

非浸漬筋の酸素消費及び血流量に与える半身浴の効果

森口 哲史*・高城 勇太**・永澤 健***・前田 雅人****

(2011年10月25日 受理)

Effect of Partial Warm Bathing on Oxygen Consumption in Non-bathing Muscle

MORIGUCHI Tetsushi · TAKI Yuta · NAGASAWA Takeshi · MAEDA Masato

要約

現在までに入浴による全身的代謝亢進については報告されているものの、非浸漬筋における筋酸素消費動態について確認された研究は見当たらない。本研究は、より安全な半身浴法を用いて、42℃、10分間の入浴を行い、非浸漬筋の筋酸素消費及び血流量変化について検討することを目的とした。被験者は健康な女性8名(平均年齢20歳)であり、半身浴は左右上前腸骨棘が浸かるまで下肢全体を入浴させた。測定項目は、舌下温、心拍数、平均血圧、そして非入浴肢である左前腕屈筋群の酸素消費及び血流量についてNIRSを用いた静脈遮断法により評価した。その結果、舌下温は $36.5 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ から $37.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ へ有意に増加し、心拍数も 68.6 ± 8.2 beats/min から 90.5 ± 8.2 beats/min まで約20拍以上増加した。平均血圧は入浴直後に一時増加したものの、その後は緩やかに減少した。静脈遮断時 deoxy Hb/Mb 増加量から得られる筋酸素消費率は入浴10分で安静時の121.7%へ有意に増加した。また、筋血流量変化の指標とした静脈遮断時 total Hb/Mb 増加量は、入浴10分で安静時の111.4%へ有意な増加を示した。これらのことから、42℃、10分間の半身浴は、全身的な血液循環を亢進させ、非浸漬筋の筋血流量増加と酸化的代謝を亢進させる効果をもつ可能性が示された。

Key Words : 半身浴、非浸漬筋、筋酸素消費、筋血流量、生理的变化

* 鹿児島大学教育学部保健体育専修(衛生学) 准教授

** 鹿児島大学大学院教育学研究科(衛生学) 大学院生

*** 広島工業大学情報学部健康情報学科 准教授

**** 鹿児島大学教育学部保健体育専修(生理学) 教授

I 研究目的

日本人の重要な生活習慣の一つである入浴において、近年、半身浴の効果が報告されている。全身浴で典型的に観察される体温上昇、自律神経活動変化、心拍数増加、皮膚血流増加、発汗亢進などの生理学的変化については、半身浴においても緩やかながら同様に観察されている^{1,2,3)}。その生理学的変化の程度は、湯温、浸漬深度、入浴時間に左右されるものと考えられるが、静水圧負荷が下半身に限定される半身浴では、全身浴に比べて血液還流量も少なく、循環系にかかる負担は小さいものと評価されている。さて、半身浴時の全身レベルでの酸素摂取量 (VO_2) について報告されている研究は極めて少ない。ヒトの体温を超えるような湯温での全身浴（頸部～胸部付近まで浸漬）では、深部体温、心拍数、心拍出量が有意に増加し、湯温が上昇するほど全身レベルでの酸化的代謝が亢進すると理解されている^{4,5,6,7)}。臍上から剣状突起下まで浸漬する39-40℃半身浴中には15-20%程度の VO_2 亢進が認められている⁸⁾。これらの知見は、非浸漬の筋組織においても、入浴中に酸素消費が亢進することを推測させるが、入浴中の筋酸素動態を調査した報告は現在までに見当たらない。

筋の酸素動態を評価する方法に近赤外分光法 (NIRS) がある⁹⁾。小型プローブを装着した被験肢（筋）の動脈血流および静脈還流を選択的に制限することで、筋酸素消費率及び筋血流量の変化を捉えようとするものであり、骨格筋の酸素化状態を非侵襲的に計測する有効な方法といえる。永澤ら^{10,11,12)}はこのNIRSを用いて、運動中の非活動筋酸素消費量が亢進することを明らかにしており、30% VO_{2max} 程度の低強度自転車運動であっても、前腕非活動筋酸素消費量が20%程度増加することを報告している。入浴条件により体温上昇、自律神経活動刺激、心拍数・心拍出量増加が引き起こされるならば、身体活動同様に入浴中・後の骨格筋において酸素消費が亢進しているものと推察される。

そこで本研究は、42℃、10分間の半身浴中における非浸漬筋の酸素消費、筋血流量変化の有無についてNIRSを用いて検討することを目的とした。

II 研究方法

1. 被験者

実験に参加した被験者は、健康な女性大学生8名であった。平均年齢は 20.0 ± 1.4 歳、身長 160.2 ± 4.2 cm、体重 54.4 ± 6.5 kgであり、週に3日以上以上の運動を継続的に行っているものであった。事前に研究目的、実験内容、手順、安全性および危険性などを十分に説明し、被験者の意思で途中辞退できることを確認させた後、実験参加の同意を得た。

2. 実験環境およびプロトコル

実験は、平均室温 25.7 ± 1.5 ℃、平均湿度 53.1 ± 16.3 %の実験室内において行った。被験者は入室後10分間程度の安静を保った後、着替えを済ませ、身体に各種測定センサーを装着して

42℃真湯半身浴を10分間行った。入浴中の服装は、下体はスパッツ、上体はTシャツのみとした。浸漬部位は被験者の左右上前腸骨棘が浸かるまでとし、下腹および下肢全体を入浴させた。入浴中は胸骨体中央部（心臓）の高さに調節したアームレストにより左上肢を外転位約80-90度に保ち、手掌は開いたまま上向きに安静にさせ、上肢全体に随意的筋活動が生じないように留意した。この左上肢から前腕屈筋群の酸素動態を計測した。予めNIRS装置のプロープを前腕屈筋群に固定し、左上腕部に血圧測定用マンシェットを装着した。なお、入浴中の足し湯は行わず、すべての実験において入浴中の湯温低下は1℃以内であった。

3. 測定項目

測定項目は、舌下温、平均血圧、心拍数、非浸漬肢である左前腕屈筋群の酸素動態及び血流量とした。舌下温は、安静時測定の前7分前（安定時間として）から入浴後まで舌小帯の脇にて水銀計を用いて実測した。平均血圧及び心拍数は、バイタルボックスTM2571（A&D社製）を用いて、安静時測定から入浴後まで1分毎に計測した。一方、入浴中の非浸漬筋酸素動態は、左前腕部よりNIRS装置であるexercise monitor（Hb11; astem社製）を用いて連続的に測定した。プロープの送受光間距離は3.0-4.0cmであったことから、先行研究より、推定測定深度は皮膚表面から1.5-2.0cm程度の深部組織であると推察された⁹⁾。酸素化ヘモグロビン/ミオグロビン変化量（ Δ oxy Hb/Mb）及び脱酸素化ヘモグロビン/ミオグロビン変化量（ Δ deoxy Hb/Mb）、そして Δ oxy Hb/Mb と Δ deoxy Hb/Mb の和より総ヘモグロビン/ミオグロビン変化量（ Δ total Hb/Mb）を算出し、プロープ直下の筋酸素消費率と筋血流量の評価を行った。この評価にあたっては静脈血遮断法を用いた¹³⁾。入浴直前（CON）、入浴5分時、入浴10分時に、予め上腕部に装着した血圧測定用カフに50-60mmHg程度の圧を瞬時に加え、測定部位を含む前腕全体の静脈血流を30秒間遮断した。静脈遮断時におけるdeoxy Hb/Mb増加量/secから筋酸素消費率、total Hb増加量/secから筋血流量を評価する際、安静時を100%とした入浴中の変化率を相対的に求めた。

4. 統計処理

測定により得られた数値はすべて平均±標準偏差（SD）で示した。入浴中の生理指標の変化については、対応のある一元配置分散分析を行い、経時的に有意な変化が認められた場合には多重比較（Bonferroni）を行った。いずれの検定においても5%水準を統計学的有意とした。

Ⅲ 結果と考察

42℃の真湯半身浴中の舌下温、心拍数、平均血圧の変化について図1から図3に示した。10分間の半身浴中の舌下温は直線的に増加し、平均で $36.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$ （CON）から $37.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$ へ約 0.8° の増加がみられた。心拍数も入浴直後から経時的に上昇し、 68.6 ± 8.2 beats/min（CON）から 90.5 ± 8.2 beats/minまで、10分間の入浴中に約20拍以上増加した（図2）。一方、平均血圧は、

入浴後1分に最も高い値 (CON に比べ + 10mmHg) を示した後、徐々に低下した。入浴後1分値に比べ、4分後、7分後は有意な減少であった。一元配置分散分析の結果、体温、心拍数は42℃ 10分間の半身浴により有意に増加することが示された (それぞれ $p < 0.01$)。

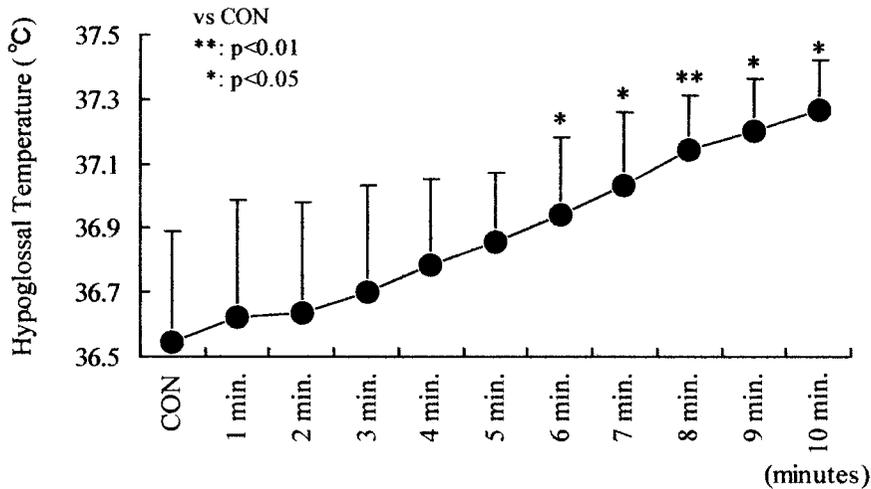


図1 半身浴中の舌下温度変化

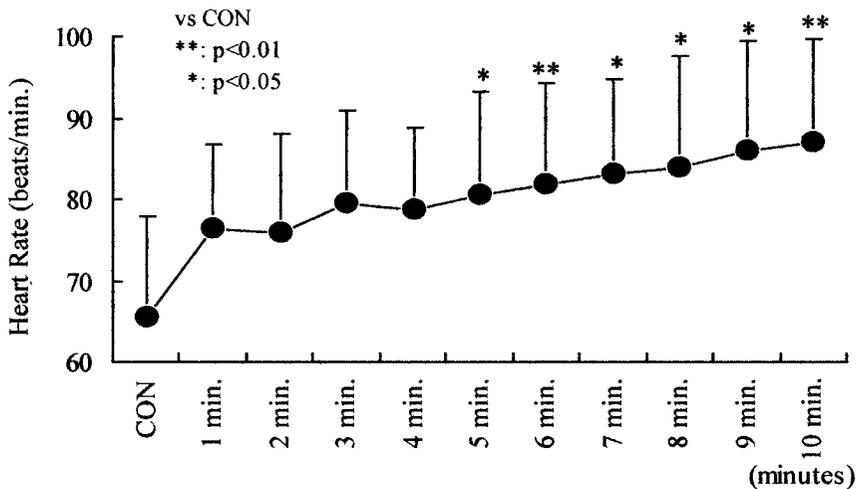


図2 半身浴中の心拍数変化

42℃、10分間の入浴中における体温、心拍数変化については、河原らが詳細に検討している²⁾。これによると、全身浴の場合、被験者の体温は10分経過時に約37.7℃、半身浴の場合には約37.3℃に至っている。また、山崎の報告³⁾では、湯温40℃の半身浴10分でも安静時から0.75℃程度の舌下温上昇を示していることから、本実験結果は妥当であり、湯温42℃の半身浴では

体温を 0.8℃ 程度 (37.5℃ 程度まで) 上昇させるものと考えてよいだろう。また、半身浴中の心拍数変化、血圧についても先行研究^{2,3)}と同様の変化を示しており、半身浴とはいえ比較的高温浴の場合、体温変化や自律神経機能への作用から頰脈を引き起こすものと考えられる。しかしながら、平均血圧変化 (図 3) で示したような入浴後からの血圧低下を考慮すると、温熱性血管拡張反応により循環系への負担は大きくないものと推察されよう。入浴による血圧低下は、圧受容器反射を介してさらに頰脈を惹起すると考えられている¹⁴⁾。温浴中にノルアドレナリン、アドレナリン上昇を示唆する報告^{7,15)}があるが、血管拡張反応と相殺して入浴中血圧値が維持されている可能性が伺われる。

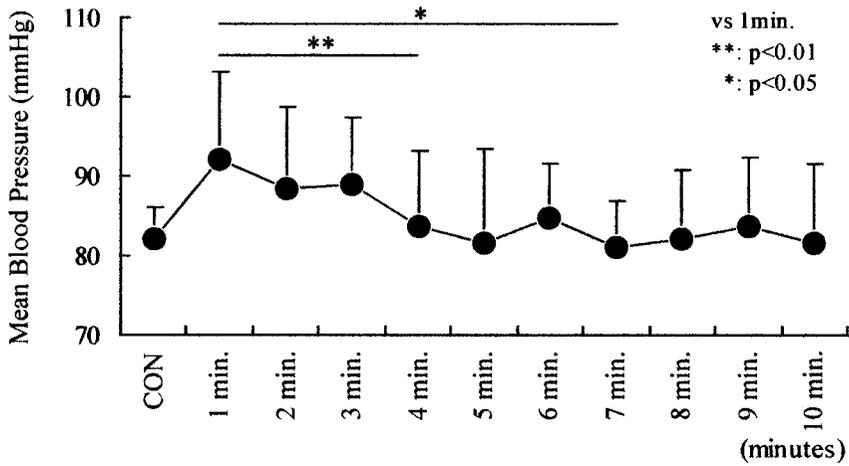


図 3 半身浴中の平均血圧変化

図 4、図 5 に、安静時 (CON) を 100% とした入浴中の酸素消費率および筋血流量の変化率を示した。筋酸素消費率は、統計学的に有意な増加を示し、多重比較では CON に比べて 10 分時

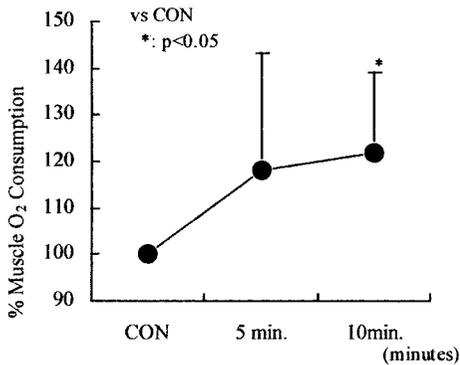


図 4 半身浴中の非入浴筋酸素消費

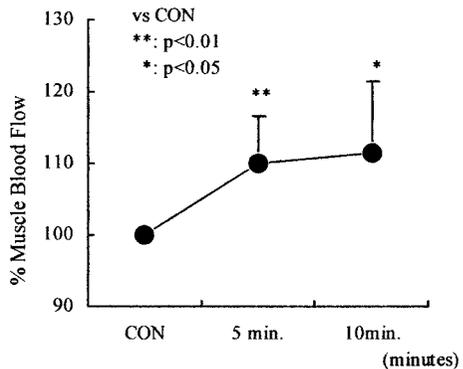


図 5 半身浴中の非入浴筋血流

に121.7%へ有意に増加した ($p<0.05$)。入浴5分時にも平均で118.2%への増加を示したが、これは統計学的有意な差異ではなかった。筋血流量をみると、CONに比べて5分時、10分時に有意な増加が認められた。5分時ではCONから109.9%へ、10分時には111.4%への増加であった(それぞれ $p<0.01$ 、 $p<0.05$)。筋酸素消費率、筋血流量共に5分時と10分時の間では有意な差異は認められなかった。

先行研究によると、10分程度の入浴中に呼気ガス分析を用いて評価した全身レベルの酸素摂取量は、安静時の1.2-1.3倍に増加することがわかっている^{7,8)}。本研究では非浸漬筋酸素消費率が安静時の1.2倍に増加していたが、これは妥当な変化量であろうか？運動時の非活動筋において酸素消費が亢進することを報告している永澤らは、30% VO_{2max} 強度の弱い自転車運動で検討しており、前腕の非活動筋酸素消費が安静時に比べて1.3倍に増大したことを示した^{10,11,12)}。この時、運動肢における活動筋の筋酸素消費は安静時の約20倍にも達しており、全身レベルでの酸素消費量は安静時の3倍に増加していた。こうした先行研究における全身レベルでの酸素消費と筋酸素消費の変化のバランスを考慮すると、本研究で得られた入浴時の非浸漬筋酸素消費率は適量と判断できよう。半身浴の場合、浸漬している下腹および下肢の大筋群はダイレクトに湯温の影響を受けて非浸漬筋よりも酸素消費は亢進しているものと推察されるため、浸漬筋における酸素消費率の変化を今後検討していく必要がある。入浴特有の生理的反応は、上述したとおり自律神経活動刺激、体温上昇、心拍出量増加であり、カテコラミン分泌が亢進することは先行研究で確認されている^{7,15)}。入浴時の筋酸素消費増加の機序としては、体温上昇、カテコラミンの増加等が考えられよう。特に体温上昇に関しては、60% VO_{2peak} 強度運動を行った場合でも10分時の体温上昇は0.5℃以下^{20,21)}であることを考えれば、入浴による深部体温上昇と筋酸素動態との関与は興味深い。また、運動時の非活動筋酸素消費が増加するメカニズムについては、体温上昇¹⁶⁾、内分泌変化¹⁷⁾、代謝物分解¹⁸⁾などの影響が推察されており、運動の場合には非活動筋での乳酸取込も一因となっている。しかし、入浴中の乳酸分解については、入浴そのものにより嫌氣的代謝が進むとは考えづらく¹⁹⁾、この系の関与は小さいものと思われる。本研究の予備調査においても42℃、10分間の入浴時に2mMを越す乳酸上昇は認められていない(未発表データ)。入浴時の筋酸素消費増加の機序解明については、内分泌変化や浸漬筋についてのデータも加味しながら今後のさらなる検討が必要である。

本研究において、筋血流量の増加は、入浴10分時に安静時の1.1倍であり、半身浴により非浸漬の筋血流量増加が引き起こされたことを示している。同部位の筋酸素消費率の増加は安静時の1.2倍であり、筋血流量の増加とほぼ一致している。このことは入浴による筋での酸素需要の上昇に応じて、酸素供給が増加したことを示している。入浴時の皮膚血流量変化(前腕部での報告)は、同じ42℃半身浴の条件で、5分後に安静時の約2倍、10分後で約3-4倍に達することが報告されている²⁾。したがって、本研究で観察された筋血流量の変化は、先行研究で示された皮膚血流量変化に比べて極めて小さいものであった。さらに本研究で我々が用いたNIRS装置は、

体表から 1.5-2.0cm の深層部の筋組織における変化を評価していると考えられ、被験者の前腕部における平均皮下脂肪厚が 0.35mm であったことから、筋組織血流量の評価が行えたものと判断できる。湯温による交感神経刺激と温熱性血管拡張反応のバランスにより筋血流動態が変化する可能性があるため、今後、幾つかの湯温条件や浸漬時間の組み合わせを検討していく必要がある。

本実験により、42℃、10 分間の半身浴は、体温上昇と全身的な血液循環の充進をもたらし、非浸漬筋血流量の増加と酸化的代謝を充進させる効果があることが示唆された。

IV 結論

本研究により、42℃、10 分間の半身浴時に、有意な体温上昇、心拍数増加が認められ、非浸漬筋である前腕部の筋酸素消費率ならびに筋血流量が充進することが示された。この結果から、より安全と考えられる 42℃、10 分間の半身浴は、全身的な血液循環を充進させ、非浸漬筋の筋血流量増加と酸化的代謝を充進させる効果をもつ可能性が示された。

参考文献

1. Hashiguchi N, Ni F, Tochihara Y. Effects of room temperature on physiological and subjective responses during whole-body bathing, half-body bathing and showering. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 21, 277-283, 2002
2. 河原ゆう子, 永田まゆみ, 新美由紀, 美和千尋, 岩瀬 敏 冬期入浴中の水位と湯温が生理・心理反応に及ぼす影響 *人間と生活環境*, 9, 79-86, 2002
3. 山崎律子, 本多泰揮, 原田潮, 鈴木裕二, 大塚吉則 半身浴による生理変化 *日本温泉気候物理医学会雑誌*, 70, 165-171, 2007
4. Allison TG, Reger WE. Comparison of responses of men to immersion in circulating water at 40.0 and 41.5 degrees C. *Aviat Space Environ Med.* 69, 845-850, 1998
5. Boone T, Westendorf T, Ayres P. Cardiovascular responses to a hot tub bath. *J Altern Complement Med.* 5, 301-304, 1999
6. Weston CF, O'Hare JP, Evans JM, Corrall RJ. Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clin Sci (Lond).* 73, 613-616, 1987
7. Tei C, Horikiri Y, Park JC, Jeong JW, Chang KS, Toyama Y, Tanaka N. Acute hemodynamic improvement by thermal vasodilation in congestive heart failure. *Circulation.* 91, 2582-2590, 1995
8. 山下陽一郎, 小田南州生, 小山勝弘, 安藤大輔, 横内樹里, 尾崎雅芳 半身浴が生体に及ぼす影響 *職業能力開発総合大学校紀要*, 人文・教育編 33, 49-53, 2004
9. Chance B, Dait MT, Zhang C, Hamaoka T, Hagerman F. Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *Am J Physiol.* 262, 766-775, 1992
10. Nagasawa T, Ichimura S, Moriguchi T. Effects of Walking for Health Promotion on Oxygen Consumption in Nonexercising Muscle. *International Journal of Sport and Health Science* 7, 6-11, 2009
11. 永澤健 有酸素性運動が運動後の非活動筋エネルギー消費量に及ぼす効果 *健康医学研究論文集*, 21, 74-82, 2006
12. 永澤健 運動後の非活動筋エネルギー消費量を充進させる効果的な有酸素性運動の条件の検索 *健康医学研究論文集*, 23, 98-105, 2008
13. Homma S, Eda H, Ogasawara S, Kagaya A. Near-infrared estimation of O₂ supply and consumption in forearm muscles working at varying intensity. *J Appl Physiol.* 80, 1279-1284, 1996
14. 田中信行, 川平和美, 竹迫賢一 循環器疾患と温泉療法 *総合リハビリテーション*, 17, 581-588, 1989

15. 阿岸祐幸 温度刺激によるホルモン動態 最新医学, 32, 1818-1821, 1977
16. Brooks GA, Hittelman KJ, Faulkner JA, Beyer RE. Temperature, skeletal muscle mitochondrial functions, and oxygen debt. *Am J Physiol.* 220, 1053-1059. 1971
17. Ahlborg G. Mechanism for glycogenolysis in nonexercising human muscle during and after exercise. *Am J Physiol.* 248, 540-545, 1985
18. Ahlborg G, Hagenfeldt L, Wahren J. Influence of lactate infusion on glucose and FFA metabolism in man. *Scand J Clin Lab Invest.* 36, 193-201, 1976
19. Tsuchiya Y, Shimizu T, Tazawa T, Shibuya N, Nakamura K, Yamamoto M. Changes in plasma lactate and pyruvate concentrations after taking a bath in hot deep seawater. *Tohoku J Exp Med.* 201, 201-211, 2003
20. Jay O, Bain AR, Deren TM, Sacheli M, Cramer MN. Large differences in peak oxygen uptake do not independently alter changes in core temperature and sweating during exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 301, 832-841, 2011
21. 松崎 愛, 蝶間林利男, 木村昌彦 若年女性における長時間一定負荷運動時の体温調節反応: 基礎体温の高低差及び性周期からの検討 体育学研究, 51, 611-621, 2006