

水中歩行は陸上の歩行にまさるか

—水中トレッドミルによる歩行の運動強度について—

国學院大學 仁平 律子

(共同研究者) 同 原 英喜

同 山田 佳弘

東京学芸大学 柴田 義晴

Is Walking in Water Superior to Walking on Land ?

—Exercise Intensity of Treadmill Walking in Water—

by

Ritsuko Nihei, Hideki Hara, Yoshihiro Yamada

Kokugakuin University

Yoshiharu Shibata

Tokyo Gakugei University

ABSTRACT

Intensity of exercise in water is not established, because it is difficult to measure in water. The purpose of this study was to evaluate the intensity of treadmill walking in water, and to compare it with walking on land. Subjects were three healthy adult male and females.

We measured oxygen consumption (\dot{V}_{O_2}) and heart rate (HR) in water and on a dry treadmill walking at speeds of 3.5 to 5.5 km/h with in a stepwise increments of 0.5 km/h.

Water and room temperatures were 29 ~ 30°C.

The results were as follows:

- 1) Standing in water showed a lower HR than on land, though

\dot{V}_{O_2} in water showed a higher value than that on land.

- 2) Treadmill walking in water showed higher \dot{V}_{O_2} and HR than walking on land through exercise.
- 3) The intensity of treadmill walking in water was 28 ~ 35% $\dot{V}_{O_{2max}}$ at 3.5 km/h, 35 ~ 46% $\dot{V}_{O_{2max}}$ at 4.0 km/h, 65 ~ 71% $\dot{V}_{O_{2max}}$ at 5.0 km/h, 76 ~ 85% $\dot{V}_{O_{2max}}$ at 5.5 km/h and that of walking on land was 24 ~ 29% $\dot{V}_{O_{2max}}$ at 3.5 ~ 5.5 km/h.

It was suggested that walking in water might be adequate for improvement of aerobic work capacity.

要 旨

水中運動の運動強度については、水中での測定が困難であることなどから不確実な点が多い。そこで本研究では、トレッドミルによる水中歩行の運動強度を調べ、陸上の歩行と比較することによって、その特性を明らかにすることを試みた。

その結果、水中の 5.0 km/h の歩行における運動強度は 65 ~ 71% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であり、陸上歩行では、24 ~ 29% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であった。陸上の歩行で同一の運動強度を得るためには、かなり速い (9.6 km/h) 歩行が必要である¹⁹⁾ことがわかった。また陸上歩行に比較して水中歩行では、低い心拍数で陸上と同量の酸素摂取量が得られることがわかった。

今後の運動処方プログラム作成にあたって、水中歩行を種目のバリエーションとして取り入れるための指針を得ることができた。

緒 言

近年、健康や体力への関心がますます高まり運動の日常化を目指したライフスタイルの設定が考えられるようになってきた。公共施設の運動指導やスポーツクラブ等では、健康の維持増進を目的とした運動処方が行われている。健康のためには有酸素的運動が適していることはいまでもなくその運動強度は、最大酸素摂取量の 50 ~ 80% が

有効であるという研究成果が数多くみられ、それに基づいた内容でジョギングやウォーキング等の種目が運動処方に用いられている。

一方、同じ有酸素的運動であっても水泳をはじめ水中における運動プログラムについては、水中での運動強度の測定が困難なことからその運動強度については不確実である。水中運動は陸上運動と比較すると、浮力があることにより下肢への負担を軽減する、水圧により末梢から中枢部への静脈血還流を助ける等、生体への負担を軽減しながら運動が行える。そこで、水治療やリハビリテーションなどにも多く用いられている。また、室内プールの充実により水泳はオールシーズン可能なスポーツになり、地域スポーツとしても盛んになってきた。このような状況の中、水中リズムダンスや水中歩行などを楽しむ光景がみられるようになった。しかし、それらの運動の効果や強度については、まだ不確実な点が多いように思われる。

そこで本研究では、水の特性を利用し、泳げなくとも可能な水中運動としての、水中歩行中の心電図および酸素摂取量の測定を行い、その運動強度を明らかにすることを試みた。

1. 実験方法

被検者は、水泳を週 1 ~ 3 回程度行っている成

人男女3名で、プロフィールは表1に示したとおりであった。

実験1

歩行は、室内プールに付設した水中トレッドミル（フローミル；ヤマハ FM 1200 D：よこ幅1 m、たて幅1.7 m、深さ1.28 m）を用いて行った。水温、気温は、それぞれ29～30℃、30℃であった。2分間の立位安静後、3.5 km/h から5.5 km/h まで2分ごとに0.5 km/h ずつ加速させた10分間の歩行を行った。ECGは、心電図モニタ（日本光電製：WEP-7404）を介して記録され、酸素摂取量は、呼吸代謝測定装置（センサメデクス製：MMC 4400 tc）を用いて測定された。

実験2

室内においてトレッドミル（T.K.K.製）を用いて、2分間の立位安静後、実験1と同じプロトコールで10分間の歩行を行い、同様の測定を行った。

またトレッドミル・ランニングによる漸増負荷法で最大酸素摂取量を測定した。

表1 Physiological characteristics of subjects.

subject	age (yrs)	height (cm)	weight (kg)	%fat (%)
H. H	39	172.0	56.0	9.05
M. T	23	164.0	54.5	14.11
R. N	27	156.0	57.0	18.37

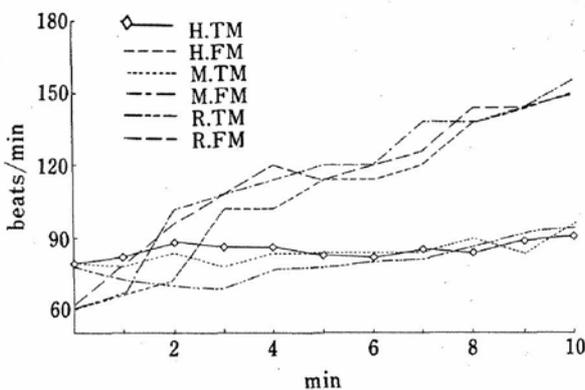


図1 Changes of heart rate (HR) during walking on Treadmill (TM) and Flow mill (FM)

2. 結 果

2.1 水中歩行と陸上歩行の心拍(HR)の関係

呼吸は、ブレスバイブレスで採集され、1分ごとに45秒から60秒までの最終の15秒値をもって \dot{V}_{O_2} の1分値として算出した。HRは、安静時

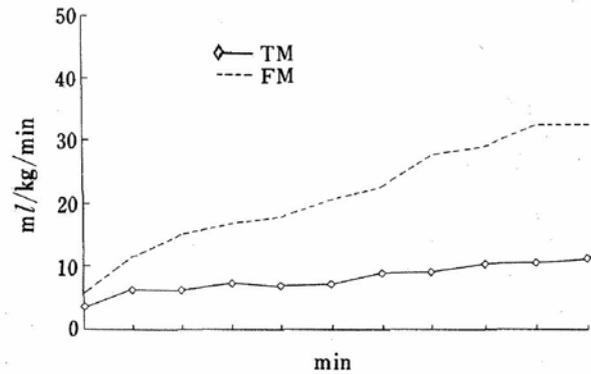


図2 sub. R.N Changes of oxygen consumption (\dot{V}_{O_2}) during walking on Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

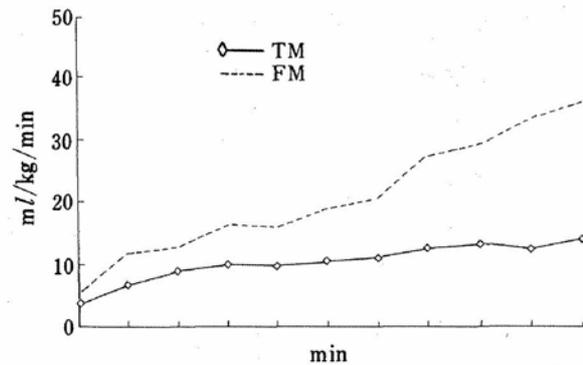


図3 sub. M.T Changes of oxygen consumption (\dot{V}_{O_2}) during walking on Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

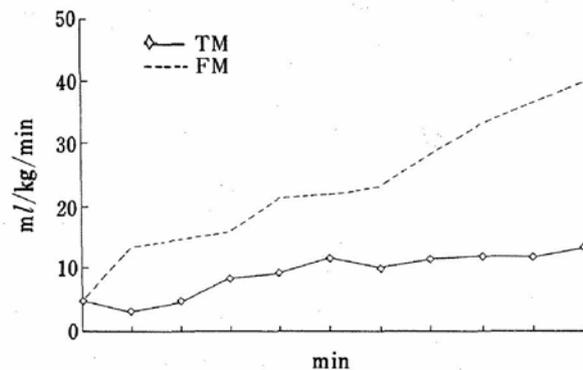


図4 sub. H.H Changes of oxygen consumption (\dot{V}_{O_2}) during walking on Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

2分間と歩行終了までを記録した。図1～4は、 \dot{V}_{O_2} およびHRを示したものである。

安静時のHRは、水中立位時が陸上と比較して13 beats/min \pm 5.0低い値を示した。水中歩行(FM)と陸上歩行(TM)を比較すると、歩行開始3分後には、FMの方がTMより高い値を示した。

また、5.5 km/h歩行時のHRは、3.5 km/h歩行時のHRに比較して、TMでは13 beats/min \pm 10.5, FMでは64 beats/min \pm 17.3とそれぞれ増加した。また、スピードが漸増されるほどFMとTMのHR差は大きくなり、歩行終了10秒前では両者の差は66.3 beats/min \pm 4.5に達した。

FMの運動強度は、Peak Heart Rate時が82～86% HR_{max}であり、TMではPeak Heart Rateで47～51% HR_{max}となり、同一スピードにおける運動強度は、FMの方が32～35%程度高い値を示した。

2.2 水中歩行と陸上歩行の酸素摂取量(\dot{V}_{O_2})の関係

歩行開始2分後から10分間終了までの \dot{V}_{O_2} の増加量は、TMでは6.2 ml \pm 2.1, FMでは22.1 ml \pm 4.1であった。その時の運動強度を最大酸素摂取のどれくらいに相当するか(% $\dot{V}_{O_{2max}}$)であらわすと、FMでは76～84% $\dot{V}_{O_{2max}}$ でありTMでは26～33% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であった。

スピードの漸増にともなう \dot{V}_{O_2} 増加率は、TMに比較してFMの方が大きく、5.5 km/h時の \dot{V}_{O_2} の差は、TMよりFMの方が23.4 ml \pm 2.8多く増加した。

3. 考 察

得られた水中のHRを考える際に、まず考慮しておかなければならない点は、いわゆる徐脈の問題であろう。本研究においては、立位安静時HRについて水中と陸上を比較すると、水中の方が16～24%の減少がみられた。先行研究においても同様の結果がみられ^{4,5)}、その要因としては、水圧

により静脈血の還流が促進され1回拍出量が多くなり、HRが減少するという考え方や⁶⁾、環境温度、水圧による呼吸の制限によるものがあげられる^{4,5,8,12)}。

つぎに、TM時とFM時の歩行によって、生理的反応がどのように異なるのか、あるいはまたその要因は何かを考えていく必要がある。

ここでまず、歩行を開始すると図1に示したようにTMでHRの定常状態または減少が、被検者H.Hでは4.0 km/h～4.5 km/h(歩行開始3分～6分)M.Tでは3.5 km/h～5.0 km/h前半(3分～7分)、R.Nでは3.5 km/h後半～4.0 km/h前半(2分～3分)でみられた。そのスピード時の \dot{V}_{O_2} をみると被検者H.H 4.5 km/hにおいて、M.TおよびR.Nは4.0 km/hにおいて \dot{V}_{O_2} の減少もみられた。斎藤らによると¹⁹⁾歩行のoptimal speed(距離あたりのエネルギー消費量が最小値を示すスピード)は、60～70 m/min(3.6～4.9 km/h)であり、本実験の被検者についても同様の結果が得られたことから3.5 km/h～5.0 km/hの陸上歩行スピードは、最もエネルギー消費量の少ない経済スピードであることが示唆された。

一方、FMについては、1名のみ4.5 km/h後半(6分～7分)においてHRの減少がみられたが、 \dot{V}_{O_2} の減少はみられなかった。他の1名は4.0 km/hでの \dot{V}_{O_2} の減少はみられたが前後の値をみてもこれを定常状態とはみなしがたく、またHRの減少はみられなかったことから、少なくとも水中歩行でのoptimal speedは陸上のoptimal speedとは異なり、それは3.5 km/hより遅いスピードと考えられる。

FM歩行中、特にHRの増加が大きかったところが2ヵ所あり、初めが歩行開始後1分～3分の間であり、23.7 beats/min \pm 6.0の増加で、つぎが6分～8分であり18 beats/minの増加であった。まず、1分～3分についてみると、H.Hは歩行スピードが4.0 km/hに上がった時点でHRも

増加している。M.TとR.Nは3.5 km/hの2分目でHRの増加を示している。また、R.Nは歩行開始から4分目までの毎分あたりのHRの増加も、15.5 beats/minと大きな値を示している。

運動開始からその運動に適応するまでは、HRをはじめ \dot{V}_{O_2} 、換気量などの心肺機能がその運動に適応するために急激な変化を示す。運動強度の増加にともなってHRを増加することから、H.Hは3.5 km/hから4.0 km/hへの歩行に適応するために、HRの増加率が大きくなった。M.Tも3.5 km/hの歩行2分目でHR増加させることによってFM歩行への適応を示したと考えられる。

このように考えると、R.Nは3.5 km/h、4.0 km/hではHRが十分適応できず、HRを増加し続け歩行開始4分目にして適応したとみることもできる。そして、各被検者ともHRの増加率が大きかった次の1分間で \dot{V}_{O_2} も増加し、その後は小さい増加率にとどまったことから、これらによって生理的な定常状態が成り立ち¹⁶⁾、身体の水中歩行運動への最初の適応がなされ、この後は歩行スピードが上がるごとに、運動強度の増加にともなったHRおよび \dot{V}_{O_2} の増加を示した。

そして1分～3分ほどではないが、HRの増加率の大きかった6分～8分についてみると、各被検者とも歩行スピードが5.0 km/hに上がった時点であった。被検者M.Tは歩行スピードが5.0 km/hに上がった段階で同時にHRと \dot{V}_{O_2} が急増加し、H.HとR.Nは、速度の増加と同時に \dot{V}_{O_2} が増加を示し、1分後にHRも急激に増加した。その後、M.TとR.NのHRと \dot{V}_{O_2} の増加率は再び下がったが、H.Hは以後5.5 km/h歩行終了まで \dot{V}_{O_2} の増加率が大きかった。これは1分～3分の時と同様にその運動強度（スピード）に適応するためと考えられるが、この時はHRの増大のみで適応したが、6分～8分では、歩行スピードが5.0 km/hに上がった段階で同時に \dot{V}_{O_2} も急増加した。

5.5 km/hではM.TとR.Nは、歩行が追いつかず、時々走る運動がみられたことを考えると5.0 km/hのスピードは、この2名にとっては水中歩行を持続する限界のスピードであったともいえる。

歩行は、低速度のときはエネルギー消費量は少ないが、高速度で歩くときはジョギングや走行時に近づきそれ以上のエネルギー消費量になることもある¹⁶⁾。

水の密度は空気の800倍といわれ、しかも水抵抗はスピードの2乗に比例する^{8,13)}。水泳の場合は流線型というなるべく水抵抗の少ない姿勢をとり、続けて長く泳ぐことによって心肺機能を高めるという運動の効果が高めるが、同じ水中運動でも水中歩行は、逆にこの水の抵抗を利用して先の運動の効果が高めることを目的のひとつとしている。

身長、体重をはじめ心肺能力などの異なった3名の被検者がみな、歩行スピード5.0 km/hにおいて \dot{V}_{O_2} の急激な増加を示したということを見ると、水中歩行において5.0 km/hスピードは、生体に何らかの生理的負担度に影響を与えるのではないかと示唆される。

つぎにFMとTMの \dot{V}_{O_2} を $\% \dot{V}_{O_{2max}}$ であらわすと、3.5 km/hでは28～35% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 前後、4.0 km/hでは35～46% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 、4.5 km/hでは45～52% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であり、5.0 km/hでは65～71% $\dot{V}_{O_{2max}}$ となり、5.5 km/hでは76～85% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であった。TMにおいては、3.5 km/h～5.5 km/hで10～31% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の範囲であった。

酸素摂取能力を高めるにはどのくらいの運動強度が必要であるかについては、多くの研究がされており、対象者、運動の種類、時間、頻度などの条件によって異なるが、50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 以上であれば明らかに有効であるとされている。

また、健康な人が安全に運動を行うには、一般的にanaerobic threshold (AT)を安全限界として考え、それは70% $\dot{V}_{O_{2max}}$ と考えられる⁶⁾。

本実験では、FMでの4.5 km/h～5.0 km/hの水

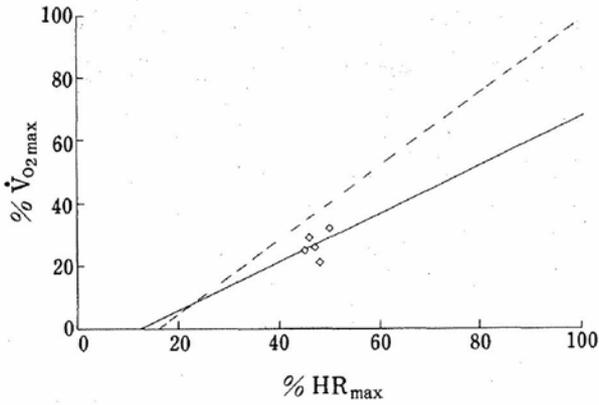


図5 sub. H. H Relationship between %HR_{max} and % \dot{V}_{O_2max} , Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

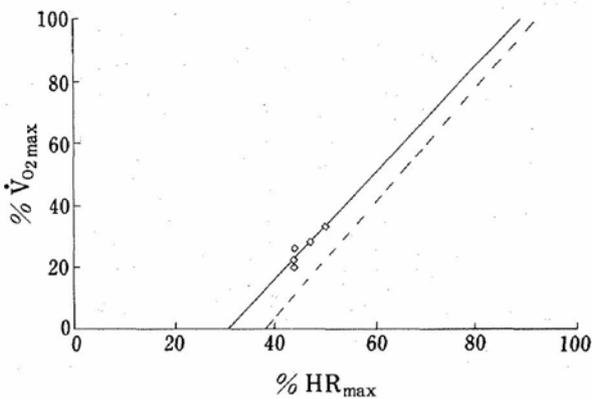


図6 sub. M. T Relationship between %HR_{max} and % \dot{V}_{O_2max} , Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

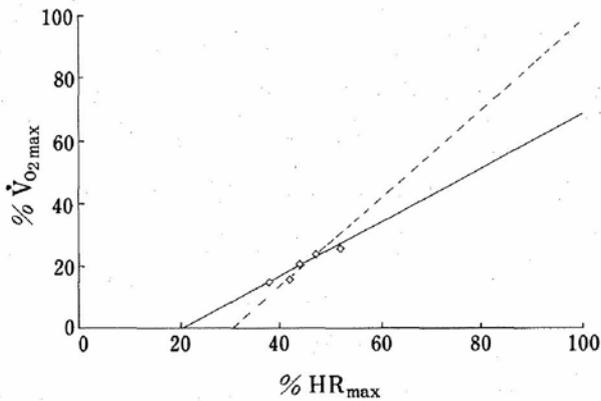


図7 sub. R. N Relationship between %HR_{max} and % \dot{V}_{O_2max} , Treadmill (TM) and Flowmill (FM)

中歩行がそれに相当する。先にも述べたようにこのスピードの範囲において \dot{V}_{O_2} の増加率が著しかったことから、酸素摂取能力を高める効果は十分に期待される。一方、陸上歩行では、このスピード範囲は、optimal speedであり、少なくとも5.5 km/h以下では酸素摂取能力を高める効果

は期待できない。

体育専攻男子大学生が競歩を試みた場合、普通歩行よりは速いスピードの160 m/minまでの歩行が限界のスピードであった¹⁵⁾。そしてこれは、77.5% \dot{V}_{O_2max} の強度に相当した。すなわち、水中歩行で得られた運動強度を陸上の歩行で得るためには、2倍の速さでの歩行が必要であることになる。

% \dot{V}_{O_2max} とHRの関係を見ると、安静時の水中HRは、16～24%低い値を示したものの、図に示したように水中歩行は低いHRで陸上の歩行よりも多くの酸素を取り入れることができる。すなわち、陸上歩行と比べて小さい生体負担度で酸素摂取能力を高めるような運動強度が得られることが示唆された。

これは大島らの研究¹⁷⁾と一致するところであり水中と陸上で同じHRの歩行では水中の方があまりきつさを感じないで、運動の効果としても高いものが得られるということになる。しかしこれは、この運動を続けるには少ないHRで多くの酸素を取り込まなければならないという考え方もできる。今後の課題としてこれらのことは明らかにする必要があると思われる。

4. ま と め

本研究は、水中運動を日常化したライフスタイルを目指し、水中運動処方プログラム作成の指針となる基礎的資料を得ることを目的とした。そのため水中歩行の運動強度を調べ、陸上のそれと比較することによってその特性を明らかにすることを試みた。その結果つぎのことが明らかになった。

1. 水中歩行では4.5～5.5 km/h時の運動強度は、45～71% \dot{V}_{O_2max} であった。すなわちこの範囲においては酸素摂取能力を高める効果が期待される。しかし、陸上の歩行では、5.5 km/hにおいても運動強度が26～31% \dot{V}_{O_2max} であり有酸素能力を高める効果は期待されない。

2. 5.0 km/h の水中歩行時の酸素摂取量は、陸上歩行の同じスピード時に比べて著しい増加がみられたことにより、5.0 km/h 時の水中歩行は、何らかの生理的負担が大きいと考えられる。

3. 水中歩行は低い HR で、陸上の歩行よりも多くの酸素摂取量が得られる。

謝 辞

終わりに、本実験を行うにあたりまして川崎医療福祉大学の小野寺昇先生、宮地元彦先生、木村一彦先生、米谷正造先生、広島大学の入澤雅典先生、東京学芸大学大学院生の遠山美貴さんにご助力を賜りました。ここに心より感謝の意を申し上げます。

文 献

- 1) 雨宮輝也, 黒田塚越克己, 伊藤静夫, 金子敬二, 松井美智子, 白鳥金丸, 松永尚久; 競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する研究, 日本体育協会スポーツ科学研究報告集, 2, No. 11, 1-14 (1978)
- 2) D. L. Costill, R. Thomas, R. A. Robergs, D. Pascoe, C. Lambert, S. Barr, W. J. Fink ; Adaptations to swimming training : influence of training volume., *Medicine and Science Insports and Exercise*, 23, No. 3, 371-377 (1991)
- 3) Gilbert W. Gleim, James A. Nicholas ; Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures., *The American Journal of Sports Medicine*, 17, No. 2, 248-252 (1989)
- 4) Glenn P. Town and Scott S. Bradley ; Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners., *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, No. 2, 238-241 (1991)
- 5) 林 石松, 折笠 敏, 伊藤 朗; 水中ランニング運

- 動が腎機能に及ぼす影響, 体力科学, 40, 48-59 (1991)
- 6) 池上晴夫; 運動処方の実際, 大修館書店, 256 (1987)
- 7) 勝木道夫, 阿岸祐幸; 温水浴における水中運動, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 55 (1) 16 (1991)
- 8) 今野 純; Swimming Concepts, アクアダイナミック研究所, 13-21 (1990)
- 9) 黒川隆志, 上田 毅; 水泳時の心拍数-酸素摂取量関係に及ぼす水温の影響, 体力科学, 35 (6) 304 (1986)
- 10) Loren Cordain, Alan Tucker, and Debbie Moon ; Lung Volumes and Maximal Respiratory Pressures in Collegiate Swimmers and Runners., *Research Quarterly For Exercise and Sport*, 61, No. 1, 70-74 (1990)
- 11) 三田信孝, 宮崎康文, 山並義孝, 三好基治, 玉木哲朗, 中野昭一; 運動による心拍数の変動を指標とした心機能の監視 (II), 体力科学, 35, 6 (1986)
- 12) 武藤芳照; 健康スイミングの仕方と効果, 築地書館, 168 (1989)
- 13) 日本水泳連盟; 新訂水泳指導教本, 大修館書店, 88-105 (1989)
- 14) 岡野亮介, 碓井外幸, 佐々木弘志, 勝木建一, 勝木道夫; 水泳の安全に対する基礎的研究, デサントスポーツ科学, 11, 13-31 (1990)
- 15) 小野三嗣; 親と子の水泳教育, 玉川大学出版部, 256 (1978)
- 16) Astrand, P.-O., Kaare Rodahl ; オストランド運動生理学, 大修館書店, 206-207 (1976)
- 17) 大畠 襄, 久富 沖, 小野寺昇; 水中トレッドミル負荷による呼吸循環機能の応答について, 体力科学, 40, 2 (1991)
- 18) Ruth Sova ; Aqua Fit. アクアダイナミック研究所, 142 (1990)
- 19) 斎藤美奈子, 加賀谷颯彦, 森井秀樹, 中川喜直, 木村直人, 吉田博幸, 広田公一; 競歩の生理学的研究-歩行スピードと酸素需要量の関係, 体力科学, 40, 31-40 (1991)
- 20) 佐野忠弘, 宮野龍美; 有酸素運動至適心拍数の運動負荷試験値と安静時心拍数, 年齢回帰値との相関の検討, 体力科学, 36, 6 (1987)
- 21) 山地啓司; 心拍数の科学, 大修館, 306 (1981)