

中等度強度，長時間の水中歩行中のホルモンおよび代謝応答：陸上歩行との比較

右田，孝志
Institute of Health and Physical Education, Kurume University

堀田，昇
Institute of Health Science, Kyushu University

大柿，哲朗
Institute of Health Science, Kyushu University

金谷，庄藏
Institute of Health Science, Kyushu University

他

<https://doi.org/10.15017/644>

出版情報：健康科学. 18, pp.51-56, 1996-03-31. Institute of Health Science, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

中等度強度，長時間の水中歩行中のホルモンおよび代謝応答 ——陸上歩行との比較——

右 田 孝 志 堀 田 昇* 大 柿 哲 朗*
金 谷 庄 藏* 藤 島 和 孝* 吉 水 浩
増 田 卓 二

Hormonal and metabolic responses to moderate prolonged water walking
—— comparative study to land walking ——

Takashi MIGITA, Noboru HOTTA*, Tetsuro OGAKI*, Shozo KANAYA*,
Kazutaka FUJISHIMA*, Yutaka YOSHIMIZU, and Takuji MASUDA

Summary

This study compared the hormonal and metabolic responses to moderate prolonged walking both in water and on land. Eight healthy males (18-20 years) volunteered to be subjects. They walked for 60 min at 50% of their maximal aerobic power in water and on land. The water walking was performed with a water depth at the xiphoid level and a water temperature of 30°C.

Measurements of the plasma growth hormone, cortisol, insulin and glucagon concentrations during water walking and recovery were found to be similar to those of land walking and recovery. In addition, the plasma free fatty acids and glycerol responses did not differ between water and land walking either during exercise or recovery. The plasma glucose concentrations decreased during water walking and were lower than those of land walking.

These results indicate that when the subjects exercised at a thermoneutral temperature and moderate intensity, no differences in the responses of growth hormone, cortisol, insulin, glucagon, free fatty acids or glycerol concentrations were observed between water walking and land walking.
Key words : water walking, land walking, hormonal responses, prolong, moderate intensity.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 18 : 51-56, 1996)

緒 言

水中歩行は下肢への物理的な負荷の軽減効果のため、歩行の機能訓練の手段として用いられてきた²¹⁾²⁸⁾。また、水の粘性抵抗を負荷として、心肺系の体力の維持増進のための運動手段としても有用であることが報告され

ている²⁾⁶⁾³⁰⁾。そして、これまで酸素摂取量や心拍数といった呼吸循環系のパラメータに関しては多くの報告が行われてきている⁵⁾¹²⁾¹⁵⁾²⁰⁾²³⁾²⁷⁾²⁹⁾。著者ら¹⁹⁾は、先に交感神経系活性の指標としての血漿ノルアドレナリン濃度が、同一強度の陸上歩行と比べ、水中歩行の方が軽度であることを報告した。血漿カテコラミンは他のホ

Institute of Health and Physical Education, Kurume University, Kurume 830, Japan.

* Institute of Health Science, Kyushu University 11, Kasuga 816, Japan.

ルモンや代謝基質に影響を及ぼすことが明らかにされているが¹³⁾¹⁴⁾, 水中歩行中の血中ホルモンや代謝基質の動態に関する研究はほとんどみられない。

そこで、水中歩行の生理的特性を明らかにするため、中等度の同一強度での長時間の水中歩行と陸上歩行に対するホルモンおよび代謝基質の応答を比較検討した。

実験方法

1. 被験者

被験者は、大学の準硬式野球部に所属する18-20歳の男子学生8名であった。彼らは、実験内容に関しての詳細な説明を受け、実験への参加を承諾した。彼らの身長および体重の平均±標準偏差はそれぞれ、168.2±3.7cm および60.8±4.6kgであった。栄研式キャリパーを用いて皮下脂肪厚を測定し、それらの値より算出した体脂肪率は13.6±2.2%であった。また、トレッドミル走より求めた最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) は、3,162±274ml/min (52.7±4.7ml/kg·min) であった。

2. 実験手順

被験者は実験室に到着して1時間の安静を保った。その後、心電図モニター用の電極および採血のための翼状針を装着して、椅座位で少なくとも20分間の安静をとった後、呼気ガスの採集、心電図の記録および採血を行った。引続き陸上および水中での5分間の立位安静の後、50% $\dot{V}O_2\max$ 強度に相当する歩行速度で、1時間の陸上歩行または水中歩行を実施した。被験者の半数は陸上歩行を先に行い、残りの半数は水中歩行を最初に実施した。尚、各試行間には3日の間隔をおいた。

実験は9:00から15:00まで行われ、同一被験者は同一時刻に実施した。また、午前中の被験者は前日の22:00以降絶食で、午後からの被験者は軽い朝食をとって実施した。

水中歩行は、回流水槽内にトレッドミルを備えて、水流の速度と歩行速度の双方をコントロールできる水中運動負荷装置(フローミル, FM-1200D; ジャパンアクアテック社製)を用いた。水位は各被験者の剣状突起位に統一し、水温は30.0±0.04°Cであった。また、室温および相対湿度は25.0±0.1°Cおよび56.0±0.4%であった。陸上歩行は、斜度8%のトレッドミル上で実施した。トレッドミル歩行時の室温および相対湿度は、それぞれ26.0±0.1°Cおよび70.0±0.8%であった。

最大運動および歩行実験の前日には、定期的なトレ

ーニング中の激しい運動を避け、さらに食事内容も出来るだけ同一内容とするように依頼した。

3. 測定項目

1時間の歩行中、心拍数、呼気ガス量と濃度および直腸温を連続して測定した。心拍数はテレメトリー法(ST-19, DS-501; フクダ電子社製)で測定し、呼気ガスの分析は自動呼気ガス分析器(AE10; ミナト医科学社製)を用い、 $\dot{V}O_2$ を測定し、それぞれ30秒間毎に1分間値で求めた。直腸温は多目的携帯用情報記録装置(VMM-67; VINE社製)を用い、1分毎に記録した。

歩行開始後30分目、60分目および終了後30分目、60分目に肘静脈から採血を行った。採血した血液は前処理された採血管に移され、冷却遠心分離され、分析まで凍結保存された。分析はコルチゾール(蛍光偏光免疫測定法)、成長ホルモンおよびインスリン(放射性免疫ビーズ固相法)、グルカゴン(放射性免疫2抗体法)、グリセロール(紫外部吸光度分析法)および遊離脂肪酸(酵素法)について行った。また、血中のグルコース濃度が歩行開始から終了までの10分毎に採血された血液を用いて分析された(酵素電極法)。

結果はすべて平均±標準偏差で示した。陸上および水中歩行の試行間の差の検定には対応のあるステューデントのt検定を用い、同一試行の時間経過に伴う差の検定はRepeated Measures Analysis of Varianceで有意なF値が得られた後、Post hocの多重比較検定を行った。

実験結果

水中歩行の $\dot{V}O_2$ は、歩行速度と水流の調節のために10分目までは漸増したが、20分目以降は定常状態を示し、20~60分間の平均値は1,473±31ml/minで、46.8±0.9% $\dot{V}O_2\max$ に相当した。陸上歩行(10~60分間の平均値)の $\dot{V}O_2$ は1,523±7 ml/minで、48.8±0.4% $\dot{V}O_2\max$ に相当し、両歩行時の $\dot{V}O_2$ に有意な差は認められなかった。両歩行中の直腸温は時間経過とともに漸増した。しかし、陸上歩行に比べ水中歩行の直腸温の安静時からの上昇は小さかった(p<0.05)。

技術的な困難性のために、歩行中の採血は必ずしも全員から得られなかった。したがって、その場合には、図中にサンプル数を明記した。

成長ホルモン濃度は水中および陸上の歩行前値に差はなかった(Fig. 1)。水中歩行中の成長ホルモンは、30分目および60分目に前値と比べ有意な上昇(p<0.05)を示したが、終了後30分目には回復した。同様に、陸

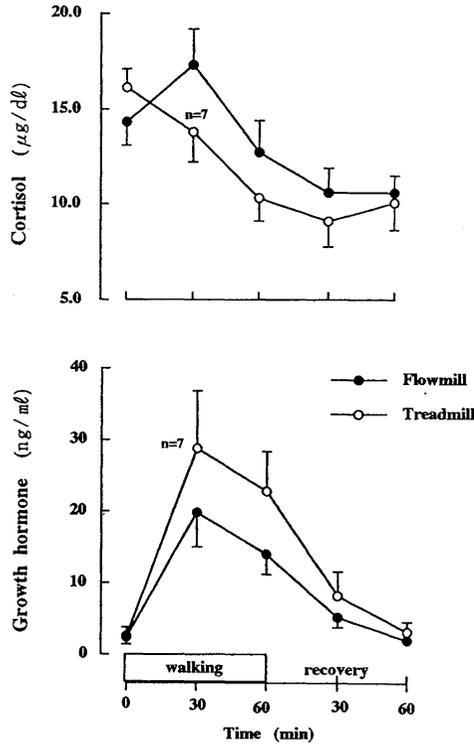


Fig. 1 Plasma growth hormone and cortisol concentrations at rest, during walking and recovery (mean \pm SE).

上歩行中も30分目および60分目に上昇し ($p < 0.05 - p < 0.01$), 終了後に回復した。しかし, 水中歩行と陸上歩行との間に差は認められなかった。コルチゾール濃度は, 陸上歩行中に減少し (60分目, $p < 0.01$), 終了後も安静値より低値を示した ($p < 0.01$, Fig. 1)。水中歩行のコルチゾールも陸上歩行と同様な傾向がみられたが, 安静と比べ有意な変化ではなかった。両歩行中のコルチゾールには差は認められなかった。

水中および陸上歩行のインスリン濃度の変化は類似していた (Fig. 2)。すなわち, 歩行の30分目, 60分目に減少し ($p < 0.05 - p < 0.01$), 終了後に回復傾向にあった。しかし, いずれの時点でも両条件の間に差はみられなかった。グルカゴンは歩行30分目および終了後30分目に水中歩行より陸上歩行の方が高かった ($p < 0.05 - p < 0.01$, Fig. 2)。しかし, 安静時の陸上歩行の値も, 有意ではないが水中歩行より高い傾向にあった。両歩行中および終了後のグルカゴンの変化は, 安静値と差がなかった。

水中歩行の血清遊離脂肪酸は, 歩行の30分目, 60分目に漸増し ($p < 0.05 - p < 0.01$), 終了後に減少した

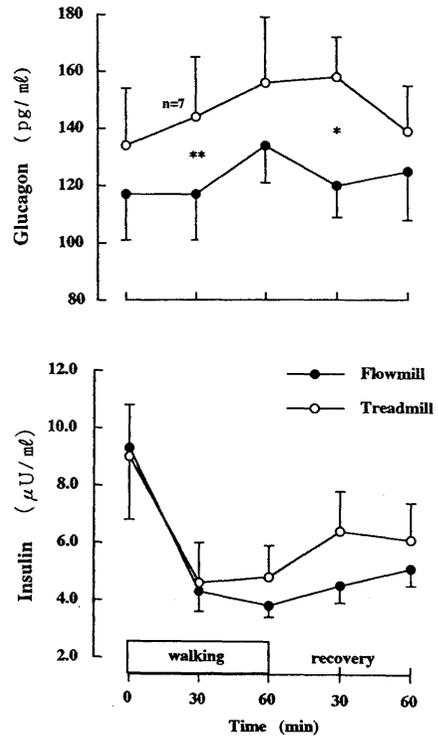


Fig. 2 Plasma insulin and glucagon concentrations at rest, during walking and recovery (mean \pm SE).

*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, Flowmill vs Treadmill.

(Fig. 3)。陸上歩行の血清遊離脂肪酸も同様な変化を示した。しかし, 両条件間に差は認められなかった。グリセロール濃度も両歩行中に漸増し ($p < 0.01$), 終了後に前値まで回復した。しかし, 両条件のグリセロール濃度に差はみられなかった。

水中および陸上歩行前のグルコースは, それぞれ 86.8 ± 11.3 , および $88.6 \pm 7.0 \text{ mg/dl}$ と差がなかった (Fig. 4)。また, 10分目の両歩行の値も差が認められなかった。しかし, 20分目の水中歩行のグルコースは安静値から有意な減少を示し ($P < 0.05$), さらに陸上歩行よりも低かった ($P < 0.01$)。そして終了までの水中歩行のグルコースは陸上歩行よりも低い値で推移した ($P < 0.01$)。

考 察

水中環境下では, 水中静水圧のために, 上方への血液の移動, 静脈環流量の増加が生じることが報告されている¹⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁷⁾。それは, 陸上と比べ低圧系および高圧系の baroreceptor の刺激, さらに交感神経の刺激が軽減することを示唆する⁹⁾²⁶⁾。事実, 本研究における

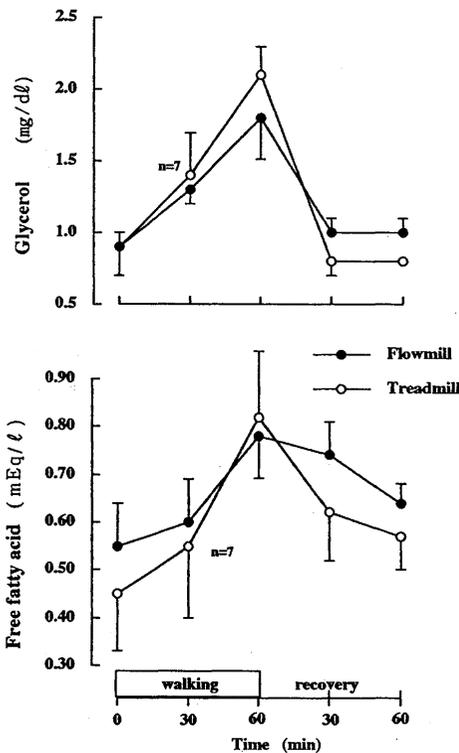


Fig. 3 Plasma free fatty acid and glycerol concentrations at rest, during walking and recovery (mean \pm SE).

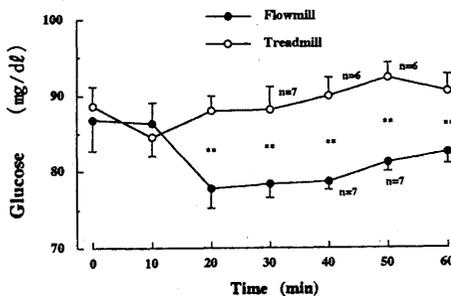


Fig. 4 Plasma glucose concentration at rest and during walking (mean \pm SE).

** : $P < 0.01$, Flowmill vs Treadmill.

心エコーの結果¹⁸⁾は、入水による静水圧の作用で静脈環流量が増加し、心房および心室の径が拡大していることを示している。また、水中歩行では水の高い熱伝導率のため水温が体温に及ぼす影響も重要となる。そして、異なる水温下での水泳の研究によれば、体温の変化に依存したホルモンの応答が報告されている¹⁴⁾²²⁾。一方、本研究の陸上歩行は室温25°Cで実施された。その

結果、水中歩行および陸上歩行とも体温の漸増が認められたが、水中歩行中の体温は陸上歩行に比べ、その上昇が小さかった。したがって、本研究の水中歩行は酸素摂取量からみた運動強度が陸上歩行と同程度であるものの、入水に伴う上方への血液のシフトおよび静脈環流量の増加が認められ、体温の上昇が陸上に比べて軽度である運動と特徴づけられる。また、著者ら¹⁹⁾は血漿ノルアドレナリンも陸上歩行に比べ水中歩行の方が軽度であることを報告した。そのカテコラミンが他のホルモンの分泌動態に影響を及ぼすことも報告されている¹³⁾¹⁶⁾。

これまでの水中歩行の研究¹²⁾²⁰⁾³⁰⁾は、酸素摂取量、心拍数あるいは体温に関して行われ、ホルモンの動態に言及した報告はみられない。しかし、水中環境下の運動としての長時間の水泳運動に関しては僅かな報告があるが¹⁴⁾²²⁾、本研究の主たる目的は、水中歩行中のホルモンや血中基質の動態が、同一強度の陸上歩行と比べ異なるかどうかを検討することであった。しかしながら、先に報告したようにノルアドレナリンには差異が認められたにも関わらず、それらの影響は水中歩行中の成長ホルモン、コルチゾールおよびインスリンの応答に差を見いだすほどではないことが示された。一方、グルカゴンは、両歩行の安静時に有意ではないが差が認められた。しかし、各歩行とも安静時から変化が認められないので、運動30分目および回復30分目の両歩行間の差は、安静時の差に起因していると思われる。

血中基質のうち、遊離脂肪酸とグリセロールは両歩行中に同様に増加した。本研究の運動強度が有気的能力の50%、1時間の歩行であるので脂質代謝が高進していると思われる。しかし、両歩行間のそれらの応答にも、ホルモンと同様に差異が認められるほどではないことが示される。一方、血糖のみが水中歩行中に陸上歩行より減少した応答を示した。血糖の動員にはアドレナリン、グルカゴンあるいは成長ホルモンなどが関与する¹³⁾。しかし、本研究のそれらのホルモンには、試行間に差が認められなかった。また、インスリンにも両試行間に差を認めなかった。そして、脂質代謝の指標としての遊離脂肪酸およびグリセロールにおいても試行間に差がなかった。よって、本研究の水中歩行中のグルコースが陸上歩行よりも低かったことの原因は不明である。血糖値あるいはその変化が種々のホルモン分泌動態に影響を及ぼすことが明らかにされている²⁾¹³⁾。跡見と田畑²⁾は、血糖値が3.0~3.5mM/l (54~63mg/dl)に低下するとグルカゴンやコルチゾールが急激に上昇することを示している。また、成長

ホルモンも血糖値が3.0~3.5mM/l以下に低下し、それ自身の濃度が20ng/ml以下に低下すると上昇することを示している。今回の水中歩行中のグルコースは陸上歩行よりも低値を示したが、その濃度は78~87mg/dlであり、これらのホルモン応答に条件間の差を与えるほどではなかった。

以上のことより、thermoneutralな環境下で50% $\dot{V}O_2$ max 強度の運動が行われる場合、水中歩行と陸上歩行に対する成長ホルモン、コルチゾール、インスリンおよびグルカゴン等のホルモン動態および脂質の代謝応答に差はないものと思われる。

要 約

長時間の中等度強度での水中および陸上歩行に対するホルモンおよび血中基質の応答を比較検討した。水中歩行は thermoneutral な30°Cの水温、剣状突起位の水位で実施した。

両歩行時の酸素摂取量はおよそ50% $\dot{V}O_2$ max に相当し差は認められなかった。直腸温は両歩行中に漸増したが、安静時からの上昇は、陸上歩行に比べ水中歩行の方が小さかった。

水中歩行中の成長ホルモンは30分目に増加し、以後順次減少した。コルチゾールおよびインスリンは水中歩行中に減少し、グルカゴンは歩行中および回復期を通じてほとんど変化が認められなかった。しかし、これらのホルモン分泌の動態は、陸上歩行と差はなかった。遊離脂肪酸およびグリセロールは両歩行中に漸増し、回復期に減少した。しかし、両歩行間に差はなかった。グルコースは、水中歩行中に減少し、陸上歩行よりも低い値で推移した。

Thermoneutral な30°Cの水温下での長時間中等度強度の水中歩行は、強度および時間が同一の陸上歩行と比べ、グルコースのみは低値であったものの、成長ホルモン、コルチゾール、インスリンおよびグルカゴン等のホルモン動態および脂質の代謝に差はないものと思われる。

文 献

- 1) Arborelius, M., Jr., Balldin, U. I., Lilja, B. and Lundgren, C. G. E. : Hemodynamic changes in man during immersion with head above water. *Aerosp. Med.*, 43 : 592-598, 1972.
- 2) 跡見順子, 田畑 泉 : 血糖, 運動トレーニングとの関係でみた運動時のホルモン分泌動態。ホルモンと臨床, 32 : 521-526, 1984.

- 3) Bishop, P. A., Frazier, S., Smith, J. and Jacobs, D. : Physiologic responses to treadmill and water running. *Phys. Sportsmed.*, 17 : 87-94, 1989.
- 4) Bonde-Petersen, F., Christensen, N. J., Henriksen, O., Nielsen, B., Nielsen, C., Norsk, P., Rowell, L. B., Sadamoto, T., Sigaard, G., Skagen, K. and Suzuki, Y. : Aspects of cardiovascular adaptation to gravitational stresses. *Physiologist*, 23 : S 7-S11, 1980.
- 5) Butts, N. K., Tucker, M. and Greening, C. : Physiologic responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. *Am. J. Sports Med.*, 19 : 612-614, 1991.
- 6) Butts, N. K., Tucker, M. and Smith, R. : Maximal responses to treadmill and water running in high school female cross country runners. *Res. Q.*, 62 : 236-239, 1991.
- 7) Choukroun, M. L. and Varene, P. : Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *J. Appl. Physiol.*, 68 : 1475-1480, 1990.
- 8) Christie, J. L., Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Wann, S., Sagar, K. B., Levandoski, K. B., Ptacin, M. J., Sobocinski, K. A. and R. D. Morris : Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. *J. Appl. Physiol.*, 69 : 657-664, 1990.
- 9) Connelly, T. P., Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Levandoski, S. G., Kalkhoff, R. K., Hoffman, M. D. and Kalbfleisch, J. H. : Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 69 : 651-656, 1990.
- 10) Dixon, R. W. Jr. and Faulkner, J. A. : Cardiac outputs during maximum effort running and swimming. *J. Appl. Physiol.*, 30 : 653-656, 1971.
- 11) Echt, M., Lange, L. and Gauer, O. H. : Changes of peripheral venous tone and central transmural venous pressure during immersion. *Pflugers Arch.*, 352 : 211-217, 1974.
- 12) Evans, B. W., Cureton, K. J. and Purvis, J. W. : Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. *Res. Q.*, 49 : 442-449, 1978.

- 13) Galbo, H. : Hormonal and metabolic adaptation to exercise. George Thieme Verlag, Struttgart, 1983.
- 14) Galbo, H., Houston, M. E., Christensen, N. J., Nielsen, H. B., Nygaard, E. and Suzuki, J. : The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming. *Acta Physiol. Scand.*, 105 : 326-337, 1979.
- 15) Green, J. H., Cable, N. T. and Elms, N. : Heart rate and oxygen consumption during walking on land and in deep water. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 30 : 49-52, 1990.
- 16) Kjaer, M. : Epinephrine and some other hormonal responses to exercise in man : with special reference to physical training. *Int. J. Sports Med.*, 10 : 2-15, 1989.
- 17) Lange, L., Lange, S., Echt., and Gauer, O. H. : Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. *Pflugers Arch.*, 353 : 219-226, 1974.
- 18) 真崎玲子, 金谷庄藏, 守田俊一, 右田孝志, 堀田昇, 大柿哲朗, 藤島和孝, 丸山徹, 加治良一, 藤野武彦 : 健康成人における温水プール入水時の血行動態に及ぼす影響—心エコー図法による検討—. *健康科学*, 17 : 109-114, 1995.
- 19) 右田孝志, 堀田昇, 大柿哲朗, 金谷庄藏, 藤島和孝, 増田卓二 : 長時間の水中および陸上歩行時の生体反応の比較. *体育学研究*, 40(掲載予定), 1996.
- 20) 右田孝志・村岡康博・堀田昇・大柿哲朗・金谷庄藏・藤島和孝・増田卓二 : 水中および陸上歩行時の呼吸循環器系の応答. *久留米大学保健体育センター研究紀要*, 2 : 25-30, 1994.
- 21) 中家一寿, 萩原博嗣, 岸川陽一, 堤義明 : 大腿骨頸部内側骨折の骨接合術例に対するプール治療の経験. *整形外科と災害外科*, 42 : 1426-1428, 1993.
- 22) 大柿哲朗, 堀田昇, 金谷庄藏, 藤島和孝, 清水富弘, 生野知基 : 3種類の水温度での低強度長時間水泳に対するホルモンおよび代謝応答. *体育学研究*, 40 : 80-88, 1995.
- 23) Ritchie, S. E. and Hopkins, W. G. : The intensity of exercise in deep-water running. *Int. J. Sports Med.*, 12 : 27-29, 1991.
- 24) Rowell L. B. : Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.*, 54 : 75-159, 1974.
- 25) Rowell, L. B., Marx, H. J., Bruce, R. A., Conn, R. D. and Kusumi, F. : Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *J. Clin. Invest.*, 45 : 1801-1816, 1966.
- 26) Sheldahl, L. M., Wann, L. S., Clifford, P. S., Tristani, F. E., Wolf, L. G. and J. H. Kalbfleisch : Effect of central hypervolemia on cardiac performance during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 57 : 1662-1667, 1984.
- 27) Svedenhag, J. and Seger, J. : Running on land and in water : comparative exercise physiology. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24 : 1155-1160, 1992.
- 28) 徳久銀一郎, 前川正幸, 井原秀俊, 加茂洋志, 吉村理, 西野興史, 高柳清美, 中山彰一 : RA患者のリハビリテーションにおける新しいプール治療装置“FLOW WATER TRAINING SYSTEM”の使用経験. *九州リウマチ*, 9., 1990.
- 29) Town, G. P. and Bradley, S. S. : Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23 : 238-241, 1991.
- 30) Whitley, J. D. and Schoene, L. L. : Comparison of heart rate responses : water vs treadmill walking. *Physical Therapy*, 67 : 1501-1504, 1987.