

高齢低体力者に対する水中での運動療法

九州大学 堀田 昇
(共同研究者) 同 大柿 哲朗
同 金谷 庄藏
同 藤島 和孝
佐世保共済病院 萩原 博嗣

Exercise Prescription for Aged Men and Women in Water

by

Noboru Hotta, Tetsuro Ogaki,
Shozo Kanaya, Kazutaka Fujishima
Institute of Health Science, Kyushu University
Hiroshi Hagiwara
Sasebo Kyosai Hospital

ABSTRACT

Treadmill (flowmill) walking in water is a potentially useful therapeutic modality. Since energy costs of this activity were unknown, we evaluated oxygen intake (\dot{V}_{O_2}), heart rate and blood lactate of flowmill walking in water at speeds of 20 to 50 meters/min (m/min) in 10 m/min increments in 15 old aged subjects.

Relationship between heart rate and oxygen intake was linear, and relationship between walking speed and oxygen intake was exponential in flowmill walking. Mets and blood lactate to flowmill walking were 1.6 to 3.9 and 8.1 to 33.4 mg/dl, respectively.

Flowmill walking in water could increase the energy expenditure of movement depending on the speed, and the response to increasing

was exponential.

$$y = 1.4536 \cdot e^{0.02853x} \quad (r = 0.9704, P < 0.001)$$

x : walking speed (m/min)

y : energy expenditure ($\times 10^3$ kcal/kg/min)

要 旨

水中歩行は、潜在的に運動療法として有効な運動である。これまで水中歩行時のエネルギー消費量に関してはほとんど知られていないので、本研究では15名の高齢者に対して、毎分20～50 mまでの10 mごとのスピードでのフローミル歩行時の酸素摂取量、心拍数、血圧および血中乳酸濃度を測定した。

水中歩行時の心拍数-酸素摂取量関係は直線関係にあった。また、フローミル歩行時のスピードと酸素摂取量関係は指数回帰することができた。フローミル歩行時のメッツと血中乳酸濃度は、それぞれ1.6～3.3および8.1～33.4 mg/dlであった。

水中フローミル歩行は、スピードに対してエネルギー消費量を指数関数的に上昇させることができる。その歩行スピードとエネルギー消費量との関係は、

$$y = 1.4536 \cdot e^{0.0285x}$$

$$r = 0.9704 \quad (P < 0.001)$$

であった。

ただし、 x : 歩行スピード (m/min)

y : エネルギー消費量

($\times 10^3$ kcal/kg/min)

緒 言

水中での運動は、水の浮力を用いることができるため肥満者の運動療法や整形外科的手術後のリハビリテーションに広範に用いられ、その効果も大きいことが知られている^{1,8,9,13,14}。これまで、

プール等を利用して水中歩行時のエネルギー消費量や運動強度に関する報告が数多くなされている^{2-5,10,11}。

しかし、本研究で用いたような、水槽内のトレッドミルと流速をコントロールできるフローミルを用いた水中歩行時のエネルギー消費量を測定した報告は極めて少ない¹²。本装置は両わきの手すりを持って歩行するため、通常のプールでの歩行にくらべて極めて安全性が高い。そのため大腿骨骨折等の整形外科的手術後、自立歩行のできない高齢の低体力者に対しても運動負荷を課すことができることが特徴である⁷。しかし、高齢者に対する水中での運動処方を行うための基礎的資料は現在あまり見当たらない。

そこで本研究では、65～75歳代の多人数の高齢者を対象に、4種類の歩行スピードとその時の呼吸循環系指標をもとに、歩行スピードと消費エネルギーとの関係を検討した。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は、日常とくに定期的に運動を行っていない高齢者15名(男性7名、女性8名)であり、その身体的特性を表1に示した。

表1 Physical characteristics of subjects

n	Age (yr)	Stature (cm)	Body weight (kg)	%Fat (%)
15	68 ± 4	149.5 ± 6.5	48.70 ± 7.51	16.41 ± 2.70

mean ± S.D.

1.2 方法

運動は通常の回流水槽内に設置したトレッドミル（アクアティクジャパン社製：フローミル）上で歩行を行わせた。10分間の水槽内での安静時の測定の後、回流水槽の流速を20, 30, 40および50 m/min に設定し、各流速に対応するようにトレッドミルの歩行スピードを20, 30, 40および50 m/min とした。運動時間は各流速ごとに15分間とし、運動の順序は無作為に行った。

運動中、テレメータ法にて心電図を連続してモニターし、その出力をホルター心電計に記録した。記録した心電図を後に再生し、30秒ごとのR棘を数え、各スピードの最後の5分間の平均値をそのスピードに対する心拍数とした。また、運動中自動呼吸ガス分析器（ミナト医科学社製：AE10）を用いて呼気ガスを採取し、30秒ごとに換気量、酸素摂取量、呼吸数および呼吸交換比を測定した。血圧は各スピードとも入水後の安静時および運動開始4～5分、9～10分および14～15分の間聴診法で測定した。また、運動終了1分後に肘前静脈より採血を行い、血中乳酸濃度を測定した。

フローミルの水温は $35.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、水位は105 cm とし、歩行時は被験者に固定てすりを保持させた。測定時の室温および相対湿度は、それぞれ

$32.1 \pm 1.9^\circ\text{C}$ および $68.5 \pm 7.6\%$ であった。

2. 研究結果

本研究の被験者は、年齢が65～75歳と比較的広い範囲に及んでいたが、分速20～50 mまでの4段階すべての運動を完遂できた。また、各呼吸循環系パラメータに性差が認められなかったのので、以下の結果は男女合せた平均値で示した。

彼らの安静時および各スピードでの呼吸循環系パラメータと、運動終了直前の血圧を表2に示した。分速20～50 mへスピードが増加するにつれて換気量、呼吸数、心拍数および酸素摂取量とも増加した。最もスピードの速い分速50 mでの心拍数は 104.9 ± 18.1 拍/分であり、酸素摂取量は 667 ± 79 ml/min であった。このスピードでの運動強度は3.9 Mets に相当するものであった。一方、収縮期および拡張期血圧は歩行スピードの増加に対して徐々に上昇していった。とくに、拡張期血圧にくらべ収縮期血圧の上昇が顕著であった。

スピード漸増時の心拍数—酸素摂取量関係は、これまで報告されている陸上運動時の両者の関係と同様に、フローミルを用いた水中歩行時においても両者の間に直線関係が成り立ち、その関係式は

表2 Responses of cardiovascular parameters to walking in water

Speed (m/min)	\dot{V}_E (l/min)	RR (n/min)	\dot{V}_{O_2} (ml/min) (ml/kg·min)		Mets	HR (bpm)	sys. BP (mmHg)	dia. BP (mmHg)
20	9.68 ±1.22	18 ±1	303 ±30	6.22 ±0.71	1.8 ±0.4	82.5 ±10.1	154 ±18	81 ±5
30	11.89 ±1.31	21 ±2	371 ±48	7.62 ±1.09	2.2 ±0.9	87.0 ±12.9	162 ±21	87 ±7
40	15.90 ±1.70	22 ±3	473 ±41	9.71 ±1.35	2.8 ±1.2	99.1 ±17.8	171 ±24	87 ±7
50	20.30 ±2.60	23 ±4	667 ±79	13.70 ±1.81	3.9 ±1.5	104.9 ±18.1	180 ±25	92 ±9

mean ± S. D.

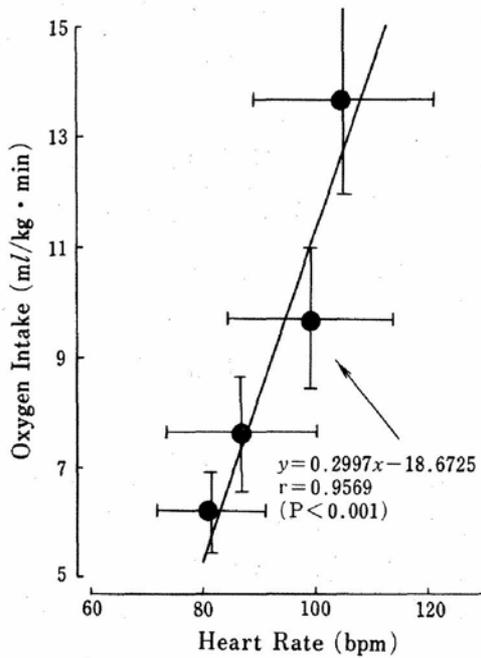


図1 Relationship between heart rate and oxygen intake during walking in flowmill

$$y = 0.2997x - 18.6741$$

$$r = 0.9569 \quad (P < 0.001)$$

ただし、 x ：心拍数 (拍/分)

y ：酸素摂取量 (ml/kg·min)

であった (図1)。

また、スピードと酸素摂取量との関係はこれまで報告されているとおり、一次回帰より指数回帰の方がより高い相関係数が得られた。得られたスピードと酸素摂取量の関係は、

$$y = 174.0656 \cdot e^{0.0261x}$$

$$r = 0.9925 \quad (P < 0.001)$$

ただし、 x ：スピード (m/min)

y ：酸素摂取量 (ml/min)

であった (図2)。

安静時および運動終了直後の血中乳酸値は、安静時が 7.0 ± 2.3 mg/dl であり、分速 20, 30, 40 および 50 m で、それぞれ 8.1 ± 2.5 , 9.7 ± 3.0 , 14.9 ± 7.1 および 33.4 ± 19.7 mg/dl であった。各スピードと血中乳酸値との間の関係も、指数回帰で表わすことができた (図3)。分速 50 m の

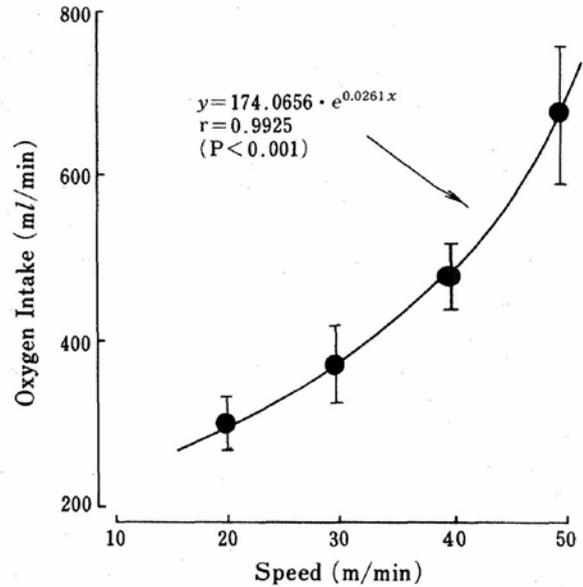


図2 Relationship between walking speed and oxygen intake

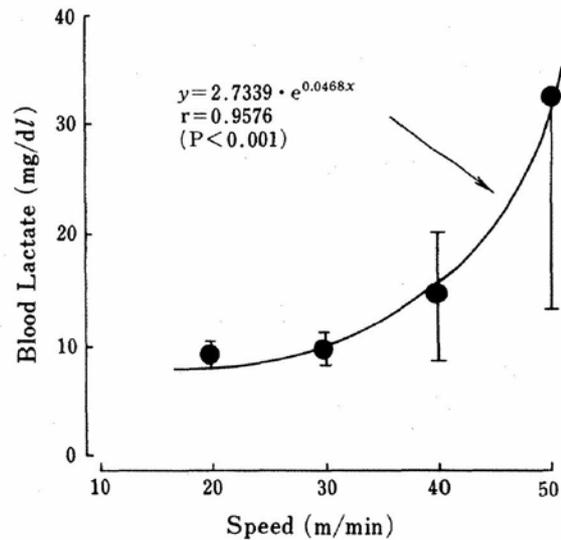


図3 Blood lactate during walking in water at different speed

スピードで得られた乳酸値は、他のスピードで得られた値といずれも 0.1% 水準で有意に高い値であった。また、50 m/min での血中乳酸値は標準偏差が最も大きく、被験者の体力水準の違いが大きいことを示していた。

3. 考察

これまで水中運動は、身体に障害をもっている

者のスポーツとして有効であるだけでなく、術後のリハビリテーションにその効果が期待できると考えられてきた^{1,6,8,9,13)}。堀田ら⁷⁾は、高齢で整形外科の手術を受けた低体力者のリハビリテーションとして、本フローミルが有効であることを示した。すなわち、水中での運動は陸上での運動にくらべ関節への負担が少なく、水の浮力を利用して運動ができるため高齢者に対しても運動負荷を課すことができる。

これまで、本フローミルを用いたエネルギー代謝に関する報告はいくつかなされている^{2~4)}。

本研究の高齢者の被験者の 50 m/min での運動強度は、 3.9 ± 1.5 Mets であった。水中歩行中の心拍数と酸素摂取量との間には、いずれの被験者も相関係数が 0.87 以上で一次回帰することができた。各被験者の回帰式より外挿法で最大酸素摂取量を推定すると、平均 22.1 ± 6.3 ml/kg · min であった。各被験者の最大酸素摂取量をもとに、50 m/min での歩行運動の強度を表わすと $62.2 \pm 11.9\% \dot{V}_{O_{2max}}$ であり、かなり広い範囲に及んだ。

各被験者の 50 m/min のスピードでの運動強度 ($\% \dot{V}_{O_{2max}}$) と血中乳酸濃度の関係を図 4 に示した。運動強度が $70\% \dot{V}_{O_{2max}}$ 以上になった者た

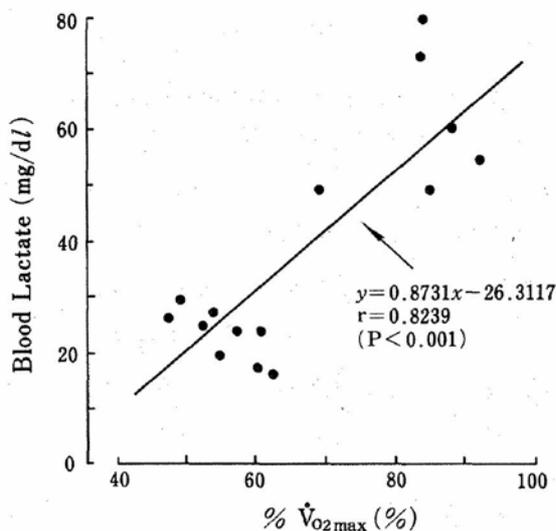


図 4 Relative exercise intensity and blood lactate

ちの血中乳酸値は、いずれも 40 mg/dl を越えており、無酸素性作業閾値を上まわる運動強度であったと思われる。

水中歩行スピードと酸素摂取量との関係は、先行研究⁷⁾と同様に指数回帰式で表わすことができた。このことはこれまで同様、歩行スピードとエネルギー消費量も指数回帰できることを示している。歩行運動時の酸素摂取量とその時の呼吸交換比から求めた歩行スピードとエネルギー消費量との関係を図 5 に示した。すなわち、水深 105 cm で水温 $35.1 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ の条件下での歩行スピードとエネルギー消費量との関係は、

$$y = 1.4536 \cdot e^{0.0285x}$$

$$r = 0.9704 \quad (P < 0.001)$$

ただし、 x : 歩行スピード (m/min)

y : エネルギー消費量

($\times 100$ kcal/kg · min) であった。

したがって、高齢被験者に対しても歩行スピードが決まれば、酸素摂取量を実測しなくても上述した式を用いれば、エネルギー消費量を算出できることを表わしている。

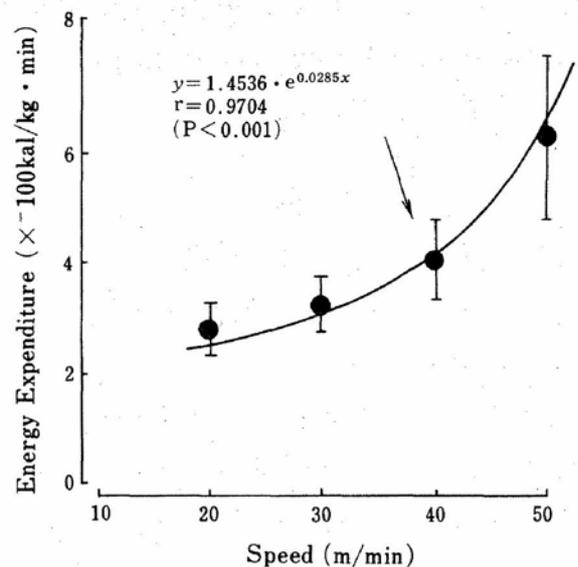


図 5 Relationship between walking speed and energy expenditure

4. 要 約

1) 水中での運動処方を行うために、高齢者 15 名 (年齢 68 歳, 身長 149.5 ± 7.5 cm, 体重 48.70 ± 7.51 kg) を対象にフローミルを用いて, 4 種類の流速と歩行スピード (毎分 20, 30, 40, および 50 m) でそれぞれ 15 分間の水中歩行を行わせた. フローミルの水深および水温は, それぞれ 105 cm および $35.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$ であった.

2) 水中歩行運動時の心拍数と酸素摂取量の間には, 陸上運動と同様に直線関係が認められた.

3) 運動中, 酸素摂取量は歩行スピードの増加に対して指数関数的に増加した.

4) 最も歩行スピードの速い, 分速 50 m での歩行時の運動強度は 3.9 ± 1.5 Mets であり, 血中乳酸濃度は 33.4 ± 19.7 mg/dl に上昇した.

5) 歩行スピードと消費エネルギーとの関係も指数回帰で表わすことができ, その両者の関係は,

$$y = 1.4536 \cdot e^{0.0285x}$$

$$r = 0.9704 \quad (P < 0.001)$$

ただし, x : 歩行スピード (m/min)

$$y: \text{エネルギー消費量} \\ (\times 10^3 \text{kcal/kg} \cdot \text{min})$$

であった.

文 献

- 1) Bishop, P. A., Frazier, S., Smith, J., Jacobs, D.; Physiologic to treadmill and water running, *Phys. Sportsmed.*, 17 (2), 87-94 (1989)
- 2) Costill, D. L.; Energy requirement during

- exercise in the water, *J. Sports Med.*, 11, 87-92 (1971)
- 3) Costill, D. L., Cahill, J., Eddy, D.; Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures, *J. Appl. Physiol.*, 22, 628-632 (1967)
- 4) Craig, Jr. A. B., Dvorak, M.; Comparison of exercise in water of different temperature, *Med. Sci. Sports*, 1, 124-130 (1969)
- 5) Evance, B. W., Cureton, K. L., Purvis, J. W.; Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water, *Res. Quart.*, 49, 442-449 (1978)
- 6) Fox, E. L., Mathews, D. K.; The physiological basis of physical education and athletics, Saunders College, Philadelphia (1981)
- 7) 堀田 昇, 大柿哲朗, 金谷庄藏, 萩原博嗣; 術後低体力者に対する水中での運動療法, *健康科学*, 15, 57-61 (1993)
- 8) 石原俊樹, 宮下充正; 有酸素性作業能力向上のための水中運動の検討, *J. J. Sports Sci.*, 1, 325-328 (1982)
- 9) 武藤芳照; 骨・関節疾患への運動処方, *最新医学*, 43, 2258-2263 (1988)
- 10) 中山影一; 骨・関節疾患の水中訓練, *理学療法*, 4, 279-285 (1987)
- 11) 大道 等, 山本利春; 水中運動の生理学的強度とその力学的基礎, *理学療法*, 4, 255-264 (1987)
- 12) 田原靖昭, 西澤 昭, 綱分憲明, 萩原博嗣, 小倉理一; 水中トレッドミル (flowmill) 歩行時のエネルギー代謝量, RMR および Mets, 九州スポーツ医・科学会, 1-5 (1990)
- 13) Vickery, S. R., Cureton, K., Langstaff, J. L.; Heart rate and energy expenditure during aqua dynamics, *Phys. Sportsmed.*, 11 (3), 67-70 (1983)
- 14) Whitley, J. D., Schoene, L. L.; Comparison of heart rate responses to water walking versus treadmill walking, *Physical Therapy*, 67, 1501-1504 (1987)