

運動後に行った足浴時の筋血液酸素動態の変化

Changes in intramuscular oxygen hemodynamics when feet are immersed in water after exercise

須 藤 明 治, 渡 辺 剛, 角 田 直 也

Akiharu SUDO, Tsuyoshi WATANABE and Naoya TSUNODA

ABSTRACT

It is known that water pressure can affect the cardiac stroke volume, thereby increasing the volume of venous return. The press receptor or extension receptor detects these increases and stimulates the secretion of atrial natriuretic peptide, inhibits the secretion of renin from the renal afferent arteriole, and inhibits the secretion of vasopressin from the central nervous system. In light of this information, we studied whether the changes in intramuscular oxygen hemodynamics of feet that were immersed in water after physical exercise exhibited a cooling-down effect. In this study, we monitored the circulation in the right vastus medialis muscle by determining the tissue blood-oxygen parameters [tissue-oxygen saturation (StO₂) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated-hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated-hemoglobin (HbO₂) level] (BOM-L1TR; OMEGAWAVE, Tokyo) and measuring the blood pressure when the subject's feet were immersed in water after exercise. We performed these studies on 4 men. The measurements for each subject were made in 4 different conditions, that is, at rest (while the subject was sitting), during exercise (15 minutes of cycling at 75% HRmax), during 15 minutes of recovery in water (foot bus group) and out of water (control group), and during 15 minutes of recovery on the grand sitting. The post-exercise total hemoglobin (HbT) levels in the foot bus group were higher than those in the control group. The post-exercise HbD levels in the foot bus group were higher than those in the control group. The post-exercise change in the blood flow in the skin in the foot bus group was higher than that in the control group. The post-exercise HbO₂ levels in the foot bus group were significantly higher than those in the control group ($p<0.01$). The blood circulation of the feet was promoted, and post-exercise foot bus may contribute to the removal of wastes by increasing venous circulation from the upper regions of the body. Moreover, it is thought that the high amount of oxygen in the muscles of the feet could have influenced the post-exercise recovery process.

Key words; intramuscular oxygen hemodynamics, foot bus, recovery after exercise

1. は じ め に

高強度の運動を行うことにより筋疲労が発生し、蓄積した疲労が残ることでパフォーマンスに支障が出てくる。よって運動後の疲労回復処置（クーリングダウン）が重要となってくる。運動後の軽いジョギングが、乳酸の消長を促進させることは知られているが、クーリングダウンとして部分的な足浴を用いた例は少ない。また、水圧の影響により静脈帰環流が増大し、老廃物の消長にも寄与するのではないかと考えられることから、陸上運動直後に足浴の影響を観察することは意義深いと思われる。特に、ヒトが剣状突起レベルの水位に入水すると、水圧により静脈帰還流が増大し、一回心拍出量が増加し心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、レニン分泌やバゾプレッシンの分泌が抑制されることが知られている。このレニン分泌の抑制作用は、アンジオテンシンⅡやアルドステロンの分泌を抑制することが知られていることから、水中立位時では血管の状態は拡張傾向に向かい、心拍数の減少、血圧の低下が確認されている。そこで、陸上での運動直後に足浴（膝下水位）を行った時の筋組織血液動態を観察し、運動後の足浴がクーリングダウンとしての効果があるかを観察し、検討した。

2. 方 法

陸上での運動は、自転車エルゴメーターを使用し、その運動負荷を50W・100W・150W（60回転／分）を各5分間実施した。運動負荷は、最終運動負荷の150W時に、75% HR_{max}となるように被験者を選択した。その後足浴を15分間行った。特に、同一被験者に対し、足浴なしのコントロール実験も一週間後に実施した。測定項目は、安静時・運動時・足浴時・足浴後時の4つの活動場面において心拍数、血圧、右側大腿の内側広筋の筋組織酸素血液動態及び皮膚温・皮膚血流を測定した。筋組織酸素血液動態測定は、経皮的レー

ザー組織血液酸素モニターを用いて、右側大腿内側広筋にセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度（StO₂）と組織ヘモグロビン量（HbT）、組織脱酸素化ヘモグロビン量（HbD）、組織酸素化ヘモグロビン量（HbO₂）を測定した。測定は、右側大腿の内側広筋に経皮的レーザー組織血液酸素モニター（BOM-L1TR, OMEGAWAVE）のセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度（StO₂）、組織ヘモグロビン量（HbT）、組織脱酸素化ヘモグロビン量（HbD）、組織酸素化ヘモグロビン量（HbO₂）を実施した。なお、レーザー組織血液酸素モニターは、送受光間距離30mm一定のセンサーを使用し、内側広筋の筋組織の最も厚い部位の皮膚上に貼付け1秒ごとに測定した。本研究におけるセンサー部位は、外側顆から大転子までの距離を100%とした場合、近位90%の位置であった。そして、パルオキシメーターハンディ100（木村医科機械株式会社）を左第二指に装着し、心拍数（HR）を測定開始から終了まで測定した。レーザー組織血液酸素モニターは、同一姿勢において3分間の安静状態において連続的に測定し、各条件における安静値は、30秒間の心拍数の安定（±1）を目安に30秒間の平均値とした。また、パルオキシメーターハンディ100の安静時の測定値は、各姿勢・環境において最も心拍数が低値で安定した時に測定した。血圧においては、右上肢より血圧計（HEM-609; OMRON）により各条件の30秒間の心拍数の安定（±1）を目安に安定した状態を確認後測定した。また、経皮的レーザー組織血液酸素モニター（BOM-L1TR, OMEGAWAVE）のセンサーを取り付けた内側広筋部に温度センサーを取り付け、皮膚温を測定した。

尚、各被験者には、インフォームドコンセントを実施し、実験の意義、内容、危険性を十分に説明した上で、実験参加の承諾を得た。結果の処理は、得られた各変数の値は特に記載のない場合を除き、平均値±標準偏差で示した。各変数の2条件間の平均値の差の検定には片側の対応のあるt検定を、また、対応のない2群間の差の検定の

場合には対応のないt検定を用いた。統計処理の結果は危険率5%未満をもって有意とした。そして、これらを比較検討した。測定環境は水温25.6℃、室温25.7℃（表1）、水深29cmであった。

3. 結 果

1) 被験者の身体的特徴

被験者の身体的特徴について、年齢は平均21.5 ± 1.0歳、身長は平均173.5 ± 3.4cm、体重は平均68.25 ± 4.9kg、体脂肪率(% fat)は平均14.5 ± 1.0%であった（表1）。

2) 心拍数の変化

安静時の浸水群は76.5 ± 10.6拍/分、コントロール群は72.3 ± 8.3拍/分であった。運動負荷50W時の浸水群は94.8 ± 0.9拍/分、コントロール群は90.9 ± 1.6拍/分であった。運動負荷100W時の浸水群は115.7 ± 3.8拍/分、コントロール群は116.3 ± 5.5拍/分であった。運動負荷150W時の浸水群は147.1 ± 10.3拍/分、コントロール群は145.5 ± 10.4拍/分であった。足浴0～5分時の浸水群は101.1 ± 8.0拍/分、コントロール群は97.4 ± 6.5拍/分であった。足浴6～10分時の浸水群は90.4 ± 1.2拍/分、コントロール群は89.0 ± 1.3拍/分であった。足浴11～15分時の浸水群は86.1 ± 1.3拍/分、コントロール群は85.2 ± 1.3拍/分であった。足浴後の浸水群は83.0 ± 2.4拍/分、コントロール群は79.4 ± 0.6拍/分であった。（図1）。

3) 皮膚血流量の変化

安静時の浸水群は0.9 ± 0.4 (1000/mm²)、コントロール群は1.0 ± 0.5 (1000/mm²)であった。運動負荷50W時の浸水群は4.9 ± 0.3 (1000/mm²)、コントロール群は4.9 ± 0.1 (1000/mm²)であった。運動負荷100W時の浸水群は5.6 ± 0.2 (1000/mm²)、コントロール群は5.4 ± 0.2 (1000/mm²)であった。運動負荷150W時の浸水群は7.6 ± 1.2 (1000/mm²)、コントロール群は9.1 ± 1.7 (1000/mm²)であった。足浴0～5分時の浸水群は6.2 ± 3.2 (1000/mm²)、コントロール群は1.6 ± 0.2 (1000/mm²)であった。足浴6～10分時の浸水群は3.2 ± 0.5 (1000/mm²)、コントロール群は1.5 ± 0.2 (1000/mm²)であった。足浴11～15分時の浸水群は2.1 ± 0.4 (1000/mm²)、

表1 被験者の身体的特性と測定環境

	Age	cm	kg	% fat
J.T	21	172.0	66.0	15.0
Y.H	23	170.0	65.0	13.0
N.T	21	178.0	75.5	15.0
R.G	21	174.0	66.5	15.0
average	21.5	173.5	68.3	14.5
S.D	1.0	3.4	4.9	1.0

水温; 25. 6℃ 室温; 25. 7℃

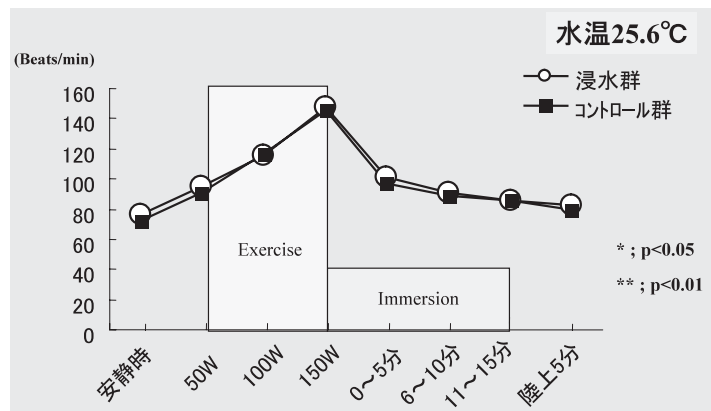


図1 心拍数の変化

コントロール群は 2.0 ± 0.3 (1000/mm³)であった。足浴後の浸水群は 2.0 ± 0.1 (1000/mm³)、コントロール群は 2.4 ± 0.1 (1000/mm³)であった。足浴0～5分時、足浴6～10分時、足浴後の浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差が認められた ($p < 0.05$) ($p < 0.01$) (図2)。

4) 皮膚温の変化

安静時の浸水群は $33.2 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $33.2 \pm 0.4^\circ\text{C}$ であった。運動負荷50W時の浸水群は $33.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $33.0 \pm 0.0^\circ\text{C}$ であった。運動負荷100W時の浸水群は $33.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $33.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$ であった。運動負荷150W時の浸水群は $34.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $33.6 \pm 0.1^\circ\text{C}$ であった。足浴0～5分時の浸水群は $35.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $35.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$ であった。足浴6～10分時の浸水群は $35.5 \pm 0.0^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $35.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$ であった。足浴11～15分時の浸水群は $35.3 \pm 0.0^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $34.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ であった。足浴後の浸水群は $35.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 、コントロール群は $34.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ であった。足浴0～5分時、足浴6～10分時、足浴11～15分時、足浴後の浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差が認められた ($p < 0.01$) (図3)。

5) HbDの変化

安静時の浸水群は 9.2 ± 0.7 (1000/mm³)、コントロール群は 7.5 ± 1.0 (1000/mm³)であった。運動負荷50W時の浸水群は 7.5 ± 0.1 (1000/mm³)、コントロール群は 7.4 ± 0.1 (1000/mm³)であった。運動負荷100W時の浸水群は 8.6 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 8.2 ± 0.1 (1000/mm³)であった。運動負荷150W時の浸水群は 9.7 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 9.0 ± 0.1 (1000/mm³)であった。足浴0～5分時の浸水群は 5.3 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 4.8 ± 0.2 (1000/mm³)であった。足浴6～10分時の浸水群は 5.5 ± 0.2 (1000/mm³)、

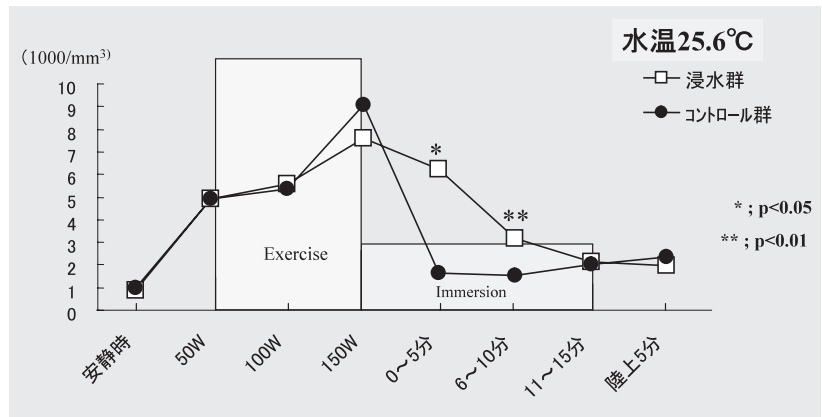


図2 皮膚血流量の変化

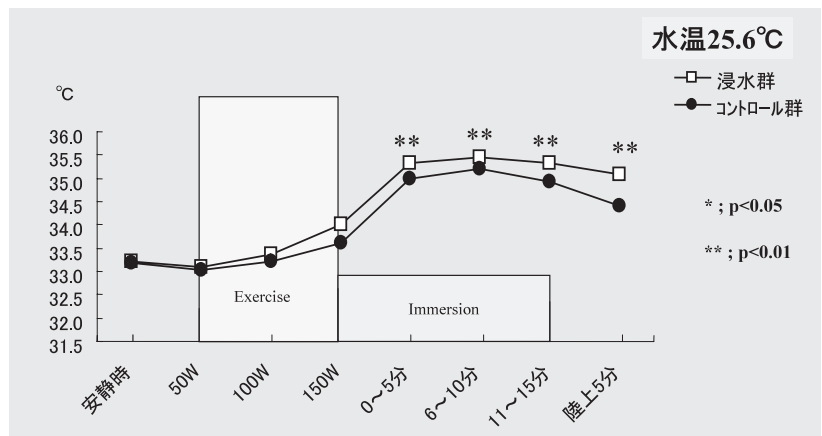


図3 皮膚温の変化

コントロール群は 4.7 ± 0.4 (1000/mm³)であった。足浴11～15分時の浸水群は 6.1 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 5.3 ± 0.2 (1000/mm³)であった。足浴後の浸水群は 7.0 ± 0.1 (1000/mm³)、コントロール群は 5.9 ± 0.2 (1000/mm³)であった。足浴0～5分時、足浴6～10分時、足浴11～15分時、足浴後の浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差が認められた ($p < 0.05$) ($p < 0.01$) (図4)。

6) HbO₂の変化

安静時の浸水群は 13.9 ± 1.7 (1000/mm³)、コントロール群は 14.8 ± 0.8 (1000/mm³)であった。運動負荷50W時の浸水群は 13.3 ± 0.4 (1000/mm³)、コントロール群は 14.4 ± 0.2 (1000/mm³)であった。運動負荷100W時の浸水群は 13.9 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 14.9 ± 0.2 (1000/mm³)であった。運動負荷150W時の浸水群は 14.2 ± 0.3 (1000/mm³)、コントロール群は 14.4 ± 0.2 (1000/mm³)であった。足浴0～5分時の浸水群は 17.3 ± 0.4 (1000/mm³)、コントロール群は 16.3 ± 0.3 (1000/mm³)であった。足浴6～10分時の浸水群は 17.4 ± 0.1 (1000/mm³)、コントロール群は 15.8 ± 0.8 (1000/mm³)であった。

足浴11～15分時の浸水群は 17.5 ± 0.2 (1000/mm³)、コントロール群は 16.4 ± 0.3 (1000/mm³)であった。足浴後の浸水群は 17.6 ± 0.2 (1000/mm³)、コントロール群は 16.7 ± 0.1 (1000/mm³)であった。足浴0～5分時、足浴6～10分時、足浴11～15分時、足浴後の浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差が認められた ($p < 0.05$) ($p < 0.01$) (図5)。

7) THBの変化

安静時の浸水群は 23.1 ± 1.7 (1000/mm³)、コン

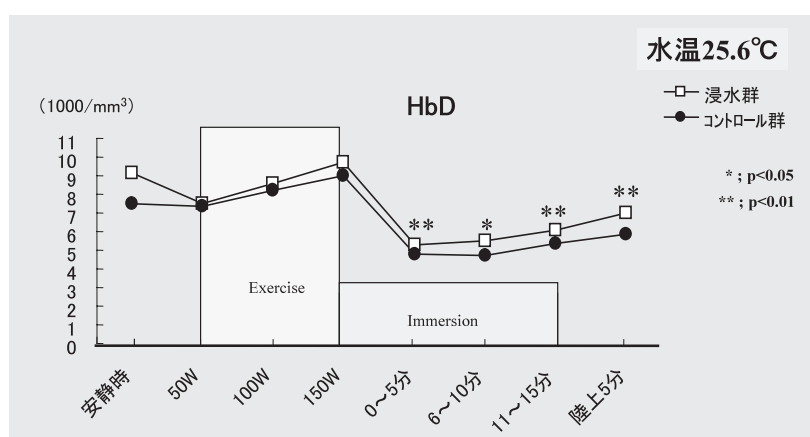


図4 組織脱酸素化ヘモグロビン量 (HbD) の変化

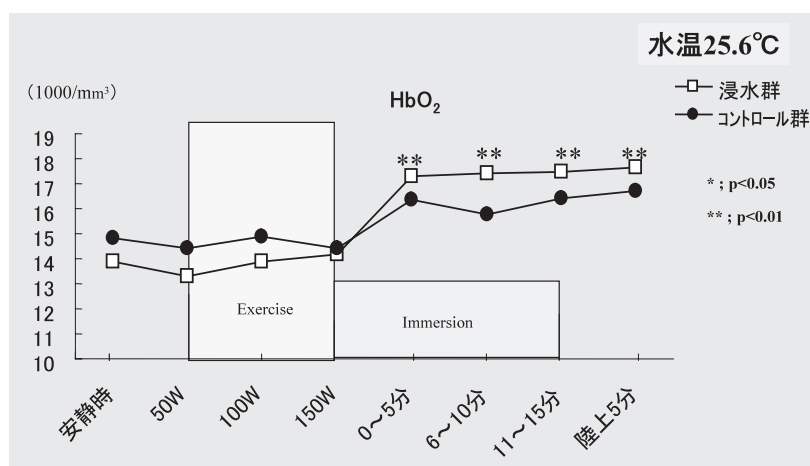


図5 組織酸素化ヘモグロビン量 (HbO₂) の変化

トロール群は 22.3 ± 1.2 ($1000/\text{mm}^3$) であった。運動負荷 50 W 時の浸水群は 20.8 ± 0.4 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 21.8 ± 0.2 ($1000/\text{mm}^3$) であった。運動負荷 100 W 時の浸水群は 22.4 ± 0.3 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 23.1 ± 0.1 ($1000/\text{mm}^3$) であった。運動負荷 150 W 時の浸水群は 23.9 ± 0.5 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は

23.4 ± 0.2 ($1000/\text{mm}^3$) であった。足浴 0～5 分時の浸水群は 22.6 ± 0.6 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 21.2 ± 0.4 ($1000/\text{mm}^3$) であった。足浴 6～10 分時の浸水群は 22.9 ± 0.2 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 20.5 ± 1.2 ($1000/\text{mm}^3$) であった。足浴 11～15 分時の浸水群は 23.6 ± 0.4 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 21.7 ± 0.5 ($1000/\text{mm}^3$) であった。足浴後の浸水群は 24.6 ± 0.2 ($1000/\text{mm}^3$)、コントロール群は 22.6 ± 0.3 ($1000/\text{mm}^3$) であった。足浴 0～5 分時、足浴 6～10 分時、足浴 11～15 分時、足浴後の浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差が認められた ($p < 0.01$) (図 6)。

4. 考 察

心拍数の変化については、両群間に大きな差はなかった。このことから同程度の運動負荷であったことが考えられる。皮膚血流量の変化については、浸水群が高く、血行血流が促進されていることが分かった。また、皮膚温においても浸水群が高く保温作用があることが分かった。静脈帰還流の値を示す HbD は運動終了後浸水群が高く、水圧の影響を受けていることが考えられる。全血液量を示す THb もまた運動終了後浸水群が高く、水圧の影響を受けていることが考えられる。筋肉の酸

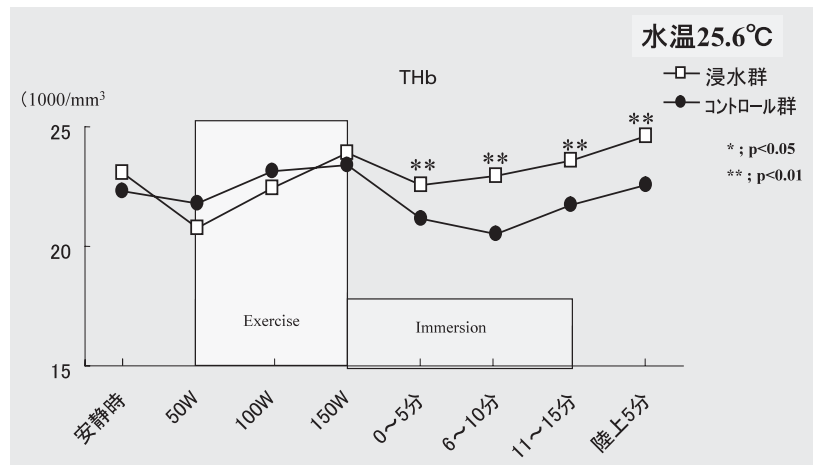


図6 組織ヘモグロビン量 (THb) の変化

素動態を示す HbO_2 は運動終了後浸水時において有意に浸水群が高いことが分かった。これは運動の回復過程において重要なことではないかと考えられる。

以上のことから、運動後の足浴は、下肢の血流を促進し静脈帰還流を増大させることにより老廃物の除去に貢献しているのではないかと考えられた。また、下肢の筋肉中の酸素量が高いことは、運動終了後の回復過程に良い影響を及ぼすのではないかと考えられた。

サッカーなどの競技場面では、前半と後半に分かれているため疲れをいかに取るかが重要な課題である。そこで、本研究では、全身浴をすることができない場面においても簡易的に水浴の効果が得られないかと考え、運動直後の足浴が疲労回復にどのような効果をもたらすかを検証した。特に、今後、水位及び水温の検討などは必要なのではないかと思われた。

5. ま と め

競技場面では、前半と後半に分かれているため疲れをいかに取るかが重要な課題である。そこで、本研究では、全身浴をすることができない場面においても簡易的に水浴の効果が得られないかと考

え、運動直後の足浴が疲労回復にどのような効果をもたらすかを検証した。陸上での運動は、自転車エルゴメーターを使用し、その運動負荷を50W・100W・150W（60回転／分）を各5分間実施し（150W時に、75%HRmax相当）、その後足浴を15分間行う。特に、同一被検者に対し、足浴なしのコントロール実験も実施した。

- 1) 心拍数の変化については、両群間に大きな差はなかった。
- 2) 皮膚血流量の変化については、浸水群が高く、血行血流が促進されていることが分かった。また、皮膚温においても浸水群が高く保温作用があることが分かった。
- 3) 静脈帰還流の値を示すHbDは運動終了後浸水群が高く、水圧の影響を受けていることが考えられた。全血液量を示すTHbもまた運動終了後浸水群が高く、水圧の影響を受けていることが考えられた。
- 4) 筋肉の酸素動態を示すHbO₂は運動終了後浸水時において有意に浸水群が高いことが分かった。これは運動の回復過程において重要なことではないかと考えられた。

以上のことから、運動後の足浴（25.6°）は、下

肢の血流を促進し静脈帰還流を増大させることにより老廃物の除去に貢献しているのではないかと考えられた。また、下肢の筋肉中の酸素量が高いことは、運動終了後の回復過程に良い影響を及ぼすのではないかと考えられた。

6. 謝 意

被検者として協力頂いた皆様に感謝いたします。また、今回の研究・実験に御協力くださった有) アプライドオフィス、オメガウェーブ株式会社の皆様に深くこの場をかりて謝意を申し上げます。本研究の一部は、国土館大学体育学部附属体育研究所の2008年度研究助成によって実施した。

引用・参考文献

- 1) 須藤明治、角田直也、田口信教；水中環境下での脚筋力トレーニングは筋血流制限下のトレーニングといえるのか、デサントスポーツ科学, **22**, 193-203, (2001)
- 2) 須藤明治、角田直也、田口信教、小宮節朗、井尻成幸；高血圧者における水中浸漬時の水圧が筋組織血液動態に及ぼす影響について、デサントスポーツ科学, **25**, 94-102, (2004)
- 3) 須藤明治、角田直也、渡辺剛；水中運動後の陸上時の筋組織血液動態、国土館大学体育研究所報抜刷, **24**, 23-30, (2005)
- 4) 垂井彩未、北川薫；高強度運動後の水浸が身体に及ぼす影響～血中乳酸濃度及び心拍数を指標として～、中京大学体育研究所紀要, **20**, 35-37, (2006)