

水中歩行の主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion)

所	属	学	科	目	体	力	学
著		者		名	大	西	朋
論	文	指	導	教	員	青	木 純 一 郎

合格年月日 平成 年 月 日

論 文 審 査 員

南谷和利

星野公夫

吉 儀 宏

目次

	頁
第 1 章 緒言	1
第 2 章 関連文献の考証	5
第 1 節 水中における生体の生理的変化	5
(1) 安静時	6
(2) 運動時	9
a) 深い水中での歩・走行	9
b) 浅い水中での歩・走行	12
第 2 節 主観的運動強度(RPE)と客観的運動強度との関連	14
(1) 主観的運動強度と物理的強度	14
(2) 主観的運動強度と生理的強度	17
第 3 章 実験方法	21
第 1 節 被験者	21
第 2 節 最大酸素摂取量の測定	21
第 3 節 歩行実験	22
(1) 陸上歩行	22
(2) 水中歩行	23

第 4 節	測定項目および測定方法	23
(1)	酸素摂取量	23
(2)	心拍数	24
第 5 節	統計計算	24
第 4 章	実験結果	25
第 1 節	最大トレッドミル歩行テストによる最大酸素摂取量および最高心拍数ならびに陸上および水中歩行時の極大酸素および心拍数	25
第 2 節	R P E 11から17における陸上および水中歩行時の歩行速度、酸素摂取量および心拍数	26
(1)	歩行速度	26
(2)	酸素摂取量	26
(3)	心拍数	26
第 5 章	考察	28
第 1 節	水中歩行の速度および生理的特徴	27
第 2 節	同一 R P E における水中歩行の酸素摂取量および心拍数	30
第 6 章	結論	33
第 7 章	要約	34
引用文献		36

欧 文 要 約	40
---------------	----

表 1 ～ 5

図 1 ～ 7

付表 1

第 1 章 緒言

運動強度は、一般的に物理的あるいは生理的尺度によって表される^{2,6)}。しかし、1950年頃から心理学の分野では、感覚に基づく運動強度の表示に関する研究に関心が向けられ始めた。そして、Borg^{7, 8, 9, 10)}は、感覚を基に運動強度を21段階に評価する方法を創案し、最終的には“very very light”から“very very hard”に6から20までの数字がついている15段階からなる指標を考案した。これがRating of Perceived Exertion(R P E:主観的運動強度^{3,8)})とよばれるものである。評価と心拍数との間には高い相関関係があり、評価を10倍するとほぼ心拍数と対応する^{7, 9, 10)}。

その後、EkblomとGoldbarg^{1,9)}およびBar-Orら⁵⁾は、トレッドミル走や自転車エルゴメータ運動を用いた運動負荷実験において、R P Eが酸素摂取量などの生理的変数と正比例の関係を示し、妥当性や信頼性も高いことを報告している。したがって、運動強度の指標としてR P Eを用いれば、有酸素運動中に運動者自身がその運動の強度を知ることができるため、特に健康づくり運動の指導または安全管理という観点から極めて実用的である^{4,4)}と考えられる。

上記した有酸素運動にはウォーキング、ジョギング、サイクリング、スイミングがあげられる^{1, 16)}が、最近それらのバリエーション

として水中での歩行を中心とした運動が行われるようになってきた。これは、フィットネスクラブおよび健康増進施設の増加に伴い、プールすなわち水と関わる機会が多くもてる時代となったためであり、それとともに水中運動における研究が多くなされるようになってきた。また、水中では熱伝導が空気よりも20倍以上高く、熱を伝えやすい性質をもっているため体温が激しく水中へ奪われる。それと同時に体温の低下を防ぐための活発な熱生産が生じ、血液循環がスムーズになり、新陳代謝が活性化されることから体温の上昇が少なくなる²⁹⁾。また、水中は浮力の影響で重力負荷が減少し、関節にかかる負担も小さくなり、陸上での運動より障害をおこす危険性が少ないといわれている^{30, 31, 51)}。加えて水圧により下半身の筋肉末端から戻る静脈血の流をよくするので心臓への負担がその分軽減され、陸上より心拍数の増加が低くなる²⁹⁾とされている。さらに、水中を移動する場合その移動方向と反対方向に水から抵抗という力を受けるが、この水の抵抗は陸上での空気抵抗とは比較にならないほど大きいものである。そのため、陸上と同一の主観的運動強度で水中運動を行った場合、心拍数や酸素摂取量は前述の関係とは異なることが推測される。

水中および陸上歩行における生体応答の違いについてGleimとNicholas²³⁾は、水中(水位:踵位、膝位、大腿中央部位および臍位)

と陸上で、それぞれ同一スピードによる歩行を行わせて心拍数を測定した。その結果、同一スピードに対する心拍数はどの水位においても陸上より水中の方が高く、酸素摂取量は80～110m/分の速さにおいて、膝および大腿中央部の深さで陸上での歩行より2倍近くになった。しかし、臍位では134～160m/分のスピードで、わずかではあるが水中より陸上の方が高くなったと報告している。また、宮本ら^{3,4)}は同一プロトコールによる横隔膜の水位での水中歩行と陸上歩行時の酸素摂取量、換気量および心拍数を比較した。それによると、70m/分以下のスピードでの酸素摂取量、換気量および心拍数は、いずれも水中より陸上の方が高く、それ以上のスピードでは陸上より水中の方が高くなったとしている。

これに対し、Evansら^{2,1)}は日常活動的な男性(21歳～42歳)を対象に、陸上および腰位の水位での水中歩行を行わせた。その結果、同一酸素摂取量に対する心拍数は、陸上でも水中でもほぼ同じであったと報告している。また、RitchieとHopkins^{4,3)}は、競技ランナーにおいて、浮揚ベストなしで水深2m以上のプールで30分の“hard”と感じるペースで走らせ、陸上で“normal”および“hard”と感じるペースでの走行と比較した。その結果、心拍数および酸素摂取量ともに陸上の“hard”で最も高く、次いで水中走行、陸上の“normal”の順であったと報告している。

このように、これまでの研究結果によると、水中歩行時の酸素摂取量と心拍数の応答が、特に水位との関係で異なる結果が得られている。

また、SevedenhagとSeger^{4,7)}は、浮揚ベストを着用し、深い水深でランニングをさせ、陸上および水中での同一酸素摂取量におけるRPEを比較しているが、主観的運動強度と水位を組み合わせる体系的に水中歩行のRPEを検討した研究はほとんど見当たらない。

先行研究においては、水深が腰位、横隔膜位および2m等と異なり、また、深い水深においては浮揚ベストの有無など条件が一定ではなく比較することが難しい。現在諸施設のプールは水深が120cm前後が最も多く、また浅いプールは80cm前後からあり、浮揚ベストを用いていない。80および120cmの水深は、一般成人男性においてほぼ恥骨結合位および剣状突起位となる。そこで、本研究では4つの主観的運動強度を指標として、2種類の異なる水深(80cm、120cm)による歩行運動を行わせ、水中歩行における主観的運動強度-酸素摂取量および心拍数関係の特徴を明らかにすることを目的とした。

第2章 関連文献の考証

水泳は水中運動の代表であるが、近年、水中という環境下の利点を生かした水中歩行やアクアビクスが盛んに行われるようになってきた。水中では、浮力により体幹、下肢の筋群および関節等への負荷が減少されるという利点がある。また、水中では水圧の影響で陸上と心拍数応答が異なるとされており、これらに関する研究が多くなされている。

ところで、運動処方において用いられる強度の尺度には、客観的な強度である物理的および生理的に表されるものの他に、感覚に基づくものがある。後者は心理学の分野で始められたものであるが、その中でもBorg^{7, 8)}は運動強度を運動者自身の感覚で評価することを創案した。この感覚による運動強度は主観的運動強度と呼ばれており^{3, 9)}、物理的および生理的変数とも高い相関があるといわれている^{4, 45, 46)}。そこで、本章では水中における生体の生理的変化および主観的運動強度と客観的運動強度との関連性について、関連文献を考証した。

第1節 水中における生体の生理的変化

水中という特殊な環境を利用して、体力や健康の増進を目的に行

われている運動を総称してアクア・フィットネス(aqua fitness)という²⁹⁾。これには大きく2つの方法があり、1つは静止した水の中で積極的に手足を動かすアクア・ダイナミクス(aqua dynamics)であり、もう1つは水に何らかの変化(温度、水流など)を加えるだけの消極的な方法でアクア・スタティクス(aqua statics)という。アクア・ダイナミクスは水平体で行う水泳が代表的であるが、そのほかに垂直体で行う水中運動がある。

立位姿勢で行う水中運動は、浮力の影響により体幹、下肢の筋群および関節への負荷も小さくなり、陸上での運動より障害の危険性が少ない^{30, 51)}とされている。このように陸上とは全く異質の環境である水中で行う水中運動が、生体にどのような生理的变化を及ぼすかという研究が多く行われている。

この節では、水中における安静時および運動時の生体の生理的变化について考証した。

(1) 安静時

安静時の生理的变化についてRischら⁴²⁾は、20名の男性被験者を対象として、立位における水位が恥骨結合位、剣状突起位および第7頸椎位における漸増した浸水を行った。被験者は水温35℃のプレキシガラスで作った水槽の中に、腕を上げて直立した姿勢で入った。心臓容積がX線によって求められ、中心静脈圧はカテーテル法で測

定された。また、心拍数も測定された。恥骨結合位における心臓容積は陸上に比べ約50ml大きく、その変化は5%水準で有意であった。中心静脈圧は恥骨結合位で-4.0mmHgになり、水位を剣状突起位まで上げると2.6mmHgに増加した。心拍数は、恥骨結合位で83拍/分、剣状突起位で70拍/分であった。

同じ様に Lollgenら³²⁾は、6名の男子(平均年齢28.2歳)に対し、漸増した浸水が循環系の再調節機構にどのような影響を及ぼすかを見るために、彼らを腰、剣状突起位(横隔膜)および顎位まで沈めた。右心房圧および肺動脈圧はカテーテル法、心拍出量は色素希釈法によって求めた。右心房圧、肺動脈圧は陸上から腰位の上昇に対して、5%水準で有意に上昇した。腰位での心拍数は、陸上での値に比べて有意に減少した。

FarhiとLinnarsson²²⁾は6名の一般の被験者を用い、姿勢筋をリラックスさせた状態で、腰位、剣状突起位および顎位において35℃の水中に沈めた。腰位までの浸水は、心拍出量および一回拍出量が陸上に比べて有意に上昇し、心拍数が76拍/分から73拍/分へと1%水準で有意に減少したことを報告した。

以上は、剣状突起位より低い水位においての浸水についてであるが、水中は、陸上と比べて胸腔内の血液量が増加し、心拍数が減少するという点において一致している。

一方、剣状突起位以上の深さについて Rennie ら^{4 1)} は、安静時に頭を水中から出した浸水において、心拍出量が減少したと報告した。

34℃より低い水中に座位で沈むと、心拍出量、心拍数および静脈血中酸素分圧が、陸上および36℃の水中に比べてそれぞれ12%、25%および20%減少したと報告している。34℃より低い水温では、皮膚および四肢の血管の収縮が生じ、このことが圧受容体を刺激したためであると考えられている。また、陸上よりも心拍数が20～25%減少したことについては、寒さのためであるとしている。

同じように Risch ら^{4 2)} は、水温35℃で剣状突起位から第7頸椎位までの浸水において、心拍数が水位の上昇に従って減少したことを報告した。

Hood ら^{2 5)} は、被験者にヘルメットおよびダイビング用ドライスーツを着せて、半仰臥位で8時間の浸水を行い、心拍数が72拍/分から62拍/分に減少したと報告した。

これに反して、Arborelius ら²⁾ は、心拍数は心拍出量の増加に伴わずかに減少するが、陸上での値とほとんど変わらなかったと報告した。

また、Lollgen ら^{3 2)} は6名の男性において35℃の水中に剣状突起位および頸位まで沈めた時の心拍出量、一回拍出量および心拍数を測定した。陸上から剣状突起位までの水位の上昇によって、心拍数は

有意な減少を示したが、剣状突起位から顎位までは、心拍数にほとんど変化はなかった。これらの結果から、心拍出量は、水位の上昇によって増加するとしている。

FarhiとLinnarsson^{2,2)}は、35℃の水中において、腰位、剣状突起位および顎位での浸水を行った。心拍出量、心拍数および血液ガスを測定した。心拍出量は、水位の上昇に伴い増加するというこれまでの研究と同じ結果を示したが、心拍数については、陸上立位で平均 76 ± 1 拍/分、剣状突起位で 68 ± 1 拍/分および顎位で 70 ± 1 拍/分であった。この結果について、心拍数の上昇を示した被験者は、剣状突起位より低い浸水において圧受容体が優位であったが、剣状突起位より高いレベルでは心房の伸張受容体が優位になったために、心臓の拍動が活発化したためと考えた。

剣状突起位以上の浸水では、水位の上昇に伴って心拍出量は増加し、心拍数は剣状突起位で著しく減少するが、さらに水位が上昇すると心拍数は変化しない、減少するあるいは増加するという報告があり一致した結果が得られていない。

(2) 運動時

a) 深い水中での歩・走行

Bishopら⁶⁾は、7人のトレーニングされた男女(平均年齢32歳)を対象に45分間のランニングを行った。足のつかないプールで浮揚ベス

トを着用し、水中ランニングを行い、陸上ランニングと比較した。

被験者は45分間継続が可能なペースを自分で選択した。換気量、酸素摂取量ともに水中の方が陸上よりも36%少なく、心拍数も水中の方が29%低かったと報告している。

水中ランニングにおける最大値を知るためにButtsら¹⁵⁾は、鍛錬した12人の男女を対象に浮揚ベストを着用し、深い水中ランニングを行い、それぞれ最大の換気量、酸素摂取量、心拍数および呼吸交換比を測定した。その結果、すべての変数において水中の方が陸上よりも有意に低かった。

同じ最大値に関する研究でも、TownとBradley⁵⁰⁾は水深を浅いと深いに変えて行った。クロスカントリーを行っている男女9人(平均年齢20.2歳)を対象とし、トレッドミル、深い(水深2.0~4.0m)および浅い(水深1.3m)水中ランニングを行った。最大値の測定は、酸素摂取量、呼吸交換比、心拍数および乳酸について行われた。その結果、2つの水中ランニングよりもトレッドミルランニングの方が、より高い最大酸素摂取量と最高心拍数を示した($p<0.05$)。水深の浅いところで得られた最大酸素摂取量は、陸上で得られたものの90.3%、深いところで得られたものは73.5%にすぎなかった。また、水深の浅いところで得られた最高心拍数は、陸上で得られたものの88.6%、深いところで得られたものは73.5%にしかならなかった。最大酸素摂取

量は、深い水中ランニング中よりも浅い水中ランニング中の方が高かった($p < 0.05$)。これらのデータより、浅い水中ランニングがトレッドミルランニングに匹敵する代謝応答を引き出すことを示唆している。

SvedenhagとSeger⁴⁷⁾は、トレーニングしている10人の男性(平均年齢26.4歳)を対象に、浮揚ベストを着けた深い水中およびトレッドミルでの最大下および最大ランニングを行い、心拍数、酸素摂取量および主観的運動強度と酸素摂取量との関係を測定した。これによると酸素摂取量は、トレッドミルよりも水中の方が有意に低かったとしている(4.03 ± 0.13 対 4.60 ± 0.141 /分、 $p < 0.01$)。水中走行時の心拍数は、陸上での同一レベルの酸素摂取量に対して8から11拍/分有意に少なく、また、主観的運動強度は約2ポイント有意に高かったと報告している。

以上の研究は物理的および生理的強度に対する応答を比較したものであったが、RitchieとHopkins⁴³⁾は被験者本人の感覚による強度でランニングを行わせた。8人の男性ランナーに対し“hard”と感じるペースで30分間連続的な深い水中ランニングを行い、酸素摂取量、呼吸商、心拍数、知覚した身体の努力感および脚の知覚した痛みをモニターした。そして、“hard”ならびに“normal”と感じる30分のトレッドミルランニングおよび“normal”と感じるトレーニング

ペースでの30分の野外走を行い、比較した。

深い水中ランニングの酸素摂取量($73\%\dot{V}O_{2max}$)は、トレッドミルでの“hard”ランニングのそれ($78\%\dot{V}O_{2max}$)と比べて有意な差はみられなかったが、トレッドミルの“normal”ランニングのそれ($62\%\dot{V}O_{2max}$)より有意に高かった。似たような結果が、呼吸商、知覚した努力感および痛みで得られた。対照的に、深い水中ランニング間の心拍数は、“normal”および“hard”ペースで似通っており、トレッドミルでの“hard”ランニングより有意に低かった。深い水中ランニング中の酸素摂取量と心拍数間の不均衡は、浸水における冷却や、静脈帰還血液量の増加に反映していると報告している。

Greenら²⁴⁾も、ポリスチレン性の浮きを用い水深の深いプールにおいて10人の男女を対象に“slow”、“moderate”および“quite fast”と被験者が感じる強度でトレッドミル歩行と水中歩行を行い、酸素摂取量および心拍数を測定した。その結果、推定の最大酸素摂取量は水中および陸上で類似していたが、水中および陸上運動の応答には、個々の違いがあったと述べている。

b) 浅い水中での歩・走行

GleimとNicholas²³⁾は、定期的にトレーニングしている6人の男性と5人の女性(平均年齢 27.5 ± 1.8 歳)に対し、足首、膝、大腿の中央部および臍の深さでの水中歩行を行い、陸上での歩行と比較した。

陸上および水中歩行は、40.2m/分から2分毎に13.4m/分ずつ増加し、最高160.9m/分までの同一スピードで行われた。安静時の心拍数に有意な差はなかったが、水中歩行の足首、膝および大腿中央部の深さに関しては40.2m/分から、臍に関しては53.6m/分からトレッドミル走よりも有意に高かった($p<0.05$)。酸素摂取量に関しては、臍位での134~160m/分のスピード以外は、水中のほうが陸上よりも高かった。また、80~110m/分での速さにおいては、膝および大腿中央部の深さで、陸上よりも2倍近い酸素摂取量になることを報告している。

頭を水上に出した浸水中の徐脈が安静時および運動中に見られたことから、Evansら²¹⁾は水中歩行中の酸素摂取量に対する心拍数が陸上トレッドミル運動より低いと仮定し、21歳から42歳の水泳選手において陸上での歩・走行と水中での歩・走行を行い、酸素摂取量、換気量、呼吸交換比および心拍数を測定した。水位は腰位であった。6分間の5つの異なるスピード(0.7~1.01m/秒)において、速度の遅い2つは歩行で他は走行であった。また対象としたトレッドミル走のスピードは、Margariaらの方法³³⁾を用いて、水中での歩・走行時の酸素摂取量と一致するよう設定した。同一酸素摂取量に対する心拍数は、陸上と水中では有意な差はなく仮説に反していた。この理由として、中等度から高強度の運動において、陸上より水中の方が心拍数が低いという報告がおおよそ25℃以下の水温に多く、この研究の

ように暖かい水中(30～31℃)における歩行および走行での心拍数は、トレッドミル走から正確に処方されるかもしれないと報告している。また、水中運動時の酸素摂取量、心拍数および呼吸交換比はスピードの増加とともに似たような直線的な増加を示した。陸上の運動と同じエネルギー消費を必要とする水中歩行時のスピードは、陸上のスピードの1/2～1/3であったと報告している。

以上のことより水中歩・走行時の酸素摂取量は、1例を除き水中の方が陸上よりも低く、また最大酸素摂取量においては陸上の方が水中よりも高い値であったと報告されている。また、心拍数においては、浅い水中歩・走行では陸上と変わらないまたは水中の方が高い、そして深い水中における走行においては、陸上と変わらないまたは低くなるということが報告されている。しかし、最高心拍数においては水中の方が陸上よりも低いといわれている。

酸素摂取量および心拍数は強度の指標として用いられるものであるが、先行研究においては陸上および水中歩・走行における酸素摂取量および心拍数の関係については必ずしも一致していない。

第2節 主観的運動強度(RPE)と客観的運動強度との関連

(1) 主観的運動強度と物理的強度

一般に運動強度は物理的あるいは生理的尺度によって表されてい

る。しかし、1950年頃から心理学の分野において、運動している者自身の感覚に基づく運動強度の表示に関する研究に関心が向けられ始め、Borg^{7, 8, 9, 10)}は、“absolutely no feeling at all of exertion”から“maximal exertion”までの21段階に評価する尺度を創案し、最終的には“very very light”から“very very hard”までの6から20の15段階からなるR P E (Rating of perceived exertion)と呼ばれる尺度を考案した。その評価と心拍数との間には高い相関があるとされており、成人においてはその評価を10倍するとおおよそその心拍数が得られるとされている^{8, 9, 10)}。我国では小野寺と宮下^{3, 9)}がR P Eを主観的運動強度と訳し、“非常に楽である”から“非常にきつい”という邦訳をつけた。

主観的運動強度は物理的強度（スピード、仕事量など）とほぼ正比例の関係にあるといわれている^{4, 10, 38, 39, 45, 46)}。

BorgとLinderholm⁷⁾は、18～79歳の健康な成人男性を対象にして自転車エルゴメータを用い、0kpm/分から300kpm/分ずつ増加させ、最高1500kpm/分まで各6分間ずつ運動を行わせた。その結果、仕事量の増加に伴って主観的運動強度も高まることが認められたと報告している。

PandolfとNoble⁴⁰⁾は、体力水準の高い男性において40、60および80rpmでそれぞれ550、775および1075kgm/分の自転車エルゴメータ運

動を行わせ、いずれの作業率においても回転数が多いときほど主観的運動強度が小さくなることを見出している。これに対してBryantとNoble¹³⁾も体力水準の高い男性を被験者に、40、60および80rpmで960kpm/分の運動を行わせたところ、60rpmのとき主観的運動強度が最も低かったと報告している。この矛盾した結果の原因として、局所の疲労や不快感の有無に関係があることをあげている。

一方、運動形態の違うトレッドミルにおいてNobleら³⁶⁾は、17～25歳の20人の男子大学生に、2.5、3.5、4.5および5.5mile/時の速さでそれぞれ3分間ずつ歩行および走行をさせた。その結果、主観的運動強度は、低速においては歩行時の方が走行時より小さいが、高速になると逆に走行時の方が小さくなることを認め、歩行と走行が交わるスピードは4.31mile/時であったと報告している。しかし、どちらとも速度の増加に伴って、主観的運動強度も増加することは同じであった。

陸上で行う自転車エルゴメータおよびトレッドミルにおける研究において、BryantとNoble¹³⁾を除いては物理的強度の増加とともに主観的運動強度も増加するということが明らかになったが、形態が違う水泳においてBurkeとKeenan¹⁴⁾は健康な10人の男女を対象に、“slow”、“medium”、“fast”および“peak”と感じる速度で背泳ぎをさせ、その結果、速度の増加にともなって主観的運動強度も

ほぼ同間隔で増加したことを報告した。

また、宮下と小野寺³⁵⁾は健康な18～28歳の男性9名(1名を除き水泳選手)において、クロールと平泳ぎをそれぞれ異なる速度で3回ずつ計6回行わせた。1回の遊泳距離は100mであり、可能な限り一定の速度で泳ぐよう指示した。クロール、平泳ぎとも各被験者におけるRPEと遊泳時間との間に直線的関係(反比例)が成立すると報告している。

水泳における研究でも速度の増加に伴う主観的運動強度の増加がみられたが、陸上と同じ立位体で行う水中歩行の速度と主観的運動強度に関する研究はほとんどみられない。

(2) 主観的運動強度と生理的強度

RPE作成の基本的な考え方は、感覚と心拍数との間に正比例の関係が成立することにある^{7, 8, 9, 10)}。

EkblomとGoldbarg¹⁹⁾は、21～32歳の19人の健康な男性に対して自転車エルゴメータおよびトレッドミルを用いて、2つまたは3つの異なる最大下負荷テストを6分間行った。同一の酸素摂取量レベルでは、自転車の方がトレッドミルより主観的運動強度は高いが、各運動において最大酸素摂取量に対する割合が同じ負荷では、主観的運動強度も同じになると報告している。Bar-Orら⁵⁾もこれと一致した報告をしている。

EkblomとGoldbarg¹⁹⁾は、同一の酸素摂取量に対するRPEを比較したが、宮下と小野寺^{38, 39)}は、18～30歳の健康な22名の男子学生を対象に、水平のトレッドミルを用いて“かなりきつい”、“きつい”および“ややきつい”という速度の異なる3種の最大下作業を6分間ずつ与え、同一RPEに対する $\dot{V}O_{2max}$ および f_{Hmax} との関係について述べ、 $\dot{V}O_{2max}$ との間に $r=0.852(p<0.001)$ という高い相関が見られたとしている。

このような結果から、走運動においての“かなりきつい”というRPE 17の感覚は $90\dot{V}O_{2max}$ に、“きつい”という15の感覚は $80\dot{V}O_{2max}$ に、そして“ややきつい”という13の感覚は $65\dot{V}O_{2max}$ にほぼ相当すると報告している。また f_{Hmax} からみると、“かなりきつい”という感覚は $95f_{Hmax}$ に、“きつい”という感覚は $88f_{Hmax}$ に、そして“ややきつい”という感覚は $80f_{Hmax}$ にほぼ相当するようである。

浅見ら³⁾も同様な方法で、“かなり強く”、“中ぐらいに”および“軽く”という表現を用いた研究において、“かなり強く”は $92\dot{V}O_{2max}$ 、“中ぐらいに”は $82\dot{V}O_{2max}$ 、そして“軽く”は $74\dot{V}O_{2max}$ であったといっている。

指定した強度のことばに違いはあったが、トレッドミルおよび自転車エルゴメータにおいては主観的運動強度の増加に伴う生理的強

度の増加がみられた。

一方、形態を変えた水中運動の中でも水泳については、宮下と小野寺³⁵⁾が健康な18～28歳の男性9名(1名を除き水泳選手)において、100mのクロールと平泳ぎをそれぞれ異なる速度で3回ずつ計6回行わせ、各被験者にかかる生体負担度(心拍数)とRPEとの間には相関があり($p<0.001$)、これまでの報告と同様にRPEは負荷の種類や作業成績の違いにかかわらず、生体にかかる負担度を表す指標になり得るであろうと報告している。

BurkeとKeenan¹⁴⁾は、健康な10人の男女を対象に“slow”、“medium”、“fast”および“peak”と感じる速度で背泳ぎをさせ、その結果、心拍数の10分の1がBorgのscaleと一致したと報告している。しかし、Koltynら²⁶⁾は、インターカレッジスイミングチームの男性(平均年齢19.3歳)および女性(平均年齢18.9歳)を被験者とし、個人の最高スピードの90%で専門種目の200ヤードスイムを行い、心拍数とRPEを記録し、心拍数は主観的な強度と相関がなかったとしている。

水泳における生体負担度(心拍数)と主観的運動強度との間に相関があり、これまで陸上について報告されているものと同様にRPEは負荷の種類や体力水準の違いに関わらず、生体にかかる負担度を表す指標になるというものと、主観的強度とは相関がないという異

なる結果が得られている。

R P E における水中運動の先行研究において、水泳に関してはなされているが、陸上と同じ立位体で行う水中歩・走行に関しては Sevedenhag と Seger⁴⁷⁾ が行っている他はほとんどみられない。しかし、Sevedenhag と Seger⁴⁷⁾ は深い水深で浮揚ベストを着用し走行させており、プールの床を歩行するときの生体応答とは異なることが予想される。また、先行研究においては、水位が腰位、横隔膜位および水深 2m 等と異なり、また、深い水深においては浮揚ベストの有無など条件が一定ではなく、比較が難しい。したがって、R P E を強度の尺度として用いて、陸上および水中歩行を行わせ、水深を変えることによって、同じ生体応答に対する rating がどのように異なるか、また、同一 R P E における酸素摂取量および心拍数応答の違いを明らかにする必要があることが示唆された。

第3章 実験方法

第1節 被験者

被験者はいずれも水泳経験のある健康な成人男子8名であった。

彼等の年齢、身長、体重、恥骨位、剣状突起位および体脂肪率を

表1に示した。身長および体重は同年齢の日本人男子の平均値^{4,9)}とほぼ等しい値であった。

表1

なお、被験者にはあらかじめ本研究の目的および測定方法の概略を文書(付表1)で説明し、本人の意志で本実験に参加する旨の承諾書を得た。

付表1

第2節 最大酸素摂取量の測定

被験者は、室温23℃および相対湿度50%に保った恒湿恒温室に入室後、15分間の椅座位安静を保った。その後、Bruceのプロトコール^{11, 12, 20)}に従い歩行させ、疲労困憊に至ったところで打ち切った。

その間、自動呼吸代謝測定装置器(17ロモニタ、AE-280:ミナト医科学製)を用いて、呼気の計量および酸素ならびに二酸化炭素の分析を連続的に行い、30秒毎に酸素摂取量を打ち出した。また、同時に胸部双極誘導出心電図のモニターおよび心拍数の計測を行った。

最大酸素摂取量の判定^{17, 18, 27, 37)}は、1)心拍数が180拍/分に達

していること、2)呼吸交換比が1.15以上であること、および3)酸素摂取量にlevelling offが見られたことの3つの基準のうち、少なくとも2つの条件を満たしていることとした。

第3節 歩行実験

(1) 陸上歩行

陸上での歩行実験は、いずれの条件においても5分間の立位安静後に開始した。陸上歩行の運動強度は、Borgの主観的運動強度(表2)が楽である(RPE11)、ややきつい(RPE13)、きつい(RPE15)およびかなりきつい(RPE17)とし、それぞれ5分間歩行させた。被験者AおよびBは1)11-13-15-17、CおよびDは2)13-15-17-11、EおよびFは3)15-17-11-13、そしてGおよびHは4)17-11-13-15の順で、各被験者は1回行った。なお、陸上歩行の呼吸循環応答の極大値(ピーク値)を求めるために、RPE17の5分間の歩行後引き続いて2分間全力歩行を行わせた。各試行間隔は立位の状態で、それぞれの実験開始時の立位安静時心拍数に戻るまでとした。実験時の服装はTシャツ、ジャージ、ジョギングシューズとし、体育館の木製の床上を歩行させた。

本実験は順天堂大学さくらキャンパス内バスケット館で行い、実験時の体育館内温度および相対湿度は、それぞれ17～19℃および51～62%であった。

(2) 水中歩行

水中歩行実験は、いずれの条件においても陸上(プールサイド)および引き続いて水中での5分間の立位の安静後に開始した。水中歩行の運動強度は、基本的には陸上と同じ要領で行った。各試行間隔は水中立位の状態で、それぞれの実験開始時の立位安静時心拍数に戻るまで行った。水深は、80cmおよび120cmとした。また、実験時、被験者はナイロン製あるいは木綿の水泳パンツを着用し、手で水をかかないように注意させた。

本実験は日本サイクルスポーツセンター室内温水プールで行い、実験時の水温、相対室温および湿度は、それぞれ29.0～31.4℃、24.0～28.2℃および61～77%であった。

また、予備実験において、本研究と同じ実験条件で2回、水深1.0～1.2mの25m室内温水プールを歩行させ、水中歩行の再現性を確認した($\dot{V}O_2:r=0.99$ 、 $f_H:r=0.99$)。

第4節 測定項目および測定方法

(1) 酸素摂取量

水中および陸上での安静時および歩行中の呼気はダグラスバッグに採集した。なお、運動中の採気は各RPE段階および全力歩行時

のそれぞれ最後の1分間とした。

採集した呼気は湿式ガスメータ(W-NK-5A:品川精機製)で計量し、BTPS値に換算した。また、計量中の呼気の一部をサンプリングバッグに集め、ジルコニア素子および赤外線式医用ガス分析器(MG-360:ミナト医科学製)を用いて、それぞれ酸素および二酸化炭素濃度を分析した。

(2) 心拍数

水中および陸上歩行時の心拍数は、胸部双極誘導により導出した心電図を無線搬送(受信器RZ-5、送信機ZB-141G:日本光電社製)し、記録された心電図のR波の数を10秒毎に数え、それぞれ1分間値に換算して求めた。

なお、すべての測定は、平成6年11月19日から12月28日に行った。

第5節 統計計算

RPEおよび条件の違いによる群間の平均値の差の検定は、一元配置の分散分析の後、対比較をするためにBonferroni法^{4,8)}を用いた。また、有意水準は危険率5%未満とした。

第 4 章 実験結果

第 1 節 最大トレッドミル歩行テストによる最大酸素摂取量および 最高心拍数ならびに陸上および水中歩行時の極大酸素およ び心拍数

トレッドミルによる速度および角度漸増最大歩行テストによって得られた酸素摂取量および心拍数をそれぞれ最大酸素摂取量および最高心拍数として表 3 に示し、R P E 17 での歩行に続いて行われた水中および陸上での全力歩行によって得られた酸素摂取量および心拍数を、それぞれの極大(ピーク)酸素摂取量および極大(ピーク)心拍数として表 4 に示した。

最大酸素摂取量(56.9ml/kg・分)に対して、陸上ならびに浅いおよび深い水中歩行での極大値はいずれも低く、それぞれ71.7%、91.7%および71.9%に相当し、浅い水中歩行での極大酸素摂取量が、陸上歩行および深い水中歩行よりも有意に高かった($p < 0.01$)。

3つの条件での心拍数の極大値もトレッドミル歩行での最高心拍数(193拍/分)と比べていずれも低く、それぞれ91.2%、98.4%および88.0%となり、酸素摂取量と同様に、浅い水中歩行での心拍数が陸上および深い水中歩行でのそれよりも有意に高かった($p < 0.05$)。

第2節 R P E 11から17における陸上および水中歩行時の歩行速度、

酸素摂取量および心拍数

R P E 11から17における陸上および水中歩行時の酸素摂取量および心拍数は表5に示した。

表5

(1) 歩行速度

R P E と歩行速度との関係を図1に示した。R P E 11および13において、陸上歩行は、2つの水中歩行よりも統計的に有意に高かった。

図1

($p < 0.01$)。

(2) 酸素摂取量

R P E と酸素摂取量との関係を図2に示した。陸上および水中での歩行において、酸素摂取量はR P E の増加に伴い増加する傾向にあった。R P E 13および15において、陸上歩行と浅いおよび深い水中歩行において統計的に有意な差があった($p < 0.05$)。また、R P E 17においては、陸上歩行および浅い水中歩行間($p < 0.01$)ならびに浅いおよび深い水中歩行間($p < 0.05$)に統計的に有意な差があった。

図2

(3) 心拍数

R P E と心拍数との関係を図3に示した。R P E 13、15および17において、浅い水中歩行の方が陸上歩行よりも統計的に有意に高かった($p < 0.05$)。また、Borgの主観的運動強度(Y)と心拍数(X)との関係を $Y=10X$ で表し、陸上、浅い水中および深い水中歩行時の回帰式を求

図3

めた(図4)。陸上歩行時は $Y=10X-16$ 、浅い水中歩行時は $Y=12X-18$ および深い水中歩行時は $Y=9X+8$ であった。

第 5 章 考 察

第 1 節 水中歩行の速度および生理的特徴

安静時における浸水中に徐脈がみられることは、先行研究^{22, 32, 41, 42)}において明らかである。この事実をふまえた上で Evansら²¹⁾は陸上および水中で歩・走行をさせ、水中歩行時、速度増加とともに酸素摂取量および心拍数も似たような直線的増加を示したと報告している。歩行を行わせた本研究においても同様な結果がみられ、水深を変えた2つの歩行において、速度増加に伴い酸素摂取量および心拍数に直線的増加がみられ、また、2つの水中歩行では同様の増加の傾向を示した(図5、6)。さらにこれらに共通している点は、深い水中歩行において速度増加に伴い酸素摂取量および心拍数の増加量が減少し、また同一酸素摂取量および心拍数において深い、浅い、陸上歩行の順番で歩行速度が遅いということであった。

以上のような最大下の歩行に加えて、本実験では最大努力による歩行も行った。先行研究において Butts¹⁵⁾は、深い水中ランニングを行った場合、水中における最高値が最大酸素摂取量の94%に相当したと報告し、また Townと Bradley⁵⁰⁾は水深2m以上および1.3mの2条件の水中ランニングを行った結果、それぞれ90.3% $\dot{V}O_{2max}$ および73.5% $\dot{V}O_{2max}$ であったと報告している。本研究において、各歩行の最大努

力時に得られた極大値(ピーク値)をトレッドミル歩行で得られた最高値と比較してみたところ、陸上、浅いおよび深い水中歩行においてそれぞれ72、91および72% $\dot{V}O_{2max}$ ならびに、91、98および88% f_H maxに相当した。TownとBradley⁵⁰⁾による1.3mの水深で行った歩行の値と本研究の水深1.2mでの結果はほぼ同じであった。酸素摂取量は陸上および深い水中歩行ともに最大努力にもかかわらず72% $\dot{V}O_{2max}$ にしか達せず、心拍数においても、浅い水中歩行よりも両歩行とも約10%低かった。

本研究で行った3条件の歩行運動は、水平な床の上を歩いたものであった。水平なところを歩く時、強度を高めるためにはスピードを上げなければならないが、ある速度に達すると歩行が限界となり走行に移る。しかし、歩行という条件のため走行できないのでさらに強度を上げるためには傾斜をあげなければならない。この傾斜法はトレッドミル歩行での最高値を求めたときに用いた方法であるが、この方法を用いたことも同じ陸上におけるものでも陸上歩行が72% $\dot{V}O_{2max}$ にしか達しなかった理由の一つであろう。さらに走行できないために脚の局所の筋疲労も要因となり、また運動に動員される活動筋量の違いも考えられる。深い水中歩行においては、浅い水中歩行時よりも深い水深で行ったために水の抵抗が増し、強度を上げて前に進もうとする被験者の意志に反して速度が増加しなかったこ

とが考えられる。

第2節 同一RPEにおける水中歩行の酸素摂取量および心拍数

主観的運動強度(RPE)と生理的応答とは比例関係があることが知られている^{5, 19)}。水中歩行に感覚的強度を用いた研究において、RitchieとHopkins⁴¹⁾は、被験者が“hard”および“normal”と感じる強度で深い水中ランニングを行い、トレッドミルランニングと比較している。またGreenら²⁴⁾も、“slow”、“moderate”および“quite fast”と感じる強度で水中歩行を行わせた。その結果、これらの研究は、水中歩行およびランニングが陸上での生理的応答に対して同じであるおよび異なるという相反する結果を示している。しかし、感覚的な強度の中でもRPEを水中歩行の強度の尺度として行われた研究はほとんど見当たらない。

本研究は、RPEを強度の尺度として水中歩行を行わせた。酸素摂取量は、RPE 11および13においては2つの水中歩行間で、またRPE 17においては陸上および深い水中歩行間でほぼ同じ値を示した。また、RPE 11～17において、陸上歩行は $20 \sim 60\% \dot{V}O_{2max}$ であったのに対し、深い場合は $30 \sim 60\% \dot{V}O_{2max}$ および浅い場合は $30 \sim 80\% \dot{V}O_{2max}$ であった。

また、これと同様の傾向が心拍数応答についてもみられた。これらの結果は先行研究と異なるものであった。先行研究と本研究とは

水深が異なっており、この水深の違いにより水圧が異なり、筋肉末端から戻る静脈血液量の違いが心拍数応答に影響を及ぼしたと考えられる。

水の抵抗は速度の2乗に比例して大きくなるために、R P E 11および13においては水に対する抵抗が小さいが、R P E 15および17と強度が増すにつれて速度も速くなるため、水中では抵抗が大きくなる。また、80cm(恥骨結合位)および120cm(剣状突起位)では、重力負荷が80%および30%と異なる。つまり恥骨結合位より浅いところで立位をとる場合重力優位となり、股関節の動きが身体のバランスをコントロールし、また、剣状突起位以上の水深では浮力優位となり頭部の動きが身体のバランスをコントロールする。水中運動においては水深が重要な要素であるため、浅い歩行と深い歩行との間に応答の違いが現れたものと考えられる。また、元来R P Eは陸上で用いられているものであるが、陸上での歩行は走行とは違い速度を制限され、強い強度になり得なかったため、生体応答が水中より低かったのであろう。

R P E と心拍数の関係を図7に示した。心拍数が約110、130および160拍/分の陸上および水中歩行時のR P Eを比較すると、陸上歩行の方が水中歩行より約2ポイント低いことがわかる。これは、先にも述べたように、同じ感覚で運動しても水の抵抗および水圧によって



違いが生じたためであると考えられる。これは、Sevedenhagと Seger⁴⁷⁾の同一酸素摂取量におけるR P Eを比較したものと同じ結果であったが、彼らはR P Eを強度の尺度としていないため、同一R P Eにおける心拍数は明らかにされていない。同一R P Eにおける心拍数をみるために、Borgの提唱したR P Eと心拍数との関係を図7に示した。この直線がR P Eの原法を示す。Borgの原法の10倍を心拍数と考えると、陸上歩行は、R P E 11、13、15および17において低くなる傾向にあり、原法より約15拍/分低くなる。浅い水中歩行は理想線よりもR P E 13、15および17において高くなった。これに対して深い水中歩行は、R P E 13、15および17において低くなった。水中歩行では強度が増すにつれて、水深が浅い場合は心拍数が高くなり(RPE17で10拍/分)、深い場合は低くなる(RPE17で8拍/分)ことが認められた。

第 6 章 結 論

Borgの主観的運動強度11～17に対して、陸上歩行では心拍数が約15拍/分低く、水中歩行では水深が浅い場合は心拍数が高くなり(RPE17で10拍/分)、深い場合は低くなる(RPE17で8拍/分)ことが認められた。

第 7 章 要約

- 1) 本研究はBorgの主観的運動強度を指標として、異なる水深による歩行運動を行わせ、水中歩行時の主観的運動強度に対する生理的応答の特徴を明らかにすることを目的とした。
- 2) 健康な成人男性8名(年齢 22 ± 2 歳、身長 172.5 ± 3.4 cm、体重 67.4 ± 5.7 kg)が本研究に参加した。
- 3) 歩行は主観的運動強度の、楽である(RPE11)、ややきつい(13)、きつい(15)、およびかなりきつい(17)で各5分間、それぞれ陸上ならびに水中で行なった。なお、水中歩行は、浅い(水深80cm)および深い(水深120cm)水深で行った。また、いずれの歩行においても、RPE 17の条件では引き続き2分間の全力歩行を付加した。
- 4) 各歩行中の最後の1分間の酸素摂取量および心拍数を測定した。
- 5) 陸上ならびに浅いおよび深い水中歩行における酸素摂取量の極大値は、それぞれ40.8、52.2および40.9ml/kg・分で、最大酸素摂取量のそれぞれ71.7、91.8および72.0%に相当した。心拍数の極大値は、それぞれ176、190および170拍/分で、最高心拍数のそれぞれ91.2、98.4および88.0%に相当した。
- 6) 水中歩行時の酸素摂取量および心拍数は、陸上歩行時より高い値を示したが、水深80cmと120cmでは浅い方がより高かった。

7) BorgのRPE(X)と心拍数(Y)との関係を $Y=10X$ とすると、3歩行の主観的運動強度に対する心拍数関係は、

$$Y=10X-16 \text{ (陸上歩行)}$$

$$Y=12X-18 \text{ (水中歩行：浅い)}$$

$$Y=9X+8 \text{ (水中歩行：深い)}$$

となった。

8) Borgの主観的運動強度11～17に対して、陸上歩行では心拍数が約15拍/分低く、水中歩行では強度が増すにつれて、水深が浅い場合は心拍数が高くなり(RPE17で10拍/分)、深い場合は低くなる(RPE17で8拍/分)ことが認められた。

引用文献

- 1) 青木純一郎：運動の種目特性－有酸素運動．現代医療 23(2):91－94 (1992)
- 2) Arborelius,M., U.I.Balldin and C.E.G.Lundgren : Hemodynamic change in man during immersion with the head above water. Aerospace Med. 43:592－598 (1972)
- 3) 浅見俊雄，戸莉晴彦，足立長彦，山本恵三，生田香明，佐野裕司：全身持久性トレーニングの強度の処方について．日本体育学会第 26 回大会号：259 (1975)
- 4) 浅見俊雄：Perceived exertion の生理学的研究．体育の科学 26:128－133 (1976)
- 5) Bar-Or,O., J.S.Skinner and G.Borg : Physiological and perceptual indicators of physical stress in 41-to 60-year old men who vary in conditioning level and in body fatness. Med.Sci.Sports 4:96－100 (1972)
- 6) Bishop,P.A., S.Frazier, J.Smith and D.Jacobs : Physiologic responses to treadmill and water running. Phys.Sports Med. 17:87－94 (1989)
- 7) Borg,G.,and H.Liderholm : Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. Acta Med.Scand. 472:194－206 (1967)
- 8) Borg,G. : Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand.J.Rehab.Med. 2:92－98 (1970)
- 9) Borg,G. : A note on a category scale with “ ratio properties ” for estimating perceived exertion. Reports from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm,No.36 (1973)
- 10) Borg,G. : Perceived exertion: a note on “ history ” and methods. Med.Sci.Sports 5:90－93 (1973)
- 11) Bruce,R.A. : Exercise testing for evaluation of ventricular function. N.Engl.J.Med. 296:671－675(1977)
- 12) Bruce,R.A.,J.R.Blackman and J.W.Jones : Exercising testing in adult normal subjects and cardiac patients.Pediatrics 32:742－756 (1963)
- 13) Bryant,A.S. and B.J.Noble : Metabolic cost and perception of effort during bicycle ergometer work performance. Med.Sci.Sports 6:226－231 (1974)

- 14)Burke,E.J. and T.J.Keenan : Energy cost,heart rate, and perceived exertion during the elementary backstroke. Phy.Sport Med. 12(12):75-80 (1984)
- 15)Butts,N.K.,M.Ticker and C.Greening : Physiologic responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. Am.J.Sports Med. 19:612-614 (1991)
- 16)Cooper,K.H. : エアロビクスー新しい健康づくりのプログラムー. 広田公一, 石川 旦 共訳 : 第1版 p.34, ベースボールマガジン社 : 東京 (1987)
- 17)Davies,C.T. : Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. J.Appl.Physiol. 24:700-706 (1968)
- 18)Ekblom,B. : Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta Physiol. Scand.Suppl.328:9-45 (1969)
- 19)Ekblom,B. and A.N.Goldbarg : The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion. Acta Physiol.Scand. 83:399-406 (1971)
- 20)Ellestad,M.H. : Stress testing protocol. In Stress testing. Elledtad.M.H.ed, pp. 157-185 F.A.Davis Company: Philadelphia (1986)
- 21)Evans,B.W., K.J.Cureton and J.W.Purvis : Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. Res.Quart. 49:442-449 (1978)
- 22)Farhi,L.E and D.Linnarsson : Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 °C . Respir.Physiol. 30:35-50 (1977)
- 23)Gleim,G.W. and J.A.Nicholas : Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. Am.J.Sports Med. 17:248-252 (1989)
- 24)Green,J.H., N.T.Cable and N.Elms : Heart rate and oxygen consumption during walking on land and in deep water. J.Sports Med.Phys.Fitness 30:49-52 (1990)
- 25)Hood,W.B., W. B. Hood Jr., R.H.Murray, C.W.Vrschel, J.A.Bowers and J.K.Goldman : Circulatory effects of water immersion upon human subject. Aerospace Med. 39:579-584 (1968)
- 26)池上晴夫 : 運動強度 . 体育の科学 41:530-534 (1991)
- 27)Issekutz,B., Jr.,N.C.Birkhead and K.Rodahl : Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. J.Appl.Physiol. 17:47-50 (1962)
- 28)Koltyn,K.F., J.O.Connor and W.P.Morgan : Perception of effort in female and male competitive swimmers. Int.J.Sports Med. 112:427-429 (1991)

- 29) 今野 純：スイミング・コンセプト．第4版，p.195, アクアダイナミックス研究所：横浜（1990）
- 30) Koszuta, L.E. : Water exercise causes ripples. Phys.Sportsmed. 14:163-167 (1986)
- 31) Krasevec, J.A and D.C.Grimes : HydroRobics. 柴田義晴，神戸 周 監訳：第1版 pp.23-24, 大修館書：東京（1993）
- 32) Lollgen, H., V.Nieding, K.Kopenhagen, F.Kersting and H.Just : Hemodynamic response to graded water immersion. Klin.Wochenschr 59:623-628 (1981)
- 33) Margaria, R., P.Cerretelli, P.Aghemo and G.Sassi : Energy cost of running. J.Appl.Physiol. 18:367-370 (1963)
- 34) 宮本忠吉，藤本繁夫，渡辺一志，宮側敏明，前田如矢，栗原直嗣：健常人の水中トレッドミル歩行の換気循環反応の検討 - 陸上歩行との比較 -. 体力科学 42:782 (1994)
- 35) 宮下充正，小野寺孝一：水泳における Rating of Perceived Exertion. 体育科学 6:96-99 (1994)
- 36) Noble, B.J., K.F.Metz, K.B.Pandolf, C.W.Bell, E.Cafarelli and W.E.Sime : Perceived exertion during walking and running - II . Med.Sci.Sports 5:116-120 (1973)
- 37) 大柿哲朗：Vo₂ max の判定基準 (criteria). 体育の科学 27:360-364 (1977)
- 38) 小野寺孝一，宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性 - Rating of perceived exertion の観点から -. 体育学研究 21:191-203 (1976)
- 39) 小野寺孝一，宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性．日本体育学会第26回大会号：260 (1975)
- 40) Pandolf, K.B., F.R.Winsmann and B.J.Noble : The effect of pedalling speed and resistance changes on perceived exertion for equivalent power outputs on the bicycle ergometer. Med.Sci.Sports 5:132-136 (1973)
- 41) Rennie, D.W., P.D.I. Pranpero and P.Cerretelli : Effect of water immersion on cardiac output, heart rate, and stroke volume of man at rest and during exercise. Med.Dello Sport 24:223-228 (1971)

- 42)Risch,W.D., H-J.Kobence, U.Beckmann, S.Lange and O.H.Gauer: The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution,and heart rate in man. Pflügers Arch. 374:115-118 (1978)
- 43)Ritchie,S.E. and W.G.Hopkins : The intensity of exercise in deep-water running. Int.J.Sports Med. 12:27-29 (1991)
- 44) 進藤宗洋 : 簡易スタミナ・テスト . 福岡大学体育学部運動生理学研究室臨床体育学研究会 : 1-43 (1979)
- 45)Skinner,J.S., R.Hutsler, V.Bergsteinova and E.R.Buskirk : The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion. Med.Sci.Sports 5 :94-96 (1973)
- 46)Skinner,J.S., R.Hutsler, V.Bergsteinova and E.R.Buskirk : Perception of effort during different types of exercise and under different environmental conditions. Med.Sci.Sports 5 :110-115 (1973)
- 47)Svedenhag,J. and J.Seger : Running on land and in water: comparative exercise physiology. Med.Sci.Sports Exerc. 24:1155-1160 (1992)
- 48) 高木広文 , 佐伯圭一郎 , 中井里史 : HALBAU によるデータ解析入門 . 第 2 版 , pp.77-89, 現代数学社 : 京都 (1991)
- 49) 東京都立大学身体適性学研究室 : 日本人の体力標準値 , 第 3 版 , pp.27-67, 不昧堂 : 東京 (1985)
- 50)Town,G.P. and S.S.Bradley : Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. Med.Sci.Sports Exerc. 23:238-241 (1991)
- 51)Weinstein,L.B. : The benefits of aquatic activity. J.Geront.Nurs. 12:7-11 (1986)

Perceived exertion
during shallow and deep water walking

Tomo OHNISHI

Summary

- 1) The purpose of the present study was to examine the physiological responses for RPE during shallow and deep water walking, using Borg's original.
- 2) Eight healthy young men (age: 22 ± 2 yrs, height: 172.5 ± 3.4 cm, weight: 67.4 ± 5.7 kg) participated in this study.
- 3) Walking was performed at the fairly light (RPE11), somewhat hard (RPE13), hard (RPE15) and very hard (RPE17) for 5 minutes on the land and in the water. The depth of the water was 80cm (shallow) and 120cm (deep). Only after walking at the RPE 17, each subject continued to walk for additional 2 minutes with maximal effort.
- 4) Oxygen uptake and heart rate were measured during last one minute at each walking.
- 5) Peak $\dot{V}O_2$ and $\% \dot{V}O_{2max}$ obtained during walking on the land and in the shallow and deep water were 40.8, 52.2 and 40.9 ml/kg·min and 71.7, 91.8 and 72.0% $\dot{V}O_{2max}$, respectively. Peak heart rate during each walking was 176, 190 and 170 beats/min. Those corresponded to 91.2, 98.4 and 88.0% of the maximal heart rate obtained during maximal those treadmill walking.
- 6) Oxygen uptake and heart rate during walking in the shallow and deep water were higher than during walking.
- 7) The following regression lines were obtained between the Borg's RPE(X) and the heart rate during exercise(Y).

land walking : $Y = 10 X - 16$

shallow water walking : $Y = 12 X - 18$

deep water walking : $Y = 9 X + 8$

- 8) From those results, it was found that while heart rate during land walking, at RPE 11 ~ 17 was lower by about 15 beats/min, compared with heart rate from Borg's original scale, heart rate in the shallow water walking would increase to RPE (10 beats/min at RPE17) and it would decrease in deep water walking (8 beats/min).

Table 1. Age and physical characteristics of the subjects

subject	age	height	weight	symphysis	processus xiphoideus	%fat
	(yr)	(cm)	(kg)	(cm)	(cm)	(%)
A	19	171.5	71.2	82.9	120.1	14.4
B	21	175.4	65.1	87.3	124.0	13.9
C	22	172.8	65.4	91.7	123.4	10.7
D	21	170.1	60.8	85.4	121.8	10.4
E	25	178.7	65.9	91.0	123.2	10.9
F	21	171.7	71.0	84.2	120.0	15.1
G	24	173.2	79.0	84.7	121.0	14.6
H	24	166.5	60.9	78.9	119.2	11.6
mean	22	172.5	67.4	85.8	121.6	12.7
SD	2	3.4	5.7	3.9	1.7	1.8

Table 2. The Borg's RPE scale for rating of perceived exertion ⁹⁾

20		
19	Very very hard	非常にきつい
18		
17	Very hard	かなりきつい
16		
15	Hard	きつい
14		
13	Somewhat hard	ややきつい
12		
11	Fairly light	楽である
10		
9	Very light	かなり楽である
8		
7	Very very light	非常に楽である
6		

Japanese translation by Onodera and Miyashita³⁸⁾
 was used in this study

Table 3. Maximum oxygen uptake and maximum heart rate obtained by treadmill walking

subject	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg·min)	fHmax (beats/min)
A	60.3	186
B	59.2	196
C	62.2	189
D	57.2	196
E	50.3	200
F	50.5	188
G	51.5	202
H	64.2	188
mean	56.9	193
SD	5.1	6

Table 4. Peak oxygen uptake and heart rate obtained
at exhaustive walking after RPE17 condition

subject	land walking		water walking (shallow)		water walking (deep)	
	Vo ₂ peak (ml/kg·min)	fHpeak (beats/min)	Vo ₂ peak (ml/kg·min)	fHpeak (beats/min)	Vo ₂ peak (ml/kg·min)	fHpeak (beats/min)
A	33.1	149	52.6	180	39.1	156
B	33.5	165	49.1	190	36.5	165
C	51.8	180	60.4	185	46.0	164
D	40.2	192	55.5	197	38.9	163
E	33.5	172	44.7	189	42.8	193
F	39.3	181	48.5	196	42.0	177
G	40.3	194	52.4	207	43.6	192
H	50.6	173	54.8	179	38.5	156
mean	40.8※	176	52.2#	190*	40.9	170
SD	6.5	14	4.5	9	3.0	14

※:p<0.01 ; land vs shallow , # :p<0.01 ; shallow vs deep , * :p<0.05 ; shallow vs deep

Table 5 Individual data of heart rate and oxygen uptake to RPE during walking on the land and in the shallow and deep water

Sub.	land				shallow				deep			
	RPE11	RPE13	RPE15	RPE17	RPE11	RPE13	RPE15	RPE17	RPE11	RPE13	RPE15	RPE17
Vo ₂ (ml/kg·min)												
A	9.34	12.14	21.95	29.62	8.52	13.99	28.52	44.59	13.26	21.92	29.88	34.01
B	10.53	12.97	17.66	23.97	12.39	23.25	45.34	48.70	10.75	15.53	24.82	32.62
C	20.90	27.44	32.19	46.36	32.13	38.00	47.38	48.52	22.21	32.00	36.04	41.70
D	15.19	23.71	29.55	34.95	21.05	34.77	43.95	52.39	16.82	28.28	35.08	37.17
E	11.01	15.51	19.28	23.24	18.74	29.43	31.67	33.33	24.41	29.97	32.60	37.50
F	11.16	14.27	19.49	26.57	16.08	25.00	30.98	42.80	12.91	21.30	28.41	35.92
G	10.94	12.83	16.44	35.34	17.40	26.77	38.54	47.29	15.10	26.76	36.35	36.62
H	16.50	23.01	31.14	44.43	16.62	26.34	40.84	52.38	25.83	34.05	37.39	34.13
mean	13.20	17.74	23.46	33.06	17.87	27.19	38.40	46.25	17.66	26.23	32.57	36.21
SD	3.71	5.62	6.03	8.28	6.49	6.84	6.74	5.80	5.36	5.81	4.19	2.62
fH(beats/min)												
A	81	86	109	135	74	85	116	166	97	115	133	142
B	87	95	111	124	86	117	167	184	102	114	132	153
C	107	115	138	172	139	152	174	178	102	133	142	155
D	117	137	164	180	107	156	177	191	102	128	149	163
E	98	104	118	154	147	159	163	172	134	151	164	182
F	85	100	103	151	113	139	152	183	98	121	139	170
G	102	108	114	182	126	135	176	197	104	130	162	171
H	101	116	135	161	99	112	150	171	111	132	139	154
mean	97	108	124	157	111	132	159	180	106	128	145	161
SD	11	15	19	19	24	24	19	10	11	11	12	12

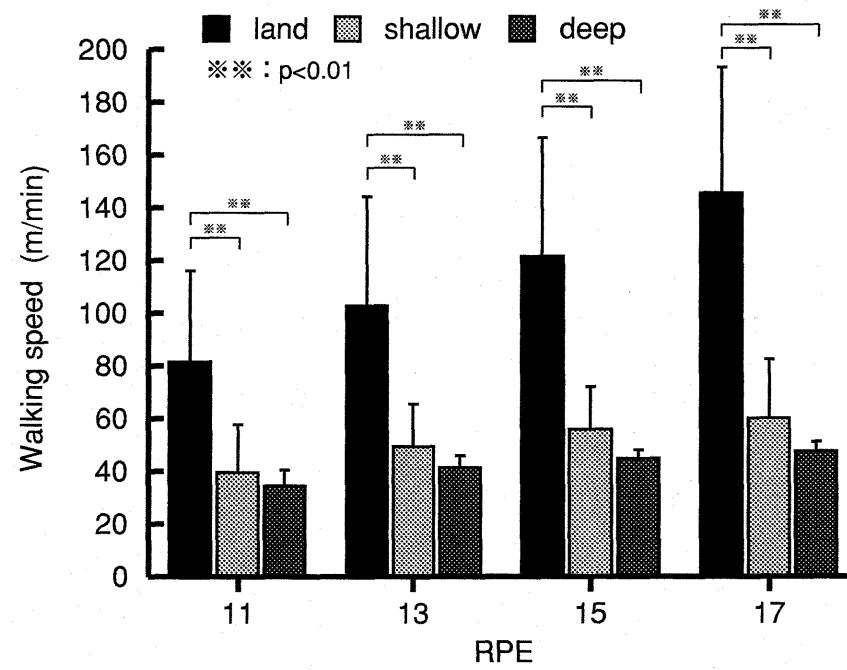


Fig.1. Walking speed at four RPE levels on the land and in the shallow and deep water walking

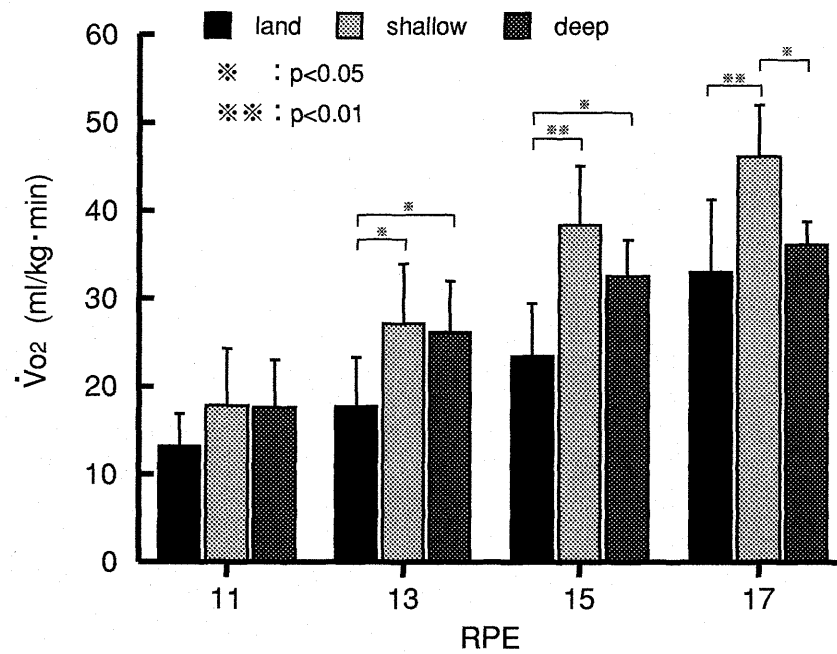


Fig.2 Oxygen uptake at four RPE levels on the land and in the shallow and deep water walking

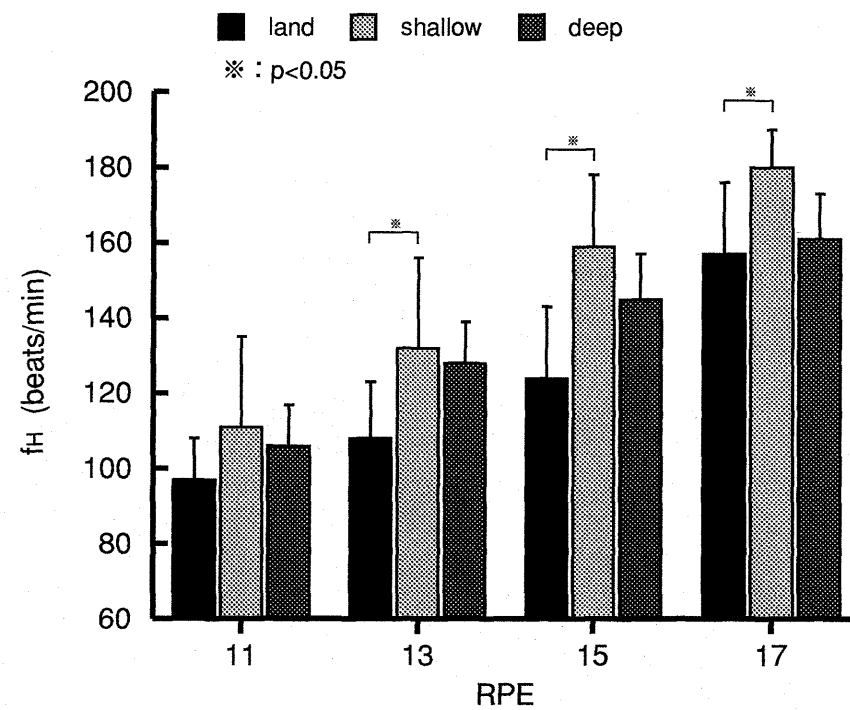


Fig.3 Heart rates at four RPE levels on the land and in the shallow and deep water walking

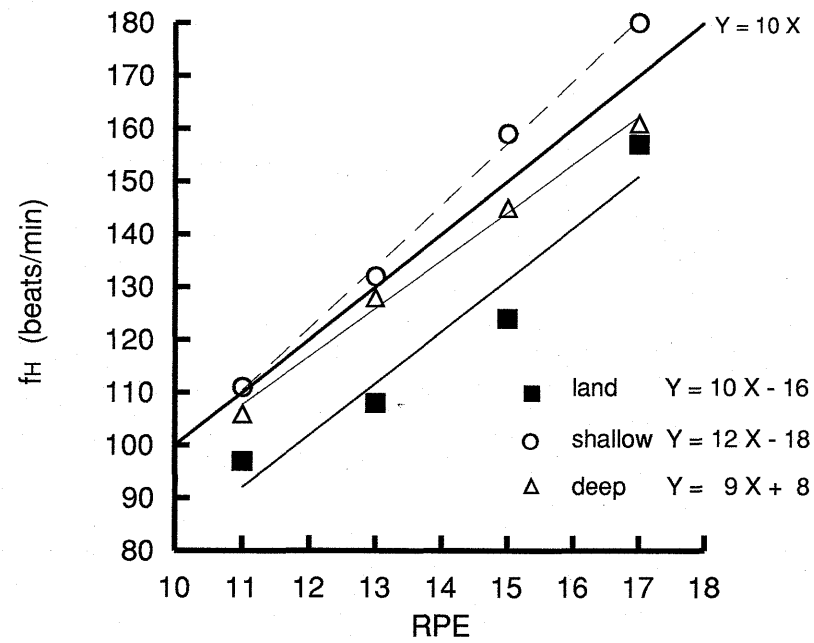


Fig.4. Relation of heart rate to RPE during walking on the land in the shallow and deep water

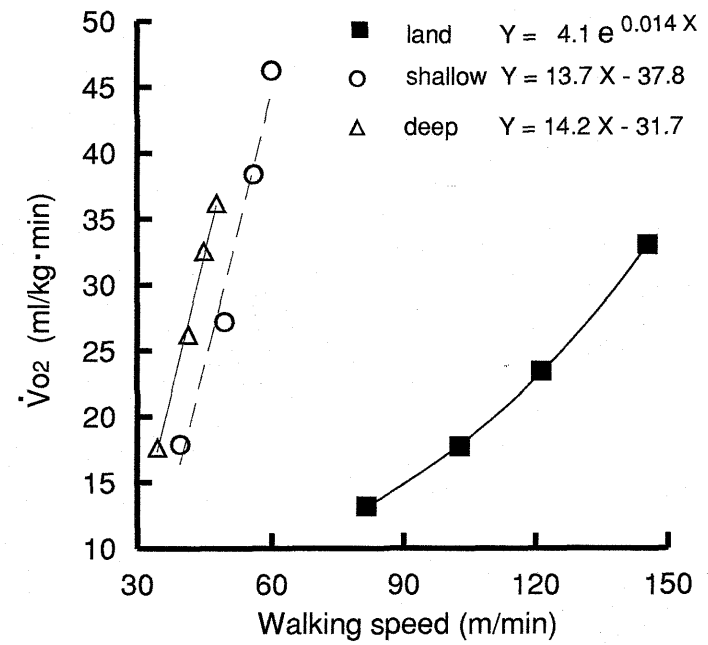


Fig.5. Relation of oxygen uptake to walking speed during on the land and in the water

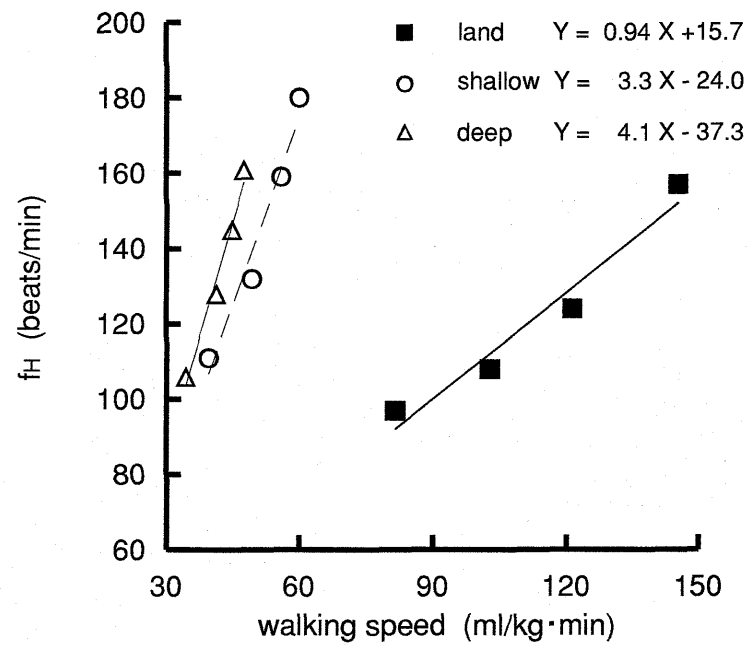


Fig.6. Relation of heart rate to RPE during walking on the land and in the water

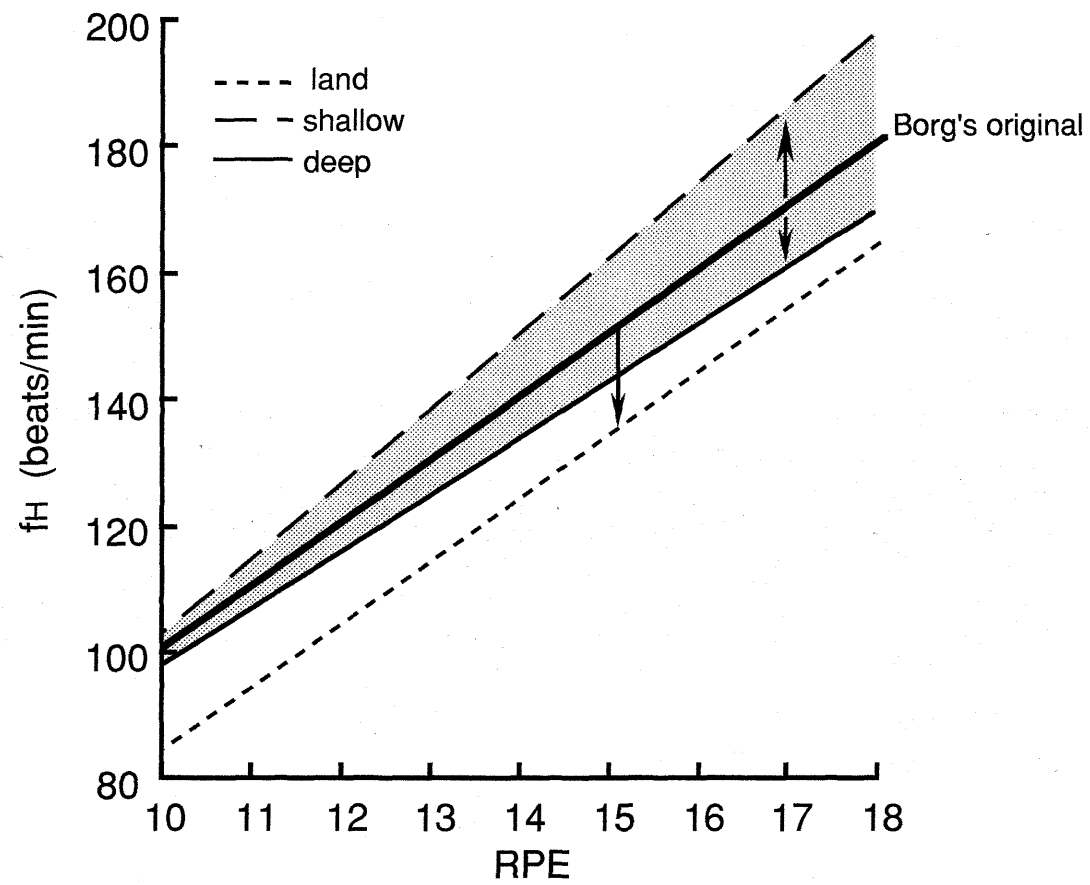


Fig.7. Relation of heart rate to RPE during walking on the land and in the shallow and deep water

付表 1 同意書

被験者のお願い

大学院2年 大西 朋
指導教員 青木純一郎

私は、修士論文作成のために次のように実験を計画しています。つきましては被験者としてあなたに御協力して頂きたくお願い申し上げます。実験の内容は以下の通りです。質問等がありましたら御遠慮なく申し出て下さい。内容を十分に理解された上で、実験に御協力頂ける場合、承諾書に御署名下さい。

1. 実験目的

水中歩行時の主観的運動強度(RPE)と心拍数および酸素摂取量との関係を明らかにする。

2. 実験内容

- ①身長、体重、最高心拍数および最大酸素摂取量(トレッドミルを用いた漸増荷テスト:勾配10%のトレッドミルで、45.6m/分の速度で3分間、引き続き疲労困憊に至るまで3分毎に勾配を2%ずつ増加し、速度を67.0、91.2、112.6、134.1、147.5および160.9m/分と増加する。
- ②水中および陸上において、RPE11、13、15、および17でそれぞれ5分間歩行を行い、その間ダグラスバッグ法および胸部双極誘導心電図の無線搬送により、酸素摂取量および心拍数を測定する。なお、水深は1.2mおよび0.8mとし、陸上歩行は体育館の木製の床面で行う。また、いずれの条件でもRPE17の時は、引き続いて2分間全力歩行を行い、心拍数および酸素摂取量のピーク値を記録する。

3. 実験に伴う問題点

心電図記録の際の電極接着面のかぶれ、水中歩行時に転倒等による溺れ、呼吸採集のためのマスク装着による息苦しさ、あるいはオールアウト時の不快感等の発生などが考えられますが、運動中の心電図をモニターしたり、できるだけ多くの補助員をつけ、安全には万全を期します。

4. 実験結果から得られる利点

水中歩行時のRPEと心拍数および酸素摂取量との関係が明らかになり、水中歩行の運動処方に役立つ。

5. 実験場所

- ・静岡県田方郡 日本サイクルスポーツセンター室内温水プール
- ・千葉県印旛郡 順天堂大学さくらキャンパス体育館

承諾書

1994年 月 日

大西 朋 殿

私は、実験内容を理解し、被験者として参加することに同意します。

署名 _____