

## 中高齢者の自転車エルゴメータ運動における 補助呼吸筋の酸素化動態

鯉坂 隆一<sup>1</sup> 大槻 毅<sup>2</sup> 田辺 匠<sup>2</sup>  
菅原 順<sup>3</sup> 久野 譜也<sup>1</sup> 松田 光生<sup>2</sup>

**要 旨**：運動中の換気亢進が高度になると補助呼吸筋が動員される。そこで，中高齢者30名を対象として，近赤外分光法を用いて症候限界性運動負荷中の補助呼吸筋(前鋸筋)の酸素化指標(tissue oxygenation index: TOI)動態と呼気ガス分析により決定された過呼吸開始点，呼吸性代償閾値(respiratory compensation threshold: RCT)との関連を検討し，中高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まるという仮説を検証した。結果：RCTを超えて運動を持続しえた24例中22例で前鋸筋TOIが急峻に減少したが，その時点の換気量は若年者より少ないことが示唆された。結論：中高齢者の持久性運動における補助呼吸筋の酸素化動態は換気亢進をよく反映すること，中高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まることが示唆された。(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 97-100)

Key words: elderly, exercise, near-infrared spectroscopy, oxygenation, respiratory muscle

### 序 言

全身持久性運動では，換気の亢進に伴い補助呼吸筋が動員される。Manciniら，Terakadoらは健常者および心不全患者において近赤外分光法による運動時の補助呼吸筋の酸素化動態を検討し，補助呼吸筋の酸素化動態と運動時の換気亢進とに密接な関連があることを報告している<sup>1,2)</sup>。さらに，運動時の補助呼吸筋の酸素化動態は補助呼吸筋の動員を反映すると考察している<sup>1,2)</sup>。

換気の亢進に伴う補助呼吸筋の動員に関する筋電図を用いた研究によると，若年健常者では換気量が40L/分以上になると補助呼吸筋の動員が，50L/分以上になると補助呼吸筋の動員が始まるとされている<sup>3)</sup>。しかし，加齢に伴い，横隔膜などの呼吸筋の筋量，筋力が低下することが知られており，それに伴い，補助呼吸筋の関与が大きくなる可能性が示唆されている<sup>4)</sup>。す

なわち，中高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まることが推測される。

本研究の目的は，中高齢者の自転車エルゴメータ運動において吸息補助呼吸筋である前鋸筋の酸素化動態と運動時換気亢進とに関連があるかを検討するとともに，中高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まるという仮説を検証することである。

### 対象と方法

被験者は中高齢者30名，男性11名，女性19名，年齢 $66.1 \pm 5.2$ 歳，58~78歳である。30名中，16名は高血圧(7名)，高脂血症(12名)，糖尿病(2名)の治療中であったが(複数疾患治療中の者を含む)，心疾患および呼吸器疾患を有する者はなく，14名は健常者であった。被験者の身体特性をTable 1に示す。

運動負荷試験には，座位自転車エルゴメータを用い，4分間のウォームアップの後，20ワット/分から開始し，1分間に10ワットずつ漸増する方法を用いた。

<sup>1</sup>筑波大学大学院人間総合科学研究科

<sup>2</sup>筑波大学先端学際研究センター

<sup>3</sup>産業技術総合研究所

2004年3月20日受付 2004年12月21日受理

Table 1 Physical characteristics

	Height (cm)	Body weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	SFT (mm)
Men	163.4 (3.2)	57.6 (4.1)	21.6 (1.3)	2.5 (1.2)
Women	151.1 (4.1)	51.4 (6.6)	22.5 (2.7)	5.3 (2.3)
p value	p<0.0001	p=0.0063	ns	p=0.0004

Values are mean (SD).

BMI: body mass index, SFT: skin fat thickness in chest wall, ns: not significant

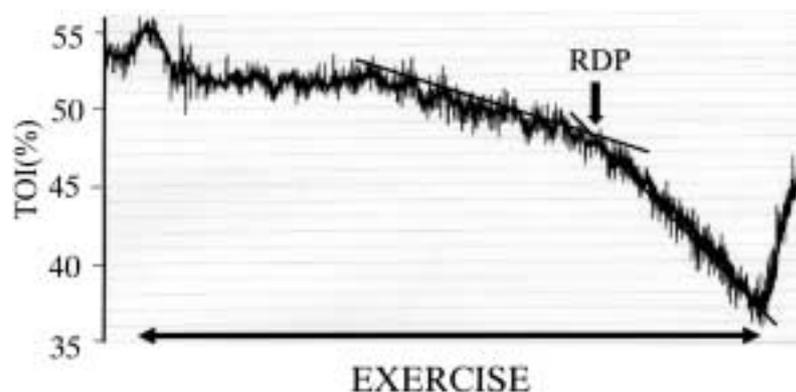


Figure 1 The tissue oxygenation index (TOI) of the serratus anterior muscle during exercise in a subject.

The TOI decreased in a biphasic manner: first gradually, and then steeply during exercise. The rapid deoxygenation point (RDP) was defined as a point where the TOI started to decrease steeply.

運動中、血圧、心電図を1分ごとに、呼気ガス指標を1呼吸ごとに記録あるいは測定した。運動の中止基準は高度の下肢疲労、危険な不整脈、高度の血圧上昇、虚血性心電図変化、胸痛、および年齢別予測最大心拍数到達のいずれかとした。

運動時換気亢進は過呼吸が始まる点である呼吸性代償閾値 (respiratory compensation threshold: RCT) を指標とし、運動中の換気量 (VE)・二酸化炭素排出量 (VCO<sub>2</sub>) 関係の直線のスロープが急峻に変化する変曲点から RCT を求めた。

近赤外線分光装置 (浜松ホトニクス社製 NIRO300) を用い、補助呼吸筋機能をみるために右第6肋間前腋窩線上の前鋸筋部にプローブを装着し、サンプリングタイム1秒にて連続的に測定を行った。酸素化指標である TOI は、運動初期には変化せず、その後、緩徐に減少し、運動終盤には急峻に減少する2相性変化を示した。急峻な減少の開始点を急速脱酸素化開始点 (rapid

deoxygenation point: RDP) として求めた (Fig. 1)。

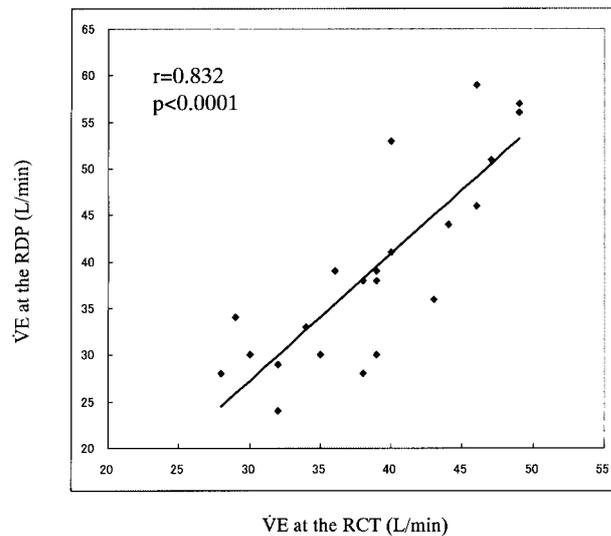
## 成 績

30名中29名 (96.7%) において運動中の補助呼吸筋の酸素化動態の評価が可能であった。

運動が RCT に到達する前に終了した5名では、全例で RDP を同定しえなかった。運動が RCT を超えて継続できたが最高換気量が 50L/分未満であった16名では14名 (87.5%) で RDP を同定できた。最高換気量が 50L/分以上であった8名では、全例で RDP を同定できた。

急峻な TOI の減少開始点 RDP における換気量は  $39.2 \pm 10.5$  L/分で、RCT における換気量  $38.5 \pm 6.2$  L/分とほぼ同じであり、両者間には  $r=0.832$  の良好な正の相関関係を認めた (Fig. 2)。すなわち、補助呼吸筋の急激な脱酸素化が過呼吸の始まる RCT とほぼ同時に始まることが示唆された。

RCT を超えて運動できた24名の RDP における換気量



**Figure 2** Relation between minute ventilations (VE) at the RDP and the RCT.

There was a significant positive correlation ( $r=0.832$ ,  $p<0.0001$ ) between the VEs at the RDP and the RCT.

RDP: A point where the TOI started to decrease steeply, RCT: respiratory compensation threshold.

は前述のごとく $39.2 \pm 10.5$ L/分であり，若年健常者において補助呼吸筋の動員が始まるとされる50L/分以上であったのは5名のみ(20.8%)であった。

### 考 案

補助呼吸筋における酸素化指標は緩徐・急峻の2相性の減少パターンを呈し，急峻な減少は運動時過呼吸と関連を認めた。この結果はTerakadoらの21名の中高年齢健常者における酸素化ヘモグロビンを指標とした成績と合致する<sup>2)</sup>。すなわち，運動時過呼吸に伴う補助呼吸筋の動員により補助呼吸筋における急速な脱酸素化が生じることが示唆された。

若年健常者では50L/分以上になると補助呼吸筋の動員が始まるとされている<sup>3)</sup>が，中高年齢者を対象とした本研究ではRCTを超えて運動できた24名のRDPにおける換気量は $39.2 \pm 10.5$ L/分であり，50L/分以上であったのは，5名のみ(20.8%)であった。加齢に伴い，横隔膜などの呼吸筋の筋量，筋力が低下することが知られており，それに伴い，補助呼吸筋の関与が大きくなる可能性が示唆されている<sup>4)</sup>。すなわち，高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まることが推測される。本研究の成績から高齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まるという仮説は支持されると考えられた。

近赤外分光法により皮脂厚の薄い肋間から大部分の中高年齢者で運動中の補助呼吸筋の酸素化動態の評価が

可能であった。しかし，肋間の狭い女性では良好な測定可能なプローブの貼付部位の決定が困難なことが多く，1名では部位を変えて測定を試みても評価可能な測定はできなかった。

### 結 論

中高年齢者の症候限界性最大自転車エルゴメータ運動において，近赤外分光法により測定した補助呼吸筋の酸素化動態は運動時換気亢進をよく反映すること，中高年齢者においてはより低い換気水準から補助呼吸筋の動員が始まることが示唆された。

### 文 献

- 1) Mancini DM, Ferraro N, Nazzaro D et al: Respiratory muscle deoxygenation during exercise in patients with heart failure demonstrated with near-infrared spectroscopy. *J Am Coll Cardiol*, 1991, **18**: 492-498.
- 2) Terakado S, Takeuchi T, Miura T et al: Early occurrence of respiratory muscle deoxygenation assessed by near-infrared spectroscopy during leg exercise in patients with chronic heart failure. *Jpn Circ J*, 1999, **63**: 97-103.
- 3) Campbell EJM: Accessory muscles. In: Campbell EJM, Agostoni E, Davis JN, eds. *The Respiratory Muscles: Mechanics and neural control*. WB Saunders, Philadelphia, 1970, 181-193.
- 4) Sparrow D, Weiss ST: Respiratory system. In: Masaro EJ, ed. *Handbook of Physiology*, section 11: Aging. Oxford University Press, Oxford, 1995, 475-483.

## Accessory Respiratory Muscle Deoxygenation during Leg-ergometer Exercise in Middle-aged and Elderly Subjects

Ryuichi Ajisaka,<sup>1</sup> Takeshi Otsuki,<sup>2</sup> Takumi Tanabe,<sup>2</sup>  
Jun Sugawara,<sup>3</sup> Shinya Kuno,<sup>1</sup> and Mitsuo Matsuda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

<sup>2</sup>Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

<sup>3</sup>Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Ibaraki, Japan

---

**Key words:** elderly, exercise, near-infrared spectroscopy, oxygenation, respiratory muscle

Accessory respiratory muscles are recruited as ventilation increases during exercise. The aim of this study was to investigate the relation between oxygenation in accessory respiratory muscles assessed by the tissue oxygenation index (TOI) with near-infrared spectroscopy and exercise ventilation in 30 middle-aged and elderly subjects. The respiratory compensation threshold (RCT) was detected by expired gas analysis. The TOI decreased in a biphasic manner: first gradually, and then steeply during exercise. The rapid deoxygenation point (RDP), at which the TOI starts to decrease steeply, was observed in 22 of 24 subjects who exercised beyond the RCT. There was a significant positive correlation ( $p=0.832$ ) between the minute ventilations at the RDP and the RCT. The minute ventilation at the RDP was less than 50L/min in 19 of the 24 subjects. In conclusion, the accessory respiratory muscle deoxygenation closely relates to increased exercise ventilation, while it starts less increased ventilation level in middle-aged and elderly subjects.

(J Jpn Coll Angiol, 2005, **45**: 97–100)