

# 水浸時の循環器系応答と水中回復

松井 健 (Takeshi Matsui) 吉備国際大学社会福祉学部健康スポーツ福祉学科

## 1. はじめに

健康・体力づくりが我が国における重要課題となって久しい。持久的トレーニングは、呼吸循環器系の機能を改善し、高血圧、動脈硬化、肥満などの、いわゆる生活習慣病の危険因子を取り除くことに役立ち、また、近年、高齢者においても重要性が認識されている筋力トレーニングは、筋力を高め、日常生活動作を円滑かつ安全に行うことに貢献している。水中環境では、水の特性をうまく利用して前述の持久的トレーニングや筋力トレーニングを行うことが可能であり、関節や筋肉、靭帯等に過度な衝撃を加えることなく、安全に運動を行うことができるとされている。そのため、水泳・水中運動は中高年者をはじめ、各世代で健康増進につながる運動種目として注目を集めている。一方、循環器系応答の側面からみると、水中環境は様々な影響を人体に及ぼし、それに対する生理学的調節を促している。つまり、循環器系への適度な刺激になっていると考えられる。健康増進を目的とした運動処方においては、水中での安静時や運動時における循環器系応答を知ることが重要な事柄であり、安全上欠かすことができない。そこで本稿では、水の持つ物理的特性を理解し、それらがヒトの循環器系応答にどのような影響を及ぼすのかについて述べるとともに、水中での循環器系調節が運動後の全身循環の回復過程に及ぼす影響についても言及したい。

## 2. 水中環境の特徴

水中環境は、我々の生活環境である陸上に比べて、より大きな影響を生体に与える。例えば、水中で動かずに浸かっている場合には、浮力、水圧、水温などの物理的特性が身体に働き、陸上と異なる生理的反応が引き起こされる。また、水中で動いたり、運動を行ったりする際には、水の抵抗を感じるようになる。

### a) 浮力

浮力作用は、立位姿勢での動作中に着地衝撃によって生じる膝や腰などへの負担を軽減するとともに、ケガなどで筋力が衰えた部分を支持したり、その部分の動作を補助したりするのに有効である。浮力の大きさは、水に漬かっている身体部分の体積と等しい体積の水の重さに相当する（アルキメデスの原理）。したがって、立位姿勢では水位によって体重が減少し、脚にかかる負担が変わる。小野寺ら<sup>27)</sup>は、20歳代の女性を対象として水位による体重の変化を調べ、腰部で28%、胸部（鎖骨下部）で87%減少することを報告している。また、Mano et al.<sup>17)</sup>は、膝から頸までの水位で、水位に比例して抗重力筋のヒラメ筋からの放電量が減少することを示し、また、これに並行して筋の交感神経活動が減弱することを報告している。すなわち、浮力作用を利用して筋肉の脱力を容易に行う

ことができると考えられる。

### b) 水圧

水圧の作用は、水深が増すほど強くなり、呼吸や循環器系のさまざまなパラメータに影響を与える。肺気量を比較したAgostoni et al.<sup>1)</sup>の研究によれば、剣状突起の水位で残気量 (RV)、予備呼気量 (ERV) が減少し、これらの和となる機能的残気量 (FRC) が陸上の3.53 L、から1.90 L、へと減少することが示されている。また、剣状突起と頸の水位で比較をし、頸水位の方がERVの減少量が大きいこと<sup>12)</sup>や、FRCがヒップ水位でわずかに陸上に比べて減少するが、剣状突起と頸の水位でさらに減少量が大きくなっていくこと<sup>9)</sup>、頸の水位では、肺活量 (VC) が低下すること<sup>6)</sup>などの報告もある。水圧による胸部の圧迫と胸腔内血流量の増加がこれらの肺気量の減少に関与していると考えられている。水圧作用による胸腔内血液量の増加は、循環器系における特徴的な応答の一つであるが、水圧で下腿などの末梢部位が圧迫され、静脈血が心臓・胸部方向へ還りやすくなることに起因している。したがって、この水圧作用は陸上と異なるさまざまな循環器系調節を惹起することになるが、この点については、後の項で詳述する。

### c) 水温

水は空気に比べて熱伝導率が高く、約23倍である。代謝応答が温度の影響を受けにくいとされている中立温度は大気中では28℃、水中では34℃前後と考えられている。34℃と25℃の水温で比較したChoukroun and Vareneの報告<sup>3)</sup>では、25℃ではエネルギー代謝や換気量が亢進するが、心拍数や心拍出量に差がないことが示されている。また、40℃付近の水温では34℃に比べてエネルギー代謝に差がないが、心拍数や心拍出量が増大することが報告されている<sup>3,34)</sup>。中立温度よりも水温が低い場合には、ふるえ産熱による体温調節機構が働き、また、高い場合には末梢血管抵抗の減少が大きくなるためにこれらの応答が引き起こされると考えられている。水温の影響は浸かっている時間が長くなるほど大きくなり、一般的に水泳・水中運動を行うプールでは水温が低いことが問題となる。小野寺ら<sup>27)</sup>は20.5℃水温での20分間の安静で直腸温が1.2℃低下することを示している。また、松井ら<sup>18)</sup>は20℃水温で60% $\dot{V}O_2$ max強度の水泳運動を行い、水温27℃条件に比べて有意に直腸温が低下することを報告している。30分の水泳終了時には初期安静値に比べて約0.5℃低下し、その後も低下を続けて約1℃の低下をみている。一方、頸水位の座位姿勢で60分間の脚ペダリング運動を行ったToner et al.<sup>33)</sup>の報告によると、水温30℃では約0.4℃直腸温が上昇し ( $P < 0.05$ )、水温18℃では直腸温が変化しないことが示されている。被験者の体脂肪率の差 (Toner et al.: 16%, 松井ら: 12%)、あるいは運動時の代謝量 (酸素摂取量) の差 (Toner et al.: 20ml/kg/min, 松井ら: 32ml/kg/min) などの影響も考慮されるべきであるが、全身運動の水泳よりも脚だけの水中運動の方が体温低下の度合いが少ないことがうかがえる。つまり、上肢と下肢両方の運動となる水泳では熱コンダクタンス (抵抗の逆数で熱の伝わりやすさを示す) が高く、運動時の熱損失が大きいことが推察される。また、このことは、水中歩行などにも当てはまり、水深が深い場合には、熱コンダクタンスが高くなる可能性が示唆される。一般温水プールの約30℃の水温環境で連続的に運動を行う場合には体温低下は起こらないと考えられるが、ストレッチングや低強度の運動が中心となる場合や、体脂肪が少ない子供や体温調節機能が素早くない高齢者への指導の際には、水温や気温、休憩時間などに十分配慮する必要がある。

### d) 抵抗

水中での動作時に発生する抵抗として、①水中を進む

ときに身体の前縁部と後縁部との圧力差によって生ずる圧力抵抗、②水面付近で生じる波によって起こる造波抵抗、③水に接している身体表面において発生する摩擦抵抗などが上げられる。競泳選手にとってはこれらの抵抗をいかに削減させるかが勝負の分かれ目となる<sup>32)</sup>。一方、これらの抵抗は負荷として活用できるため、筋力の回復や維持・向上に役立てることもできる。そのため、水中環境は古くからスポーツ選手のリハビリテーションの場として利用されており、近年では中高年者や運動不足の人々への運動処方場としても活用されることが多くなった。小野寺ら<sup>26)</sup>は、水中トレッドミル歩行時 (4km/h) のエネルギー消費量 (酸素摂取量) を検討し、大転子 (腰部) の水位では、浮力で体重が軽減されたために減少するエネルギー消費量と水の抵抗によって増加するエネルギー消費量がほぼ等しくなり、結果として、陸上での同速度の歩行と差がないことを示している。しかし、カルボキシメチルセルロース (CMC、のり) を真水にとかして、その1%水溶液中で水中歩行を行った際には、エネルギー消費量が約1.3倍になったことを報告している。水そのものの粘性抵抗を増加させる方法以外にも、動作部位の圧力抵抗が増すような姿勢 (手足の配置) を工夫したり、手指の間に水かきをつくるグローブを利用して圧力抵抗を高めたりすることは、エネルギー消費量を高める有効な手段となる。

### 3. 水中安静時の循環器系応答

水中では、水圧が身体に作用し、漬かっている部分が圧迫される。そのため立位姿勢では、水圧勾配によって胸部方向に血液が移動し、心臓・胸部の血液量の増加<sup>2,29)</sup>、中心静脈圧の上昇<sup>7,11,29)</sup>、一回拍出量<sup>2,25)</sup>の増加および心拍数の低下<sup>11,16)</sup>といった応答がみられるようになる。Arborelius et al.<sup>2)</sup>は35℃の中性温下で頸まで漬かった際に、中心 (心臓・胸部) の血液量が700ml、(1.2 → 1.9 l) 増加し、心拍出量が1.8 l/min (32%)、一回拍出量が26ml (35%)、それぞれ増加したことを示した。また、Risch et al.<sup>29)</sup>は、肺シンチグラムによる肺灌流エリア (図1) が陸上条件に比べて35%拡張したことで、中心静脈圧が、頸と恥骨の水位で比べると、頸の方が約17mmHg高いことを報告している。このように、立位で安静にしているときには物理的な水圧の作用で、明らかに心臓・胸部における血液配分が多くなる。では、下肢と腹部のどちらからの血液移動が多いのであろうか? Johannsen et al.<sup>13)</sup>は、

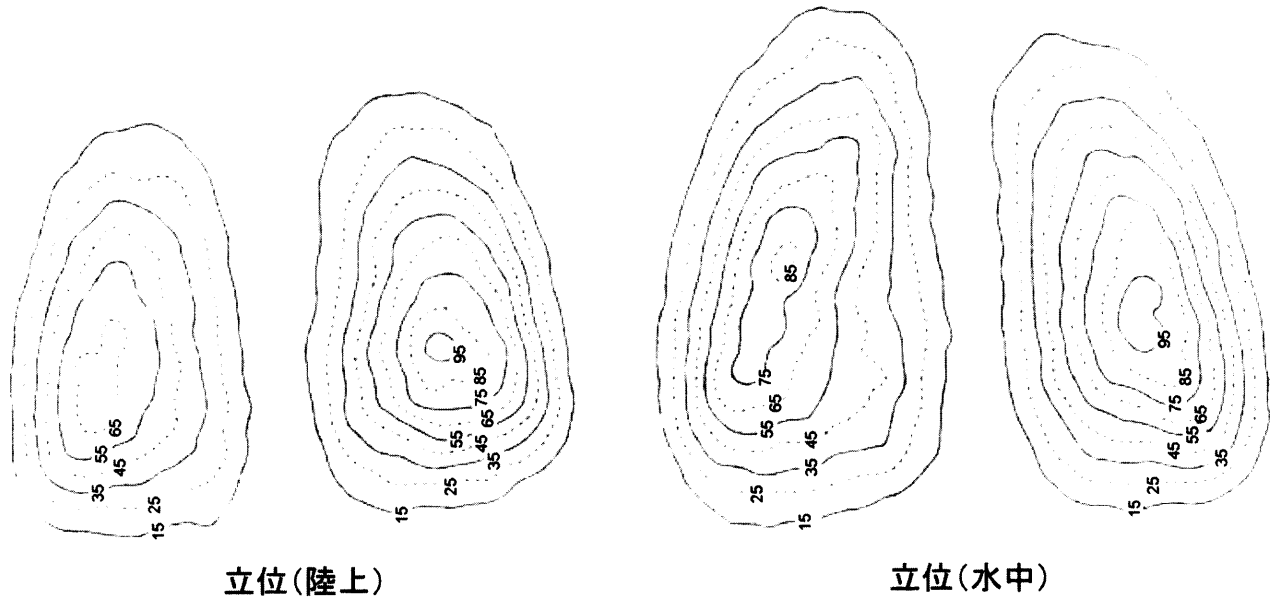


図1 立位姿勢の被験者の頸水位水浸前と水浸後の肺のシンチグラム (scintigram)  
肺の環流エリアの特に上の部分が水浸中に増加する (Risch et al.<sup>29)</sup>)

頸の水位で水浸し、下肢の血流をカフ圧によって阻止した際に中心静脈圧の低下がわずかであったことを報告している。また、Tajima et al.<sup>31)</sup> は、両脚を欠損している被験者の水浸中の心拍出量が17%増加することを示している。つまり、この増加は腹部からのみの血液移動の影響と考えることができる。一方、対照群の健常者における心拍出量の増加が31%であったことから、脚の影響はおよそ14%と解釈できる。したがって、腹部からの影響の方が若干大きいと考えられる。

水浸が心臓自律神経系に及ぼす影響も報告されている。Matsui et al.<sup>19)</sup> は座位水中安静時において心臓迷走神経活動が亢進することを報告し、西村と小野寺<sup>24)</sup> も、仰臥位フローティングにより、同様な結果を得ている。また、水面より上に保持した前腕部分の静脈の体積弾性率(緊張状態を示す指標)の減少<sup>7)</sup> や末梢血管抵抗の減少<sup>17)</sup> がみられることから、末梢血管における交感神経性の調節が減弱することも明らかである。これらのことから、水中では心臓血管系のリラクゼーション効果が得られることが示唆される。

水温による影響を調べた研究では、中立水温よりも低い水温では、血圧の上昇がみられる。水平姿勢で水浸させたWeiss et al.<sup>34)</sup> は、中立水温の33℃に比べて27℃で収縮期血圧が高くなることを示した。長座位腋下水位の水浸で、25、30および34℃の各水温で応答を比較した木住野と松田<sup>14)</sup> は、25℃水温では、入水前に比べて5分目と15分目に拡張期血圧が有意に上昇することを示している。

また、心拍数については、全ての水温で入水前に比べて有意に低下し、10~15%の低下がみられたことを報告している。一方、中立水温より高い場合には、平均血圧が減少し、37℃で約18%、39℃で約25%減少することが報告されている<sup>35)</sup>。運動処方においては、水浸に伴う安静時の血圧や心拍数の応答がさらに水温による影響を受けることを考慮し、特に中高年者の水泳・水中運動においては“冷たい”と感じるような水温で行わないこと、長時間の水浸で寒くならないようにすることなどが重要である。

水浸時の循環器系調節においては、内分泌系による調節も重要な役割を果たしている。中心への血液シフトによって引き起こされる血液量の増加を調節するために、①血漿レニンおよびアンジオテンシンの作用が低下して血管収縮(血圧上昇)作用が減弱する、②腎臓のプロスタグランジンEの作用により、血管拡張(血圧降下)作用が高まる、③腎のナトリウム吸収を促進するアルドステロンや利尿作用を抑制するバゾプレッシンの分泌が抑制され、ナトリウム利尿および尿量の増加がみられるようになる、などの報告がEpstein<sup>8)</sup>の総説論文においてなされている。血漿レニン活性やアルドステロンレベルは、水浸して30分から2時間までは大幅な減少傾向を示し、その後、小幅な減少を示す。また、水から上がると1時間で陸上と同じレベルにまで増加することが示されている<sup>8)</sup>。我々は運動やリハビリテーションのためにプールに入ることがほとんどであるが、1~2時間プールを利

用する際には上記のような安静水浸時の内分泌系の影響が少なからずあると思われる。水泳教室の指導などで長時間水に浸かっているとトイレが近くなるのは、利尿による循環血液量の調節が行われているためである。

#### 4. 水中運動時の循環器系応答

近年、泳ぎの技術がなくとも手軽に行うことができ、筋力や持久力を安全に鍛えることができる水中歩行やアクアビクスなどの水中運動の人気の高まっている。研究分野においても、1980年代後半頃から、水泳の研究に加えて立位で行う水中運動の研究が盛んに行われるようになった。その中で水中運動に対する心拍数と酸素摂取量が多くの研究によって報告されている。水位や水温によって違いがあるものの、おおむね運動時の中立温とされている30℃の水温下で、胸まで水に浸かっている場合には、同じ酸素摂取量が得られる陸上運動と比較して、心拍数が低くなる結果が示されている<sup>28)</sup>。このことは水圧によって生ずる静脈還流量の増加に起因するとされており、この増加による循環器系応答が、運動時にも持続することを示唆している。Christie et al.<sup>4)</sup> は、水中自転車こぎにおける心拍数は、中等度の強度までは陸上と差がなく、高強度で差がみられることを示している。このことは、高強度運動時の交感神経活動の亢進が陸上に比べて水中で小さいことを示しているが、心臓・胸部の血液量増加によって圧受容器活動が変化したことをその理由として挙げている。

最大酸素摂取量を陸上と水中のランニング運動で比較

した研究によれば、水中運動では陸上と同じ最大値を得るのが難しく<sup>10,36)</sup>、特に水慣れしていない者にとっては、その差が大きくなることが示されている<sup>36)</sup>。また、頸から上以外は全て水没するdeep water runningにおいては、陸上ランニングに比べて最高心拍数が約16拍/分低いことが報告されている<sup>30)</sup>。最大下の同一酸素摂取水準の運動、すなわち陸上と相対的に強度が等しい運動で比較した場合にも、水中運動で心拍数が低く、酸素脈が高いことが示されている<sup>30)</sup>。このことから水中環境における心臓・胸部の血液量の増加は最大下運動時の酸素運搬能力を高めていると考えられる。

Connelly et al.<sup>5)</sup> は、水温32℃で負荷漸増水中自転車こぎを行い、60%酸素摂取水準（5分間）の負荷時に収縮期血圧の有意な差を陸上条件との間に認めている（陸上：158mmHg, 水中：142mmHg）。また、Matsui et al.<sup>19)</sup> も図2に示すように、60%酸素摂取水準強度で水中エルゴメータ運動を行った際に、収縮期血圧が陸上条件に比べて約12%低下したことを報告している。Arborelius et al.<sup>2)</sup> は、35℃水温下で安静時の全身の血管抵抗が陸上条件に比べて約30%低くなることを示しており、運動時の中立水温に近い30℃あるいは32℃で自転車をこいだMatsui et al.<sup>19)</sup> およびConnelly et al.<sup>5)</sup> の結果においても同様な全身血管抵抗の低下が寄与していたことが推察される。

運動時の水温の影響については、McArdle et al.<sup>22)</sup> の報告がある。18℃、25℃、33℃の3条件と陸上条件（気温約26℃）を比較し、18℃および25℃の低水温条件においては、陸上や33℃条件に比べて心拍数の低下と一回拍出

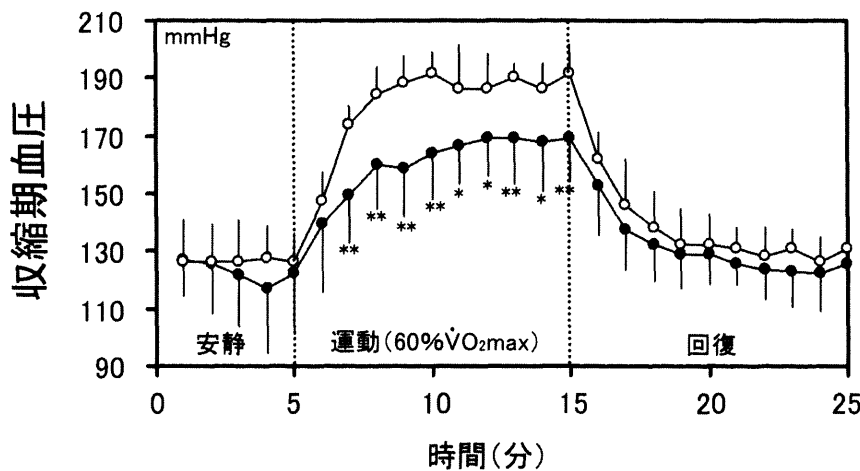


図2 同一運動強度における水中と陸上の収縮期血圧の変化

○：陸上で安静、運動（自転車エルゴメータ）、回復  
●：水中で安静、運動（水中エルゴメータ）、回復  
値は、平均値±標準偏差、n=7 \*：p<0.05 \*\*：p<0.01 陸上vs水中  
(Matsui et al. <sup>19)</sup> の図を改変)

量の増加がみられることを示している。また、心拍出量と酸素摂取量には差がないことを示している。相対的な負荷強度 (60% $\dot{V}O_{2max}$ ) で、20, 25, 30および35°Cで比較したMcMurray et al.<sup>23)</sup> も同様に、水温によって心拍数が影響を受けることを示し、20°Cと35°Cで14拍/分の差を報告している (20°C:118拍/分, 35°C:132拍/分)。

このように、水中運動時の循環器系応答の特徴として、安静時と同様、心拍数が減少する傾向にあり、特に高強度の運動時や水温が低い場合には、陸上の同様な運動と比べて低くなるのが明らかである。また、中立水温付近 (30~32°C) で運動を行うと、収縮期血圧が低下する傾向にある。このことについては、運動強度に見合った酸素摂取量を確保する際に、血流量 (心拍出量) が減少

することはないと考えられるので、末梢血管抵抗の減少が起因していると推察される。

### 5. 運動後に水中で回復を行っているときの循環応答

運動後にクーリングダウンを行うことの重要性は、多くの人々に認識されているところである。クーリングダウンは、活動筋によるポンプ作用を急に止めずに、運動後も静脈環流量を適切なレベルに保ち、乳酸などの疲労物質を速やかに除去するという点で重要な役割を果たす。水中では静脈環流量が増加するので、運動後に水に漬かることは、クーリングダウンと同様な循環応答をもたらすと考えられる。筆者は、運動後の回復期に水に浸かることが循環器系応答にどのような影響を与えるのかを運

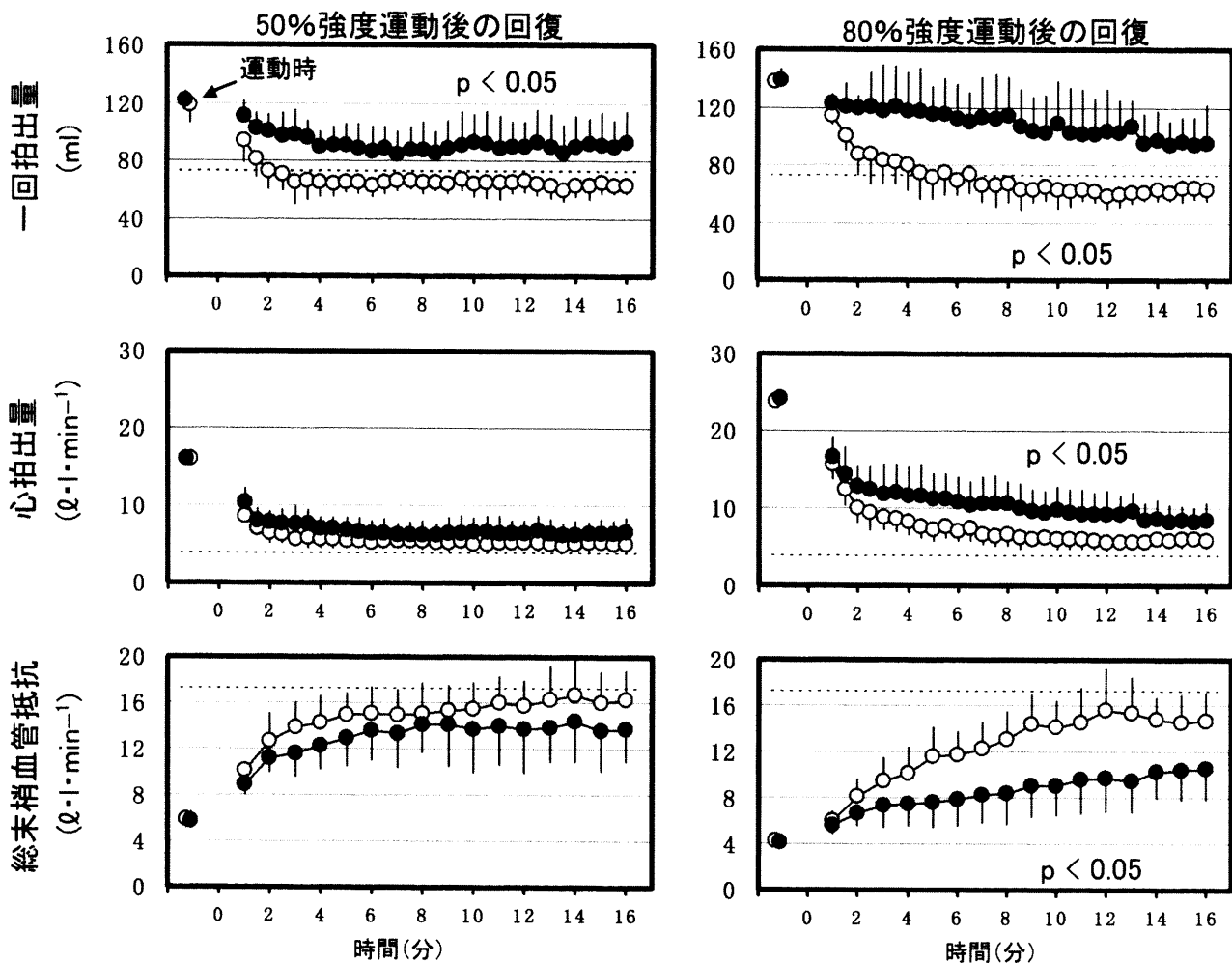


図3 運動後の回復時における一回拍出量、心拍出量および総末梢血管抵抗の変化

左側の図は、陸上で50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の自転車こぎを行った後に30°Cの水に浸かったときの变化を示し、右側の図は同様に、80% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の時の变化を示す。●は水中回復、○は陸上回復を示す。点線は陸上安静レベルを示し、左端のプロットは運動終末のデータを示す。値は、平均値 ± 標準偏差、n = 7 (50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度運動後の陸上回復のデータは n = 6) p < 0.05: 陸上回復と水中回復との有意差 (松井ら<sup>21)</sup> の図を改変)

動強度別に調べた<sup>21)</sup>。15分間の陸上運動(60% $\dot{V}O_2\max$ )の後、速やかに剣状突起水位で30℃の水に浸かり、心拍数、血圧、一回拍出量および心拍出量の各循環器系応答を観察したところ、心拍数と血圧には差がみられなかった。しかし、一回拍出量と心拍出量においては図3に示すような結果が得られた。すなわち、陸上での回復に比べ、水中回復を行うことによって、①運動後の回復期の一回拍出量ならびに心拍出量を高く保つことができること、②安静時を上回る高いレベルの一回拍出量ならびに心拍出量を保持できること、③運動強度が高い場合には、一回拍出量と心拍出量が回復中により高いレベルで維持されることなどが確認された。運動後には筋ポンプ作用が働かなくなるため、静脈環流量が減少し、一回拍出量が減少することが考えられるが、陸上の回復においてはその傾向がみられる(図3参照)。しかし、水中回復時には安静時を下回することはなく、また、末梢血管抵抗が陸上回復に比べて低い(特に高強度運動後に有意に低い)ことから、筋での血流循環が良好に保たれていることが予想される。すなわち、水中で回復を行うことによってクーリングダウンと同様な循環器系回復過程となることが明らかとなった。

水浸時には、心臓迷走神経活動が亢進することが知られているが、木住野ら<sup>15)</sup>は、換気性作業閾値の50、70および100%で運動を行った直後に水浸させ(3分間)、いずれの強度でも水中回復時に安静水浸時と同様に、心臓迷走神経活動が亢進することを報告している。また、入水後5分目から10分間のデータを観察した松井ら<sup>20)</sup>も同様に50% $\dot{V}O_2\max$ 強度の運動後の水中回復時に心臓の迷走神経活動が亢進することを確認している。木住野ら<sup>15)</sup>の用いた換気性作業閾値の100%強度は、50~60% $\dot{V}O_2\max$ に相当すると考えられるので、松井ら<sup>20)</sup>の結果と合わせて考えると、低強度の運動後の水中回復では、少なくとも入水直後から15分間は心臓迷走神経活動が亢進すると考えられる。しかし、松井ら<sup>20)</sup>は高強度の80% $\dot{V}O_2\max$ での運動後には亢進しないことを示しており、運動による交感神経活動の亢進が高い場合には、水浸の影響を打ち消すことが推察される。水浸後、どの時点で心臓迷走神経活動の亢進がみられるようになるかは、興味深いところである。

## 6.まとめ

本稿では、超高齢社会を迎え、健康・体力づくりの運

動として、今後ますます脚光を浴びるであろう水中運動(特に立位姿勢で行うもの)を取り上げ、特に循環器系応答の側面からその特徴を概説した。水の持つ物理的特性(浮力、水圧、水温、抵抗)を理解し、それらに循環器系がどのように反応するのかを知ることは、効果的な運動処方を実践する上で重要なポイントとなる。水中に入ると、非常に多くの調節系が働き、水圧によって心臓・胸部に押し上げられた血液の影響を和らげようとするようになる。心臓や、血管における神経性調節が短時間で働き、さらに内分泌系による液性調節が働くようになる。最終的には、血漿成分を減らして尿として排泄し、全体の血液量を減らす方向に調節されるので、身体からの水分損失が顕著になると考えられる。普段の入浴後は言うに及ばず、プールでの運動後にもしっかりと水分を補給する必要がある。安静時の応答の特徴が、おおむね運動時にも見られるので、中高年者の運動処方に際しては、運動前の安静時の心拍数や血圧の測定を水中でも行うことが望ましい。

運動直後に水中で回復をとることは、循環器系への適度な刺激となり、全身の循環血液量を増加させ、疲労からの回復を速める可能性が示唆される。運動処方や競技の場面での具体的な活用については、これからの研究成果が待たれるところである。

## 謝辞

著者の水中運動に関する研究は、川崎医療福祉大学健康体育学科の小野寺昇先生、宮地元彦先生(現:国立健康・栄養研究所)、星島葉子先生、西村正広先生、山元健太さん(現:国立循環器病センター)、高橋康輝さん(現:筑波大学先端学際領域研究センター(TARA))、同大学院の天岡寛さんをはじめ、多くの研究室スタッフの方々のご協力により行うことができました。心から感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) Agostoni E, Gurtner G, Torri G, Rahn H. (1966) Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *J Appl Physiol*, 21, 251-8.
- 2) Arborelius M, Jr., Ballidin UI, Lilja B, Lundgren CE. (1972) Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med*, 43, 592-598.
- 3) Choukroun ML, Varenne P. (1990) Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *J Appl Physiol*, 68, 1475-1480.
- 4) Christie JL, Sheldahl LM, Tristani FE, Wann LS, Sagar KB,

- Levandoski SG, Ptacin MJ, Sobocinski KA, Morris RD. (1990) Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. *J Appl Physiol*, 69, 657-664.
- 5) Connelly TP, Sheldahl LM, Tristani FE, Levandoski SG, Kalkhoff RK, Hoffman MD, Kalbfleisch JH. (1990) Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J Appl Physiol*, 69, 651-656.
- 6) Dahlback GO, Jonsson E, Liner MH. (1978) Influence of hydrostatic compression of the chest and intrathoracic blood pooling on static lung mechanics during head-out immersion. *Undersea Biomed Res*, 5, 71-85.
- 7) Echt M, Lange L, Gauer OH. (1974) Changes of peripheral venous tone and central transmural venous pressure during immersion in a thermo-neutral bath. *Pflugers Arch*, 352, 211-217.
- 8) Epstein M. (1992) Renal effects of head-out water immersion in humans: a 15-year update. *Physiol Rev*, 72, 563-621.
- 9) Farhi LE, Linnarsson D. (1977) Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 degrees C. *Respir Physiol*, 30, 35-50.
- 10) Frangolias DD, Rhodes EC. (1996) Metabolic responses and mechanisms during water immersion running and exercise. *Sports Med*, 22, 38-53.
- 11) Gabrielsen A, Johansen LB, Norsk P. (1993) Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *J Appl Physiol*, 75, 581-585.
- 12) Hong SK, Cerretelli P, Cruz JC, Rahn H. (1969) Mechanics of respiration during submersion in water. *J Appl Physiol*, 27, 535-8.
- 13) Johansen LB, Jensen TU, Pump B, Norsk P. (1997) Contribution of abdomen and legs to central blood volume expansion in humans during immersion. *J Appl Physiol*, 83, 695-699.
- 14) 木住野孝子, 松田光生. (1997) 短時間の腋下水準における水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響. ミ水温25°C, 30°C, 34°Cでの検討. *体力科学*, 46, 101-112.
- 15) 木住野孝子, 岩原格一, 松田光生. (1998) 水浸前の運動が水浸時心臓自律神経系活動に及ぼす影響. *体力科学*, 47, 832.
- 16) Larsen AS, Johansen LB, Stadeager C, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. (1994) Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion. *J Appl Physiol*, 77, 2832-2839.
- 17) Mano T, Iwase S, Yamazaki Y, Saito M. (1985) Sympathetic nervous adjustments in man to simulated weightlessness induced by water immersion. *J Uoeh*, 7 Suppl, 215-227.
- 18) 松井 健, 青木純一郎, 石河利寛. (1990) 低水温下での水泳がその後の自転車運動に及ぼす影響. *体育学研究*, 35, 271-279.
- 19) Matsui T, Miyachi M, Saito T, Nakahara H, Koeda M, Hayashi N, Onodera S. (1999) Cardiovascular responses during moderate water exercise and following recovery. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* (eds. Keskinen, KL, Komi, PV, Holander, AP) Gummerus Printing, Jyvaskyla, Finland, 345-350.
- 20) 松井健. 運動後の循環応答に及ぼす水中回復の影響. (2002) 川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科博士論文, 川崎医療福祉大学, 倉敷.
- 21) 松井健, 宮地元彦, 星島葉子, 高橋康輝, 山元健太, 吉岡哲, 小野寺昇. (2002) 陸上定常負荷運動後の水中浸漬が全身循環の回復過程に及ぼす影響. *体力科学*, 51, 265-273.
- 22) McArdle WD, Magel JR, Lesmes GR, Pechar GS. (1976) Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33 degrees C. *J Appl Physiol*, 40, 85-90.
- 23) McMurray RG, Kocher PL, Horvath SM. (1994) Aerobic power and body size affects the exercise-induced stress hormone responses to varying water temperatures. *Aviat Space Environ Med*, 65, 809-14.
- 24) 西村正広, 小野寺昇. (2000) 仰臥位フローティングが心拍数, 血圧および心臓自律神経系活動に及ぼすリラクゼーション効果. *宇宙航空環境医学*, 37, 49-56.
- 25) Norsk P, Bonde-Petersen F, Christensen NJ. (1990) Catecholamines, circulation, and the kidney during water immersion in humans. *J Appl Physiol*, 69, 479-484.
- 26) 小野寺昇, 木村一彦, 宮地元彦, 米谷正造, 原 英喜. (1992) 水の粘性抵抗が水中トレッドミル歩行中の心拍数と酸素摂取量に及ぼす影響. *宇宙航空環境医学*, 29, 67-72.
- 27) 小野寺昇, 宮地元彦, 矢野博己. (1996) 血圧からみた高齢者の水中運動プログラムの安全性と妥当性. *デサントスポーツ科学*, 17, 53-61.
- 28) Park KS, Choi JK, Park YS. (1999) Cardiovascular regulation during water immersion. *Appl Human Sci*, 18, 233-241.
- 29) Risch WD, Koubenec HJ, Beckmann U, Lange S, Gauer OH. (1978) The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflugers Arch*, 374, 115-118.
- 30) Svedenhag J, Seger J. (1992) Running on land and in water: comparative exercise physiology. *Med Sci Sports Exerc*, 24, 1155-1160.
- 31) Tajima F, Sagawa S, Claybaugh JR, Shiraki K. (1999) Renal, endocrine, and cardiovascular responses during head-out water immersion in legless men. *Aviat Space Environ Med*, 70, 465-470.
- 32) 高木英樹. (2001) 抵抗を制する者、勝負を制す. *水泳水中運動科学*, 4, 5-10.
- 33) Toner MM, Sawka MN, Holden WL, Pandolf KB. (1985) Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *J Appl Physiol*, 59, 248-253.
- 34) Weiss M, Hack F, Stehle R, Pollert R, Weicker H. (1988) Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. *Int J Sports Med*, 9 Suppl 2, S113-S117.
- 35) Weston CF, O'Hare JP, Evans JM, Corral RJ. (1987) Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clin Sci (Colch)*, 73, 613-616.
- 36) Wilder RP, Brennan DK. (1993) Physiological responses to deep water running in athletes. *Sports Med*, 16, 374-380.