

運動後の疲労回復に及ぼす入浴効果に関する研究

宮川 美帆 高橋 弘彦 中川 功哉

キーワード：入浴効果、中等強度運動、強運動、運動後の疲労回復、生理指標

Effects of bathing on the recovery from fatigue after exercise

Miho Miyakawa Hirohiko Takahashi Koya Nakagawa

Abstract

Taking hot bath brings us many kinds of effects and it has a very important sanitary role in our daily lives. After having played sports, many players take shower or, sometimes or often, hot bath. However, in spite of a lot of reports regarding those effects of hot bath, there is scarcity in scientific researches. In this study was intended to examine the effects of bathing after exercise in terms of physiological responses (respiratory metabolism, heart rate, blood lactate, rectal(core) temperature and skin temperature) and subjective perceptions. Subjects were 5 healthy male college students who consented with afforded information. Two types of experiment were planned: (1) intermediate running (70%VO₂max) on a treadmill for 30 minutes and (2) intensive all-out running on a treadmill. After each running the subjects rested 10 minutes on a chair, then sit in a bathtub for 10 minutes with 25° C water, 38° C water, and in an empty bathtub as a control. And rest period was set for 20 minutes in the first experiment and 15 minutes in the second one. Results were followings:

1. For the intermediate running, in the 25° C water, lactate removal was the greatest, oxygen pulse was higher than in the 38° C in the first half of the resting period, and the core temperature showed the highest value ($38.16 \pm 0.28^{\circ}$ C) and gradually reduced, and temperature perception was the lowest, however, no difference was found in the resting period; in the 38° C water, oxygen uptake was higher than the 25° C water in the last half of the resting period, heat rate tended to be higher while bathing and recovering, and respiratory volume also tended to be higher in the recovery period. In the control, lactate removal was tended to be the lowest.
2. For the intensive all-out running, in the 25° C water, lactate removal showed the lowest value, oxygen uptake, heart rate and respiratory volume showed higher values while bathing, and the core temperature showed higher value than one ($37.4 \pm 0.27^{\circ}$ C) at the end of exercise; in the 38° C water, lactate removal showed the highest value, skin temperature increased rapidly while bathing and decreased in the recovery, and core temperature showed gradual decrease and keeping higher value than the control in the recovery period.
3. From these results, it might be suggested that the lower water temperature had the possibility of efficient recovery from the fatigue caused by intermediate exercises and that the rather higher (lukewarm) water had the possibility of efficient recovery from intensive all-out exercise.

Key words : effect of bathing, intermediate exercise, intensive exercise, recovery from fatigue after exercise, physiological variable

I. 目的

入浴は清潔な身体の維持、新陳代謝の亢進、保温、精神的、身体的疲労からの回復、また疾病の予防、治療などの目的により、古くから我々の生活の中で欠かせないものとなっている。入浴が我々の健康維持、増進にもたらす効果については、温泉医療、リハビリテーションなどの医学的分野から、また様々な水温に対する人体反応や、作業能率、運動実践に与える影響を検討する生理学的分野からなど、実に多種多様な観点から論じられている。

入浴が身体に与える生理的効果としては温熱作用、静水圧作用などが挙げられる。温熱作用としては高温浴や冷水浴（25℃以下）で交感神経興奮が起り、微温浴や温浴（37℃から40℃）では副交感神経系が優位となり鎮静的に働く（入来ほか、1992）。静水圧作用としては呼吸運動や心臓の働きが活発となることが挙げられる（植田、1991, p.49）。

運動と入浴との関係については、運動後に身体の洗浄や疲労の軽減、回復をはかる目的として入浴やシャワー浴（温水、冷水の両方を含む）が行われている。異なる水温中での生理的反応から人体への温熱効果や、水中運動の安全性などを検討した研究も数多く見られる（木住野・松田 1997a, 1997b, 1999）。

古くからの生活の知恵で様々な水温による身体反応から入浴が疲労回復に及ぼす効果のあることは周知であるにもかかわらず、運動後の疲労回復を入浴から検討した研究は少ない。

そこで本研究では、運動後の入浴による生理的反応（呼吸代謝、心拍数、血圧、血中乳酸、直腸温、皮膚温）および主観的感覚（主観的運動強度、温冷感）から、その効果を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者はインフォームドコンセントにより実験に同意の得られた 22-25 歳の健康な男子学生それぞれ 5 名とし身体的特徴を表 1・2 に示した。

表 1 入浴実験における中等度運動時の被験者の身体的特性
【中等度運動】

Subjects	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	VO ₂ max (ml/kg/min)	%fat (%)
1	23	165.4	72.06	65.01	15.53
2	25	174.3	62.37	54.37	11.35
3	25	175.3	82.75	47.04	15.53
4	25	180.3	72.42	62.16	9.75
5	22	172.9	58.94	60.27	11.35
Mean	24.0	173.6	69.71	57.77	12.70
S. D.	1.4	5.4	9.39	7.15	2.66

表 2 入浴実験における高強度運動時の被験者の身体的特性
【高強度運動】

Subjects	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	VO ₂ max (ml/kg/min)	%fat (%)
1	25	174.3	62.37	54.37	11.35
2	25	175.3	82.75	47.04	15.53
3	25	180.3	72.11	62.16	9.75
4	22	172.9	59.94	60.27	11.35
5	23	169.8	58.56	70.08	10.66
Mean	24.0	174.5	67.15	58.78	11.73
S. D.	1.4	3.8	10.21	8.64	2.22

2. 実験計画

中等度運動では、それぞれの被験者は、エアコンにより 25℃前後に制御された前室にて自由着衣のまま 1 時間の椅座安静後、体重測定、測定用機材を装着し、人工気候室に入室した。実験の着衣は同一の T シャツ、靴下と被験者それぞれの水泳用パンツ、ランニングシューズを用いた。入浴時は水泳パンツのみを着用した。入浴後は全身の水分を拭き取り、入浴後用として別途に用意した T シャツを着用した。実験プロトコルは図 1 に示した。入室から 5 分間の安静後にトレッドミルによる 30 分間の中等度運動（相対負荷 VO₂max 70% 強度、傾斜角度 3%）を行い、その後 10 分間の休息期をはさんで 10 分間の入浴期、20 分間の回復期とした。安静、休息、回復期はいずれも椅座安静とした。入浴時は血圧測定のため右腕は水中から出し、浴槽のへりに乗せた状態を保った。浴槽の水面は胸部の皮膚温センサーが水中に浸かる高さに合わせた。

高強度運動では、実験前準備、着衣方法、実験方法（実験プロトコルを除く）は中等度運動と同様とした。実験プロトコルは図 2 に示した。入室から 5 分間の安静後に高強度運動として漸増負荷法によるトレッドミルオールアウト走（限界走）を行った。その後 10 分間の休息をはさんで 10 分間の入浴、回復は 15 分間とした。安静、休息、回復期はいずれも椅座安静とした。

どちらの条件とも水温は 25℃, 38℃と浴槽に水をはらないコントロール群の 3 条件とした。

環境条件はアッペ科学株式会社製人間環境計測制御装置 AFC-60LOS 形の人工気候室を用いて、気温 20℃, 相対湿度 60% に設定した。運動は竹井機器工業株式会社製 NEWROAD21S-AE25SA を用いて行い、風速に関しては運動負荷装置トレッドミルと連動させ、走速度を同等に制御した。入浴は TOTO 社製 PYS1100 (1100×750×610mm) の浴槽を人工気候室内にセットして行った。

測定項目は、換気量、酸素摂取量をミナト医科学社製エアロモニタ AE-280S により、心拍数を日本電気三栄社製バイオビュー-E により、直腸温、皮膚温をテクノ・セブン社製 HIGH ACCURATE DATA LOGGER K730 により 1 分毎に算出した。皮膚温は胸部 (T₁)、上腕部 (T₂)、大腿部 (T₃)、下腿部 (T₄) の 4 部位を測定し、平均皮膚温算出法 $0.3 \times (T_1 + T_2) + 0.2 \times (T_3 + T_4)$ により求めた (Ramanathan, 1964)。平均体温は $(0.65 \times \text{直腸温}) + (0.35 \times \text{平均皮膚温})$ により求めた (田中, 1981)。血圧測定はテルモ株式会社製電子血圧計 ES-P101 (測定範囲 20-280mmHg) を用いた。血中乳酸測定は指先から 2 μl の血液を採取し、EKF 社製乳酸測定装置 BIOSEN5040L を用いて、固定化酵素法により分析した。体重は、島津製作所製 IPS-150K 島津工業用台はかりを用いて実験前後に裸体で測定した。主観的反応として、主観的運動強度 (Borg, 1973; 小野寺・宮下, 1976)、温冷感 (Hardy, 1970) は、測定開始から 5 分毎に自己申告させた。全体傾向については平均値、標準偏差を求めた。実験 3 条件間の平均の差の有意性に関する統計的検定は、Student の t-test 法により行い、有意水準は 5% 未満とした。

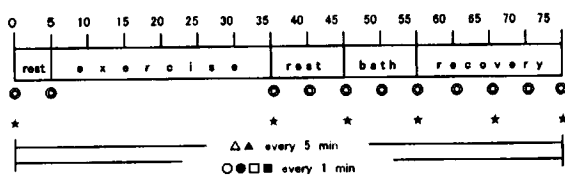


図1 中等度運動プロトコール

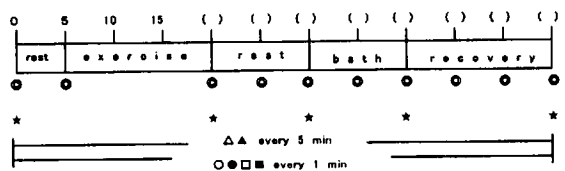


図2 高強度運動プロトコール

生理的反応 (呼吸ガス○・心拍数●・血圧◎・血中乳酸★・直腸温□・皮膚温■) 主観的感覚 (主観的運動強度△・温冷感▲)

III. 結果

1. 中等度運動後の入浴

酸素摂取量では安静、入浴、回復期前半の 10 分では 38℃が他の 2 条件と比べて高い傾向にあり、回復期後半の 10 分では 38℃が 25℃と比較し有意な高値を示し ($P < 0.05$)、酸素脈は回復期前半の 10 分で 25℃が 38℃より有意な高値を示した ($P < 0.05$)。

乳酸除去率では回復期終了時で 25℃がコントロール群よりも有意に高い除去率を示した ($P < 0.05$)。その他の採血ポイントにおいては差は認められなかったが、25℃が他の 2 条件と比べて高い傾向を示した (図 3)。

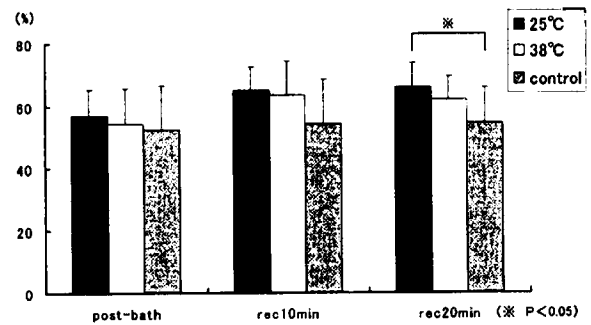


図3 中等度運動後の入浴、回復期における乳酸除去率

平均皮膚温は入浴中にそれぞれの水温の影響を受け上昇または下降を示した。入浴期においては 38℃が最も高く、次いでコントロール群、25℃となり、それぞれ 3 条件間で有意な差が見られた ($P < 0.01$)。回復期 5 分目においては 25℃は 38℃、コントロール群と比較して有意な低値を示し ($P < 0.01$)、38℃とコントロール群の間では差は見られなかった。回復期 10 分目においては 25℃は 38℃、コントロール群より有意な低値を示し ($P < 0.01$)、38℃はコントロール群と比較して有意な低値となった ($P < 0.05$)。回復期 15 分目、20 分目においては 25℃は 38℃ ($P < 0.05$)、コントロール群 ($P < 0.01$) より有意な低値となり、38℃はコントロール群と比較して有意な低値を示した ($P < 0.05$)。

直腸温の変化を運動終了直後の直腸温を基準とし、その後の推移を図 4 に示した。38℃が回復期 12 分 ($P < 0.01$)、16 分 ($P < 0.05$) でコントロール群よりも有意な高値を示したが、その他では差は認められなかった。回復期中盤から終了にかけて 38℃が他の 2 条件と比べて低下の度合いが少ない傾向が見られた。

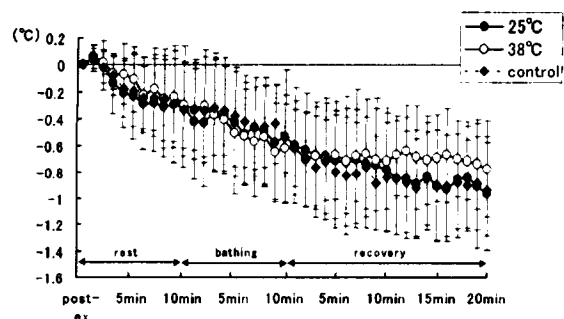


図4 中等度運動後の入浴、回復期における直腸温の推移

2. 高強度運動後の入浴

酸素摂取量では入浴、回復期の両方において、25°Cがコントロール群よりも有意に高い値となった ($P < 0.05$, 0.01)。38°Cにおいても、回復期でコントロール群よりも有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。しかし、25°Cと38°Cの間には差は認められなかった (図5)。

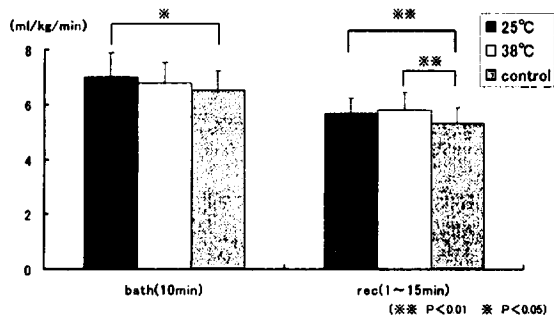


図5 高強度運動後の入浴、回復期における酸素摂取量

心拍数では入浴、回復期において25°Cがコントロール群と比較して、有意に高い値となった ($P < 0.01$, $P < 0.05$)。その他においては、差は認められなかった。乳酸除去率においては入浴後、回復後のどちらにおいても、38°Cが25°Cよりも有意に高い除去率を示した ($P < 0.05$)。その他においては差は見られなかった (図6)。

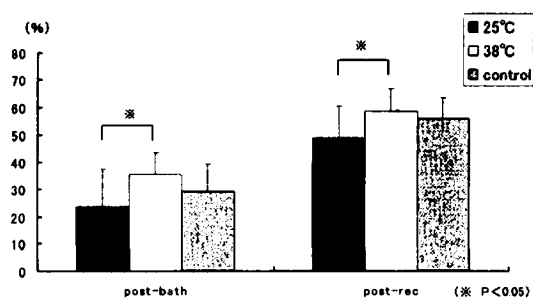


図6 高強度運動における血中乳酸除去率

平均皮膚温は入浴後は25°Cでは一時わずかな下降、上

昇の傾向を示し一定状態を保った。38°Cは回復期後半まで下降を続け4分以降コントロール群と逆行し、その後一定状態を保った。コントロール群においては、入浴直後わずかに下降しその後は上昇を続けた。回復期5分目では25°Cは38°C、コントロール群より有意に低く ($P < 0.01$)、38°Cとコントロール群では差は見られなかった。回復期10分目、15分目では3条件間それぞれにおいて有意な差が見られた ($P < 0.01$) (図7)。

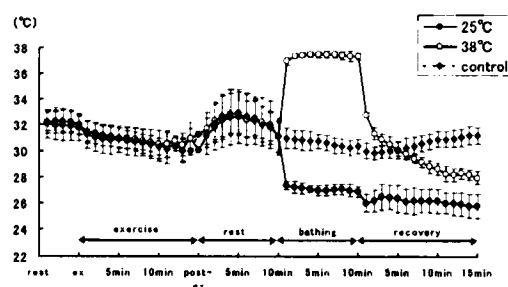


図7 高強度運動における平均皮膚温

直腸温については入浴期1分から7分まで25°Cと38°Cの間で有意な差が見られたが ($P < 0.05$, $P < 0.01$)、その後回復期においてはそれぞれで差は見られなかった。入浴期1分から7分では25°Cは38°Cよりも有意な高値を示した ($P < 0.05$, $P < 0.01$)。回復期6分以降25°Cと38°Cは逆行し、38°Cの方が高くなった。コントロール群はほぼ毎分、他の2条件よりも低い値を示し、回復期後半では38°Cと比較して、有意な低値となった ($P < 0.05$)。

IV. 考察

1. 中等度運動後の入浴

中等度運動後の入浴においては、25°Cの乳酸除去率がコントロール群と比較して有意な高値を示し、3条件間では最も高い除去率であった。Flore et al. (1991) によれば最大下の運動中、適度な寒さにさらされることは、血流を増加させ肝臓における乳酸除去を促進させるとしている。このことから25°C入浴が適度な寒冷刺激として働き、一部肝臓で行われる乳酸除去を促進させたものと考えられた。

酸素脈においては25°Cが回復期の前半で38°Cよりも有意に高く、また回復期の後半においても他の2条件よりもわずかながら高い傾向が見られ、呼吸効率が良かったものと思われる。酸素摂取量は回復期の後半において38°Cよりも有意な低値を示したが、その他においては差は見られなかった。一般には42°C以上の高温浴や25°C以下の冷水浴は交感神経系の興奮をもたらすとされている (入来ほか, 1992)。心臓の働きの程度を最も端的に示すのは心拍出量であるが、その測定が困難であるため心臓の活動を間接的にとらえる指標として酸素脈が用

いられる(山地, 1981, p.22). 筋収縮のエネルギー供給過程における解糖系の最終産物とされる乳酸は筋肉では利用することができないため, 血液によって肝臓に運ばれた後, 酸化されることによりピルビン酸となりATPに再合成され筋収縮のエネルギー源となるかまたはグリコーゲンに再生され貯蔵される. 従って乳酸が除去されるためには多くの酸素が必要となる. このことから心拍出量が増加し, さらに25℃水温による皮膚表層血流の減少に伴い, 内部循環血液が増加した結果, 乳酸の除去を促進させたものと考えられる.

換気量の増加は寒冷刺激による「Shivering (身震い)」によるものである. Brown et al. (1993) は換気量が心拍の呼吸性変動に影響を及ぼすとしている. しかし心拍数, 血圧, 換気量においても3条件間で差が見られなかったことから, 水温に対するふるえは見られなかったものと考えられる.

体温において, 直腸温では運動終了時に $38.16 \pm 0.28^{\circ}\text{C}$ でピークを迎え, その後入浴前には $37.85 \pm 0.38^{\circ}\text{C}$ となり, 入浴期においても上昇を見せず回復期まで下降する. これは運動による産熱がスムーズに放熱された状態であると思われた.

Weiss et al. (1988) によると皮膚の寒冷刺激により交感神経系活動が亢進すれば体表の血管収縮により熱放出を減少させ, あるいはふるえ以外の熱産生を高めるように働く可能性が考えられるとしている. ふるえは骨格筋の収縮過程によるものであり, それによらない熱産生は組織における代謝亢進などによる「非ふるえ熱産生」である. 非ふるえ熱産生は寒冷刺激で発現するが, ふるえを発現させるよりも弱い寒冷刺激で起こり, さらに寒冷刺激が強くなると非ふるえ熱産生にふるえ熱産生が加重する(中山ほか, 1987). つまり中等度運動後の25℃入浴はふるえを引き起こすような強い寒冷刺激ではなく, 非ふるえ熱産生を引き起こすような刺激となり, 様々な組織における代謝亢進をもたらした結果, 一部肝臓で行われる乳酸除去が促進したものと考えられた.

大道ほか(1984)は比較的低温の25℃においても入浴中に酸素摂取量や心拍数が定常であるにもかかわらず, 徐々に楽になって行き, 出浴後においても入浴前よりは外気が暖かく感じられるという報告が多かったとしている. 今回の中等度運動後の25℃入浴における温冷感(図16)では, 入浴期で他の2条件と比べて有意な低値を示したが, 徐々に上昇し回復期においては他の入浴条件と有意な差は見られず, 回復期における寒さは感じていないようであった.

以上のことから中等度運動後の25℃入浴は, 過剰な生体負担をかけることなく有効に疲労回復ができる水温であることが考えられた.

38℃入浴において, 乳酸除去率では他の2条件と比較

して差は見られなかったものの, コントロール群よりも高い傾向にあった. Nakamura et al. (1996) の研究によると最大下運動後の入浴において, 水温 30℃, 38℃, コントロール群では30℃がコントロール群と比較して乳酸除去率が有意な高値を示すが, 30℃と38℃の間では差は見られず, これは静水圧作用だけでなく低温または低温と入浴の組み合わせによるものであるとしている. 今回の実験においても38℃と25℃の間には差は見られなかったのは同様のことが考えられる.

38℃は酸素摂取量において, 回復期後半で25℃より有意な高値を示した. 心拍数においては, 入浴期, 回復期を通して他の2条件よりも高い傾向が見られ, 換気量(図7)においても回復期で高い傾向が見られたが, 酸素脈においては回復期前半で25℃より有意な低値を示した. Holmer and Bergh (1974) は同一の酸素摂取量に対する心拍数は水温が高くなるにつれて高くなるとしている. それは水温が高くなることによって一回拍出量が減少し, それを補うために心拍数が多くなるからである(山地, 1981, p.223). また, 高温環境下では放熱のため皮膚血管の拡張にともない末梢血流が増大し, 内臓など血液貯留器官の血液減少が生じ, 心臓への還流量が減少する(芝山ほか, 1989, p.247) ため, 一回拍出量が減少し心拍数が多くなる. さらに高温時などで生体が放熱を必要とする場合には皮膚血管拡張や発汗, 呼吸を増し換気量の増大をはかる(田中ほか, 1981, p.32). このことから酸素摂取量, 心拍数, 換気量における変動が見られたものと考えられる.

清水ほか(1992), Craig and Dvorak (1968) は低水温下における遠泳中の核心温の低下は, 体表面を循環して冷やされた静脈血が中心部に循環したためであるとしている. 入浴直後の平均皮膚温は入浴中と比べると約10℃下降するが直腸温においてはほぼ横ばいであり, 回復期では他の2条件よりも高い傾向にあった. このことから38℃入浴によって皮膚表層で温められた血液が核心へ循環し体温保持の役割を果たしたと思われる.

以上のことから38℃入浴は比較的穏やかな疲労回復過程であると思われた.

コントロール群の乳酸除去率は, 25℃よりも有意に低く, 3条件間では最も低い傾向にあった. 心拍数, 換気量においても他の2条件と比較して低い傾向が見られた. 浸水すると静水圧(hydrostatic pressure)が加わり, 呼吸器と血行器は最もこの影響を受ける(八田, 1966). 静水圧作用が加わると血管, リンパ管は水圧によって圧縮され, 血液, リンパ液は入浴と同時に一斉に心臓に戻ってくるので右心はより多くの血液が供給される. したがって呼吸運動や心臓の働きが増大し, 活発となり, 肝臓や脾臓の機能も亢進する(植田, 1991, p.49-50). この静水圧作用が加わらなかったコントロール群では, 入浴

期、回復期においても他の2条件よりも速やかな乳酸除去が行われなかったものと考えられる。

また、体温を見ると平均皮膚温は回復期に入り徐々に上昇するが直腸温は下降した。これは主動筋で蓄積した乳酸が血液に流出したが、皮膚表層で温められた血液がスムーズに還流されず、乳酸除去の促進を妨げたものと考えられる。

田中ほか(1991)は最大下の運動後の30℃、38℃、入浴なしの3条件の入浴において、入浴なしの条件で疲労回復は最も遅いとしている。

以上のことからコントロール群においては他の入浴条件と比べて疲労回復が効率良く行われなかったものと思われた。

中等度運動では運動終了後に直腸温において安静時よりも1℃から1.5℃の上昇を示しピークを迎える。その後入浴前、入浴後、回復期終了後と徐々に下降をたどる。これは主動筋における産熱が放熱されたことによる体温の移動と考えられる。このような運動の後には低めの水温による入浴が、速やかな生体反応の回復をもたらす、さらに適度な寒冷刺激となり一部肝臓で行われる乳酸除去を促進するような、効率良い回復過程をたどる可能性が示唆された。

2. 高強度運動後の入浴

高強度運動後における25℃入浴は、乳酸除去率において38℃よりも有意な低値を示し、3条件の中で最も低い除去率であった。Bergh and Ekblom (1979)は冷却された筋からの乳酸の除去が遅れる可能性を指摘している。また、大柿ほか(1995)は寒冷下での長時間水泳は、酸素摂取量の亢進、体温の低下とそれともなうShiveringを引き起こし、これらの変化が血漿アドレナリン、ドーパミンおよび血中乳酸値の早期からの上昇をもたらすと報告している。さらに藤島ほか(1993)は水泳時の血中乳酸は23℃下では28℃、33℃下に比べて高値を示し、これは寒冷刺激によるふるえおよび末梢血流の減少によるものと考えられるとしている。

入浴期において酸素摂取量、心拍数でコントロール群より高い値を示し、換気量においても他の2条件よりも高値を示した。Nadel et al. (1974)によると、低体温症に対する最初の防衛反応は、有酸素性の筋収縮を行って熱産生を増加する「Shivering (身震い)」であるとしている。大道ほか(1984)によると、比較的低温での酸素摂取量の上昇は、被験者のRTS (主観的温度感覚)などから察するにふるえによる筋収縮がもたらすエネルギー消費の反映であろうと考えられると報告している。また、杉ほか(1961)によると30℃入浴において酸素需要量は最も低くそれより高温でも低温でも増加が見られ、長時間の低温入浴による血液温の低下が二次的に心臓

等の機能を低下させた結果としている。西村・宮側(1996)は、様々な水温での水中ウォーキングにおいて低温下(22℃)で最も高い酸素摂取量を示し、これは皮膚温の低下により体熱放散が増加するために、体熱産生を促進する機構、すなわちふるえによる筋収縮がエネルギー消費の増加を反映したものであるとしている。藤沢ほか(1995)によると、分時換気量は水浸前に比べ水温30℃および36℃でほとんど変化しなかったが、25℃では約2.8 l/min程度の増加が見られたとしている。これらのことから、低温での入浴によりふるえがおこり、それにもない酸素摂取量、換気量の増加や心拍数が上昇したのと考えられる。

平均皮膚温においても中等度運動と比べて入浴前では1℃から2℃高い状態にあり、運動による産熱がまだ蓄熱状態にあると思われた。このため、中等度運動で見られた25℃入浴における乳酸除去率の高さと相反する結果を示したと思われる。

直腸温において運動終了時では37.4±0.27℃であった。入浴前には37.81±0.15℃と上昇し、入浴終了時には入浴前と比較して低下しているものの運動終了時よりも高値を示している。さらに、中等度運動と高強度運動においては運動終了時の直腸温で約0.5℃から1℃中等度運動の方が高いという差が見られる。Craig and Dvorak (1968), Holmer and Bergh (1974), Pugh et al. (1955)によれば、体温よりも低い温度で水中浸漬を行った場合には、水の物理的特性によって熱産生=熱損失という図式は成り立たなくなり核心温が低下するとしている。またHarrison et al. (1983)は安静時の浸水中に皮膚温を一定に保つことができる水温域は28℃から35℃であるとしている。しかし、入浴期1分から7分において38℃と比較して有意な高値を示した。これは25℃入浴により皮膚血管の収縮に伴う放熱の抑制が起こり、一時的に核心部における血流が増加したためと考えられる。また、ふるえによる熱産生の影響である可能性も考えられる。

以上のことから、短時間高強度運動後の低温による入浴は有効な疲労回復効果をもたらさないものと考えられた。

38℃入浴においては乳酸除去率が25℃と比較して有意に高く、3条件間で最も高い除去率であった。青木・鈴木(1975)は「クーリング・ダウンの生理学」の中で、運動筋に発生した乳酸の血流の拡散は、運動筋への血流が多いほど促進されるとしている。このことから入浴時に他の2条件と比較して平均皮膚温が有意に高い38℃入浴は血液の循環がスムーズに行われ、疲労物質である乳酸を速やかに除去することができたと考えられる。

体温においては、平均皮膚温は入浴により急激に上昇するが、回復期に入り下降を続ける。直腸温においては緩やかな下降を示し回復期ではコントロール群と比較し

て有意な高値を示す。これは入浴により平均皮膚温が上昇し、皮膚表層で温められた血液の還流により回復期における直腸温の上昇が見られたと思われる。

以上のことから運動終了後の核心温が低い短時間高強度運動においては、ぬるめの38℃入浴が血流の活発化に伴う乳酸除去の促進と保温効果をもたらす、疲労回復において速やかに反応することが考えられた。

コントロール群では有意な差は見られなかったが、25℃よりも比較的高い乳酸除去率となったが、中等度運動と高強度運動のコントロール群における乳酸除去率を比較するとほぼ同じで約55%前後であり、高い除去率であったとは言いがたい。

高強度運動では運動終了後に直腸温において安静時よりも約0.5℃上昇するが、その後入浴前でもさらに上昇が見られる。また、平均皮膚温においても入浴前に中等度運動よりも1℃から1.5℃の高値を示す。このような主動筋における産熱がまだ蓄熱状態にある場合には、低水温による入浴は皮膚血管を収縮させ、放熱を妨げると考えられる。逆にぬるめの水温による入浴は血液循環を促し運動後の疲労を効率良く回復させる可能性があるとして示唆された。

中等度運動のように運動終了時に核心温のピークを迎え、その後の時間経過にともなって徐々に下降するような、主動筋における産熱＝放熱のバランスが成り立っている場合には、低水温の入浴が速やかな生理的反應の回復をもたらす、さらに適度な寒冷刺激となり一部肝臓で行われる乳酸除去を促進するような効率良い疲労回復過程をたどる可能性が示唆された。また高強度運動のように運動が終了してもなお核心温が上昇し、主動筋における産熱がまだ蓄熱状態にある時の入浴となる場合には、低温の入浴は皮膚血管を収縮させ放熱を妨げ、ふるえによる体温調節を行い生体負担をもたらす。一方、ぬるめの水温は血液循環を促し運動後の疲労回復を効率良く行うことが示唆された。

文 献

- 1) 青木純一郎・鈴木哲郎 (1975) クーリング・ダウンの生理学. 新体育 45 (5) : 26-29.
- 2) Bergh,U. and Ekblom.B.(1979) Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures.J.Appl.Physiol.46:885-889.
- 3) 朴 晟鎮・日高一郎・武藤芳照 (1996) 人体に及ぼす水温の影響. 体育の科学 46 (7) : 534-539.
- 4) Borg,G.(1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods.Med.Sci.Sports 5(2):90-93.
- 5) Brown, T.,Beightol, L.,Koh, J.and Eckberg,L.(1993)Important influence of respiration on human R-R interval power spectra largely ignored.J.Appl. Physiol.75:2310-2317.
- 6) Brozek,J.,Grande,F.,Anderson,J.and Keys,A. (1963) Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumption. Ann. N.Y. Acad.Sci. 110:113-140.
- 7) Craig,A.and Dvorak,M.(1968)Thermal regulation of man exercising during water immersion. J.Appl. Physiol.25(1):28-35.
- 8) Flore,P.,Therminarias,A.,Oddou-Chirpaz,M.and Quirion,A.(1991)Influence of moderate cold exposure on blood lactate during incremental exercise. Eur.J. Appl.Physio.64:213-217.
- 9) 藤沢宏幸・大塚吉則・藪中宗之・阿岸祐幸 (1995) 水浸時呼吸調節における水温の影響. 日温気物医誌 58 : 109-114.
- 10) 藤島和孝・大柿哲郎・堀田 昇・金谷庄蔵・清水富弘・正野知基 (1993) 長時間水泳時での水温条件が生理的諸反応に及ぼす影響. デサントスポーツ科学 14 : 201-208.
- 11) Hardy,J.(1970) Thermal comfort and health. 2nd Human Factor Symposium,ASHRAE:225.
- 12) Harrison, M., Edwards, R., Cochrane, L. and Graveney, M. (1983) Blood volume and protein responses to skin heating and cooling in resting subjects.J.Appl. Physiol.54:515-523.
- 13) 八田 秋 (1966) 温泉はどうして効くか. 新臨床医学文庫 : 東京, p 29.
- 14) Holmer,I.and U.Bergh (1974) Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. J.Appl.Physiol.37:702-705.
- 15) 入来正躬編 (1992) 生気象学事典. 朝倉書店 : 東京, p 4.
- 16) 甲斐美和子 (1988) 水中での体温変化. J.J.Sports Sci. 7 (8) : 505-509.
- 17) Keys,A.and J,Brozek.(1953) Body fat in adult man. Physiological Reviews 33:245-325.
- 18) 木住野孝子・松田光生 (1997a) 短時間の安静浸水が心臓自律神経系活動に及ぼす影響—水温 25℃, 30℃および34℃における自然呼吸下での検討—. 臨床スポーツ医学 14 (11) : 1317-1322.
- 19) 木住野孝子・松田光生 (1997b) 短時間の液化水準における浸水が心臓自律神経系活動に及ぼす影響—水温 25℃, 30℃, 34℃での検討—. 体力科学 46 : 101-112.
- 20) 木住野孝子・松田光生 (1999) 水温 27℃での安静浸水が自律神経系に及ぼす影響—運動習慣の有無および種類による比較—. 臨床スポーツ医学 16 (4) : 461-464.

- 21) Nadel, E., Holmer, I., Bergh, U., Åstrand, P. and Stolwijk, J. (1974) Energy exchanges of swimming man. *J. Appl. Physiol.* 36(4):465-471.
- 22) Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.* 36: 8-15.
- 23) Nakamura, K., Takahashi, H., Shimai, S. and Tanaka, M. (1996) Effects of immersion in tepid bath water on recovery from fatigue after submaximal exercise in man. *ERGONOMICS* 39(2):257-266.
- 24) 中山昭雄編 (1987) エネルギー代謝・体温調節の生理学. 新生理科学体系 22. 医学書院: 東京, p. 130.
- 25) 西村直記・宮側敏明 (1996) 異なる水温下での水中ウォーキング. *体育の科学* 46 (7): 540-545.
- 26) N.L. RAMANATHAN. (1964) A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.* 19:531-533.
- 27) 小野寺孝一・宮下充正 (1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性—Rating of perceived exertionの観点から—. *体育学研究* 21: 191-203.
- 28) 大柿哲郎・堀田 昇・金谷庄蔵・藤島和孝・清水富弘・正野知基 (1995) 3種類の水温水下での低強度長時間水泳に対するホルモンおよび代謝応答. *体育学研究* 40: 80-88.
- 29) 大道 等・大城戸道夫・岩崎輝雄 (1984) 入浴時の生理的反応—水温が体温, 心拍数, 酸素摂取量に与える影響—. *体育の科学* 34: 502-509.
- 30) Pugh, L., Edholm, O., Oxford, M. and Lond, B. (1995) The physiology of channel swimmers. *Lancet* 2:761-768
- 31) Ramanathan, N. (1964) A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.* 19:531-533.
- 32) 芝山秀太郎・大平充宣・江橋 博 (1989) 運動と内部環境および外部環境. 石河利寛ほか編 運動生理学. 建帛社: 東京
- 33) 清水富弘・藤島和孝・正野知基 (1992) 低水温下における遠泳中の体温調節反応. *体育の科学* 42 (7): 557-560.
- 34) 杉 靖三郎・小川新吉・阿久津邦男 (1961) 様々な浴温が生体反応に対する効果 (特に呼吸ガス代謝を中心として). *東京教育大学体育学部紀要* 1: 140-149.
- 35) 田中正敏 (1981) 温熱環境. 菊地安行ほか編 生理人類学入門. 南江堂: 東京
- 36) 田中正敏・中村和利・高橋弘彦・小山あずさ・島井哲志・佐々木晋 (1991) 入浴による人体影響. *人間—生活環境系国際会議 ICHES'91.* 111-114.
- 37) 植田理彦 (1991) 温泉はなぜ体によいか. 講談社: 東京
- 38) Weiss, M., Hack, F., Stehle, R., Pollert, R. and Weicker, H. (1988) Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. *Int. J. Sports Med.* 9:113-117 supplement
- 39) 山地啓司 (1981) 心拍数の科学. 大修館書店: 東京