

水中トレッドミルを用いた水中歩行・走行の生理学的応答

加藤 尊* 大西祥平** 北川 薫***

Physiological responses during underwater walking and running using underwater treadmill

Takeru KATO, Shohei ONISHI, and Kaoru KITAGAWA

Abstract

The aim of this study was to clarify the physiological characteristics of the underwater treadmill at varied treadmill speeds to compare to the land treadmill with the focus especially on the middle-aged people. Seven healthy middle-aged volunteers and ten regularly trained athletes participated in this study as the subjects. The treadmill speeds were set at six speeds ranging from 2 km · h⁻¹ to 12 km · h⁻¹. The water depth was around waist-high and water temperature was kept around 29°C throughout the experiments. $\dot{V}O_2$ did not significantly differ between the underwater treadmill trails to the land trails for middle-aged volunteers while regularly trained athletes showed significantly greater $\dot{V}O_2$ in water (4, 6, 8, 10 and 12 km · h⁻¹). In water, middle-aged volunteers showed $\dot{V}O_2$ at their highest treadmill speed was about 93% of the land $\dot{V}O_{2max}$ and regularly trained athletes' $\dot{V}O_2$ was about 86% of the land $\dot{V}O_{2max}$. Underwater running using the underwater treadmill thus promises to be one of the new types of fitness or training program for both middle-aged people and regularly trained athletes. In water, the relationship between HR and % $\dot{V}O_{2max}$ showed no significant difference from the land treadmill trails both in middle-aged volunteers and regularly trained athletes. Therefore, at waist-high immersion, the effects of hydrostatic force of water may be negligible so the relationship between HR and $\dot{V}O_2$ of the land locomotion may be applied to underwater locomotion.

I. 緒 言

水中では浮力の働きで負荷としての体重が軽減される。そのため関節に障害を持つ者やオーバーウエイトの者、そして中高年齢者などにとっては、各関節への負荷が陸上より少なく運動を行なえるという利点がある。特に水中歩行は他の水中運動と比べ動きに慣れやすいこともあり、近年非常に人気のある運動プログラムの

一つとなっている。

そうした流れの中で、ここ数年間に水中トレッドミルや流水装置のような新しい水中歩行装置が開発され、スポーツクラブやリハビリテーション施設などへ普及しつつある。これらの装置の特徴として、トレッドミルスピードや流速を正確にそして多段階に設定することがあげられる。その他にも、大きな室内温水プールなどよりもランニングコストが低いこと、必要

*院生, **慶応大学スポーツ医学研究センター, ***教授

な施設が比較的小規模で済むこと、現在あるプールにそのまま利用できるなどの利点もあり、今後さらに普及するものと考えられる。

水中トレッドミルは動力部分等へ防水加工が施され、陸上トレッドミルと同様に水中においても限られたスペースで正確な歩行または走行スピードを多段階に設定できる水中歩行・走行装置である。水の抵抗を身体全面に受けながら移動するスイミングプールでの水中歩行とは異なり、水中トレッドミルを用いた水中歩行や走行は一定の場所で運動が行われる。そのためプール歩行と水中トレッドミル歩行では、水と身体との相対速度が異なるため水の抵抗の大きさも異なると考えられる。したがって水中トレッドミルを用いた水中歩行や走行では、スイミングプールでの水中歩行とは異なる生理学的、また運動学的な特徴を持つと考えられる。

水中トレッドミルを用いた水中歩行の研究は、水中運動プログラムの基礎的データを得ることを主たる目的とした術後低体力者¹⁾、健康な中高年齢者^{2)、3)}、そして健康な成人(27.5±1.8歳)⁴⁾の酸素摂取量や心拍数など生理学的指標についての研究が進められている。しかしながら我々が知る限り、水中トレッドミルの特徴でもある水中走行についての研究は健康な成人を対象とした一例があるだけで⁴⁾、健康の維持や増進に大きな関心が向けられている中年齢者や、高い運動強度でのトレーニングを目指す競技者についての研究が十分に進んでいるとは言えない。そこで本研究では、中年齢者ならびに競技者を対象として、水中トレッドミルを用いた水中歩行から水中走行までの幅広い水中運動プログラムの基礎的な資料を得ることを目的として、陸上でのトレッドミル歩行や走行との比較検討を行った。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は表1に示したように、普段トレーニングを行っていない中年齢者7名と(以下、中年齢者)、大学体育会水泳部に所属し規則的に

練習を行っている鍛錬者10名であった(以下、競技者)。

スイミングプールの一般的な水深である120cmの室内温水プールへ水中トレッドミルを設置したため、水位は約100cmであった。なお、この水位は被検者の腸骨稜高にあたり、各被検者がそれぞれ実験を行った際の水中での体重は表1に示したが、陸上での体重のおおよそ半分であった。被検者には事前に研究の主旨、内容が説明されており、研究への参加は自発的な同意を得て行なわれた。また被検者には本測定の前に陸上および水中トレッドミルで十分な歩・走行練習を行わせており、歩・走行には習熟していたものと判断された。

B. 実験機器とプロトコール

陸上では通常埋め込み型トレッドミル(NT-12, A type、西川鉄鋼)を、水中では水中トレッドミル(Underwater Treadmill Model 970, Aquaciser)を用いた。この水中トレッドミルは、陸上、水中共に最高速度を時速12km(200m・min⁻¹)まで多段階に設定することができるトレッドミルである。なお水温は、実験を通して29℃に保った。まず $\dot{V}O_{2max}$ を歩・走行実験の前に、漸増負荷法により陸上トレッドミルを用いて測定した。 $\dot{V}O_{2max}$ 測定は最初の角度を3%に設定し、トレッドミルスピードを80m・min⁻¹から始め2分ごとに20m・min⁻¹スピードを漸増した。そして200m・min⁻¹のスピードになって3分目から1分ごとに角度を3%上昇させた。呼気中の酸素と二酸化炭素濃度そして換気量は、呼気ガス自動分析器(Sensor Medics、MMC 9600)を用いプレス・バイ・プレスで測定した。心拍数は、テレメータ式心拍測定器(Heart Rate Transmitter ST-19、フクダ電子 & Dynascope DB-502、フクダ電子)を用いて測定した。

$\dot{V}O_{2max}$ 測定の後日、陸上と水中の両方で歩・走行実験を行った。実験のプロトコールは、両実験共に最初に5分間立位にて安静状態をとらせ、安静時の心拍数と酸素摂取量を測定した。トレッドミルのスピードは全被検者共通で

2km・h⁻¹ (33.3 m・min⁻¹) を最初のスピードとした。その後4, 6, 8, 10, 12km・h⁻¹ と2 km・h⁻¹刻みにスピードを上げ12km・h⁻¹を最大スピードとした。なお各スピードでの運動時間は3分間であった。それぞれのスピードでの歩行または走行の選択は、被検者各自の判断に任せた。

C. データ分析

水中歩行・走行の運動強度の生理学的指標として測定した酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と心拍数 (HR) は、それぞれのスピードでの定常状態にある最後の30秒間を分析し1分間値に換算し求めた。次に、陸上と水中での $\dot{V}O_2$ とHRの関係を、中年齢者群と競技者群でそれぞれ別々に分析し比較を行った。種々の群間における陸上と水中での有意差の有無は、繰り返しのある二元配置の分散分析を行い、有意差のあった場合には多重比較を行った。なお有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

A. $\dot{V}O_2$

表1に示したように、中年齢者では体重あたりの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) が平均で40.5ml・kg⁻¹・min⁻¹、競技者では同様に体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ が平均で60.5ml・kg⁻¹・min⁻¹であった。中年齢者の $\dot{V}O_{2max}$ は35歳から39歳までの基準値と比較した体力評価区分において、“Average” (34.6~42.5ml・kg⁻¹・min⁻¹) に、また競技者の $\dot{V}O_{2max}$ は同様に19歳の基準値と比較

し“Very Good” (52.0~64.9ml・kg⁻¹・min⁻¹) のカテゴリーにそれぞれ区分された⁵⁾。なお中年齢者は競技者より、平均で16.5歳高齢であった。

図1と2に、トレッドミルスピードと $\dot{V}O_2$ との関係について水中と陸上での平均値とSDを示した。図1に示したように、中年齢者の $\dot{V}O_2$ は、水中と陸上間で主効果に有意差はなかった。この時の水中最高スピード12km・h⁻¹では、7人中4人が3分間の運動を完遂することができなかった。したがって図1の中年齢者では、

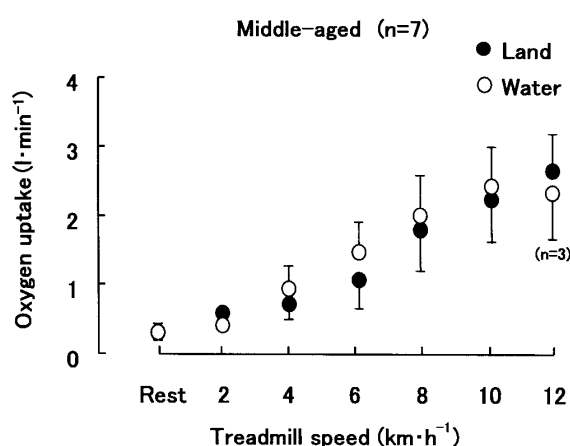


Figure 1 Comparison of the treadmill speed and mean oxygen uptake between land treadmill (Land) and underwater treadmill (Water). Error bars show SD. In water, 12km・h⁻¹ trials were excluded from the significant test, since only three subjects completed this speed.

Table 1 Physical and physiological characteristics of the subjects.

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Underwater body mass (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
Middle-aged (n = 7)	35.9 ± 9.0	165.1 ± 9.8	62.1 ± 13.7	30.4 ± 11.0	40.5 ± 0.6
Athletes (n = 10)	19.4 ± 1.3	173.7 ± 5.6	62.8 ± 6.8	31.4 ± 2.9	60.5 ± 0.4

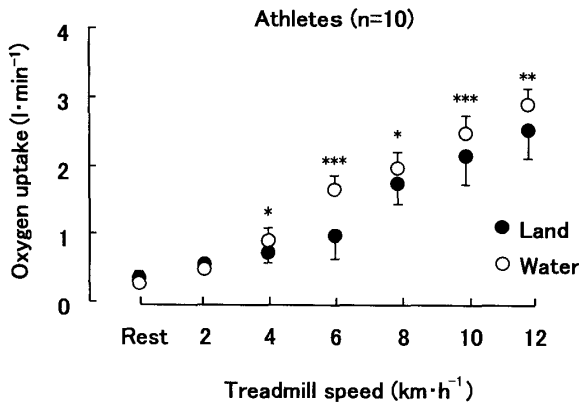


Figure 2 Comparison of the treadmill speed and mean oxygen uptake between land treadmill (Land) and underwater treadmill (Water). * $p < 0.05$, $p < 0.01$ **, $p < 0.001$ ***

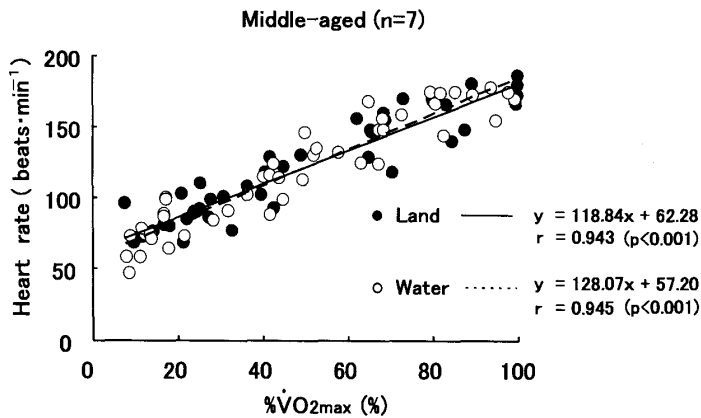


Figure 3 The relation between $\% \dot{V}O_{2max}$ and Heart rate to compare land treadmill (Land) and underwater treadmill (Water).

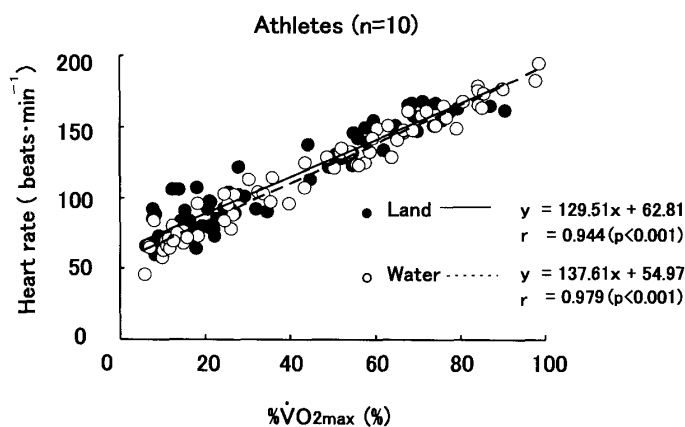


Figure 4 The relation between $\% \dot{V}O_{2max}$ and Heart rate to compare land treadmill (Land) and underwater treadmill (Water).

12km·h⁻¹のスピードを有意差検定から除いた。一方、図2に示した競技者では2 km·h⁻¹を除く4、6、8、10、12km·h⁻¹のスピードで、水中では陸上よりも有意に大きな $\dot{V}O_2$ を示した。

全ての被検者において2、4 km·h⁻¹のスピードでは歩行、8、10、12km·h⁻¹のスピードでは走行であった(ただし中年齢者の4名は水中で12km·h⁻¹での走行はできなかった)。しかしながら、6 km·h⁻¹のスピードでは歩行と走行が入り混じっていた。水中では陸上より遅いスピードから走行に移る者が多く、その他の者は同じスピードで走行に移っていた。

B. $\dot{V}O_2$ と HR の関係

陸上と水中での酸素摂取水準(以下、 $\% \dot{V}O_{2max}$)とHRの関係を、図3に中年齢者を、図4に競技者を示した。陸上と水中の差について、回帰直線の傾きとY切片の有意差の検定⁶⁾を行った結果、両群共に有意な差はなかった。

IV. 考 察

各関節に加わる負荷の大きさは、水位の高低に伴って増減する浮力に影響される。水位を1 mとした時の水中歩行中の床反力ピーク値は、陸上歩行のおおよそ半分であったとのことである⁷⁾。また、水中トレッドミルにて水位を陸上体重の3/8に設定したとき、陸上歩行時と比べおおよそ半分の床反力ピーク値を得たとの報告もある⁸⁾。このように水中歩行中の床反力が半減したにも関わらず、本研究では中年齢者の水中歩行の $\dot{V}O_2$ が陸上歩行と同程度の値を示したということは、水の抵抗に逆らって行う水中歩行が、陸上歩行と一見同様な動作ではあるが、異なる性質を持った運動であったという可能性⁹⁾が考えられる。伊藤ら¹⁰⁾

は粘性特性を負荷として利用した時の筋運動様式を、等張性収縮と等速性収縮の中間型と位置付け、その力学的特性の比較検討をしている。そして粘性特性を負荷として利用した運動では、等張性や等速性収縮のような急激な力変化がなく、運動全域にわたって滑らかな動作が可能であるという報告をしている。水中歩行や走行は水の粘性特性を利用した運動であり、陸上とは運動様式が異なると考えられる。

水中トレッドミル歩行はその場での歩行運動である。そのためスイミングプールでの水中歩行とは異なり、場所を移動することによって起こる体幹部や下腹部に対しての水の圧力抵抗は、一定の場所で運動している限り加わらない。これは水中トレッドミル歩行や走行の一つの特徴であり、 $\dot{V}O_2$ と歩行スピードとの関係がスイミングプールでの水中歩行とは大きく異なる原因であると考えられる。堀田ら²⁾は、水中トレッドミルと流水装置が一体化した装置を用いて、歩行スピードと同じ流速を加えることでプール歩行と同様の $\dot{V}O_2$ が得られたとの報告をしている。この研究報告は、水中での身体と水との相対速度が $\dot{V}O_2$ に大きな影響を及ぼすことを示している。

本研究では水中走行の最高スピードを $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ と設定したが、中年齢者の7人中4人が運動を続けることができなかった。これは水の持つ粘性の特質から、移動速度の2乗に比例して抵抗値が増大するため、普段運動を行っていない中年齢者にとって $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ での水中走行は過剰の負荷であったと考えられる。

しかし $8、10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ では全ての中年齢者は水中走行を完遂しており、最も遅い水中走行の $\dot{V}O_2$ は最も速い水中歩行と比べ約48%高い値を示した。そして中年齢者が走行可能であったそれぞれの水中走行最高スピード ($10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}=4$ 人、 $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}=3$ 人) での $\dot{V}O_2$ は、陸上で測定した $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の約93%にあたる非常に高い値であった。このことはオーバーウエイトの者や、関節に問題を持つ者また中高年齢者といった陸上での高強度のトレーニングが難しい者にとって、新たなトレーニング方法の可能性を示唆す

るものと考えられる。

次に、競技者の水中走行の $\dot{V}O_2$ は、 $4、6、8、10、12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ の全てのスピードで、陸上より水中で有意に高い値を示した。特に $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ では、陸上 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の約86%にあたる非常に高い値を示した。我々が知る限り、水中トレッドミルを用いた一般人と競技者とを比較した研究はないが、Gehringら¹¹⁾は、一般ジョギング愛好家と競技長距離ランナーの $\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ の比較を、好みのペースでの陸上トレッドミルとプールでの水中ランニングの両方で行っている。それによると一般人の好みのペースでの $\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ は、競技者に比べ水中で陸上より有意に低かった。一方で身体的に高い能力を持つ競技者は、運動に対しても高い意識を持っており、運動強度においても一般人と比べ水中で有意に高い値を得ていたと述べている¹¹⁾。

本研究も同様に、高い身体能力と運動に対する高い意識を持つ競技者は陸上・水中共にトレッドミルスピードの上限值も高く、今回設定したスピードでは中年齢者とは異なり水中で有意に高い $\dot{V}O_2$ を示したのと考えられる。本研究と同様に Gleimら⁴⁾は水中トレッドミルを用い、若い健康な成人11名に $2.4\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ から $9.7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ までの10段階のスピードで歩行及び走行を行わせている。水位が腰レベルの時、トレッドミルスピード 3.2 から $7.2\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ までの $\dot{V}O_2$ は、水中で陸上より有意に高いとのことである。しかしそれより速いスピードの $8.0、8.9、9.7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ では水中と陸上との間に有意差はなく、トレッドミルスピード- $\dot{V}O_2$ 関係は本研究の中年齢者データと似た傾向を示している。これらの結果を踏まえ、水中トレッドミルを用いた運動処方を行う際、陸上トレッドミルでのトレッドミルスピード- $\dot{V}O_2$ 関係とは特徴が大きく異なることを考慮に入れ、体力レベルや年齢に対して十分に配慮したトレッドミルスピードの設定をする必要がある。

新しい水中トレーニングで競技者用に、また高強度トレーニング方法の一つとして研究されてきた運動に Deep Water Running (以下、DWR) がある^{11), 12), 13), 14), 15)}。この運動ではフ

ローティングベストなど浮力のある物を着用し、プールの底に足が付かない状態で走動作を真似た動きを行う。DWRの最大努力での $\dot{V}O_2$ は、陸上トレッドミルを用いて測定した $\dot{V}O_{2max}$ に対して約74%^{14), 15)}であった。

DWRは、水中に浮いた状態で行うためにバランスを取るのが難しいという欠点がある。したがってある程度の慣れと技術とが必要となり、そのために個人差や技術差が出るという報告がなされている¹⁶⁾。一方、水中トレッドミルを用いて行う水中走行は、DWRと比べ陸上での走行に近い動作が可能である。また、足が床に接することから被検者はDWRほどの不安定感はない。そのため、水中トレッドミルを用いた水中走行は運動習慣のない中年齢者にも、高い運動能力を持つ競技者にも、新しいトレーニング方法の一つとしての可能性があるのではないかと考えられる。

水中では静水圧が身体末梢部に加わることで静脈還流を促し、中心血流量を増大させ¹⁷⁾、安静時や運動時の一回拍出量を増大させる。その結果、安静時の心拍数の減少¹⁷⁾や運動中の心拍数減少^{14), 17), 18)}という現象を引き起こす。したがって、 $\dot{V}O_2$ とHRの関係は陸上と水中では運動中に異なる^{14), 15), 17), 18)}と報告されている。

しかしながら本研究の結果からは、 $\dot{V}O_2$ とHRの関係に中年齢者・競技者共に水中と陸上で有意差がなかった。その理由の一つとして、陸上トレッドミルでの運動と水中トレッドミルでの運動との運動様式の違いがあるのではないかと考えられる。例えば腕クランキング運動¹⁹⁾では、同じ $\dot{V}O_2$ 時のHRは陸上運動よりも水中で有意に減少している。主動筋となる筋の形態的、機能的な特性が筋の血流分布の相違に影響していると考えられることから²⁰⁾、陸上トレッドミルでの歩行や走行と水中トレッドミルでの歩行や走行に動員された筋の種類、筋量の違いなどが、筋ポンプ作用に大きな影響を与えていたのではないかと考えられる。

その他の要因としては、水中歩行や走行中の水位の違いがあるのではないかと考えられる。 $\dot{V}O_2$ とHRの関係が、陸上と水中で運動中に異なる

とした先行研究では、水中運動中の水位は首レベル^{14), 15), 17)}や肩レベル^{18), 21)}である。一方で腰レベルの水位で行う水中歩行においては我々と同様に、 $\dot{V}O_2$ とHRの関係に水中と陸上で違いが見られないという結果が示されている^{22), 23)}。また $\dot{V}O_2$ とHRの関係からみた酸素脈は、陸上トレッドミル走と1.3mの水位での水中ランニングの間に有意な差がなかった²⁴⁾。

以上より、腰レベルの水位であれば水中歩行・走行運動であっても、陸上での $\dot{V}O_2$ とHRの関係をそのまま使用することができることになる。しかも、図3と4に示したように $\dot{V}O_{2max}$ に大きな違いのある者であっても同様の傾向がみられたことから、この関係は極めて普遍性が高いものと考えられる。

V ま と め

本研究では、中年齢者ならびに競技者を対象に水中トレッドミルを用いた水中歩行・走行の運動プログラムの基礎的資料を得ることを目的とし、陸上トレッドミル歩行や走行との比較検討を行った。以下にその結果をまとめる。

- 1) 中年齢者と競技者の水中・陸上トレッドミルで行った6スピードで $\dot{V}O_2$ を得た。水中歩行・走行を通して中年齢者は陸上と水中の $\dot{V}O_2$ に有意差はなく、競技者では水中で有意に高い値を示した(4, 6, 8, 10, 12km \cdot h⁻¹)。
- 2) 中年齢者が運動可能であったそれぞれの水中走行最高スピード(10km \cdot h⁻¹=4人、12km \cdot h⁻¹=3人)での $\dot{V}O_2$ は、陸上で測定した $\dot{V}O_{2max}$ の約93%にあたる非常に高い値であった。また、競技者の12km \cdot h⁻¹での $\dot{V}O_2$ は、陸上の $\dot{V}O_{2max}$ に対し約86%であった。新しい水中運動として研究されてきたDWRと比べても、水中トレッドミルでの水中歩行は運動習慣のない中年齢者にも、定期的にトレーニングを行い比較的高い運動能力を持つ競技者にも、新しいトレーニング法としての可能性が明らかにされたと考えられる。
- 3) 水中トレッドミルでは、陸上トレッドミルでのトレッドミルスピード- $\dot{V}O_2$ 関係とは特

徴が大きく異なる。そのため体力レベルや年齢に配慮をしてトレッドミルスピードを設定する必要がある。

- 4) 水中トレッドミルを用いた歩行または走行では腰レベルの水位であれば、陸上の $\dot{V}O_2$ とHRの関係をそのまま用いることができる可能性が示唆された。

VI 文 献

- 1) 堀田 昇・大柿哲朗・金谷庄蔵・荻原博嗣: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.
- 2) 堀田 昇・大柿哲朗・金谷庄蔵・藤島和孝:新しい水中運動装置 (Flowmill) を用いた運動療法. 体力研究 88:11-17, 1995.
- 3) 小野寺 昇・宮地元彦・木村一彦・米谷正造・中村由美子:水中トレッドミルを用いた水中歩行運動時の粘性抵抗と水位の変化がエネルギー代謝量へ与える影響. デサントスポーツ科学14: 100-104, 1993.
- 4) Gleim G.W., Nicholas, J.A.: Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures Am. J. Sports Med. 17: 248-252,1989.
- 5) 小林 寛道:日本人のエアロビック・パワー. 杏林書院125-156, 1982.
- 6) 市原 清志:バイオサイエンスの統計学. - 回帰係数の差の検定 -. 江南堂218-222, 1995.
- 7) Nakazawa, K., Yano, H., Miyashita, M.: Ground reaction forces during walking in water. Medicine and Science in Aquatic Sports, Mityashita M, Mutoh Y, Richardson AB (Eds) Basal, Karger, 39:28-34,1994.
- 8) Newman D.J., Alexander, H.L., Webbon, B.W.: Energetics and mechanics for partial gravity locomotion. Aviat. Space Environ. Med. 65: 815-823,1994.
- 9) 西園 秀嗣・下大迫 晃・芝山 秀太郎:水中では筋電図からみた歩行パターンはどのように変化するか? 第12回バイオメカニクス学会大会論文集94, 第12回バイオメカニクス学会, 225-229, 1994.
- 10) 伊藤晋彦・三田 勝己・赤沢 久美・渡壁 誠・添田 敏視・野中 壽子・加藤 厚生:粘性負荷に対する筋運動 (等粘性収縮) の力学的特性 - 等張性および等速性収縮との比較 -. 体力科学 46:211-220, 1997.
- 11) Gehring M. M., Keller, B.A., Brehm, B.A.: Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners. Med. Sci. Sports Exerc. 29:1374 - 1378, 1997.
- 12) DeMaere, J. M., Ruby, B.C.: Effects of deep water and treadmill running on oxygen uptake and energy expenditure in seasonally trained cross country runners. J. Sports Med. Physical Fitness 37: 175 - 181, 1997.
- 13) Dowzer, C. N. : Maximal physiological responses to deep and shallow water running. Ergonomics 42: 275-281,1999.
- 14) Ritchie S. E., Hopkins, W.G. : The intensity of exercise in deep-water running. Int. J. Sports Med. 12: 27-29,1991.
- 15) Svedenhag J., Seger, J. : Running on land and in water. Med. Sci. Sports Exerc. 24: 1155 - 1160, 1992.
- 16) Yamaji, K., Greenley, M., Northey, D.R., Hughson, R.L. : Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running. Can. J. Sports Sci. 15: 96-98, 1990.
- 17) Christie, J. L., Sheldahl, L.M., Tristani, FE., Wann, L. S., Sagar, K. B., Levandoski, S. G., Ptacin, M. J., Sobocinski, K. A., Morris, R. D. : Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. J. Appl. Physiol. 69: 657-664,1990.
- 18) Cassady, S. L., Nielsen, D. H.: Cardiorespiratory responses of healthy subjects to calisthenics performed on land versus in water. Phys. Therapy 72: 532-538, 1992.
- 19) 木村真規・鈴木政登・矢澤 誠・村岡 功:腕クランキング運動時の心拍応答に及ぼ

- す浸水の影響. 日本運動生理学雑誌 8 : 41-48, 2001.
- 20) 本間俊行・本間 幸子・加賀谷 淳子：膝伸展運動時にみられる共同筋間での酸素供給・消費バランスの相違. 体力科学 47:525-534, 1998.
- 21) Johnson, B. L., Stromme, S. B., Adamczyk, J. W., Tennoe, K. O. : Comparison of oxygen uptake and heart rate during exercises on land and in water. *Phys. Therapy* 57: 273-278, 1977.
- 22) Evans, B. W., Cureton, K. J., Purvis, J. W. : Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. *Res. Quart.* 49:442-449, 1978.
- 23) Yu, E. : Cardiorespiratory responses to walking in water. *Medicine and Science in Aquatic Sports*, M. Miyashita et al. (Eds.), S. Karger, Basel 35-41, 1994.
- 24) Town, G. P., Bradley, S.S. : Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 238-241, 1991.