水中運動前の水分補給がその後の運動と生体反応に及ぼす影響について

矢 野 琢 也 岡 田 昌 義

EFFECT OF FLUID INGESTION ON PHYSIOLOGICAL RESPONSE BEFORE WALKING IN A POOL

TAKUYA YANO and MASAYOSHI OKADA

Abstract

The aim of this paper is to investigate the effect on the physiological response of fluid ingestion before walking in a swimming pool. Nine healthy students were candidates for this study. First of all, they were divided into two groups water ingestion(W(+))(300ml) before pool walking group and no water drinking(W(-)) beforehand. Body temperature was measured in the tympanic space and venodilation was measured in the fingers. Walking conditions were 3 km/h for 1,750 m in an indoor pool with a water temperature of $29.7 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, at a room temperature of $25.4 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $79.4 \pm 4.3\%$. The pool was 25 m in length and 1.0 m deep. The following results were obtained: The values for tympanic temperature in the W(-) group were significantly higher than that of pre-walking($p < 0.05$). Vasodilation of the veins in the fingers significantly expanded in the group of W(+)($p < 0.05$). The values of systolic blood pressure(SBP) in the W(-) group decreased significantly in comparison partially($p < 0.05$).

We could conclude that fluid ingestion before walking in a swimming pool has a good effect on tympanic temperature, venous dilation and systolic blood pressure.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2006, 55 : 461~468)

key word : fluid ingestion, venous return, tympanic temperature, venous dilation in the fingers, walking in a pool

I . 緒 言

水中運動は、その環境の特性から陸上時の運動とは、身体に与える反応が大きく異なるという特徴がある^{1,2)}。一般的に行われている水中運動の多くは持続的運動でありながら、陸上時の持続的運動時のような水分補給の必要性やその効果を検討した研究は非常に僅少である。水中では、熱伝導率の高さや水圧など水中の環境特性による影響が大きいから、運動による体温の上昇や発汗の程度を顕著に自覚することが困難であることから、水分補給の必要性を具体的に呈示することが難しいものと考えられる。発汗に関しては、水中に浸かっている部位においては無効発汗であり、水面上においても湿度の高さから有効的な体温上昇の抑制に貢献しているかどうかは明確ではない。しかし、水中環境下における高強

度の運動では、発汗による体重減少や循環機能が低下して、運動能力の低下が惹起され、ひいては水泳中の水分補給が体温調節機能並びに循環機能、水泳の記録に影響を及ぼしているという報告がみられる³⁾。この現象は、水による冷却効果が高い環境下においても、水分補給の効果を呈示したものである。さらに、ウォーキングによる水中運動時に適宜水分補給を行った結果、運動時の心拍数、および体温の上昇や血圧の変動を抑制するという事実が報告されている^{4,5)}。すなわち、高強度ではない水中運動時においても水分摂取の意義が明白に呈示されたものと考えられる。よって、その成果をより発展的なものにするために、本研究では水分補給のタイミングに着目して、水中運動前に水分摂取を行い、その後の水中運動時における水分摂取による身体への影響について検討を行った。

Ⅱ．方 法

A．被験者

被験者は、健康な男子大学生 4 名、女子大学生 5 名の計 9 名である。対象者の身体的特徴は、Table 1 に示した。被験者に、本研究の目的および測定内容を十分に説明し、同意を得た上で実施した。なお、本研究はヘルシンキ宣言の精神に則り遂行され、日本体力医学会倫理委員会の承認を得たものである。

B．測定方法

測定は、水深 1 m、全長 25 m で、水温ならびに室温、湿度を常時一定環境下にコントロールされた室内プールで行った。測定は、同施設にて同一時間帯に複数回実施した。測定時の環境条件は、水温 $29.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 、室温 $25.4 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 、湿度 $79.4 \pm 4.3\%$ であった。

測定にあたり、プールサイドにて座位で 5 分間の安静を保ち、陸上安静時の計測を行った。計測終了後、水分補給として、300 ml のミネラルウォーター（サントリー社、天然水、温度 18°C ）を摂取した。摂取量は、矢野らの先行研究を参考として設定を行った^{4,5)}。摂取後、速やかにプールに入り、水中にて 3 分間の安静を保ち、水中環境下に慣れた状態を確認して、水中安静時の測定を行った。運動負荷は、25 m のプールを時速 3 km (25 m を 30 秒) で、合計 1,750 m の水中歩行を行った。その歩行時間は、35 分間であった。水中運動負荷中の心拍数、血圧、鼓膜温の変動を検討する目的で 500 m、1,000 m、1,500 m、1,750 m 歩行毎に計測を行い、水中安静時からの変動を検討した。測定時間は、2 分間とし、歩行終了直後、速やかに行った。また、心拍数は 2 分間の休息期間中における運動負荷からの回復度を検討する目的で、休息期間中も常時計測を行った。

被験者には、前日のアルコール摂取ならびに激しい運動を禁止し、測定当日の朝は、ゼリー飲料（森永製菓、ウィダー in ゼリー 160 kcal）1 個とミネラ

ルウォーター（evian）330 ml を摂取させることで、栄養摂取による差異がでないように配慮した。測定時間は、すべて AM 8:00 から開始し、1 時間前までにそれらを摂取させて測定を行なった。

水分補給の影響を検討するため、同一被験者にて、時間帯、同施設で水分摂取を行わない条件下においても測定を行い、比較検討を行った。

C．測定項目

心拍数、血圧、鼓膜温、体重、手指の静脈の血管幅、静脈中の酸素代謝状態を示す静脈酸素化指標（Venous Oxygen Index：以下 VOI 指標）の測定を行った。

心拍数、血圧、鼓膜温は、陸上安静時、水中安静時、500 m、1,000 m、1,500 m、1,750 m 歩行毎に計測を行った。体重、手指の静脈の血管幅、VOI 指標は、運動前後に測定を行った。心拍数はハートレートモニター（POLAR 社、S610i）、血圧は、上腕式デジタル自動血圧計（オムロン社、HEM-780：オシロメトリック法）、鼓膜温は、Thermo Scan（BRAUN 社）、静脈酸素化指標ならびに血管幅は、ASTRIM SU（Sysmex 社）を用いて各々測定した。測定にあたり、操作誤差が生じないよう同一測定者により測定を行った。

体重変動の測定には、体重計（タニタ社 TBF-110、精度保証 $0 \sim 50 \text{ kg} : 100 \text{ g} \pm 100$ 、 $50 \text{ kg} \sim 200 \text{ kg} : 100 \text{ g} \pm 200$ ）を用い、水着における水分量の計測は、質量計（タニタ社 KD-171、精度保証 $1 \text{ g} \pm 2$ ）を用いて行った。発汗量は、運動前後で体重の計測を行ない、その差から求めた。体に付着した水分を拭き、水着に含まれた水分は、運動前の水着の乾燥重量から差し引くことで求めて除外した。

心拍数においては、運動中の値と合わせて 500 m、1,000 m、1,500 m 歩行終了後の 2 分間の休息期間中における平均値と最低値を計測し、心拍数の回復を検討した。

静脈酸素化指標（Venous Oxygenation Index：以下

Table 1. Characteristics of subjects.

	Age(yr)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI(kg/m ²)
n=9	19.6 ± 0.5	169.5 ± 5.1	64.1 ± 5.8	22.3 ± 1.3

VOI 指標)は、左手の第3指、第2関節に近赤外光 (660 nm, 805 nm, 880 nm) を照射し, CCD カメラで静脈中の酸化・還元ヘモグロビンの比率をモニターし, 末梢血管における酸素代謝状態を呈示するシステムである。血管幅においても近赤外光の透過画像から計測するシステムである。その上, 血管パターンを記憶させる事ができるため, 断続的に測定を行う際には, 同じ血管部位を比較する事が可能である。この機能を活用して, 運動前後における静脈血管幅の変動を検討した。この非侵襲的計測技術については, 小澤や岡本らの最近の報告によれば, 運動や温度による変動やパルオキシメーター (NELLCOR N180 PULSE OXIMETER) との比較によって, 測定値には信頼性があるものとされている^{6,7)}。

本研究においては, 体温計測について鼓膜温を赤外線検知する方法を用いた。それは口腔内体温のような呼吸や飲水による影響を受けないこと, 腋下体温における汗や外気温による影響が少ないことからである。この装置の測定精度は, $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (室温 23°C , 体温 $36.0\sim 39.0^{\circ}\text{C}$ において) である。機器は, 測定開始30分前までに測定環境の温度ならびに湿度に設置し, 環境変化による誤差が出ないように配慮した。また, 測定にあたっては, 同一測定者によって速やかに測定を行うことで測定誤差が発生しないようにした。

D. 統計学的処理

各測定値は, 平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。運動前後の体重および静脈酸素化指標, 血管幅の検定には, Student の paired t-test を用いた。運動による両群間の経時的変動の検定には反復測定の分散分析 (repeated measure ANOVA) を, 両群内における比較では, 一元配置の分散分析で行った。有意差がみられたときは, Tukey-Kramer によって統計処理を行い, P 値が 5% 未満で有意差ありとした。

Ⅲ. 結 果

A. 心拍数について

運動時の心拍数は, 水分摂取時 (以下: W(+) 群) において 1,500 m の時点において 140.0 ± 19.0 bpm と最も上昇し, 非摂取時 (以下: W(-) 群) においては, 1,750 m の時点で 144.6 ± 20.9 bpm にまでさらに上昇した。しかし, 両群間には, 有意差はみら

Fig. 1. Changes of heart rate during walking in pool.
○ WATER(-) ● WATER(+)

れなかった (Fig. 1)。

各休息時間中の平均心拍数は, W(-) 群では 500 m の時点で 112.9 ± 19.3 bpm, 1,000 m の地点で 116.5 ± 21.5 bpm, 1,500 m の時点では 119.2 ± 21.5 bpm と, 緩やかに上昇する傾向がみられた。一方, W(+) 群では, 500 m の時点で 105.5 ± 18.8 bpm, 1,000 m の時点で 106.7 ± 21.4 bpm, 1,500 m の時点では 112.8 ± 23.0 bpm と, 前半では変化はみられなかったが, 後半にかけては上昇する傾向がみられた。両群間に有意差はみられなかった (Fig. 2)。

一方, 各休息時間中の最低心拍数は, W(-) 群では 500 m の時点で 93.6 ± 18.7 bpm, 1,000 m の時点では 96.2 ± 22.8 bpm, 1,500 m の時点では 98.9 ± 22.2 bpm と, 常に 90 bpm 以上を示し, 水中安静時と対比して 20 bpm 以上の値で推移した。一方, W(+) 群では 500 m の時点で 85.3 ± 17.5 bpm, 1,000 m の時点では 87.1 ± 21.7 bpm, 1,500 m の時点では 92.3 ± 24.9 bpm と, 1,500 m の時点にて初

Fig. 2. Changes of heart rate at rest and during walking in pool.
○ WATER(-) ● WATER(+)

Fig. 3. Changes of heart rate at rest and during walking in pool.

○ WATER(-) ● WATER(+)

めて 90 bpm を超えるという経緯を示した。しかし、両群間には、有意差はみられなかった (Fig. 3)。

B. 血圧について

個人差を考慮し、図では水中安静時からの変動値を示した。収縮期血圧は、W(+)群共に一時的には上昇したが、その後低下を示し、W(+)群においては、運動終了後に 112.7 ± 13.4 mmHg となった。W(-)群においては、500 m の時点では 125.8 ± 17.0 mmHg であったが、1,000 m の時点で 114.0 ± 12.5 mmHg まで有意に低下した (Fig. 4)。水中安静時での値は、W(-)群で 117.2 ± 13.1 mmHg、W(+)群で 114.8 ± 9.4 mmHg を示した。W(-)群と W(+)群の間には有意差はみられなかった。

一方、拡張期血圧は、W(+)群では、初期には上昇する傾向を示したが、その後、低下する傾向がみられた。W(-)群では、運動直後から低下する傾向がみられた。W(+)群では、1,750 m の時点におい

Fig. 4. Changes of systolic blood pressure at rest and during walking in pool (* $p < 0.05$)

○ WATER(-) ● WATER(+)

Fig. 5. Changes of diastolic blood pressure at rest and during walking in pool.

○ WATER(-) ● WATER(+)

て 64.3 ± 10.3 mmHg まで低下し、W(-)群においては、1,500 m の時点まで 66.7 ± 10.2 mmHg と低下の傾向を示した (Fig. 5)。水中安静時での値は、W(-)群で 79.3 ± 11.4 mmHg、W(+)群で 71.3 ± 9.1 mmHg であった。

C. 鼓膜温について

鼓膜温は、W(+)群では、1,000 m の時点から上昇したのに対して、W(-)群では、運動直後から上昇する傾向がみられた。W(+)群では、1,000 m の時点で $36.3 \pm 0.3^\circ\text{C}$ まで上昇し、その後、安定する結果が得られた。一方、W(-)群では、1,000 m の時点以降の全ての時点において、水中安静時と比較して有意に高い値を呈示し、1,750 m の時点で $36.6 \pm 0.3^\circ\text{C}$ を示した (Fig. 6)。水中安静時での鼓膜温は、W(-)群で $36.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 、W(+)群で $35.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$ であった。この両群間に有意差はみられなかった。

Fig. 6. Changes of temperature in the eardrum and surrounding tissue (* $p < 0.05$)

○ WATER(-) ● WATER(+)

D．手指の静脈血管幅の変動について

水中運動の前後による血管幅の変動では、陸上安静時と比較してW(－)群では 0.03 ± 0.19 mm の縮小，W(＋)群では 0.22 ± 0.29 mm の拡張が確認された．この結果から，運動前の水分摂取により，水中運動後，血管幅が有意に拡張する事実が確認された ($p < 0.05$) (Fig. 7)．運動前後の実測値は，W(－)群は 0.85 ± 0.19 mm と 0.81 ± 0.13 mm，W(＋)群では 0.75 ± 0.23 mm と 0.89 ± 0.27 mm であった．

E．静脈酸素化の指標 (VOI) について

VOI 指標は，陸上安静時と水中運動後との値を比較した結果，W(－)群では -2.2 ± 23.1 ，W(＋)群では -10.8 ± 31.3 変化した．両群間および群内において有意差はみられなかった．W(＋)群において，この指標はやや低下する傾向がみられたが，VOI 指標は， SO_2 との相関性が高いとされている．しかし，以上の所見からみて，運動前の水分摂取に

より，酸素消費が増加した可能性が十分にあるものと示唆された (Fig. 8)．

F．体重の変動について

水中運動による体重の変化は，W(－)群で平均 300 ± 300 g の減少が確認された．一方，W(＋)群では，平均 100 ± 100 g の増加が確認され，両群間に有意差 ($p < 0.01$) が確認された (Fig. 9)．

Ⅳ．考 察

本研究の目的は，冷却効果の高い水中運動時において，運動前の水分補給が身体にどのような影響を与えるのかを詳細に検討することであった．

水中運動時における運動前の水分補給は，運動中の体温上昇を抑制することが明らかになった．この事実は，矢野らの水中運動中の水分補給の影響と同様の結果であった^{4,5)}．一方，手指の静脈血管幅において，水分摂取を行なうことで，運動前後で有意

Fig. 7. Changes of venous dilation (mean) in the fingers before and after walking in pool. (* $p < 0.05$)

Fig. 8. Changes of venous oxygenation index (mean) before and after walking in pool.

Fig. 9. Changes of body weight loss(mean) before and after walking in pool.

に血管の拡張がみられた事実から, 水による冷却や水圧の影響を直接うけない上肢の部位については, 水分摂取の影響が循環系に関してみられることが示唆されたと考える. したがって, 血圧は, 収縮期血圧において, 非摂取時では 500 m の時点では水中安静時より上昇した血圧が, 1,000 m の時点では有意な低下を示し, その後水中安静時より低い値で推移する傾向がみられた. この事実は, 水中運動時の特徴であり, 小野寺ら²⁾や矢野ら^{4,5)}の先行研究を十分に支持する結果となった.

心拍数は, 水分補給による影響によって有意な差はみられず, 休息時の最低心拍数ならびに平均心拍数による心拍数の回復程度からも有意差はみられなかった. 水中環境下並びに水中運動時の心拍数は, 陸上時と比較して約 5 ~ 10 bpm 程度低いとされている^{2,8,9)}. この現象は, 水圧による静脈還流量の増加が中心血流量の増加をもたらし, その結果, 一回心拍出量の増加や心拍数の低下を喚起することは, 周知の事実とされている¹⁰⁾. このように水中環境下という特殊な影響が大きく関係していることや, 心拍数に影響を与える程, 発汗による体液損失が認められなかった事実などは, 心拍数に対して水分補給の影響がみられなかった要因にも関係しているものと考えられる.

血圧における変動は, 水中では水圧による影響が大きく関与している. すなわち, 水中では, 水圧による静脈還流量の増加の影響により, 中心静脈の血流量が増加する. その反応により, 腎交感神経活動の低下, 抗利尿ホルモンの分泌の低下, 心房ナトリウム利尿ペプチドの分泌の増加などが招来される¹¹⁾. これらの一連の作用により, 利尿作用を亢

進させて, 尿の生成により循環血液量を減少させることで, 前負荷を減少させようとする働きが起こる. この働きが, 水中運動時における血圧を低く調整しているものと考えられる^{2,12)}. それらの反応に対し, 水中運動時の水分補給は, 運動時の収縮期血圧の低下を抑制する働きがあることを呈示したのと考えられる. 本研究では, 一回拍出量などの循環量を測定していないため, その詳細は明らかではないが, 血圧において変動が確認されたことで, 水中運動時における水分補給が, 水圧の影響に加えて循環機能の変動に何らかの影響を与えることが呈示されたものと考えられる.

体温として鼓膜温を採用したが, 水中運動時の体温測定としては, 水による直接的な影響をうけることなく, 再現性に優れているからである. 水中運動時では, 水の熱伝導率は空気中の約 25 倍にも達するため, 運動中の体温への影響は非常に大きいものとされる¹³⁾. すなわち, 水に浸かっている身体の部分については, 冷却効果が強く働いているため, 運動による熱の放散はむしろ促進されるものと考えられる. 一方, 水面上の部分については, その影響を直接うけないため, 発汗による熱放散が行われることになる. しかし, その熱放散は室内の湿度が約 80% と高いことから, どの程度有効的に行われているかは明らかではない. しかし, 水分補給により手指の静脈血管が有意に拡大した事実から, 水による冷却効果の直接的な影響をうけない部位の熱放散の作用に水分補給の影響がみられたものと考えられる.

さらに, VOI 指標における末梢血管の酸素代謝の面から, 水分補給の影響並びに循環機能の変動を検討したが, 有意差はみられなかった. この結果

は、運動負荷や運動時間が影響を与える程、大きくなかったことによるものと考えられる。しかし、運動時間の長期化や運動負荷を大きくさせ、発汗がより亢進することになれば、陸上運動時のように発汗による体液損失の影響から循環機能への影響が大となり、心拍数や酸素代謝においても何らかの変化がみられる可能性が考えられる。その可能性が、水分補給による静脈血管幅の拡大により呈示されたものと考えられる。

本研究では、非摂取時において約 250 g の体重の減少が確認された。先行研究より陸上運動時において、体重減少量に近い水分量の補給は、体温上昇の抑制に有効であることが報告されている^{14,15)}。本研究の結果と矢野らの先行研究^{4,5)}における水分補給の量と発汗による体重減少量並びに体温上昇の抑制に関する結果や Taimura ら³⁾の報告とを考慮すると、水中運動時においても水分補給が体温上昇に影響を与えることは明らかであると考えられる。

V. 結 語

本研究の結果から、水中運動前に水分補給を行うことで、運動中の体温上昇を抑制することや、手指の静脈血管幅の拡張を促進させたこと、血圧の急激な低下を抑制することなどが呈示された。冷却効果の高い水中運動時においても水分補給による良い影響がみられるという事実を明らかにした。この事実は今後、水中運動時の特徴を考慮した上で、独自の水分補給の在り方をさらに検討する必要性が呈示できたものと考えられる。

(受理日 平成18年6月30日)

参 考 文 献

- 1) 鈴木洋児, 水中運動の生理学的基礎. 臨床スポーツ医学, (2003), 20: 261-270.
- 2) 小野寺昇, 血圧から見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 (1996), 17: 53-61.
- 3) Taimura A, Matsumoto T, Jeong-Beom L, Othman T, Yamauchi M, Sugawara M, and Kosaka M.: Effects of fluid ingestion during intermittent high intensity swimming exercise on thermoregulatory responses and performance. Trop Med(1999), 41(2): 65-73.
- 4) 矢野琢也, 岡田昌義, 水中ウォーキング中における積極的な水分摂取の効果についての検討. 臨床スポーツ医学, (2004), 21: 561-567.
- 5) 矢野琢也, 岡田昌義, 水中運動時における水分補給が生体に及ぼす影響について. 体育・スポーツ科学, (2005), 14: 1-8.
- 6) 小澤利行, 斉藤太計雄, 沼田成弘, 西保 岳, 近藤徳彦, 末梢血管モニタリング装置 ASTRIM による末梢静脈酸素分圧の計測. 日本エム・イー学会誌抄録・論文号, (2002), 40: 178.
- 7) 岡本孝信, 増原光彦, 間欠的掌握運動における適度な血流制限が活動肢の酸素動態及び末梢血管に及ぼす影響. スポーツ整復療法学研究, (2003), 5: 13-17.
- 8) McArdle WD, Glaser RM, Magel JR.: Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. J Appl Physiol(1971), 30(5): 733-738.
- 9) 黒川隆志, 野村武男, 池上晴夫, 富樫泰一, 水泳・ランニングおよびペダリングにおける水泳選手の呼吸循環系の反応. 体力科学, (1984), 33(3): 157-170.
- 10) 藤本繁夫, 田中繁宏, 宮本忠吉, 大島秀武, 栗原直嗣, 心拍数と血圧に及ぼす水圧の影響. デサントスポーツ科学, (1996), 17: 34-40.
- 11) 宮村実晴, 三木健寿, 新運動生理学(下巻). 真興交易(株)医書出版部, 東京, (2001), 336-336.
- 12) Ikawa S, Suzuki M, Shiota M: Responses in plasma catecholamines, renin, angiotensin, and cAMP in relation with the increase in work load. Report of Research Center in Physical Education, (1984), 12, 201-212.
- 13) McMurray RG, Horvath SM. Thermoregulation in swimmers and runners. J Appl Physiol(1979), Jun; 46(6): 1086-92.
- 14) Montain, S. J, Coyle, E. F. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. J. Appl. Physiol(1992), 73: 1340-1350.
- 15) Pitts, G. C., Johnson, R. E. and Consolazio, F. C.: Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. Am. J. Physiol(1994), 142: 253-249.