

陸上と水中での運動終了直後の心拍数の 回復過程の差違に関する検討

山 口 大 学 丹 信 介
(共同研究者) 同 曾 根 涼 子

The Difference in Vagally Mediated Heart Rate Recovery After Exercise Between Resting on Land and in Water

by

Nobusuke Tan, Ryoko Sone
Faculty of Education, Yamaguchi University

ABSTRACT

It is suggested that heart rate (HR) recovery for the first 30 sec after exercise is primarily mediated by vagal reactivation. We examined the difference in vagally mediated HR recovery after exercise between resting on land and in water. Seven and 6 healthy non-smoking college students were participated in the experiments 1 (Exp. 1) and 2 (Exp. 2), respectively. In Exp. 1, students ran on land or swam in water for 4-5 min at three HR levels (125, 140 and 155 bpm) then rested on land or in water to the level of the xiphoid for the first 30 sec after exercise. In Exp. 2, students ran on land or swam in water for 4-5 min at HR 147 bpm then rested on land or in water to the level of the navel or clavicle for the first 30 sec after exercise. The time constants of the beat-by-beat HR decay for the first 30 sec after exercise (T30) was used as an index of vagally mediated HR recovery after exercise. T30 after exercise in water was significantly lower at HR 125 and 155 bpm and slightly lower at HR 140 bpm than that after exercise on land in Exp. 1. In Exp. 2, T30 after exercise in water at the level of the clavicle was significantly lower than that after exercise on land. However, there was no significant difference in T30 after exercise between that in water at the level of the navel and that on land in Exp. 2. These results suggest that the vagally mediated HR recovery for the first 30 sec after

exercise is accelerated in water compared with that on land. Augmentation of the vagally mediated HR recovery after exercise in water is thought to depend on the level of water immersion during recovery. When we use the heart or pulse rate counted for 10-15 seconds immediately after exercise for estimating the HR during exercise, these results must be taken into account.

要 旨

本研究では、運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) を指標に、主に迷走神経系の再興奮化を介する運動終了直後30秒間の心拍数の回復が、陸上運動と水中運動で異なるかどうかを検討した。異なる3つの心拍レベル (125, 140, 155拍/分) で4~5分間の陸上運動 (ジョギング) あるいは水中運動 (平泳ぎ, 回復期の水深: 剣状突起レベル) を行わせ、両運動でT30を比較した。その結果、T30は、心拍数が125, 155拍/分の時、水中運動の方が陸上運動に比べて有意に ($p<0.05$) 低値を示し、心拍数が140拍/分の時も水中運動の方が低値を示す傾向を示した。また、4~5分間の陸上あるいは水中運動 (心拍数147拍/分のジョギングあるいは平泳ぎ) を行わせ、水中運動においては、終了後の回復期の水深を鎖骨およびへそレベル (鎖骨回復, へそ回復) の2種類設定し、各運動・回復条件でT30を比較した。その結果、水中運動・鎖骨回復におけるT30は、陸上運動に比べて有意に ($p<0.05$) 低値を示した。しかし、水中運動・へそ回復と陸上運動との間では、T30に有意な差は認められなかった。以上のことから、陸上運動に比べて、水中運動終了直後30秒間の心拍数の回復は速まるが、回復が速まるかどうかは、回復期の水深の影響を受けることが示唆された。また、これらの点は、運動終了直後の心 (脈) 拍数を用いて、運動中の心拍数を推定する際に注意する必要があると考えられた。

緒 言

プールを主に利用した水中運動は、「浮力」, 「静水圧」, 「水温」, 「抵抗」などの水の特性を利用して運動を行うことができる¹⁾ため、健康の保持・増進, リハビリテーション等の目的で、近年広く行われるようになってきた。

水中運動を含め、健康の保持・増進等のために運動を行う場合、運動強度は重要な運動条件の1つとなる。運動強度の指標としては、運動中の心拍数が広く用いられている^{3),6),12)}。しかし、運動中の心拍数の測定は触診では困難であり、特別な測定器具などを必要とするため、誰もが簡便に測定できるわけではない。そこで、運動終了直後の心 (脈) 拍数から運動中の心拍数を推定し、それを指標にする方法が一般には行われている。運動中の心拍数を推定する方法としては、運動終了直後 (5~10秒以内) 15秒間の心 (脈) 拍数を4倍し、それに10拍程度加える方法が用いられている^{5),6),12)}。10拍程度加える理由は、運動終了直後、心拍数は急速に低下するので、その低下分を補正する必要があるためである。しかし、先の方法は、陸上運動においてその妥当性が調べられているだけで、水中運動でも妥当性があるかどうかは明らかでない。

一般に、水浸により心拍数の低下、迷走神経系活動の高進、交感神経系活動の抑制が起こることが知られており^{7),8),10)}、運動終了後においても、陸上運動に比較して、水中運動終了後 (終了5~10分後) では迷走神経系活動がより高進するこ

とが報告されている⁹⁾。このように、水中では自律神経系活動は変化し、迷走神経系活動が優位になる。運動終了直後、心拍数は運動中抑制されていた迷走神経系の再興奮化により急速に低下するとされている⁴⁾。したがって、運動終了直後の心拍数の回復も陸上に比べて水中で速まる可能性が考えられるが、この点については明らかでない。また、水浸による心拍数の低下や自律神経系に及ぼす影響は、水深レベルの違いによっても異なる¹⁰⁾とされている。水中運動が行われる際の水深はさまざまであり、水深レベルの違いが、水中での運動終了直後の心拍数の回復にも影響を及ぼす可能性が考えられるが、この点に関する検討もなされていない。

そこで、本研究では、研究1として、陸上と水中でほぼ同一の心拍数になるような運動を3つの異なる心拍レベルで実施し、それぞれの運動終了直後30秒間の心拍数の回復の差違について比較検討した。また、研究2として、水中運動においては2つの異なる水深レベルを設定し、水中と陸上でほぼ同一の心拍数になるように運動を実施し、それぞれの運動終了直後30秒間の心拍数の回復の差違について比較検討した。本研究で、運動終了直後30秒間の心拍数の回復を検討した理由は、この間の心拍数の回復が、主に迷走神経系の再興奮化によりもたらされていること⁴⁾、運動終了直後の心(脈)拍数から運動中の心拍数を推定する方法として、運動終了直後5~10秒以内に計測をはじめた15秒間の心(脈)拍数が用いられていること^{5),6),12)}を考慮したからである。

1. 方法

1.1 対象

研究1では、20歳から23歳までの喫煙習慣をもたない健常な男子大学生7名(身長: 170.9 ± 4.4cm, 体重: 61.6 ± 4.5kg, 体脂肪率: 16.5 ± 1.3%), 研究2では、20歳から22歳までの喫煙習

慣をもたない健常な男子大学生6名(身長: 170.8 ± 3.3cm, 体重: 63.2 ± 6.6kg, 体脂肪率: 14.5 ± 3.5%)を、それぞれ被験者とした。実験前に、被験者には研究の主旨と内容を説明し、理解と承諾を得たうえで、実験に参加してもらった。いずれの被験者も常備薬はなく、自律神経機能に影響する既往歴を有していなかった。

1.2 運動条件

研究1.

被験者に、異なる3つの心拍レベル(125拍/分, 140拍/分, 155拍/分)になるように、以下に示す陸上および水中運動を、すべて午前中の同一時間帯に日をかえて実施させた。陸上および水中の計6回の運動順序は一定ではなく、被験者ごとに異なった。

陸上運動: 運動は、体育館内で行った。5分間の椅座位安静をとらせた後、規定の心拍数になるようなスピードで4~5分間のジョギングを行わせた。運動終了直後はその場で少なくとも30秒間立位姿勢を保持させた。

水中運動: 運動は、室内の温水プール(水深1.1m)で行った。水浸前に5分間の椅座位安静をとらせた後、水中で5分間の立位安静をとらせた。その後、規定の心拍数になるようなスピードでの平泳ぎを4~5分間行わせ、運動終了直後はその場で少なくとも30秒間立位姿勢を保持させた。水中での安静時および運動終了直後の立位姿勢保持時の水位は剣状突起付近になるようにした。

環境条件は、陸上運動時、室温18.0 ± 0.4℃, 湿度56.6 ± 3.6%, 水中運動時、室温28.6 ± 1.0℃, 湿度57.5 ± 2.7%, 水温30.7 ± 0.5℃であった。

研究2.

被験者に、同一の心拍レベル(147拍/分)になるように、陸上および水中運動を、すべて午後の同一時間帯に日をかえて実施させた。以下に示す陸上および水中運動、計4回の順序は一定ではなく、

被験者ごとに異なった。

陸上運動：運動は、体育館内で行った。5分間の椅座位安静を行わせた後、規定の心拍数になるようなスピードでのジョギングを4～5分間行わせ、運動終了後はその場で少なくとも30秒間立位姿勢を保持させた。

水中運動：運動は、屋外プールで行った。水浸前に5分間椅座位安静を行わせた後、水中で5分間の立位安静を鎖骨あるいは、へそレベルの水位で行わせた。その後、規定の心拍数になるようなスピードでの平泳ぎを4～5分間行わせ、運動終了後は少なくとも30秒間それぞれの水位で立位姿勢を保持させた。2つの水位レベルでの運動・回復は、それぞれ同じ日に45分以上の間隔をあけてランダムに行った。

環境条件は、陸上運動時、室温 21.3 ± 3.3 ℃、湿度 63.8 ± 3.9 ％、水中運動時、気温 30.2 ± 2.2 ℃、湿度 57.3 ± 8.9 ％、水温 29.2 ± 1.0 ℃であった。

研究1, 2ともに、運動負荷前日の飲酒や過度な運動は禁止とし、少なくとも運動負荷開始2時間以上前には起床するよう指示した。また、食事は少なくとも運動負荷開始90分以上前に軽めに摂取するよう指示した。

1.3 心電図の記録

心電図は、無線式心電計（バイオビューE、日本電気三栄あるいはダイナスコープ、フクダ電子）を用いて記録した。陸上運動における誘導法は胸部双極誘導(CM5誘導)とした。水中運動では、CM5誘導では記録に支障をきたす例があったため、電極の位置を変え、-電極を胸骨上縁、+電極を第七肋間左鎖骨中線上、アース電極を胸骨下縁の位置に置き、リード線をつないだ上から防水パッドで固定した。水中運動時、送信機はゴム袋に入れ釣竿につなぎ、補助員に被験者の泳ぐスピードに合わせてプールサイドからその釣竿を持っ

て歩いてもらった。心電図の記録は、5分間の安静時の最後の15秒間と運動終了90秒前から終了後30秒まで行った。記録の紙送り速度は、安静時および運動終了90秒前から運動終了15秒前までは25mm/秒、運動終了15秒前から終了後30秒までは50mm/秒とした。

1.4 安静時および運動中の心拍数の算出

5分間の安静時の最後の15秒間に記録した心電図のR-R間隔をもとに安静時の心拍数を算出した。また、運動中の心拍数は、運動終了15秒前から終了までの15秒間の心電図のR-R間隔をもとに算出した。

1.5 運動終了直後30秒間の心拍数の回復の評価

運動終了直後30秒間の心拍数の回復の指標として、運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数(T30)を用いた。T30の算出は、Imaiらの方法に従った⁴⁾。すなわち、運動終了直後30秒間の瞬時心拍数を自然対数変換し、その値を縦軸、各瞬時心拍数に対応した運動終了後からの経過時間(秒)を横軸にとり、両者の間で一回帰直線を求め、得られた直線の傾きの逆数をT30とした。また、T30は、迷走神経系の再興奮化の程度を反映しているとされている⁴⁾ので、この値から迷走神経系の再興奮化の程度についても推測した。

1.6 運動中の心拍数と運動終了直後15秒間の心拍数との比較

運動終了直後5～10秒以内に計測をはじめた15秒間の心(脈)拍数を用いて、運動中の心拍数を推定する場合^{5),6),12)}を想定し、運動終了5秒後からの15秒間(直後1)と10秒後からの15秒間(直後2)の心電図のR-R間隔をもとに、運動終了直後15秒間の心拍数を1分間の値として算出し、運動中の心拍数と直後1の心拍数との差およ

び直後2の心拍数との差を求めた。

1.7 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差で示した。研究1では、同一の心拍レベルにおける陸上運動と水中運動の間での差の比較に Paired t-test を用いた。研究2では、それぞれの運動・回復条件の間での差の比較に一元配置分散分析を用い、この検定結果が有意となった場合には、Scheffe 法を用いて多重比較検定を行った。また、水浸前と水浸中の差の比較には、研究1、2ともに Paired t-test を用いた。なお、各検定とも有意水準は5%未満とした。

2. 研究結果

2.1 研究1

陸上運動における安静時心拍数および水中運動における水浸前、水浸中の安静時心拍数を表1 A に示した。水浸中の心拍数は水浸前に比べ有意に ($p<0.05$) 低値を示した。

表1 研究1 (A) および研究2 (B) の各条件における安静時心拍数

	運動時の目標心拍数		
	125拍/分	140拍/分	155拍/分
陸上運動	57 ± 3	58 ± 6	59 ± 6
水中運動 (水浸前)	64 ± 8	65 ± 8	64 ± 10
水中運動 (水浸中)	58 ± 9*	59 ± 9*	60 ± 11*

*水浸前と比較して有意差あり ($p<0.05$)

	陸上運動		水中運動	
	安静時/水浸前	へそ回復	へそ回復	鎖骨回復
安静時/水浸前	68 ± 6	70 ± 4	70 ± 4	
水浸中		66 ± 4**	63 ± 3**	

**水浸前と比較して有意差あり ($p<0.01$)

運動中の心拍数は、目標心拍数が125、140、155拍/分の時、陸上運動でそれぞれ123 ± 6、138 ± 2、155 ± 2拍/分、水中運動でそれぞれ124 ± 4、139 ± 4、156 ± 3拍/分となり、両運動の間で差は認められなかった。

図1に、各目標心拍数での陸上運動および水中

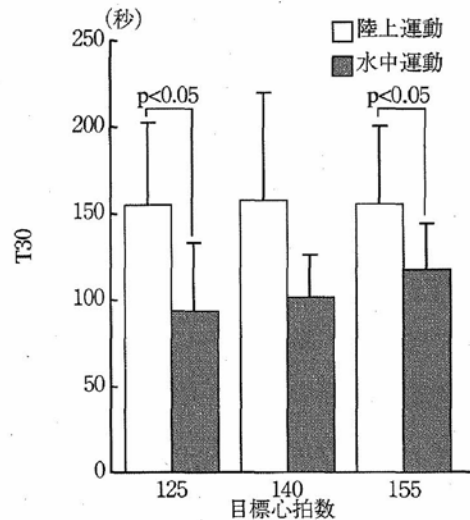


図1 各目標心拍数での陸上運動と水中運動における運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) の比較

運動における運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) を示した。T30は、目標心拍数が125、155拍/分の時、水中運動の方が陸上運動に比べて有意に ($p<0.05$) 低値を示し、目標心拍数が140拍/分の時も、水中運動の方が陸上運動に比べて低値を示す傾向を示した。

陸上および水中運動における運動中の心拍数と運動終了直後15秒間の心拍数との差を表2 A に示した。運動中の心拍数と運動終了直後5~20秒間の心拍数との差 ($\Delta 1$) は、各目標心拍数において陸上運動と水中運動の間で有意な差は認められなかった。一方、運動中の心拍数と運動終了直後10~25秒間の心拍数との差 ($\Delta 2$) は、目標心拍数が125および155拍/分において、陸上運動に比べて水中運動で有意に ($p<0.05$) 高値を示し、目標心拍数が140拍/分の時も、水中運動でやや高値を示す傾向が認められた。

2.2 研究2

陸上運動における安静時心拍数および水中運動における水浸前 (へそおよび鎖骨レベル)、水浸中 (へそおよび鎖骨レベル) の安静時心拍数の値を表1 B に示した。水浸中の安静時心拍数は、水浸前の値に比べ有意に ($p<0.01$) 低値を示した。

運動中の心拍数は、陸上運動時148 ± 5拍/分、

表2 研究1 (A) および研究2 (B) の各条件における運動中の心拍数と運動終了直後の15秒間の心拍数との差 ($\Delta 1$: 運動終了後5~20秒間の心拍数との差, $\Delta 2$: 運動終了後10~25秒間の心拍数との差)

	運動時の目標心拍数		
	125拍/分	140拍/分	155拍/分
陸上運動 $\Delta 1$	13 ± 3	16 ± 5	12 ± 6
水中運動 $\Delta 1$	15 ± 8	15 ± 4	14 ± 5
陸上運動 $\Delta 2$	17 ± 4	19 ± 5	17 ± 7
水中運動 $\Delta 2$	23 ± 10*	21 ± 6	21 ± 6*

*水浸前と比較して有意差あり (p<0.05)

	陸上運動	水中運動	
		へそ回復	鎖骨回復
$\Delta 1$	9 ± 3	10 ± 3	19 ± 3 ^{a,c}
$\Delta 2$	13 ± 3	15 ± 4	24 ± 3 ^{a,b}

a 陸上運動と比較して有意差あり (p<0.001)
 b へそ回復と比較して有意差あり (p<0.01)
 c へそ回復と比較して有意差あり (p<0.001)

水中運動・鎖骨レベルの水位での回復時 (以下, 水中運動・鎖骨回復), 水中運動・へそレベルの水位での回復時 (以下, 水中運動・へそ回復), それぞれ 145 ± 5, 144 ± 5 拍/分となり, 各運動・回復条件の間で差は認められなかった。

図2に各運動・回復条件における運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) を示した。水中運動・鎖骨回復における T30 は, 陸上運動に比べて有意に (p<0.05) 低値を示した。しかし, 水中運動・へそ回復と陸上運動の間では, T30 に有

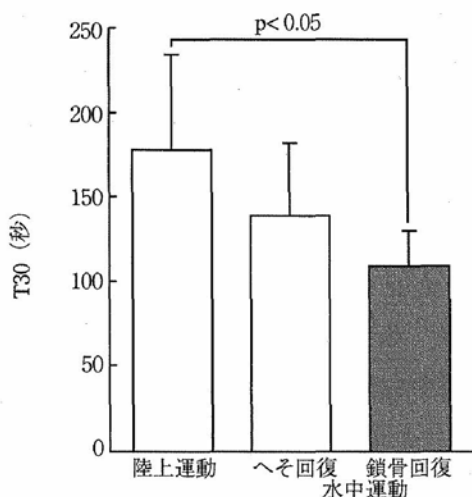


図2 各運動・回復条件における運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) の比較

意な差は認められなかった。

各運動・回復条件における運動中の心拍数と運動終了直後15秒間の心拍数との差を表2Bに示した。運動中の心拍数と運動終了直後5~20秒間の心拍数との差 ($\Delta 1$) および運動中の心拍数と運動終了直後10~25秒間の心拍数との差 ($\Delta 2$) は, いずれも水中運動・鎖骨回復で, 陸上運動に比べて有意に (p<0.01) 高値を示した。しかし, 水中運動・へそ回復と陸上運動の間には $\Delta 1$, $\Delta 2$ ともに有意な差は認められなかった。

3. 考察

3.1 陸上および水中運動終了直後の心拍数の回復の違いについて

本研究では, 運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数 (T30) を, 運動終了直後の心拍数の回復の指標に用いた。その結果, 研究1では, T30は, 運動時の目標心拍数が140拍/分において統計的に有意な差には至らなかったものの, いずれの運動でも, 水中運動の方が陸上運動に比べて低値を示した。また, 心拍数が147拍/分前後の運動を用いた研究2においても, 水中運動・鎖骨回復の T30 は陸上運動に比べて低値を示し, 研究1と同様な結果を示した。したがって, 心拍数が125~155拍/分程度の運動の場合, 水中運動の方が陸上運動に比べて運動終了直後の心拍数の回復は速いことが示唆された。

しかし, 研究2の水中運動・へそ回復の T30 は, 陸上運動と比較して差が認められなかったことから, 陸上運動に比べて, 水中運動で運動終了直後の心拍数の回復が速まるかどうかは, 運動終了直後の回復期の水深レベルの影響を受けることが合わせて示唆された。

研究1の水中運動終了直後の回復期の水深レベルは剣状突起付近であり, 研究2の結果と合わせて考えると, 少なくとも, 水中運動終了直後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には,

水中運動の方が陸上運動に比べて運動終了直後の心拍数の回復は速まることが示唆された。

3. 2 運動終了直後の心拍数の回復が陸上運動と水中運動で異なる要因について

T30は、迷走神経系の再興奮化の程度を反映しているとされている⁴⁾。本研究では、水中運動終了直後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には、水中運動の方が陸上運動に比べてT30は低値であった。したがって、水中運動終了直後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には、陸上運動に比べて、運動終了直後の迷走神経系の再興奮化が強く起こり、このことが運動終了直後の心拍数の回復が両運動で異なる要因であると考えられる。

山縣ら¹³⁾は、座位ペダリング運動終了直後、座位のままの回復と仰臥位での回復中の一回拍出量およびT30の値を測定し、仰臥位での回復の方が座位のままの回復に比べて、一回拍出量は大きく、T30も低値となることを示した。また、この結果から、運動終了直後、一回拍出量の高値持続による血圧の上昇が動脈圧受容器反射を引き起こし、この動脈圧受容器反射が、運動終了直後の迷走神経系の再興奮化の一層の促進に関与した可能性を示唆した¹³⁾。

水浸時、主に下肢にかかる水圧の影響によって、水深が深いほど中心静脈圧および心臓容積は陸上立位時に比べて増加し¹¹⁾、心拍出量および一回拍出量も同様に増加すること²⁾が報告されている。これらのことから、陸上に比べて水中では、また、その水深が深いほど運動終了直後の一回拍出量は相対的に高い値で回復することが考えられる。したがって、水中運動終了直後においても、山縣らが示唆したような動脈圧受容器反射が、運動終了直後の迷走神経系の再興奮化の一層の促進に関与し、それが要因となって、水中運動終了直後の心拍数の回復を陸上運動時に比べて速めた可能性が

考えられる。

水中運動終了直後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には、水中運動の方が陸上運動に比べてT30が低値を示したのに対し、回復期の水深がへそレベルでは、両運動の間でT30に差は認められなかったという本研究の結果は、前述の可能性を示唆する。しかし、本研究では、陸上および水中運動終了直後の一回拍出量や血圧の変化については測定していない。したがって、一回拍出量の相対的高値を介した動脈圧受容器反射が運動終了直後の迷走神経系の再興奮化の一層の促進に関与し、それが両運動終了直後の心拍数の回復の違いの要因であるか否かについては、今後、さらに検討する余地がある。

3. 3 運動中の心拍数と運動終了直後15秒間の心拍数との差について

前述のように、少なくとも、水中運動終了直後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には、水中運動の方が陸上運動に比べて運動終了直後の心拍数の回復は速まると考えられる。したがって、運動終了直後に計測した心(脈)拍数を用いて運動中の心拍数を推定する場合には、この点を考慮する必要があると考えられる。

脈拍数の計測に触診法を用いる場合、運動を終了してからすぐに触診により脈拍数を計測し始めることは通常難しく、計測し始めるまでに5~10秒かかる^{5),6)}とされている。そこで、本研究では、運動終了5あるいは10秒後からの15秒間の心電図記録から算出した心拍数と運動中の心拍数との差($\Delta 1$, $\Delta 2$)を求めた。

その結果、水中運動終了後の回復期の水深レベルが剣状突起付近であった研究1では、陸上と水中運動で、 $\Delta 1$ に有意な差は認められなかった。しかし、運動時の目標心拍数が125および155拍/分の運動において、 $\Delta 2$ は水中運動の方が陸上運動に比べて高値を示した。また、研究2では、水

中運動・鎖骨回復の $\Delta 1$, $\Delta 2$ は, 陸上運動に比べて高値を示した. しかし, 水中運動・へそ回復の $\Delta 1$, $\Delta 2$ は, 陸上運動と比較して有意な差が認められなかった.

したがって, 運動終了直後(5~10秒以内)15秒間の脈拍数を4倍し, その値に運動終了直後に低下した心拍数の低下分を加える方法により水中運動中の心拍数を推定する場合, 少なくとも, 運動終了後の回復期の水深が剣状突起レベルより深い場合には, 陸上運動の実験結果から示されている, 例えば, 10拍程度加えるような補正法^{5),6),12)}とは異なる補正法で推定することが望ましいと考えられた.

結 論

本研究では, 陸上と水中における運動終了直後の心拍数の回復の差違に関して, 運動終了直後30秒間の心拍減衰時定数を指標に検討した. その結果, 陸上運動に比べて, 水中運動終了直後の心拍数の回復は速まるが, 回復が速まるかどうかは, 運動終了直後の回復期の水深の影響を受けることが明らかとなった. また, 運動終了直後の心(脈)拍数を用いて, 運動強度の指標となる運動中の心拍数を推定する際には, これらの点に注意する必要があることが示唆された.

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします. また, 本研究の遂行に多大な貢献をしてくれた赤木やよいさん, 前野将司君に厚くお礼申し上げます.

文 献

1) 土肥信之, 兵頭慶子, 金城利雄; Underwater exerciseの新しい動向と諸問題, 臨床リハ, 7(7): 679-682 (1998)

- 2) Farhi, L. E., D. Linnarsson; Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C, *Respir. Physiol.*, 30: 35-50 (1977)
- 3) 池上晴夫; 現代の体育・スポーツ科学 [新版] - 運動処方 - 理論と実際, 朝倉書店, p.177-178, (1990)
- 4) Imai K., H. Sato, M. Hori, H. Kusuoka, H. Ozaki, H. Yokoyama, H. Takeda, M. Inoue, T. Kamada; Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure, *J. Am. Coll. Cardiol.*, 24: 1529-1535 (1994)
- 5) 今村裕行, 今井 優, 国方和宏, 皆吉正博, 本多加代子, 千々岩智香子, 米山健一郎, 大西 亘, 石黒久雄; 運動中心拍数の推定法に関する研究, ヤシロダ健康体力研究所報, 4: 1-4 (1989)
- 6) 朽木 勤, 神戸義彦, 江森裕美, 小野寺由美子, 江橋博, 佐藤恒久, 八木俊一; 運動終了後の心拍数を指標とした負荷強度の評価, 体力科学, 38(6):465 (1989)
- 7) 木住野孝子, 松田光生; 短時間の安静水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響 - 水温25°C, 30°C, および34°Cにおける自然呼吸下での検討 -, 臨床スポーツ医学, 14: 1317-1321 (1997)
- 8) 木住野孝子, 松田光生; 水温27°Cでの安静水浸が自律神経系に及ぼす影響 - 運動習慣の有無および種類による比較 -, 臨床スポーツ医学, 16: 461-464 (1999)
- 9) Matsui, K, M. Miyachi, K. Saito, H. Nakahara, M. Koeda, N. Hayashi, S. Onodera; Cardiovascular responses during moderate water exercise and following recovery, In Biomechanics and medicine in swimming VIII, Keskinen, K. L. et al. Ed., Univesity of Jyvaskyla, p.345-350 (1999)
- 10) 美和千尋, 岩瀬 敏, 間野忠明, 斎藤 満, 杉山由樹, 鈴木初恵; 水浸時におけるヒトの筋交感神経活動の抑制反応に対する加齢の影響, 自律神経, 30:16-23 (1993)
- 11) Risch, W. D., H-J. Koubenec, U. Beckmann, S. Lange, 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)
- 12) 丹 信介, 森本恵子, 運動終了直後の脈拍数を用いた運動中の心拍数の推定について, 山口県医学会誌, 31, 276 (1997)
- 13) 山縣孝司, 宮本法子, 室 増男, 井川正治; 座位ペダ

リング運動終了直後の仰臥体位変換が心拍減衰時定数 (T30) に及ぼす影響, 日本運動生理学雑誌, 7 (1) : 9-17 (2000)