

運動後の疲労回復の方法としての入浴が
身体に及ぼす生理学的な影響

中 野 匡 隆

愛知東邦大学

運動後の疲労回復の方法としての入浴が 身体に及ぼす生理学的な影響

中野 匡隆

目次

1. 緒言
 - 1.1 入浴における3つの生理学的作用
 - 1.2 運動性筋疲労
 - 1.3 高体温による中枢性疲労
 - 1.4 様々な疲労回復の方法
2. 目的
3. 方法
 - 3.1 被験者
 - 3.2 実験方法
 - 3.3 統計処理
4. 結果
 - 4.1 血漿乳酸濃度
 - 4.2 心拍数
 - 4.3 核心温
 - 4.4 感覚
5. 考察
6. 結論
7. 参考文献

1. 緒言

1.1 入浴における3つの生理学的作用

日本では古くより、疲労回復の方法として入浴が好まれている。入浴には身体に加わる物理的因子として主に(1)静水圧(2)浮力(3)温熱の3因子がある。

(1) 静水圧

静水圧とは、水中で水深が1m増すごとに76mmHg(ミリ水銀柱、0.1気圧)の水圧が身体の表面に加わることである。例えば、立位で首まで浸かるとふくらはぎの周囲では1~1.5cm、腹囲では3~5cm、胸囲では2~3cmくらい細くなる。静水圧は心臓や横隔膜にも影響する。水圧は全身に加わるため、その圧力で血管、特に皮膚表面の静脈が圧迫されて多くの血液が心臓に戻る。

そのため普段は400～450mLの心臓内の血液量が600～750mLに増え、心臓への負担は大きくなる。この際、中心循環血液量増加により心房にかかる圧が増加し、心房に存在する圧受容体を介してレニン-アルドステロン系の抑制、ANP・心房性ナトリウム利尿ペプチドの分泌増加、ADH・抗利尿ホルモン分泌抑制により尿量増化する。また、横隔膜が押し上げられ肺の容量が1L程度少なくなり、これを補うため呼吸数が増加する。

(2) 浮力

水中では人間の身体は浮力を受けて軽くなる。水面から頭だけ出している状態で、体重はおおよそ9～10分の1になり、水位が胸の高さでは3分の1程度になる。そのため、特に下肢の関節への負担は減少する。また、筋や関節の緊張も軽減されリラックスすることができる。

(3) 温熱

入浴を水温によって分類すると、冷水浴（25℃未満）、低温浴（25～34℃）、不感温度浴（35～36℃）、微温浴（37～39℃）、温浴（40～41℃）、高温浴（42℃以上）に分類される。不感温度とは、その温度では熱くも冷たくも感じず、温熱作用による血圧や心拍数などの生理機能の変化がほとんど認められない温度のことであり、人種や入浴習慣によって異なるが概ね日本人の場合35～36℃とされる。水温が38℃以上になると心拍出量が増加する。末梢循環系では、毛細血管、小動脈、静脈が拡張し血流量や血流速度が増加し、末梢血管抵抗が減少する。また、副交感神経を刺激し心身を落ち着かせ、リラックスすることができる。一方、42℃以上の高温浴は交感神経を刺激し、精神的にも肉体的にも活動的状態を作り出す。そのため、42℃の湯に10分間浸かると、交感神経の興奮により血管が収縮し、血圧は入浴直後から上昇し始めて20～40mmHgくらい増加する。

1.2 運動性筋疲労

筋収縮の直接のエネルギーはATP分解反応（ $ATP \rightarrow ADP + P_i$ ）によって得られ、消費されたATPは無酸素的ならびに有酸素的エネルギー代謝によって補給される。筋運動の継続にはこのエネルギー代謝によるエネルギー供給が重要である。有酸素的エネルギー代謝によるエネルギー供給は酸素を消費して筋細胞内でグルコースと脂肪酸を酸化し、多量のATPを産生する。グルコースと脂肪酸は血液から供給され、それぞれ肝臓におけるグリコーゲン分解とグルコース新生、および脂肪組織での脂肪分解によって供給される。長時間の持続的な運動はこの有酸素的エネルギー供給によって可能となる。無酸素的エネルギー代謝によるエネルギー供給にはクレアチンリン酸系と解糖系がある。クレアチンリン酸系は運動開始時の短時間10～15秒、最大の力を発揮する際に働き、クレアチンキナーゼ反応（ $クレアチンリン酸 + ADP \rightarrow クレアチン + ATP$ ）によってエネルギーが補給される。解糖系では筋グリコーゲンが分解され、1分子のグルコースから2分子の乳酸ができ、ATPを2分子供給できる。乳酸は筋細胞内から血液に放出される。この系によるATP産生は多量のATPが早急に必要なときに働き、30～40秒間ATPを供給できる。しかし、血液への乳酸放出の速度に限界があるために、筋細胞内に乳酸が増えて細胞内が酸性になる。乳酸の

一部は、すみやかに乳酸イオンと水素イオンに解離するため（乳酸 \rightarrow La $^{-}$ +H $^{+}$ ）、乳酸の蓄積はH $^{+}$ の蓄積であり、pHの低下を引き起こす。筋細胞内のpHの低下は、ホスホフルクトキナーゼ活性やホスホリラーゼ活性のような解糖系の酵素活性を低下させる。そのため、筋細胞内のpHの低下は筋興奮-収縮連関に必要なATPの再合成を阻害する。また、筋細胞内のpHの低下は筋小胞体からのカルシウムイオン放出、トロポニン結合を抑制し、筋収縮力を低下させる。それゆえに、運動による疲労の指標として血中乳酸濃度が多く用いられる。乳酸が多量に蓄積するような運動後に、急に運動を中止し、全くの安静の状態であると、乳酸値が安静レベルに戻るまでにはかなりの時間を必要とし、血中乳酸濃度が安静値よりも高い状態で次の運動を行うと、パフォーマンスの低下に繋がる可能性もある。

1.3 高体温による中枢性疲労

運動をするためには必ず筋を使い、筋を動かすために発生したエネルギーの約80%は熱に変換される。この熱をいかに体外に放散するかが運動継続には重要となる。しかし、高温下で運動を実施すると体外への熱放散効率が低下し、体温が過度に上昇することで、運動のパフォーマンスが低下する。特にマラソンなどの持久性運動のパフォーマンスを決定する因子の一つは体温だといわれている。

体温上昇に伴う運動パフォーマンス低下の原因として、心臓血管系ドリフト（運動継続に伴う心臓血管系パラメータのシフト）と体温自体の影響が考えられる。運動強度が強い自転車運動を実施すると一回拍出量は運動継続とともに段階的に低下したが、最大酸素摂取量の40%の運動ではそれは認められなかったという報告がある。また、心臓血管系ドリフトは常温下より高温下で大きくなることも認められている。

また、高体温により最大随意筋収縮力が制限されるという報告もある。この高体温時に起こる運動遂行不可能状態では一回拍出量、心拍出量や筋血流量の低下および筋での乳酸やカリウム濃度の変化は起こっていない。また、電気刺激による最大筋収縮力の低下は抑えられていることから、高体温により中枢での疲労が起こったと考えられている。したがって、体温上昇自体が中枢性疲労“central fatigue”を引き起こし、運動パフォーマンスを低下させていると考えられている。

1.4 様々な疲労回復の方法

一日に複数の競技を行う場合は競技の間の疲労回復の方法が重要になり、アクティブリカバリーやマッサージなどが広く用いられている。また、運動後の疲労回復の方法としての入浴の有効性も報告されている。近年スポーツ現場では、トレーニング後に筋疲労の回復促進を目的とし、とくに冷水浴が利用されることが多い。しかし、これには入浴の静水圧作用あるいは入浴の温熱作用（冷水）によるアイシング効果という異なる二種類の効果があり、多くの場合、アイシングの効果を期待するものと考えられる。加えて、過度な投球などに代表される毛細血管の損傷を伴うオーバーユースによる二次被害の予防として行われるアイシングには冷水浴では不十分のよう

にも思われる。しかし、高体温による中枢性疲労の軽減としては、より効率的に体温を平常時まで戻すことがパフォーマンスの維持だけでなく熱中症予防の観点からも重要となるため冷水浴が勧められる。一方で、日本では一般に入浴は42°C程度の比較的高温浴が好まれている。

2. 目的

本研究では、スポーツ選手の運動後の疲労回復を目的とした入浴において入浴温度を調節し、静水圧作用と温熱作用の相互作用について検討することを目的として実験を行った。

運動後に30°C、35°C、38°Cの入浴あるいはControlとして無入浴のどれかを15分間行い、血中乳酸濃度の変化および核心温の変化を比較した。温熱作用が負荷されない35°C入浴と無入浴の比較によって、入浴の静水圧作用の身体への影響を明らかにする。そして、35°C入浴と30°C、38°C入浴との比較により、38°Cで温熱効果、30°Cで冷却効果の身体への影響を明らかにする。

3. 方法

3.1 被験者

入浴を運動直後の疲労回復に利用していない健康な成人男子11名が実験に参加した。被験者の身体的特徴は年齢 22 ± 3 歳、身長 167.7 ± 5.0 cm、体重 $62.1\text{kg} \pm 6.5$ 、最大酸素摂取量 $47.8 \pm 5.6\text{ml/kg/min}$ であった。実験に先立ち、被験者には文書と口頭によって本実験の目的、方法、最大限予想し得る危険性の説明を行い、被験者の同意を得た上で実験を行った。尚、本研究は中京大学大学院体育学研究科「ヒトを対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て行った。

3.2 実験方法

すべての実験は室温28°C、相対湿度40%に設定した人工気候室内で行った。実験に先立って、最大酸素摂取量を自転車エルゴメーター（コンビ社製）にて2分間に20Wずつ疲労困憊になるまで負荷を漸増するプロトコルにて測定した。そして、その結果から実験に使用する運動強度を決定し、後日に実験を行なった。実験は、まず5分間の安静にてベースラインを測定後、80% $\dot{V}O_{2\max}$ 相当の自転車エルゴメーター運動を15分間行わせ、終了後ただちに各温度に設定した浴槽に乳頭位まで浸漬させ、15分間の半坐位全身浴を行わせた。出浴後はバスタオルにてすばやく身体をふき、リクライニングチェア上で15分間の安静をとらせた。入浴は30°C、35°C、38°Cの湯と水なしのControl（同姿勢）で、それぞれ日を変えて無作為の順序で行った。実験中、水温調節は行なわなかったため、入浴前の実際の水温は、それぞれ 29.61 ± 0.80 と 35.00 ± 0.34 と 38.08 ± 0.30 であり、入浴終了時の水温は、それぞれ 29.71 ± 0.75 と 34.75 ± 0.30 と 37.56 ± 0.30 となった。実験中、鼓膜温、食道温、直腸温はサーミスタにて連続記録した。鼓膜温測定は、接触型鼓膜温センサー（センサテクニカ）を耳介に固定し、そのプローブを外耳道より先端が鼓膜に接触する

まで挿入して行った。食道温測定は、食道温用センサー（センサテクニカ）に粘滑・表面麻酔剤としてキシロカインゼリー（アストラゼネカ株式会社）を塗布し、鼻腔より45cmのところまで挿入して行った。直腸温測定は、直腸温用センサー（センサテクニカ）にYSIサーミスタ温度プローブ用ゴムカバー（日機装ワイエスアイ株式会社）を装着し、ワセリンを塗布し、肛門より12cmほど挿入し行った。

乳酸濃度の測定は、あらかじめ医師が前腕表在静脈に留置針を挿入し、そこから安静時（運動前）、運動終了直後、5、10、15、30分後に採血し、遠心分離（3000回転、20分間）により血漿を得て、乳酸測定装置（YSI2300PULS、YSI社製）にて行った。

実験中は、血圧を運動負荷用血圧監視装置（STBP-780、Colin社製）にて5分毎に測定し、胸部双極誘導により得られた心電図をベットサイドモニタによって監視し、心拍数を5分毎に記録した。

また実験中は、温度感覚（7段階）、疲労感覚（7段階）、快適感覚（4段階）を5分毎に回答させた。

3.3 統計処理

データは平均値±標準偏差で表した。統計処理はSPSS for Windows Ver.17を用いて反復のある二元配置分散分析（入浴条件×時間）を行い、実験条件間の差の検定を行った。なお、有意水準は危険率5%以下とした。

4. 結果

4.1 血漿乳酸濃度

血漿乳酸濃度の変化はFig.1に示した。4群間に有意差（ $p < 0.05$ ）は認められなかった。運動前の血漿乳酸濃度は $2.09 \pm 0.52 \text{ mmol/L}$ であった。4群とも運動により上昇し、運動終了直後に最高値 $10.11 \pm 1.11 \text{ mmol/L}$ となった。その後の回復は4群とも同様であった。

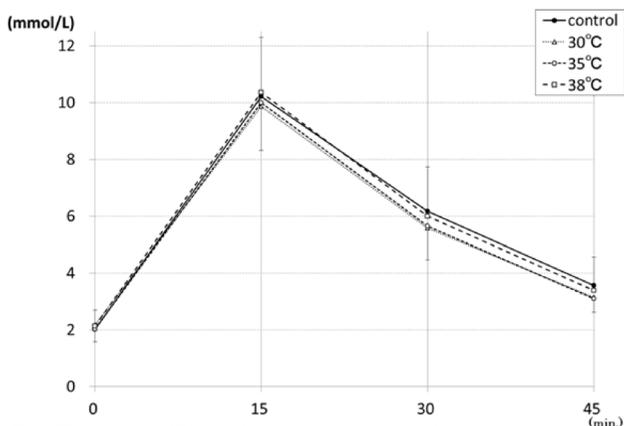


Fig.1. Time course of Plasma lactate concentrations of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means ± SD.

4.2 心拍数と血圧

心拍数の経時変化をFig.2に示した。4群間に有意差 ($p < 0.05$) は認められなかった。心拍数 (運動前 66.88 ± 7.13 bpm) は運動により急増し、5分目にはほぼ定常状態となり10-15分で最高値 (163.03 ± 15.34 bpm) を示した。運動終了5分目までにすみやかに減少し、その後、ゆるやかに減少していった。

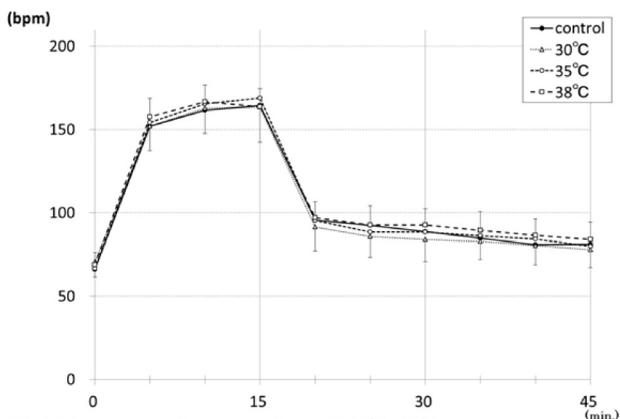


Fig.2. Time course of heart rate of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

血圧は以下の式より求めた平均血圧を用いて差の検定を行った。

$$\text{平均血圧} = (\text{収縮期血圧} - \text{拡張期血圧}) / 3 + \text{拡張期血圧}$$

平均血圧の経時変化をFig.3に示した。4群間に有意な差は認められなかった。運動前安静時血圧 (88.9 ± 11.0 mmHg) は運動を開始すると急激に上昇した (119.1 ± 15.3 mmHg)。運動終了後はすみやかに低下し、安静時血圧に復した (81.8 ± 13.8 mmHg)。また、15~30分で低値を示しているように見えるが腕を浴槽の上に乗せていたために、安静時より腕の位置が高くなり、低値を示したと考えられる。

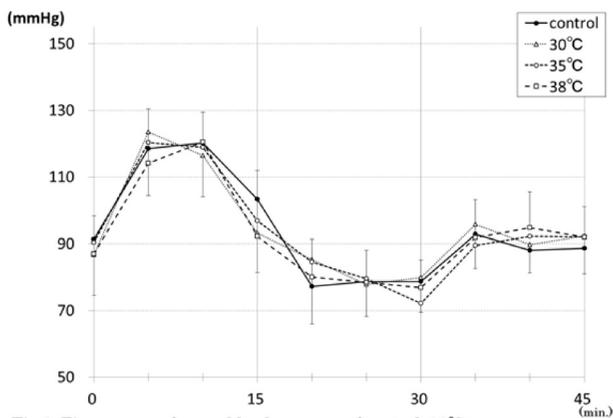


Fig.3. Time course of mean blood pressure of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

4.3 核心温

食道温の5分毎の変化をFig.4に示した。4群間に有意差 ($p < 0.05$) は認められなかった。食道温は運動前 ($36.85 \pm 0.25^\circ\text{C}$) から運動を開始すると初期下降の後に上昇に転じ、運動終了後に最高値 ($38.09 \pm 0.27^\circ\text{C}$) を示した。回復期において食道温はなだらかに低下した。

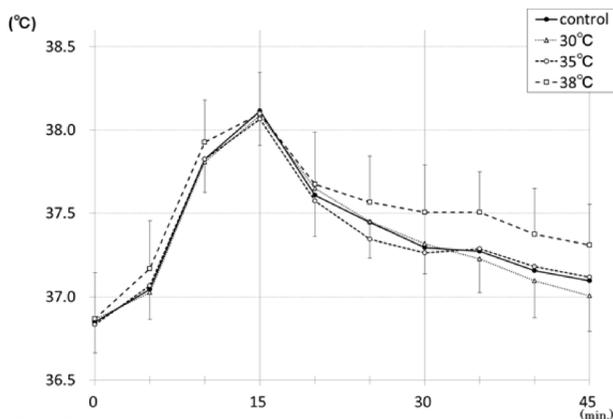


Fig.4. Time course of esophageal temperature of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

鼓膜温の5分毎の変化をFig.5に示した。4群間に有意差 ($p < 0.05$) は認められなかった。鼓膜温は運動前 ($36.84 \pm 0.26^\circ\text{C}$) から運動終了後に最高値 ($37.80 \pm 0.33^\circ\text{C}$) を示した。その後は、回復期終了まで低下し続けた。

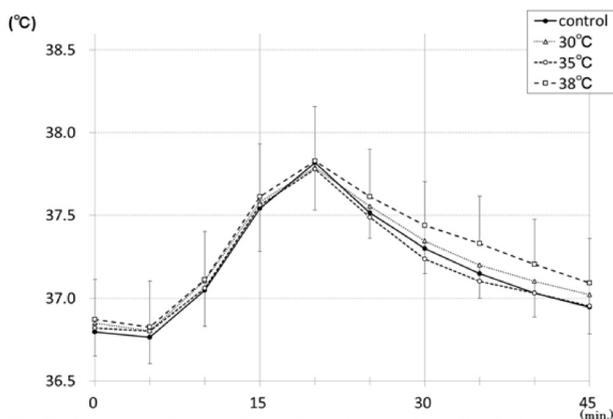


Fig.5. Time course of tympanic membrane temperature of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

直腸温の5分毎の変化をFig.6に示した。4群間に有意差 ($p < 0.05$) は認められなかった。直腸温は運動前 ($36.77 \pm 0.26^{\circ}\text{C}$) から運動終了後に最高値 ($37.74 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$) を示した。その後は、入浴中は4群ともに低下した。

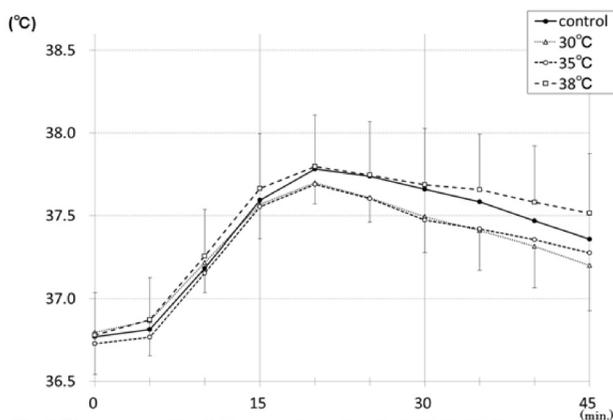


Fig.6. Time course of rectal temperature of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

4.4 感覚

疲労感覚、温熱感覚、快適感覚の5分毎の変化をそれぞれFig.7、Fig.8、Fig.9に示した。疲労感覚、快適感覚では4群間に有意な差を認めなかった。疲労感覚、快適感覚は運動終了時に最も『疲労している』、最も『不快』となり、その後は回復していった。快適感覚については、有意差は認められなかったが、control条件に比べると入浴条件で快適になる傾向があった。温熱感覚は、4群間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。運動中、4群ともほぼ同様に『暑い』方にシフトした。入浴中は『涼しい』方へシフトしたがControl群と35°C群に比べ、38°C群では『暖かい』、30°C群では『涼しい』の回答を得た。

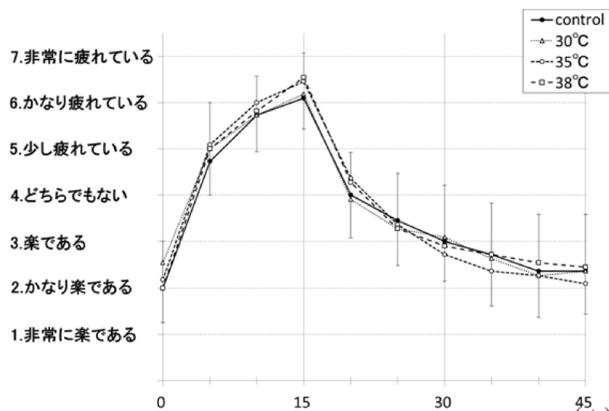


Fig.7. Time course of fatigue sensation of control, 38°C, 35°C and 30°C immersion. Values are means \pm SD.

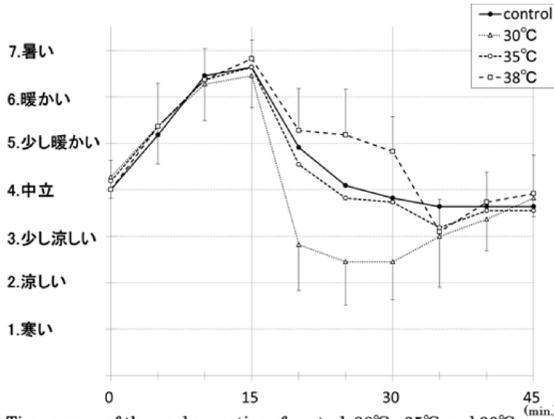


Fig.8. Time course of thermal sensation of control, 38°C , 35°C and 30°C immersion. Values are means±SD.

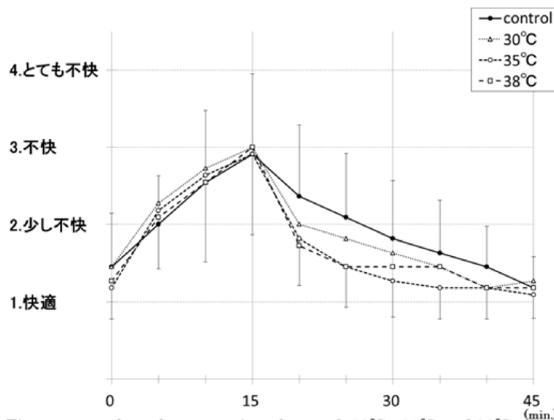


Fig.9. Time course of comfort sensation of control, 38°C , 35°C and 30°C immersion. Values are means±SD.

5. 考察

本研究では激運動後に行う疲労回復方法としての入浴の効果を検討する目的で、入浴後の血中乳酸濃度の変化を入浴なし (Control)、30°C、35°C、38°Cの水温で比較した。その結果、群間に有意な差は認められなかった。このことは血中乳酸濃度の低下 (回復) 促進効果は入浴にはないと考えられる。しかしながら、本研究では、血漿乳酸濃度がそれほど高値になるような運動ではなかったことも考えられる。

一般に入浴すると減少がみられる心拍数と血圧は、本実験では観察されなかった。これは、運動による影響が大きいために入浴に影響されなかったと考えられる。

また、Gonzalez-Alonsoら (1999) は、持久的運動では、核心温の上昇が運動継続を困難にする中枢性疲労の要因であることを報告している。運動後の疲労回復のひとつとして運動により上昇した核心温の低下 (回復) も注目すべきであると思われる。本研究では、入浴により全般に核

心温は低下する傾向であったが、38℃群では食道温の低下が遅れた。直腸温も38℃群は30℃群に比べ高い傾向にあった。核心温を低下させる目的では温浴は避けたほうが良いと考えられる。しかしながら、最も低温である30℃では核心温の低下が大きいと予想していたが、Control、30℃、35℃の3群間において差は認められず、核心温を低下させるためには低温浴（30℃）は必ずしも効率が良いとはいえない。現在では、核心温低下のためには温度は出きる限り低い方が良いとの研究報告があるため、更に低い温度の利用方法が今後の検討課題である。

本研究では、身体への負荷が少なく、副交感神経が優位となり精神的にリラックスできるといわれる不感温浴、微温浴、低温浴を用いた。温熱感覚の結果は水温の高低に一致した。また浮力による体重減少や浮遊感によって快適感が得られると考えたが有意差は認められなかった。快適感がControl群（無入浴）よりも他の各群（入浴）で快適である傾向にあったことや、入浴温度による差がほとんど無いことから、快適感には温度よりも入浴の浮力による体重の減少の影響であると推察される。しかし、今回、用いた30～38℃の範囲外の高温浴、冷水浴では、異なる結果になる可能性があり、今後の研究課題である。

6. 結論

本研究の目的は、激運動後に行う疲労回復方法としての入浴の効果を検討することであり、30℃、35℃、38℃入浴と入浴なしを比較した。その結果、入浴による血中乳酸濃度の低下（回復）促進は認められなかった。しかし、有意差は認められなかったが、30℃入浴において、核心温の効率良く低下する傾向にあった。

7. 参考文献

1. Brooks GA, Brauner KE, Cassens RG. Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am J Physiol.* 1973; 224(5): 1162-6. Chin ER,
2. Lindinger MI, Heigenhauser GJ. Lactate metabolism in inactive skeletal muscle during lactacidosis. *Am J Physiol.* 1991; 261(1 Pt 2): R98-105.
3. Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport.* 2004; 7(1): 1-10.
4. Fitts RH, Holloszy JO. Lactate and contractile force in frog muscle during development of fatigue and recovery. *Am J Physiol.* 1976; 231(2): 430-3.
5. Fuchs F, Reddy Y, Briggs FN. The interaction of cations with the calcium-binding site of troponin. *Biochim Biophys Acta.* 1970.17; 221(2): 407-9.
6. Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol.* 1999; 86(3): 1032-9.
7. Hogan MC, Welch HG. Effect of varied lactate levels on bicycle ergometer performance. *J Appl Physiol.* 1984; 57(2): 507-13.

8. Nakamaru Y, Schwartz A. The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J Gen Physiol.* 1972; 59(1): 22-32.
9. Nakamura K, Takahashi H, Shimai S, Tanaka M. Effects of immersion in tepid bath water on recovery from fatigue after submaximal exercise in man. *Ergonomics.* 1996; 39(2): 257-66.
10. Rowell LB, Kraning KK 2nd, Evans TO, Kennedy JW, Blackmon JR, Kusumi F. Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. *J Appl Physiol.* 1966; 21(6): 1773-83.
11. Stanley WC, Gertz EW, Wisneski JA, Neese RA, Morris DL, Brooks GA. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *J Appl Physiol.* 1986; 60(4): 1116-20.
12. Stanley WC. Myocardial lactate metabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23(8): 920-4.
13. Trivedi B, Danforth WH. Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase. *J Biol Chem.* 1966.10; 241(17): 4110-2.

受理日 平成25年 3 月29日