補助を行った様子を示す。本症例はGOLD

の病期分類Ⅳ度（最重症）の50歳代COPD患者である。在宅酸素療法にて自立生活を営んでいたが、呼吸困難が増悪したため入院となり、運動療法時の換気補助を目的としてRTX[®]を使用した。キューラス装着による違和感の訴えはなく、運動時の換気補助が実施可能で、わずかではあるが運動時間の延長や呼吸困難の低下を認めた。ただ、COPD患者では胸郭・肺のコンプライアンスや気道抵抗などの機械的機構が変化し、 P_{aO_2} や P_{aCO_2} が正常より逸脱しているなど複合的な末梢からの刺激が慢性的に送られていることから、運動中のRRと V_T の変化様式が健常者と異なる可能性が指摘されている¹⁶⁾。そのため、換気補助による呼吸様式の変化に関しては、吸気・呼気圧の設定を含めた注意深い観察が必要である。また、慢性呼吸不全患者では胸郭の形状や運動になんらかの変化をきたしている可能性が考えられるため、症例によっては運動下でのキューラスの適合を考慮した解釈が必要かもしれない。ただ、健常者では換気補助による呼吸困難の低下が得られたことから、あくまで私見ではあるが呼吸機能障害が比較的軽度で胸郭の運動性が保たれているが呼吸困難の強い症例などがRTX[®]による運動時換気補助の良い適応となるかもしれない。COPD患者などの慢性呼吸器疾患患者では、換気に加えて、呼吸理学療法の側面から胸郭のストレッチ効果、徒手呼吸介助効果、排痰効果、運動時の換気補助など様々な側面から効果が期待できる可能性があることから、RTX[®]の使用に関して今後も症例の集積をはかり検討を重ねることが有益であると考えらる。

参考文献

- 1) 高杉尚志、矢野哲也、白井大介ほか：高炭酸ガス血症に対して陽陰圧体外式人工呼吸を試みた慢性呼吸不全の1例。小児科臨床。2008；61：431-436.
- 2) 寄本恵輔、池永 希、玉田良樹ほか：神経筋疾患患者に対する新しい体外式人工呼吸器の使用経験－陽・陰圧体外式人工呼吸器（RTX）の有効性について－。呼吸器ケア。2008；6：291-299.
- 3) 加藤聡之、河野純子、森 久美ほか：陽・陰圧体外式人工呼吸器（RTX[®]）の呼吸理学療法の側面からの有効性。日呼ケアリハ学誌。2009；19：175-179.
- 4) 天野直樹、鈴木歩美、戸渡敏之ほか：慢性閉塞性肺疾患患者の急性増悪に対して胸郭外陰陽圧式人工呼吸（RTX）と運動療法を併用し改善のみられた一症例。静岡理学療法ジャーナル。2007；15：34-37.
- 5) Al-Saady NM, Fernando SS, Peteros AJ：External high frequency oscillation in normal subjects and in patients with acute lung injury. Anaesthesia. 1995；50：1031-1035.
- 6) Kato K, Sato N, Takeda S, et al：Marked improvement of extensive atelectasis by unilateral application of the RTX respirator in elderly patients. Int Med. 2009；8：1419-1423.
- 7) 寺田 仁、山下克司、鷺山直己ほか：最重症 COPD 合併症例に対する弓部全置換術後に陽・陰圧体外式人工呼吸器（RTX）と非侵襲的陽圧換気（NPPV）が有効であった1例。日心外会誌。2008；37：112-115.
- 8) Spitzer SA, Fink G, Mittelman M：External high frequency ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. Chest. 1993；104：1698-1701.
- 9) 須藤英一、奥澤 健、奥中哲哉ほか：陽・陰圧体外式人工呼吸器（RTX）使用により気管切開部位からの人工呼吸器の離脱が可能となったと考えられる多系統萎縮症の1症例。Geriat Med. 2006；44：419-423.
- 10) 吉原千恵、野澤かほる、大永里美ほか：筋萎縮性側索硬化症末期患者に対する陽・陰圧体外式人工呼吸器使用の有効性。日呼ケアリハ学誌。2008；18：253-257.
- 11) Carrado A, Gorini M：Negative-pressure ventilation：is there still a role? Eur Respir J. 2002；20：187-197.
- 12) 剣持雄二、梶原吉春：チームで陽陰圧体外式人工呼吸器（RTX[®]、BCV）を使用するために。呼吸器ケア。2007；5：45-49.
- 13) Costes F, Agresti A, Fortune I, et al：Noninvasive ventilation during exercise training improves exercise tolerance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. J Cardiopulm Rehabil. 2003；23：307-313.
- 14) 山中悠紀、宮坂智哉、堀田麻実子ほか：体外式人工呼吸器 RTX による運動時の換気補助が健常成人の換気代謝諸量および自覚症状に与える影響の検討。人工呼吸。2010；27：68-74.
- 15) Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, et al：Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. J Appl Physiol. 1998；85：609-618.
- 16) 小室 透、間瀬教史、居村茂幸ほか：運動時における健常者の呼吸パターン及び呼吸運動の変化。理学療法学。1994；21：549-552.