

運動負荷に対する心肺機能の反応

— 階段昇降における腹式呼吸法の有効性について —

千住 秀明¹ 神津 玲² 佐藤 豪²

要旨 慢性呼吸不全患者のADLにおいて最初に息切れを自覚するのは、階段昇降である。我々は、慢性呼吸不全患者に階段昇降時の腹式呼吸法を指導し、息切れが軽減され階段昇降能力が改善することを体験してきた。その有効性を健常者を対象にして心肺機能から検討した結果、下記の事が得られた。

- ①腹式呼吸使用時に、peak RRの減少とpeak TVの増加によるpeak \dot{V}_E の減少が認められた。
- ②呼吸効率 \dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E (一定の酸素摂取量に必要な換気量)の改善により、換気仕事量が減少した。
- ③階段昇降時間は有意に延長され、単位時間当りの仕事量が軽減した結果、運動負荷量の指標となるpeak METS、体重当りの酸素摂取量のpeak値は減少した。
- ④腹式呼吸法の使用は、同じ目的動作における心肺機能の負荷を少なくし、慢性呼吸不全患者のADL改善に有用であることが示唆された。

長大医短紀要3:53-61, 1989

Key words : 慢性呼吸不全患者, 階段昇降, 腹式呼吸

1 〈はじめに〉

労作性息切れを主症状とする慢性呼吸不全患者に対し、諸家により種々の理学療法が提唱されてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。中でも横隔膜の動きを増幅させる腹式呼吸法は、一回換気量を増加させ、呼吸数を減少することで換気仕事量の減少をはかるとされ、理学療法プログラムにおいて最もポピュラーな訓練法として定着している。しかし、その有効性に関する

報告は、数多くみられるものの、動作時に関する研究は無に等しいのが現状である。我々は、慢性呼吸不全患者のADLの中で最も息切れの訴えの多い階段昇降に着目し、階段昇降時における腹式呼吸法の有効性について健常成人を対象として検討したので報告する。

2 〈対象〉

心肺機能に異常のない長崎大学医療技術短期大学の学生および職員で男性9例、女性

1 長崎大学医療技術短期大学部理学療法学科

2 保善会田上病院

7例, 計16例である。年齢は, 19~39才で, 平均 22.4 ± 5.6 才である。身長は, 142~180 cmで平均 164.5 ± 10.5 cmである。体重は, 40~80 kgで平均 58 ± 11.1 kgであった(表1)。

表1 対象者

症例	年齢 (歳)	性別	身長 (cm)	体重 (kg)
1	19	M	163	66
2	19	M	165	53
3	20	F	142	40
4	20	F	158	51
5	20	F	158	53
6	20	F	160	50
7	20	F	162	52
8	20	M	178	80
9	20	M	180	71
10	21	F	151.5	44
11	21	F	155.5	45.5
12	21	M	168	65
13	21	M	178	60
14	25	M	172	68
15	33	M	175	64
16	39	M	166	65
M	22.4		164.5	58
SD	5.6		10.5	11.1

3 〈方法〉 (図1)

① 運動実施方法:

階段昇降を実施するにあたって, 被験者全員に腹式呼吸を臥位, 座位, 立位, 歩行, 階段昇降時の順に30分間指導した。実施方法は, 高さ25 cm, 幅12.5 cmの5段の階段を, 腹式呼吸の使用無し, 有りの順にそれぞれ10往復させた。なお, 各運動の前後5分間に安静休息を与えた。腹式呼吸を使用した階段昇降の方法は, 腹式呼吸パターンとステップを協調させ, 呼気時のみステップを進め, 吸気時はステップを止めて休ませた。この時の呼吸パターン, 即ち吸気と呼気の比率は, 1:2とした。

② 測定項目及び測定機器:

安静休息を含めて運動を実施している間の換気量, 呼吸数, 呼気ガス, 心拍数の変化を10秒間隔でリアルタイムに測定し, PC9801

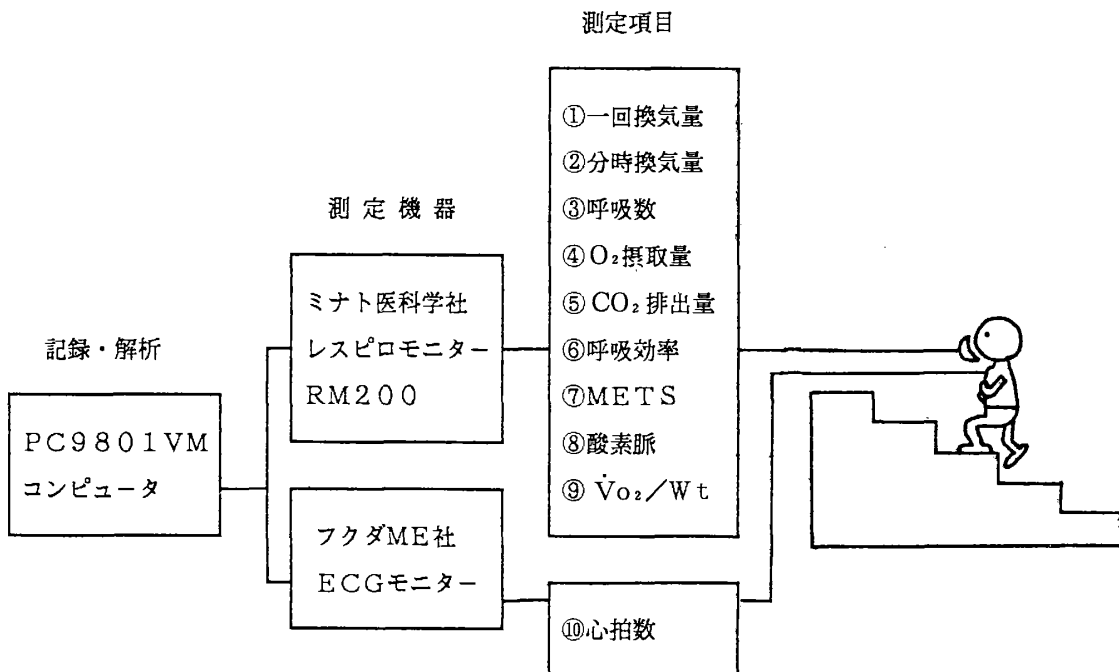


図1 方法

VM コンピュータで記録した。なお、換気パラメーターの測定には、ミナト医科学社製レスピロモニターRM 200 を用い breath-by-breath 方式にて、また心拍数はフクダ ME 社製心電図テレメーターで測定した。

③ 解析方法

解析方法は、腹式呼吸有無による階段昇降時の心肺機能の反応の相違と階段昇降における各測定項目の peak 値より腹式呼吸の有効性を検討した。

3 〈結果〉

1) 腹式呼吸の有無による階段昇降時の心肺機能の反応

階段昇降時の腹式呼吸使用の有無による心肺機能の変化を代表症例の TV, \dot{V}_E , RR, \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , HR を経時的变化で示した。換気量の TV では、腹式呼吸無し時は、階段昇降開始と共に徐々に増加し約 1000ml に達する。しかし、腹式呼吸時の TV は、最初の一呼吸から一気に約 1500ml まで増加し終了時まで継続していた。RR は腹式呼吸無し時は、昇降開始と共に呼吸数が増えながら徐々に終了時まで増加していった。腹式呼吸時は、呼吸数は最初からほぼ一定で変動は少なく約 11f/min あった。 \dot{V}_E は、腹式呼吸無しの昇降時は昇降開始と共に上昇し運動終了直前で最大値約 28 L/min まで増加した。腹式呼吸時は、運動開始直後約 20L/min に急上昇し、直ちに 16 L/min まで低下し、その後穏やかに上昇し運動終了直前約 20 L/min に達した。 \dot{V}_{O_2} は \dot{V}_E の変化と同様に、腹式呼吸無しでは、階段昇降開始時約 200ml から終了前約 900ml と上昇を続け、運動終了後急速に低下し、110 sec で約 200 ml に回復した。腹式呼吸時は、階段昇降開始直後約 500 ml と急速な上昇を示した後、やがて 180ml と低下し、再び穏やかに上昇を続け運動終了直前に約 800ml に達し、約 80 sec で 200ml まで回復した。 \dot{V}_{CO_2} もほぼ同様の变化を示した。HR

も同様に、腹式呼吸無しでは、68 beats/min から昇降開始と共に増加を続け、終了直前に 98 beats/min まで上昇した。腹式呼吸時は、67 beats/min から 80 sec で 90 beats/min まで上昇した後、プラトーに達し、運動終了と共に速やかに回復し、60 sec で開始時の心拍数に回復した。(図 2)

他の症例もほぼ同様の結果を得た。

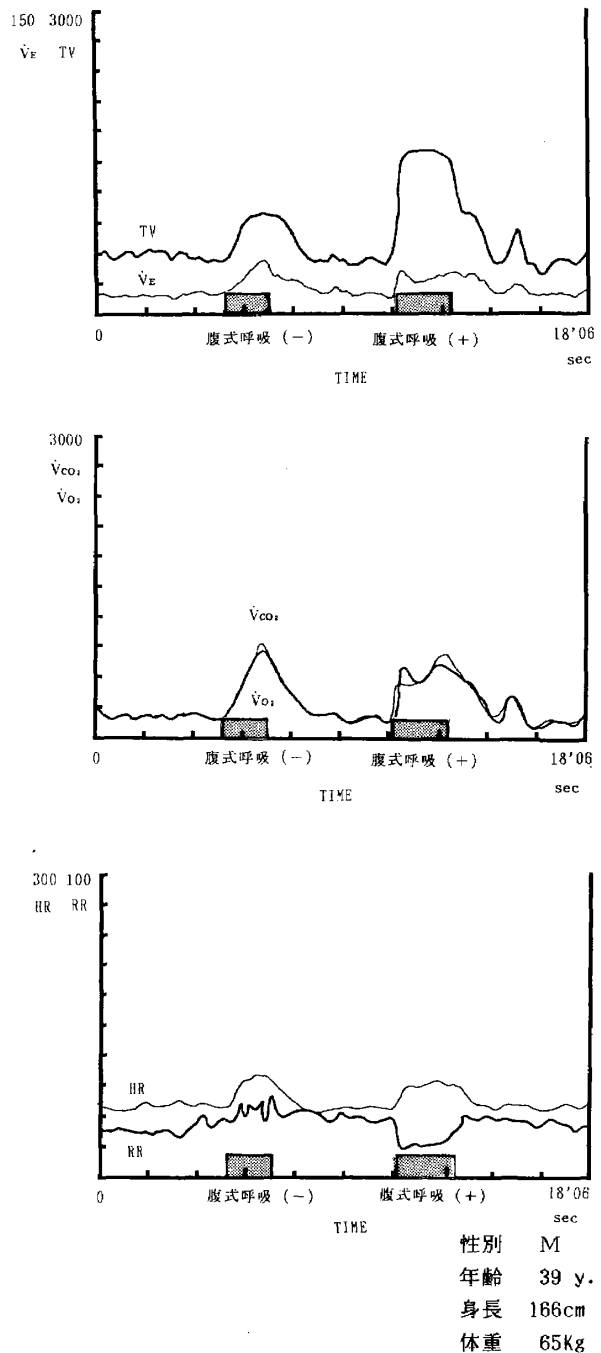


図 2 腹式呼吸の有無による各パラメーターの経時的变化

2) 階段昇降における各測定項目の peak 値の変化

① peak TV (図3)

一回換気量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 1025 ± 340 ml で、腹式呼吸有りでは、 1746 ± 366 ml で有意に上昇した ($P < 0.001$)。

② peak RR (図4)

呼吸数の peak 値は、腹式呼吸無しでは 26 ± 4 f/min で、腹式呼吸有りでは、 11 ± 2 f/min で有意に減少した ($P < 0.001$)。

③ peak \dot{V}_E (図5)

分時換気量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 21 ± 3.7 L/min で、腹式呼吸有りでは、 16 ± 4.4 L/min で有意に減少した。 ($P < 0.001$)。

④ peak \dot{V}_{O_2}/Wt (図6)

体重 1 kg 当りの酸素摂取量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 14.5 ± 1.4 ml/min/kg で、腹式呼吸有りでは、 12.6 ± 1.2 ml/min/kg で有意に減少した ($P < 0.001$)。

⑤ peak \dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E (図7)

呼吸効率の peak 値は、腹式呼吸無しでは 52.8 ± 7.0 で、腹式呼吸有りでは、 63.2 ± 8.0 で有意に上昇した ($P < 0.001$)。

⑥ peak METS (図8)

METS の peak 値は、腹式呼吸無しでは 4.1 ± 0.4 で、腹式呼吸有りでは、 3.6 ± 0.3 で有意に減少した ($P < 0.001$)。

⑦ peak HR (図9)

心拍数の peak 値は、腹式呼吸無しでは 107 ± 11 beats/min で、腹式呼吸有りでは、 104 ± 9 beats/min と減少したが有意差はなかった。

⑧ TIME (図10)

階段昇降時間は、腹式呼吸無しでは 104 ± 17 sec で、腹式呼吸有りでは、 146 ± 15 sec で有意に増加した ($P < 0.001$)。

4 <考察>

1) 腹式呼吸有無による階段昇降時の心肺機能の反応

あらゆる運動は、身体活動と共に酸素需要

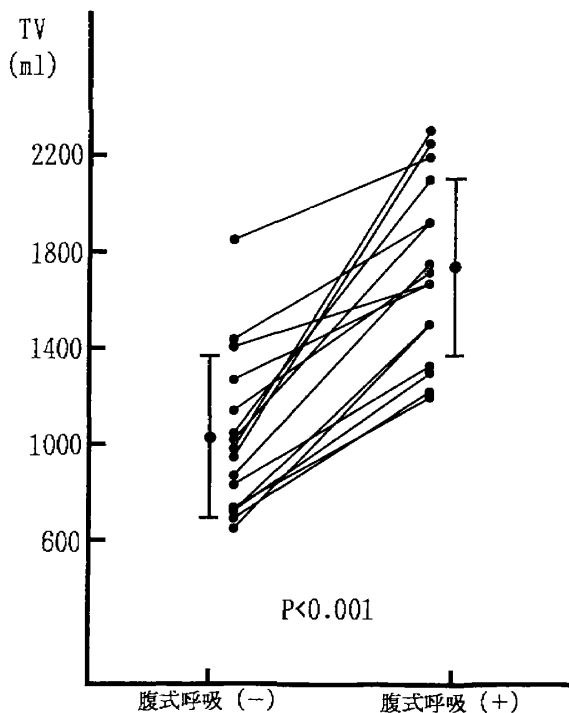


図3 peak TV

一回換気量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 1025 ± 340 ml で、腹式呼吸有りでは、 1746 ± 366 ml で有意に上昇した。

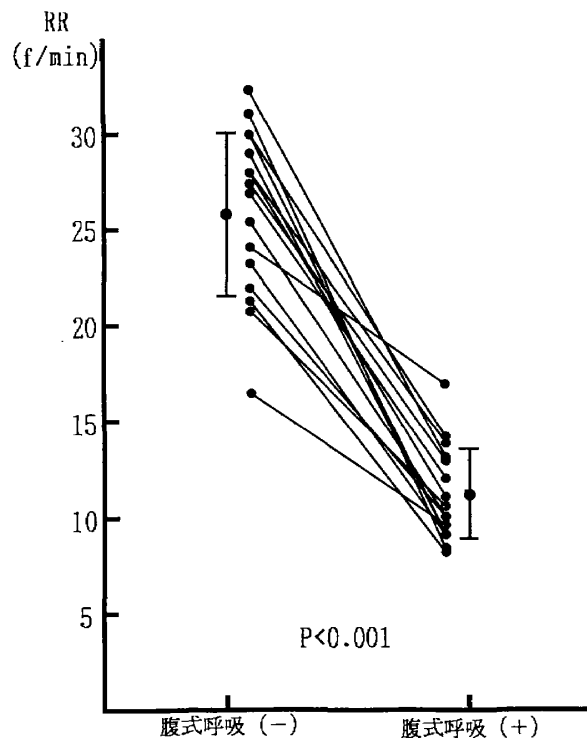


図4 peak RR

呼吸数の peak 値は、腹式呼吸無しでは 26 ± 4 f/min で、腹式呼吸有りでは、 11 ± 2 f/min で有意に減少した。

運動負荷に対する心肺機能の反応

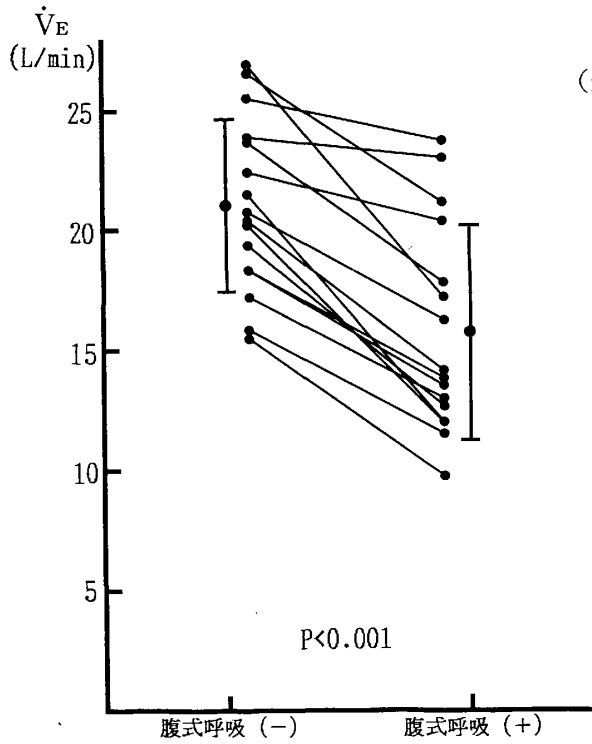


図5 peak \dot{V}_E

分時換気量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 21 ± 3.7 L/min で腹式呼吸有りでは、 16 ± 4.4 L/min で有意に減少した。

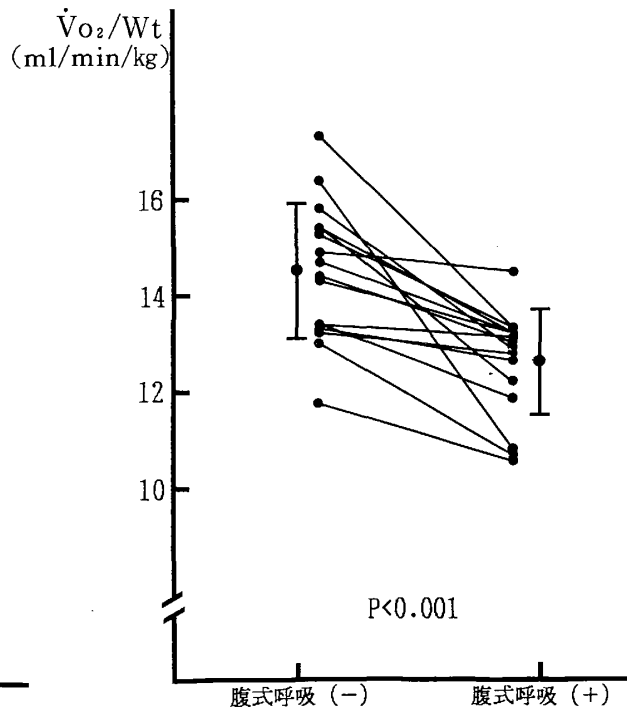


図6 peak $\dot{V}O_2/wt$

体重 1 kg 当りの酸素摂取量の peak 値は、腹式呼吸無しでは 14.5 ± 1.4 ml/min/kg で、腹式呼吸有りでは、 12.6 ± 1.2 ml/min/kg で有意に減少した。

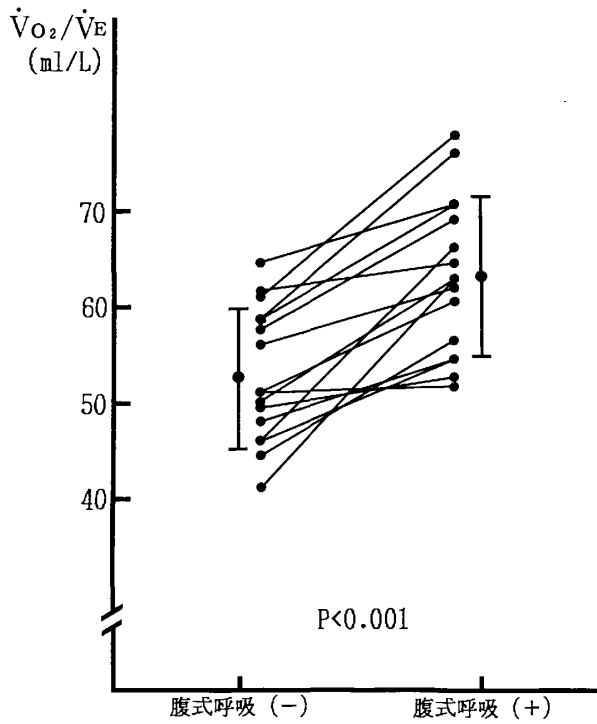


図7 peak $\dot{V}O_2/\dot{V}_E$

呼吸効率の peak 値は、腹式呼吸無しでは 52.8 ± 7.0 で、腹式呼吸有りでは、 63.2 ± 8.0 で有意に上昇した。

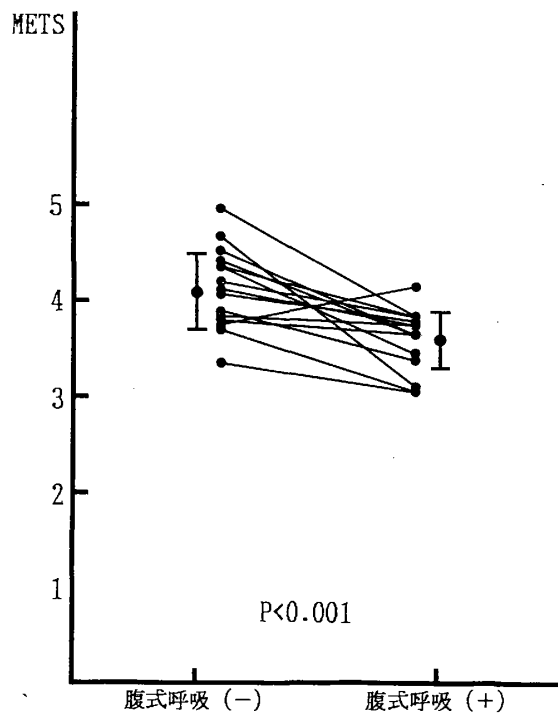


図8 peak METS

METS の peak 値は、腹式呼吸無しでは 4.1 ± 0.4 で、腹式呼吸有りでは、 3.6 ± 0.3 で有意に減少した。

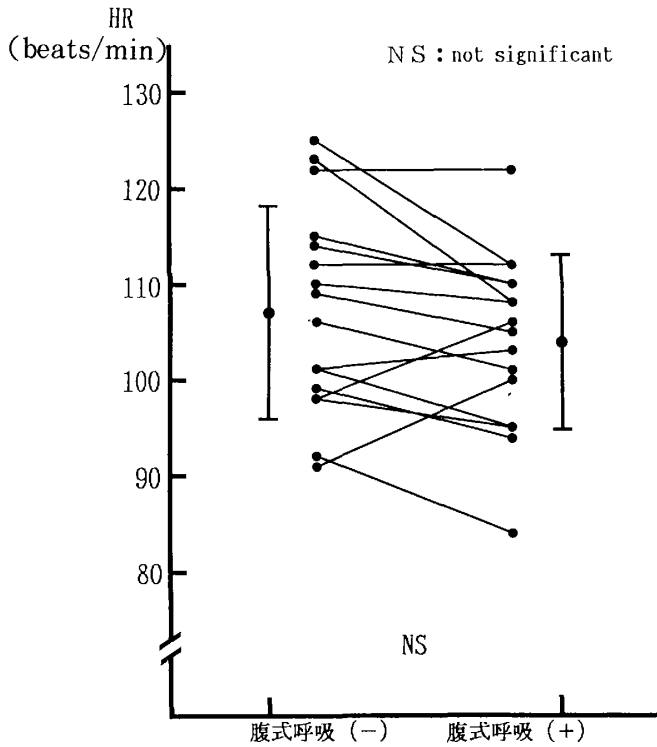


図9 peak HR

心拍数の peak 値は、腹式呼吸無しでは 107 ± 11 beats/min で、腹式呼吸有りでは、 104 ± 9 beats/min と減少したが有意差はなかった。

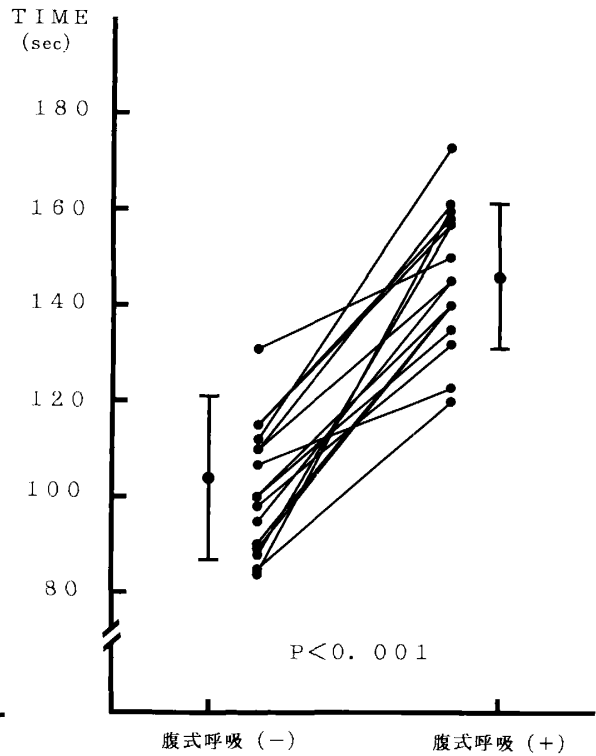


図10 TIME

階段昇降時間は、腹式呼吸無しでは 104 ± 17 sec で、腹式呼吸有りでは、 146 ± 15 sec で有意に増加した。

量が増加し、それに伴ない酸素摂取量が増加する。しかしこの酸素摂取量の増大と運動開始の間には時間的ずれがある。この時間的ずれは、運動終了後酸素負債となって現れる。酸素摂取量は運動開始後増加を始め、軽い運動では2～3分で一定値（定常状態）を示し、この期間は運動による酸素消費と呼吸による酸素供給のバランスが取れている。しかし強い運動では、定常状態を迎えることなく酸素摂取量が増加するが、酸素摂取量には限界があり、やがて Exhaustion を迎え運動を続けることができなくなる^{8) 9)}。健常者の Exhaustion 時の分時換気量は、安静時坐位の約9倍、心拍数は $(220 - \text{年齢})$ beats/min の最大心拍数に達する^{10) 11)}。慢性呼吸不全患者は、換気障害によって最大酸素摂取量が少なく軽度負荷量の運動で酸素需要と酸素摂取量のバランスが破綻して、これが息切れの原因となる^{12) 13) 14) 15)}。我々は酸素需要と酸素摂取量の

バランスを保つことが慢性呼吸不全患者の ADL 改善に重要であると考えて、腹式呼吸を導入した。

階段昇降負荷において腹式呼吸無しでは、心肺機能が定常状態に達することなく運動が終了した。これは最大心拍数（107 beats/min）や最大 METS 4.1 から明らかに軽度の運動負荷量であったが、運動時間が 104 ± 17 sec と短時間であったために定常状態に至らなかった。しかし腹式呼吸時では、約60秒の短時間で心肺機能の定常状態を作り出すことができた。これは、腹式呼吸が、大きな一回換気量、高い効率の換気量で \dot{V}_E を安定させたことによって、運動早期から酸素摂取量を高めた結果、 \dot{V}_{O_2} や HR に早期から定常状態を与えたものと考えられる。これは、腹式呼吸を実施することで、運動開始直後から強制的に TV を高めた結果、分時換気量を急増させ、そのため運動に必要な酸素需要量以上の

過剰換気が行われ、運動開始直後に、 \dot{V}_E 、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} がピークを迎え、過剰換気は直ちに呼吸数の減少によって調整され、 \dot{V}_E 、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} 、HRは定常状態になったと推察される。

各個人の運動強度の程度は、酸素負債によって運動終了後 \dot{V}_{O_2} やHRが安静時の状態に回復する時間で予測することができる^{16) 17) 18) 19)}。同じ目的動作時に、腹式呼吸時は \dot{V}_{O_2} が110から80secと30秒、HRも80から60secと20秒とそれぞれ速く回復できた。このことから、腹式呼吸は運動に伴う酸素負債を早期に改善しひとつの目的動作の運動強度を低下させ得ることを示唆している。

慢性呼吸不全患者では、換気機能の低下(特に最大一回換気量の低下)のために、運動による酸素需要に換気機能がついて行けず最大酸素摂取量を低下させ、それが息切れとなって階段昇降を障害するが、昇降中に腹式呼吸を行い運動開始早期から大きな一回換気量による多くの酸素摂取量で定常状態を作り出し、運動に伴う酸素需要を患者個々の肺機能能力に応じた運動量(運動速度を調節する等)を与えることで呼吸不全患者の息切れを抑えた階段昇降が可能と考える。腹式呼吸は、呼吸とステップを協調させることでこの昇降速度も患者個々の肺機能に応じたコントロールが可能である。

2) 階段昇降における各測定項目の peak 値の変化

運動の強度を酸素摂取量、METS、HRで測定できることが知られている^{16) 18) 19)}。階段昇降の運動強度を腹式呼吸の有無により酸素摂取量、METS、HRの各 peak パラメーターを比較した。腹式呼吸では、腹式呼吸を用いない階段昇降時より peak \dot{V}_{O_2} 、peak METS

($P < 0.001$) や peak HR を低下させ、同じ階段昇降でも運動強度を低く抑えた。腹式呼吸が運動強度を抑えることができる因子に、第1に peak TV、を増加し peak RR、peak \dot{V}_E を有意に減少させ ($P < 0.001$) することで換気効率が有意に改善できたこと。第2は階段昇降に腹式呼吸とステップを協調させること(階段を昇降する時、呼気時のみ階段を昇らせ、吸気時に階段を昇らせないで休む)で有意に階段昇降時間を延長できたと考えられる。

このことはADLに腹式呼吸を用いることで同じ目的動作(階段昇降を10回)の運動強度を低下させ得ることを示唆し、呼吸不全患者のADLに有効な手段となるであろう。

5 <まとめ>

慢性呼吸不全患者のADLにおいて、最初に息切れを自覚するは階段昇降である。我々は、慢性呼吸不全患者に階段昇降時の腹式呼吸法を指導し、息切れが軽減され階段昇降能力が改善することを体験してきた。今回、その有効性における生理学的裏付けについて検討した結果、以下の結論が得られた。

- ①腹式呼吸使用時に、呼吸数の減少と一回換気量増加による分時換気量の減少が認められた。
- ②呼吸効率 \dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E (一定の酸素摂取量に必要な換気量) の改善により、換気仕事量の減少が示唆された。
- ③階段昇降時間は有意に延長され、単位時間当たりの仕事量が軽減した結果、運動負荷値の指標となる最大 METS、体重当たりの最大酸素摂取量は減少した。
- ④腹式呼吸法の使用は、同じ目的動作における心肺機能の負荷を少なくし、慢性呼吸不全患者のADL指導に有用であることが示唆された。

6 〈参考文献〉

1. Mueller RE, Petty TL, Filley GE : Ventilation and arterial blood gas changes induced by lip breathing. *J Appl Physio*, 28 : 784-789, 1970.
2. Paul G, Eldridge F, Mitchell J, Fiene T: Some effects of slowing respiration rate in Chronic emphysema and Bronchitis. *J, Fiene T. Some effects of slowing respiration rate in Chronic emphysema and Bronchitis. J Appl Phyio*, 21 : 877-882, 1966.
3. Barach. A. L, Seaman, W : Role of Diaphragm in chronic pulmonary emphysema. *NY State J Med*, 63 : 415-417, 1963.
4. Petty, TL : Pulmonary rehabilitation. *Respiratory Care*, 22 : 68-79, 1979.
5. 谷本晋一 : 呼吸疾患のリハビリテーション. *日胸疾会誌*, 19 : 918-923, 1981.
6. 千住秀明・長坂行雄・横山邦彦 : 万歩計による呼吸リハビリテーションの効果. *理・作・療法*, 14 : 705-711, 1980.
7. 千住秀明 : 呼吸リハビリテーションのすすめ—理学療法士の立場から—呼吸訓練, *運動療法*, 千住秀明, 1989, pp77-102.
8. 谷口興一・吉田敬義共訳 : 運動負荷テストとその評価法, 南江堂, 1989, pp36-77.
9. 杉晴夫編集 : 栄養健康科学シリーズ 運動生理学, 南江堂, 1988, pp43-52.
10. 千住秀明他 : 運動機能に対する心肺機能の変化, *長大医短紀要* 1 : 57-65, 1987.
11. 千住秀明他 : 運動機能に対する心肺機能の変化 (第2報) —坂道の傾斜角度, 歩行速度—*長大医短紀要* 2 : 105-116, 1988.
12. 沖本二郎 : 呼吸器疾患患者における運動制限因子に関する—特に運動負荷時の肺機能と血中乳酸血の変動について—, *日胸疾会誌*, 20 : 59-68, 1982.
13. 諏訪邦夫 : 患者の体力と酸素運搬能, *呼と循*, 27 : 1156, 1979.
14. 直江弘明, 副島林造, 小林武彦, 松島敏春, 入江淑美, 坂梨朱美, 福田芳美 : 正常人および換気障害患者における運動能力制限因子について, *日胸疾会誌*, 16 : 693, 1982.
15. Jones, N.L., Jones, G, & Edward, R. H. T. : Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Amer. Rev. Resp. Dis.*, 103 : 477, 1971.
16. 浅野勝己訳 : オストランド運動生理学 大修館書店, 1982, pp254-340.
17. 加賀谷熈彦・加賀谷淳子 : 運動処方—その生理学基礎—, 1984, pp92-143.
18. 朝比奈一男, 中川功哉 : 運動生理学, 大修館書店, 1979, pp13-49.
19. 山路啓司 : 心拍数の科学, 大修館書店, 1979, pp13-49.

(1989年12月28日受理)

Reaction of Cardiopulmonary Function to Exercise:
Effect of Abdominal Breathing on Ascending
and Descending Stairs

Hideaki SENJU,¹ Ryo KOZU,² and Tsuyoshi SATO.²

1 Department of Physiotherapy, School of Allied Medical Sciences,
Nagasaki University ; 2 Hozenkai Tagami Hospital

Abstract Patients with chronic respiratory insufficiency often first become aware of breathlessness in ADL when ascending and descending stairs. Under our direction, patients gained relief from breathlessness by the use of abdominal breathing and recovered their ability to ascend and descend stairs. The effect of abdominal breathing on cardiopulmonary function was studied. We conclude that:

1) Minute breathing capacity decreases because of the decrease in the respiration rate and the increase in tidal volume during abdominal breathing.

2) The energy needed to breathe decreases because of the improvement in respiration efficiency $\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ (the breathing capacity required for constant oxygen uptake).

3) As the time needed to ascend and descend stairs is extended significantly and power per unit time is decreased. The peak METS as an exercise index and the peak oxygen uptake per weight decrease.

4) Abdominal breathing may lower the cardiopulmonary functional load during actions for same purposes. Thus it is useful in ADL directions for patients with chronic respiratory insufficiency.

Bull. Sch. Allied Med. Sci., Nagasaki Univ. 3 : 53-61, 1989