

## 運動後に行った足浴時（20℃・25℃・30℃）の筋血液酸素動態の変化

### Changes in the intramuscular oxygen hemodynamics when the feet were put in water 20℃, 25℃ and 30℃ after the exercise

須藤 明治

Akiharu SUDO

#### ABSTRACT

We observed whether the changes in the intramuscular oxygen hemodynamics when feet were put in water measuring 20℃, 25℃ and 30℃ after exercising had an effect as a cooling-down procedure. In this study we observed the circulation of the right vastus medialis muscle with a laser tissue blood-oxygen monitor (tissue oxygen saturation (StO<sub>2</sub>) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO<sub>2</sub>) level) (BOM-L1TR, OMEGAWAVE ; Tokyo) and measured blood flow when the feet of subjects were put in. 9 males served as subjects. Measurements were made with the subjects in each of 4 conditions, specifically in a sitting position while resting (Pre), exercise (15 minutes of cycling exercise at 75% $\dot{V}O_2$ max), 10 minutes of recovery in a water (immersion group) and out of water (control group), and after 5 minutes of recovery sitting on the ground. The average of the blood flow after exercise when immersed in 25℃ water was higher than in the control group. HbO<sub>2</sub> levels after exercising and immersed in 25℃ water were significantly higher than that in the control group (P<.001).

*Key words; the intramuscular oxygen hemodynamics, 20℃・25℃・30℃, foot bus, recovery after exercise.*

#### I. 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る事があり、早期の運動後の疲労回復過

程が重要であると考えられている<sup>1) 2)</sup>。特に、重力下での運動後には、下肢への疲労代謝産物が貯留する傾向にあるのではないかと考えられる。また、陸上運動直後の足浴は、水圧による影響によって、浸水した部分の静脈帰環流の増加、それに

よって疲労代謝産物の消長に役に立つのではないかと考えられる<sup>3) 4)</sup>。

そして、我々は、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、運動直後の部分的な足浴が疲労回復にどのような効果をもたらすかを検討する必要があると考えた。スポーツ競技場面では、少ない休憩時間で疲れをいかに取るかが重要な課題である。先行研究より、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<sup>3)</sup>。このレニン分泌の抑制作用は、アンギオテンシン2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<sup>3) 4) 6)</sup>。つまり、水圧の影響により静脈帰還流が増大し、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、陸上運動直後に水浴の影響を観察することは意義深いと思われる。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、運動直後の水温20℃・25℃・30℃時の足浴の筋血液酸素動態を観察し比較検討した。

## II. 方 法

運動負荷は、自転車エルゴメーターを使用し、予め各被験者の最大酸素摂取量時の運動負荷を推定し、各被験者の75% $\dot{V}O_2$ max (60回転/分)時の負荷で15分間実施した。その後の足浴(浸水群)は、各水温(20℃・25℃・30℃)とも10分間浸水させた。また、同一被験者に対し足浴なしのコントロール実験も実施した。測定項目は、安静時(Pre)・運動時(Exercise)・足浴時(immersion)・足浴後時(afetr Immersion)の4つのステージにおいて各1分毎に心拍数、右側大腿の内側広筋の筋組織酸素血液動態及び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(BOM-L1 TR, OMEGAWAVE)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( $StO_2$ )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( $HbO_2$ )を測定した。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。皮膚血流はレーザー組織血流計(FLO-C1)を用いて内側広筋部を測定した。また、皮膚温についても同部位を測定した。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。20℃の測定環境は平均水温20.3℃、室温21.7℃、水深30.0cmであった。25℃の測定環境は平均水温25.6℃、室温25.7℃、水深30cmであった。30℃の測定環境は平均水温30.3℃、室温23.2℃、水深30.0cmであった。

## III. 結 果

### 1. 被験者の身体的特徴

被験者(成人男性9名)の身体的特徴について、年齢は平均 $21.6 \pm 0.7$ 歳、身長は平均 $174.0 \pm 4.9$ cm、体重は平均 $68.9 \pm 6.0$ kg、体脂肪率は平均 $16.4 \pm 3.2\%$ であった(Table 1.)。

## 2. 心拍数の変化

### (1) 水温20°Cの場合

運動前の安静時の浸水群は  $70.2 \pm 7.9$  拍/分、コントロール群は  $70.0 \pm 8.5$  拍/分であった。運動負荷後の浸水群は  $160.0 \pm 8.2$  拍/分、コントロール群は  $160.6 \pm 8.4$  拍/分であった。足浴10分後の浸水群は  $92.2 \pm 8.0$  拍/分、コントロール群は  $89.4 \pm 15.4$  拍/分であった。足浴後時5分後の浸水群は  $87.8 \pm 13.8$  拍/分、コントロール群は  $89.6 \pm 11.5$  拍/分であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった (Fig.1)。

### (2) 水温25°Cの場合

安静時の浸水群は  $76.5 \pm 10.6$  拍/分、コントロール群は  $72.3 \pm 8.3$  拍/分であった。運動負荷後の浸水群は  $147.1 \pm 10.3$  拍/分、コントロール群は  $145.5 \pm 10.4$  拍/分であった。足浴10分後は  $90.4 \pm 1.2$  拍/分、コントロール群は  $89.0 \pm 1.3$  拍/分であった。足浴後時5分後はの浸水群は  $86.1 \pm 1.3$  拍/分、コントロール群は  $85.2 \pm 1.3$  拍/分であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった (Fig.2)

### (3) 水温30°Cの場合

安静時の浸水群は  $76.5 \pm 10.6$  拍/分、コントロール群は  $72.3 \pm 8.3$  拍/分であった。運動中の浸水群は  $149.3 \pm 12.6$ 、コントロール群は  $146.8 \pm 15.8$  拍/分であった。足浴10分後の浸水群は  $98.0 \pm 7.7$  拍/分、コントロール群は  $100.0 \pm 10.2$  拍/分であった。足浴後時5分の心拍数では、浸水群は  $88.2 \pm 11.5$  拍/分、コントロール群は  $90.3 \pm 13.8$  拍/分であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった (Fig.3)

単位を略す)、コントロール群は  $3.2 \pm 1.9$  あった。運動負荷後の浸水群は  $12.5 \pm 1.8$ 、コントロール群は  $12.5 \pm 4.5$  であった。足浴10分後の浸水群は  $4.8 \pm 1.9$ 、コントロール群は  $3.6 \pm 2.4$  であった。足浴後時5分後の浸水群は  $3.3 \pm 0.9$ 、コントロール群は  $3.2 \pm 0.9$  であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかったが、足浴10分間の平均値は浸水群がコントロール群より高値を示す傾向にあった (Fig.4)。

### (2) 水温25°Cの場合

安静時の浸水群は  $0.9 \pm 0.4$ 、コントロール群は  $1.0 \pm 0.5$  であった。運動負荷50W時の浸水群は  $4.9 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $4.9 \pm 0.1$  であった。運動負荷100W時の浸水群は  $5.6 \pm 0.2$ 、コントロール群は  $5.4 \pm 0.2$  であった。運動負荷150W時の浸水群は  $7.6 \pm 1.2$ 、コントロール群は  $9.1 \pm 1.7$  であった。足浴0~5分時の浸水群は  $6.2 \pm 3.2$ 、コントロール群は  $1.6 \pm 0.2$  であった。足浴6~10分時の浸水群は  $3.2 \pm 0.5$ 、コントロール群は  $1.5 \pm 0.2$  であった。足浴11~15分時の浸水群は  $2.1 \pm 0.4$ 、コントロール群は  $2.0 \pm 0.3$  であった。足浴後時の浸水群は  $2.0 \pm 0.1$ 、コントロール群は

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Age (age)	Body high (cm)	Body weight (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
S.H	21	182.0	73.0	15.0
T.Y	22	168.7	62.0	18.0
K.N	22	167.0	61.1	15.0
E.S	21	177.0	74.6	24.0
R.O	22	177.0	76.6	18.0
Means	21.6	174.0	68.9	16.4
±SD	0.7	4.9	6.0	3.2

Values are mean ± S.D.

## 3. 皮膚血流量の変化

### (1) 水温20°Cの場合

安静時の浸水群は  $1.1 \pm 0.5$  (1000/mm<sup>3</sup>以下

2.4 ± 0.1であった。運動負荷 100 W時、運動負荷 150 W時、足浴0~5分時、足浴6~10分時、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) (Fig.5)。

(3) 水温 30℃の場合

安静時の浸水群は 3.2 ± 2.0、コントロール群は 1.1 ± 0.5 であった。運動時ではコントロール群では浸水群は 11.9 ± 1.8、11.5 ± 0.8であった。足浴時の浸水群は 4.2 ± 0.5、コントロール群は 3.9 ± 0.6であった。足浴時後 5 分後の浸水群は 3.3 ± 0.9、コントロール群は 3.2 ± 0.9であった。両群間に統計的な有意な差はなかった (Fig.6)。

4. HbD の変化

(1) 水温 20℃の場合

Fig.7には、運動 15 分間の HbD の平均値を 100 とした時の値の変化を示した。安静時の浸水群は 81.3%、コントロール群は 71.6% だった。足浴 10 分間の浸水群の平均値は 48.6%、コントロール群は 51.8% であった。足浴後 5 分の浸水群は 56.7%、コントロール群は 54.1% であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった。

(2) 水温 25℃の場合

安静時の浸水群は 9.2 ± 0.7 (1000/mm<sup>3</sup>、以下単位を略す)、コントロール群は 7.5 ± 1.0 で

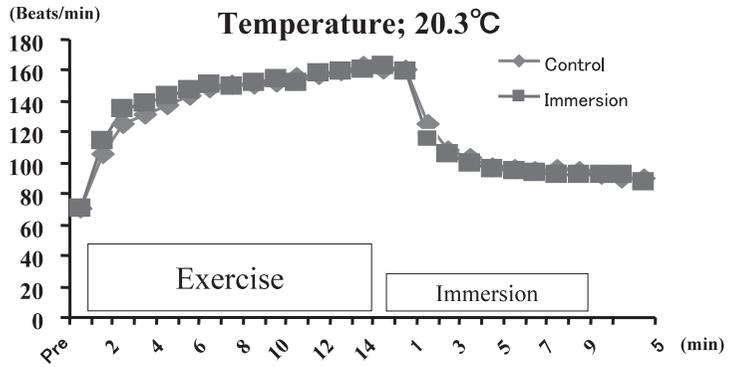


Fig.1 Changes in heart rate when 20°C.

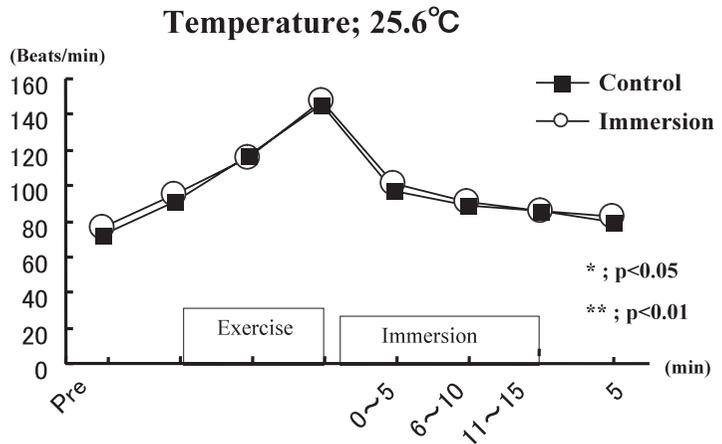


Fig.2 Changes in heart rate when 25°C.

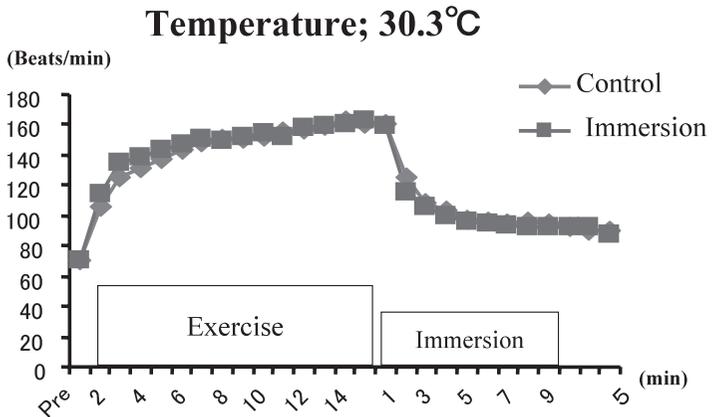


Fig.3 Changes in heart rate when 30°C.

あった。運動負荷 50 W 時の浸水群は  $7.5 \pm 0.1$ 、コントロール群は  $7.4 \pm 0.1$  であった。運動負荷 100 W 時の浸水群は  $8.6 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $8.2 \pm 0.1$  であった。運動負荷 150 W 時の浸水群は  $9.7 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $9.0 \pm 0.1$  であった。足浴 0~5 分時の浸水群は  $5.3 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $4.8 \pm 0.2$  であった。足浴 6~10 分時の浸水群は  $5.5 \pm 0.2$ 、コントロール群は  $4.7 \pm 0.4$  であった。足浴 11~15 分時の浸水群は  $6.1 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $5.3 \pm 0.2$  であった。足浴後の浸水群は  $7.0 \pm 0.1$ 、コントロール群は  $5.9 \pm 0.2$  であった。足浴 0~5 分時、足浴 6~10 分時、足浴 11~15 分時における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 ( $p < 0.05$ ) ( $p < 0.01$ ) (Fig.8)。

### (3) 水温 30°C の場合

安静時の浸水群は  $3.8 \pm 1.3$ 、コントロール群  $4.8 \pm 1.4$  であった。運動中の浸水群は  $5.3 \pm 0.3$ 、コントロール群は  $5.9 \pm 0.2$  であった。足浴時の浸水時は  $2.7 \pm 0.6$ 、コントロール群は  $3.0 \pm 0.4$  であった。足浴後時 5 分の浸水時は  $3.0 \pm 1.8$ 、コントロール群は  $3.2 \pm 1.5$  であった (Fig.9)。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった。

## 5. HbO<sub>2</sub> の変化

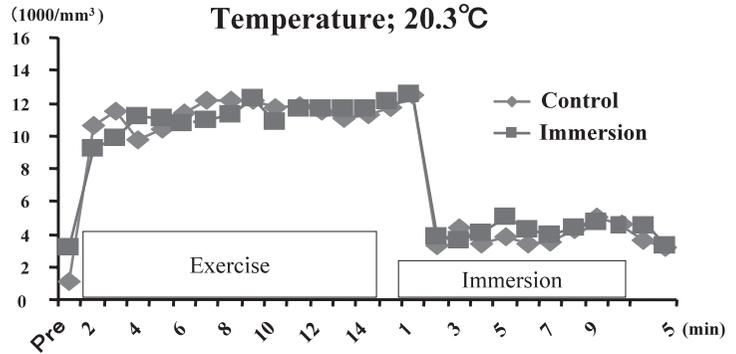


Fig.4 Changes in blood flow when 20°C.

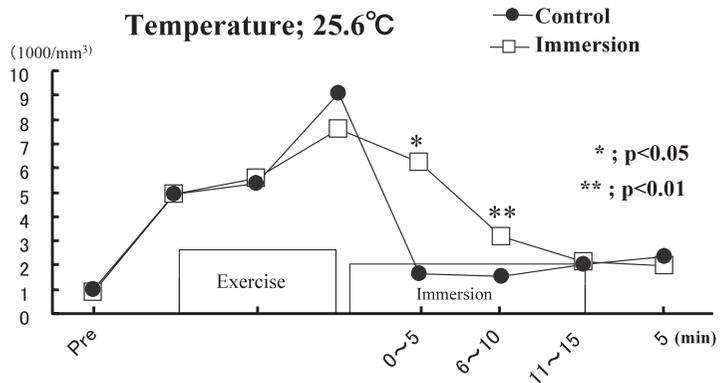


Fig.5 Changes in blood flow when 25°C.

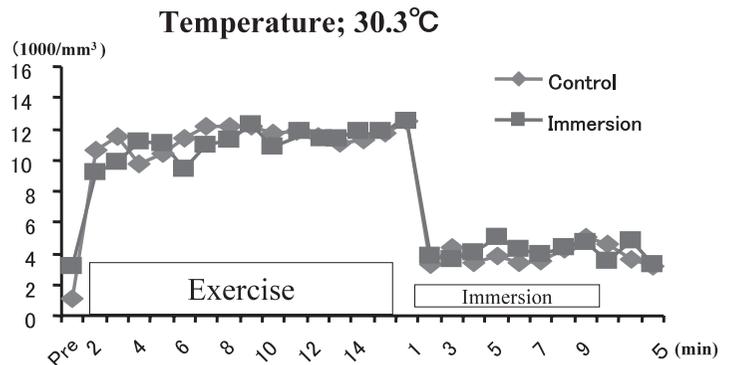


Fig.6 Changes in blood flow when 30°C.

(1) 水温20°Cの場合

Fig.10には、運動15分間のHbO<sub>2</sub>の平均値を100とした時の値の変化を示した。運動前の安静時の浸水群は103.3%、コントロール群は96.3%あった。足浴10分間の浸水群の平均値は118.5%、コントロール群は128.0%であった。足浴後時5分の浸水群は118.7%、コントロール群は120.2%であった。尚、足浴10分間における両群間には統計上有意味な差が認められた(p<0.01)。

(2) 水温25°Cの場合

安静時の浸水群は13.9 ± 1.7 (1000/mm<sup>3</sup>、以下単位を略す)、コントロール群は14.8 ± 0.8であった。運動負荷50W時の浸水群は13.3 ± 0.4、コントロール群は14.4 ± 0.2であった。運動負荷100W時の浸水群は13.9 ± 0.3、コントロール群は14.9 ± 0.2であった。運動負荷150W時の浸水群は14.2 ± 0.3、コントロール群は14.4 ± 0.2であった。足浴0~5分時の浸水群は17.3 ± 0.4、コントロール群は16.3 ± 0.3であった。足浴6~10分時の浸水群は17.4 ± 0.1、コントロール群は15.8 ± 0.8であった。足浴11~15分時の浸水群は17.5 ± 0.2、コントロール群は16.4 ± 0.3であった。足浴後の浸水群は17.6 ± 0.2、コントロール群は16.7 ± 0.1であった。足浴0~5分時、足浴6~10分時、足浴11~15分時、足浴後時の浸水群とコントロー

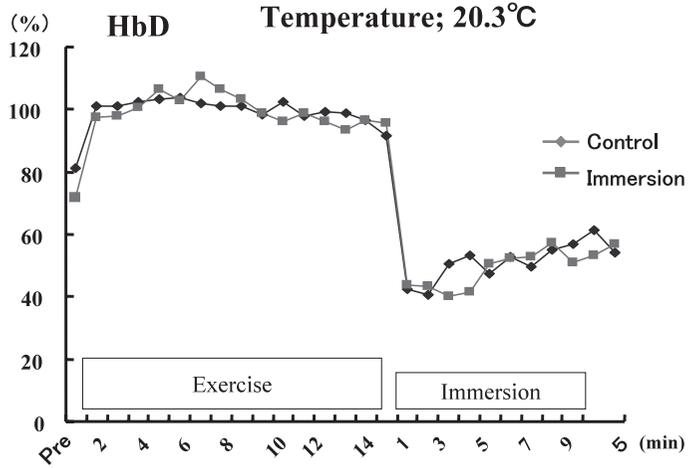


Fig.7 Changes in HbD when 20°C.

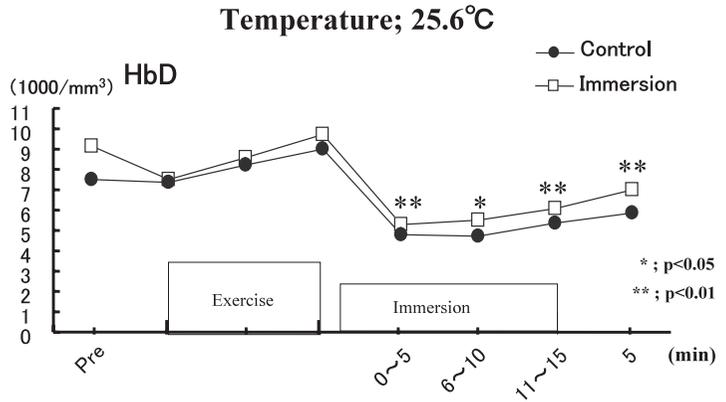


Fig.8 Changes in HbD when 25°C.

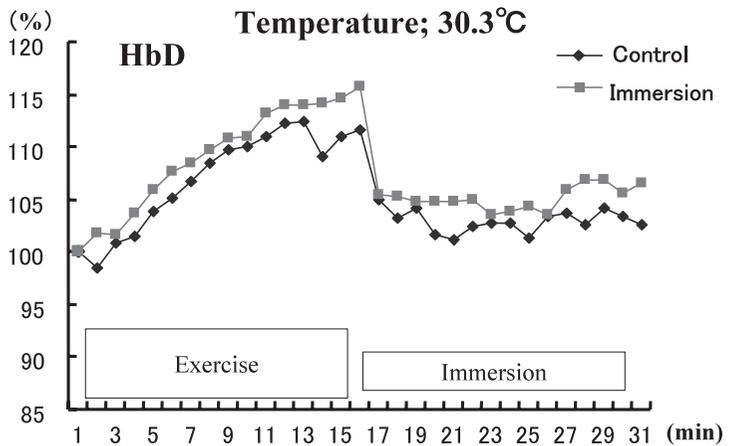


Fig.9 Changes in HbD when 30°C.

ル群の間には統計上有意な差が認められた ( $p < 0.05$ ) ( $p < 0.01$ ) (Fig.11)。

### (3) 水温 30°C の場合

安静時の浸水群は  $13.8 \pm 1.1$ 、コントロール群は  $11.9 \pm 0.9$  であった。運動中の浸水群は  $13.4 \pm 0.8$ 、コントロール群は  $12.4 \pm 1.1$  であった。足浴時の浸水群は  $15.7 \pm 0.6$ 、コントロール群は  $15.8 \pm 0.6$  であった。足浴後時 5 分の浸水群  $15.9 \pm 1.2$ 、コントロール群は  $14.9 \pm 3.0$  であった (Fig.12)。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった。

## IV. 考 察

スポーツ競技場面では、少ない休息時間で疲れをいかに取るかが重要な課題である<sup>1)</sup>。そこで、我々は、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、運動直後の部分的な足浴が疲労回復にどのような効果をもたらすかを検討した。本研究における 25°C の水温での足浴は、HbO<sub>2</sub>、HbD の運動終了後浸水時の高値、皮膚血流量の上昇などから、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ことが考えられた。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

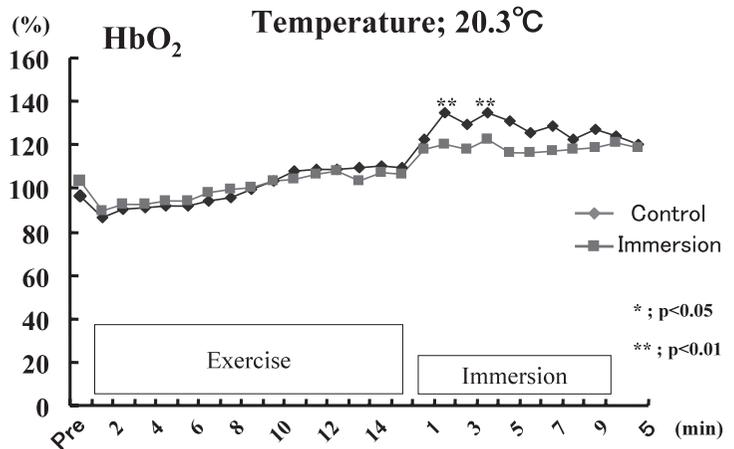


Fig.10 Changes in HbO<sub>2</sub> when 20°C.

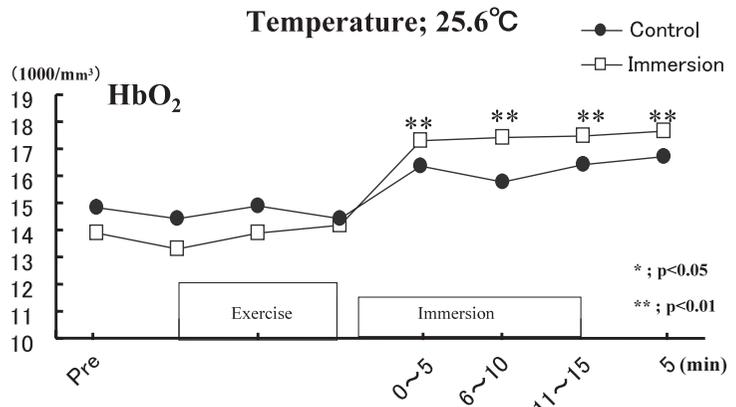


Fig.11 Changes in HbO<sub>2</sub> when 25°C.

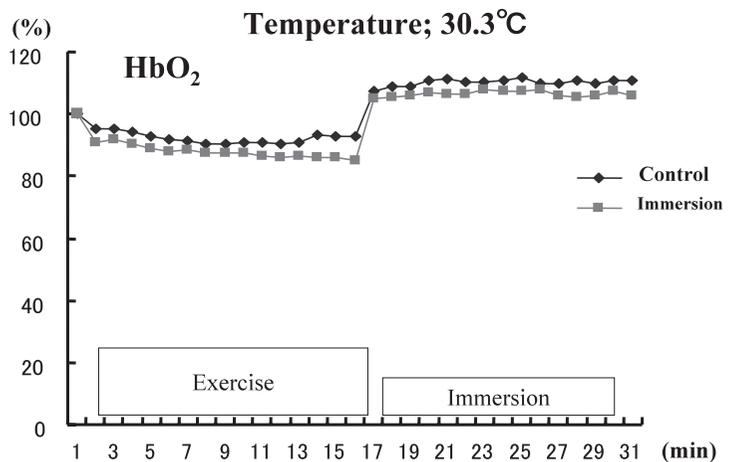


Fig.12 Changes in HbO<sub>2</sub> when 30°C.

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、アンギオテンシン2やアルドステロンの分泌を抑制することが知られて、更に、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<sup>3) 4) 6)</sup>。よって、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、陸上運動直後に水浴の影響を観察することは意義深いと思われる。しかし、適切な水温の設定も必要であり、特に交感神経系の影響から、水温による違いも検討しておかなければならない課題であると考えていた。そこで、本研究では、足浴において25℃の水温との違いを、20℃及び30℃との比較検討を行った。

各温度の違いにおける実験について、心拍数の変化は、コントロール群間に大きな差はなかった。これらのことから、コントロール実験においても同程度の運動負荷条件を実施することができたことが判明し、実験の妥当性が示唆された。次に、皮膚血流量及びHbDの変化は、20℃と30℃では、コントロール群との差はなかったが、25℃では高いままに維持されていることが分かった。25℃による足浴により、静脈が帰還流が増大し、重力の影響に伴う下方向の貯留を防いでいるのではないかと考えられた。そして、HbO<sub>2</sub>の変化は、20℃の足浴での実験結果から、20℃の足浴よりも足浴をしないコントロール群が運動後高値を示していたことから、20℃の足浴では酸素化ヘモグロビン量が少なく、冷刺激が大きすぎるのではないかと考えられた。一方、25℃では、運動終了時の足浴において、コントロール群と比較して有意に高値を示していたことから、静脈の還流量の増大に伴って、動脈の酸素化されたヘモグロビン量も多くなり、筋酸素動態の向上が何うことができた。30℃では、25℃のような変化はなかった。特に今後は、被験者の体温の上昇具合や環境温度の設定に

についても考慮し、その関係性を検討する必要があると思われた。

以上のことから、筋肉の酸素動態を示すHbO<sub>2</sub>は、水温25℃時では、上昇傾向にあるものの、20℃、30℃時では認められなかった。本研究において、下肢にかかる水温・水圧の影響は、25℃時が大きく反映され、20℃時では、冷水温の影響、30℃時では温水の影響があったのではないかと考えられた。

## V. ま と め

陸上運動（自転車エルゴメーターを使用し75% $\dot{V}O_2$ max (60回転/分)を連続的に15分間)後、水温20℃、25℃、30℃、水位30cmに足水浴を10分間実施した時の内側広筋部の血液酸素動態を比較した。

- 1) 皮膚血流量の変化については、25℃時では浸水群が有意に高値を示した。
- 2) HbDは運動終了後の25℃時で、浸水群が有意に高値を示した。
- 3) 筋肉の酸素動態を示すHbO<sub>2</sub>は運動終了後の25℃時で、浸水群が有意に高値を示した。

以上のことから、足浴を実施することによって下肢にかかった水温・水圧の影響は、20℃時・30℃より25℃時の筋酸素状態の回復傾向が観察され、運動の回復過程において25℃の方がより適しているのではないかと考えられた。

## 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、国土舘大学体育学部附属体育研究所の2010年度研究助成によって実施した。

## 参考文献

- 1) 井上修平、山本正嘉；暑熱環境下と快適環境下における運動間の休息時に行うアイシングの効果；長期間の間欠的運動を対象として、トレーニング科学, **21**. 4. 357-368, (2009)
- 2) 長谷川博、高津理美、安松幹展；休息間の脚部冷却が暑熱環境下における間欠的運動能力及び生体負担度に及ぼす影響、デサントスポーツ科学、**30**, 181-186, (2009)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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、国士舘大学体育研究所報抜刷, **24**, 23-30, (2005)
- 6) 須藤明治、角田直也、渡辺剛；運動後に行った足浴時の筋血液酸素動態の変化、国士舘大学体育研究所報抜刷, **27**, 37-43, (2009)
- 7) 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)
- 8) 芳田哲也、中井誠一、新矢博美、高橋浩二；運動時の温熱ストレスを軽減するための冷却部位に関する基礎的研究、デサントスポーツ科学, **25**, 82-87, (2004)