

水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温 および酸素摂取量に及ぼす影響

Effects of different water temperatures on rectal temperature and oxygen uptake during supine floating

西村 一樹 (Kazuki NISHIMURA)

川崎医療福祉大学大学院健康体育学専攻

山口 英峰 (Hidetaka YAMAGUCHI)

吉備国際大学社会福祉学部

中西 洋平 (Youhei NAKANISHI)

川崎医療福祉大学大学院健康体育学専攻

小野寺 昇 (Sho ONODERA)

川崎医療福祉大学健康体育学科

[abstract]

The purpose of this study was to determine the effects of water temperature on rectal temperature and oxygen uptake during supine floating. Eight healthy males volunteered for this study. This study was performed in a supine position at rest on land and in three water conditions (25, 30 and 35 degrees Celsius). All experiments were performed for 35 minutes. Water conditions of immersion at 25 degrees Celsius resulted in a decrease in rectal temperature and an increase in oxygen uptake. The changes in rectal temperature differed among individuals. A significant correlation was observed between changes in rectal temperature and % body fat. However, the changes in rectal temperature were affected by other factors. These data suggest that the changes in rectal temperature during immersion at 25 degrees Celsius could be affected by other factors elaborated in this paper.

[要旨]

本研究の目的は、水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響について明らかにすることであった。被験者は、健康成人男性8名とした。本研究は、陸上および水中3条件（水温25、30、35℃）の仰臥位フローティングを行った。すべての実験は35分間行った。水温25℃条件において直腸温は低下し、酸素摂取量は増加した。直腸温の変化には、個人差が観察された。体脂肪率と直腸温の変化の間には、有意な正の相関関係が観察された。しかしながら、体脂肪率以外の要因が直腸温の変化に影響を及ぼす可能性が考えられた。これらのことから、浸水温25℃における直腸温の変化は、体脂肪率以外の要因の影響を受ける可能性が示唆された。

キーワード：直腸温、体脂肪率、水温、仰臥位フローティング

1. 緒言

水中において生体は水の持つ物理的特性の影響を受け、陸上とは異なる生理学的反応を示す¹²⁾。これまで、水中運動時の心拍数⁹⁾、酸素摂取量¹¹⁾、体温¹⁴⁾などが測

定され、水中における生理学的変化が明らかになりつつある。Pugh¹³⁾は、異なる水温における水泳中の直腸温変化を観察し、21.8℃から24.2℃間の水温において直腸温が著しく低下することを報告し、一定時間の冷却は、体温と水温の差に比例することを明らかにした。このこ

とは、水の熱伝導率が、空気の熱伝導率の約26倍であるため、水温が体温に比べて著しく低い場合、水温が短時間でヒトの体温変化に影響を及ぼすことを示唆している。さらに、浸水における体温変化には、体脂肪率が深く関与していると考えられている⁵⁾。体脂肪は断熱材的な役割を果たすことから、体脂肪率の高い者は低い者に比べて体温を容易に維持することができる¹⁴⁾。また、体温は熱産生と熱放散の収支であることから、水中運動時の活動量が少なければ熱損失量が熱産生量を上回り、体温が奪われる⁷⁾。その結果、生体は恒常性を維持するために、ふるえ (shivering) によって熱を産生し、酸素摂取量を増加させるものと考えられる。これらのことから、浸水における水温の影響について体脂肪率の高低で比較すると、体脂肪率の高い者では水温の影響は少なく、反対に体脂肪率が低い者では水温の影響が大きく、体温が著しく低下し、酸素摂取量は増加すると考えられる。また、西村と小野寺⁹⁾は、仰臥位フローティング中の生理学的変化について検討し、水の物理的特性が仰臥位フローティング中の心臓副交感神経活動を亢進させることを明らかとし、仰臥位フローティングは、リラクゼーション効果を高める手段とし有効であることを報告した。そこで、本研究では、様々な体脂肪率の被験者において、水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

被験者

被験者は、健康な成人男性8名とした。被験者の年齢は、 23.1 ± 2.8 歳 (平均 \pm 標準偏差)、身体的特性は、身長 170.9 ± 4.8 cm、体重 65.2 ± 8.1 kg、体脂肪率 $17.2 \pm 5.9\%$ であった。被験者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿って、研究の目的、方法、期待される効果、不利益がないこと、

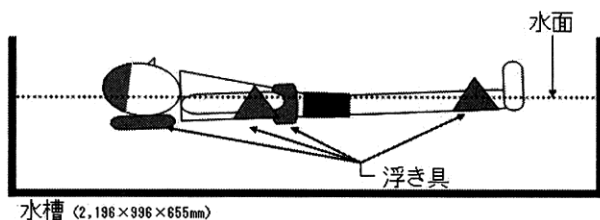


図1. 仰臥位フローティングの模式図

危険を排除した環境とすることについて説明を行い、書面にて研究参加の同意を得た。

測定条件

陸上 (対照条件) と仰臥位フローティング (実験条件) を設定した。仰臥位フローティング条件は3条件 (水温 25°C :WT-25, 水温 30°C :WT-30, 水温 35°C :WT-35) であった。陸上条件は、陸上での5分間の仰臥位とした。仰臥位フローティング条件は、水槽 (縦 $2,196 \times$ 横 $996 \times$ 高さ 655) に頸部と手足にアクアブロック、腰部にフローティングベルトを用いて浸水させ (図1)、35分間の仰臥位フローティングとした¹⁶⁾。着衣は水着とした。実験中の室温および湿度は、 $25.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ および $75.3 \pm 4.2\%$ であった。実験は、体温に日内変動があることから、午前中の同時刻帯に行った。被験者は、前日22時以降絶食とした。

測定項目

心拍数は、胸部双極誘導から得られた心電図 (FUKUDA電子; AU-1010) を記録し、1分間のR波の数とした。血圧は、陸上安静、浸水5分後から5分毎にアネロイド血圧計 (ケンツメディコ株式会社; 501) を用いて測定した。直腸温は、感熱部直腸温計 (日機装ワイエスアイ; YSI4000サーモメータ) を肛門から約10cm挿入し、経時的に測定し、実験開始から1分毎に記録した。また、直腸温は個人差が大きいため、陸上安静に対する変化量で示した。直腸温が 1°C 低下した場合、実験を中止するものとした。しかし、実際に中止した事例はなかった。酸素摂取量はダグラスバッグ法を用い、陸上安静、浸水後5分から10分までの5分間、20分から25分までの5分間、30分から35分までの5分間測定した。測定した呼気ガスの酸素および二酸化炭素濃度の分析は、呼気ガスの偏りを取り除いた後に質量分析器 (ウェストン: WASR-1400) を用いて測定した。ガス量およびガス温は、乾式ガスメーター (品川製作所:DC-5) で測定した。また、水中では浮力の影響を受け、体重が減少する¹⁰⁾。このことから、酸素摂取量の値は絶対値で表した⁹⁾。体脂肪率は、水中体重秤量法を用いて算出した³⁾。

統計処理

各測定値は、平均値 \pm 標準偏差 (mean \pm SD) で示した。直腸温および酸素摂取量の経時変化をone-way ANOVA with repeated measurementsで解析した。Post hoc testは、Students-Newman-Keuls法を用いた。体脂肪率と直腸温の関係および体脂肪率と酸素摂取量の

関係を単相関と単回帰分析で検定した。いずれの場合も危険率 (p) 5%未満を検定の有意水準とした。

3. 結果

図2に各水温における被験者毎の直腸温の経時的変化を示した。WT-25では、直腸温が直線的に低下する被験者と変化量が少ない被験者の2つのパターンが観察された。直腸温の低下が0.2℃の範囲の被験者が4名、0.5℃以上の被験者が3名確認された。陸上安静と比べて、直腸温の低下が0.2℃の範囲の被験者の平均体脂肪率は21.6%

であり、0.5℃以上の被験者の平均体脂肪率は12.8%であった。同様にWT-30においても、直線的に低下する被験者と直腸温の変化が少なく推移する被験者の2つのパターンが観察された。WT-35は、WT-25およびWT-30とは異なる直腸温の変化を示した。

各水温における被験者毎の体脂肪率と直腸温（陸上安静と最低値との変化量）の関係を図3に示した。WT-25において、体脂肪率と直腸温変化の間に有意な正の相関関係 ($r=0.84$, $p<0.05$) が観察された。また、WT-30における体脂肪率と直腸温変化の関係をみると有意な相

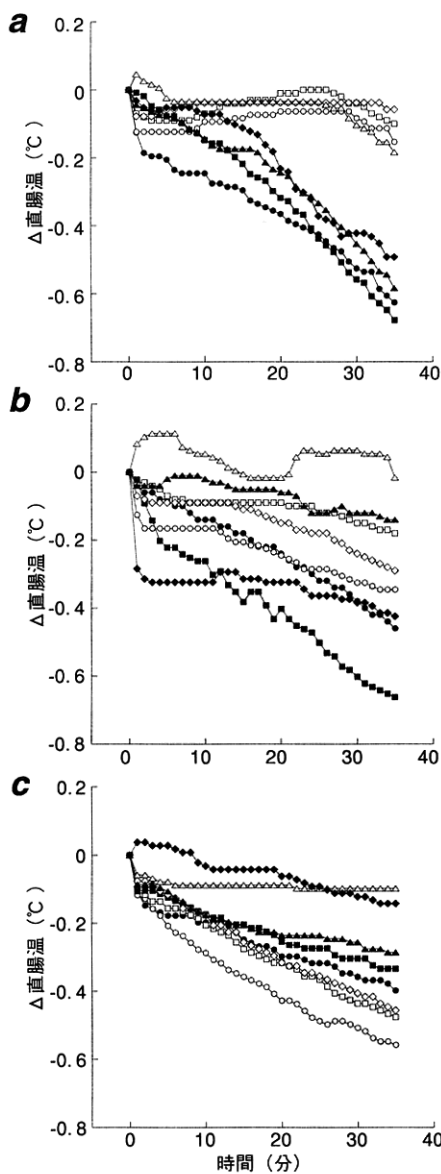


図2. 各水温における直腸温の経時的変化。
a: WT-25, b: WT-30, c: WT-35.

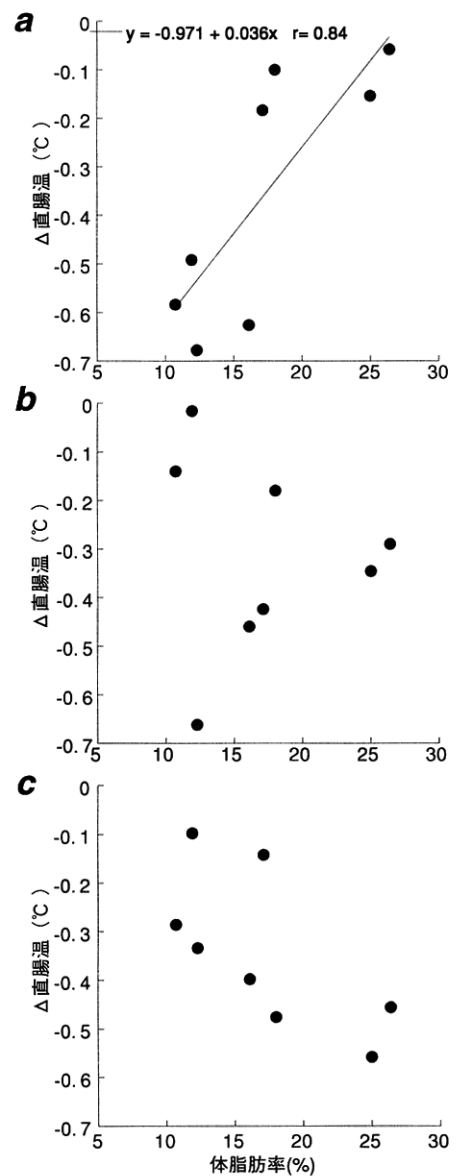


図3. 各水温における被験者毎の体脂肪率と直腸温（陸上安静と最低値との変化量）の関係。
a: WT-25, b: WT-30, c: WT-35.
a: $r=0.84$, $p<0.05$.

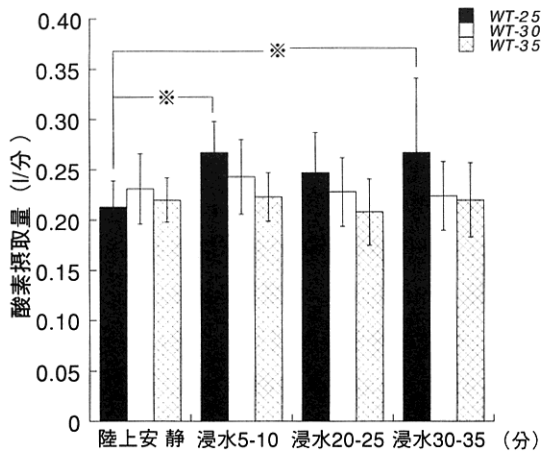


図4. 各水温における酸素摂取量の経時的変化。
※: $p < 0.05$

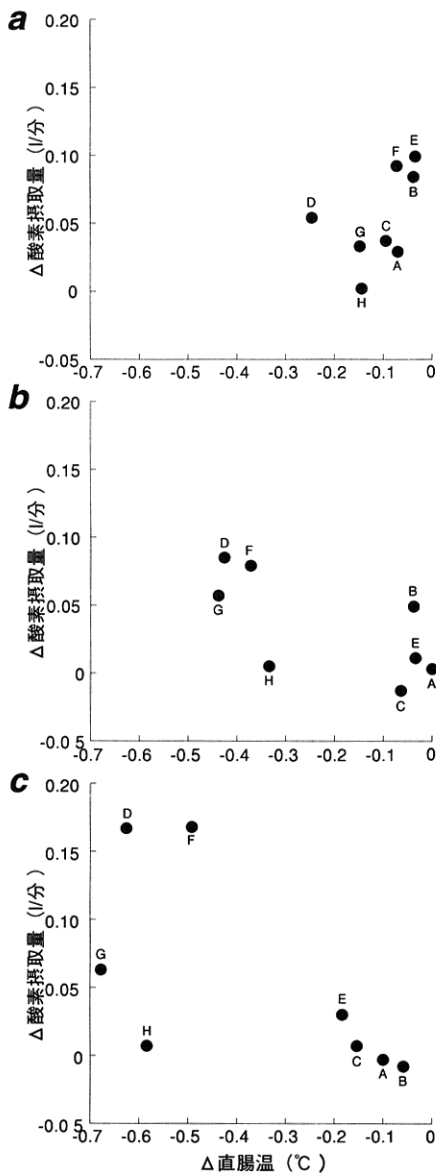


図5. WT-25における直腸温（陸上安静との変化量）と
酸素摂取量（陸上安静との変化量）の関係。
a: 浸水5-10分, b: 浸水20-25分, c: 浸水30-35分

関関係は観察されなかった。WT-35では、有意な相関関係は観察されなかったが、体脂肪率が高い被験者ほど直腸温の低下が著しい傾向が観察された。

図4に各水温における酸素摂取量の経時的変化を示した。WT-25において、陸上安静と比較し、浸水5-10分、30-35分の酸素摂取量に有意な増加がみられた ($p < 0.05$)。WT-30およびWT-35においては、陸上安静の値とほぼ同値で推移した。直腸温（図2, 図3）および酸素摂取量（図4）が著しい変化を示したWT-25について詳細に検討するために、被験者毎の直腸温（陸上安静との変化量）と酸素摂取量（陸上安静との変化量）の関係を図5に示した。すべての条件において、直腸温の変化と酸素摂取量の変化の間に有意な相関関係は観察されなかった。しかしながら、浸水20-25分および30-35分においては、直腸温の低下が著しい被験者ほど酸素摂取量が増加する傾向が観察された。

4. 考察

ヒトは寒冷環境に暴露されると、恒常性を維持するために皮膚の冷感刺激から交感神経活動の亢進がおり皮膚血管が収縮し熱放散量を減少させる¹⁴⁾。皮膚血流量の減少で恒常性を維持できないときは、熱産生量を増やすために、骨格筋の不随意的収縮であるふるえ (shivering) および交感神経および甲状腺ホルモン活動に起因する非ふるえ (nonshivering) をおこなうことが明らかになっている⁸⁾。

本研究において、時間経過に伴う直腸温の変化は、どの水温でも低下を示した。このことは、体表面を循環して冷やされた静脈血が中心部に還流したことを示唆している。体脂肪率と直腸温（陸上安静と最低値との変化量）との関係をみると、WT-25において有意な正の相関関係が観察された。このことは、本研究において体脂肪率の低い被験者の直腸温の低下が顕著であったことを示し、先行研究¹⁴⁾と一致する結果であった。しかしながら、体脂肪率がほぼ同一の被験者において直腸温の変化にバラつきが観察されたことを考慮すると、体脂肪率以外の要因が直腸温の変化に影響を及ぼしている可能性が考えられる。要因として、皮膚血流量の減少³⁾、褐色脂肪細胞の働き¹⁰⁾、運動習慣の有無¹⁵⁾、寒冷環境に対する慣れ³⁾等の関与が考えられる。寒冷環境における体温調節には皮膚血流量および褐色脂肪細胞が深く関与している³⁾。

Chinらは動物実験の結果から運動を行うことで耐寒性を高めると報告した¹⁾。その理由としてカテコールアミンの作用が心拍出量の増加、酸素摂取能力の促進、内臓器官への血流量の増加および骨格筋血管収縮作用の抑制として表れる結果、熱産生の促進に効果があるとした。また、ヒトは、寒冷環境に暴露されることで、代謝型、断熱型および慣れによる冬眠型順化によって、深部体温を維持する²⁾。これらの報告から、今後、浸水時の体温調節に及ぼす循環器応答、褐色脂肪細胞、運動習慣および水に対する慣れの影響について明らかにしていく必要がある。また、安静時の生体に与える水温の影響が最も少ない温度⁶⁾であるWT-35における直腸温（陸上安静と最低値との変化量）は、体脂肪率が高い被験者ほど著しく低下する傾向が観察された。朴らは、水温20℃、26℃および32℃における水中浸漬時の体温変化について報告し、水温20℃および26℃では、直腸温の低下は体脂肪率に依存しているが、32℃では、体脂肪率に依存しないことを明らかとした¹⁴⁾。その要因として、発汗に伴う気化熱等が考えられる。つまり、体温上昇を防ぐために発汗し、その気化熱による熱損失量が多く、体温の低下が観察された可能性である。しかしながら、未解明な部分が多く、今後、検討していく必要がある。

ヒトは寒冷環境に暴露されると、恒常性を維持するために皮膚の冷感刺激から交感神経活動の亢進がおり皮膚血管が収縮し熱放散量を減少させる¹⁴⁾。皮膚血流量の減少のみで恒常性を維持できないときは、骨格筋の不随意的収縮であるふるえ (shivering) および交感神経および甲状腺ホルモン活動に起因する非ふるえ (nonshivering) をおこなうことが明らかになっている⁸⁾。このことから、時間経過に伴う酸素摂取量の増加は、shiveringおよびnonshiveringの働きによるものであると考えられた。WT-30およびWT-35は、浸水中に皮膚温を一定に保つことのできる水温域 (28-35℃) であり²⁾、熱損失量が少ないため、それを補うshiveringおよびnonshivering熱産生量も少なく、酸素摂取量に増加がみられなかったと考えられる。

WT-25における直腸温（陸上安静との変化量）と酸素摂取量（陸上安静との変化量）の関係をみると、浸水20-25分および30-35分において直腸温の低下が著しい被験者ほど酸素摂取量が増加する傾向が観察された。このことは、時間経過に伴う直腸温の低下が著しい被験者で

は、shiveringおよびnonshivering熱産生が行われていたため酸素摂取量は増加したが、熱損失量が多く、陸上条件と等しい直腸温を保つまでには至らないことを示唆している。反対に、時間経過に伴う直腸温の変化があまりみられない被験者では、浸水後短時間でのshivering熱産生で、熱損失量と熱産生量の平衡が成り立っていたため、直腸温が低下しなかったため酸素摂取量は陸上安静の値に近づいたと考えられる。

これらのことから、WT-25の仰臥位フローティングにおいて、体脂肪率の違いは直腸温の変化に有意な影響を及ぼすことが明らかになった。しかしながら、体脂肪率がほぼ同一の被験者において直腸温変化にバラつきが観察されたことから、体脂肪率以外の要因が直腸温の変化に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、時間経過に伴う直腸温の低下が著しい被験者ほど酸素摂取量が多いことが明らかとなり、shiveringおよびnonshivering熱産生では、陸上条件と等しい直腸温を保つまでには至らないことが示唆された。

5. まとめ

本研究は、水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響について体脂肪率の高低から考察し、以下のような知見が得られた。

WT-25の仰臥位フローティングにおいて、体脂肪率の違いは直腸温の変化に有意な影響を及ぼすことが明らかになった。しかしながら、体脂肪率がほぼ同一の被験者において直腸温変化にバラつきが観察されたこと、異なる体脂肪率の被験者間において直腸温変化にバラつきがみられなかったことなどから、体脂肪率以外の要因が直腸温の変化に影響を及ぼしている可能性が考えられた。また、時間経過に伴う直腸温の低下が著しい被験者ほど酸素摂取量が多く、shiveringおよびnonshivering熱産生では、陸上条件と等しい直腸温を保つまでには至っていないことが示唆された。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、川崎医療福祉大学健康体育学科小野寺ゼミの諸氏に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) Chin AK, Seaman R, Kapileshwarker M. (1973) Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation. *J. Appl. Physiol.* 34 : 409-412.
- 2) Harrison MH, Edwards RJ, Cochrane LA, Graveney MJ. (1983) Blood volume and protein responses to skin heating and cooling in resting subjects. *J. Appl. Physiol.* 54 : 515-523.
- 3) 平田 耕造・井上 芳光・近藤 徳彦 (2002) 体温-運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因-有限会社 ナップ: 東京, 156-167.
- 4) 猪飼 道夫・福永 哲夫・藤平田英彦 (1970) 日本青少年の身体組成の研究-超音波法と比重法による-東京大学教育学部紀要 11 : 1-29.
- 5) 甲斐 美和子 (1988) 水中での体温変化. *Jpn. J.Sports Sci.* 7 (8) : 505-509.
- 6) 小西 薫 (1993) ウォーターパワーワークアウト. 環境工学社: 東京, 163.
- 7) 宮本 博司・山口 久雄 (1993) 人体の潜水性応答. *体力科学* 42(2) : 219-226.
- 8) 中山 昭雄 (1981) 温熱生理学. 理工学社:東京, 73-121.
- 9) 西村 正広・小野寺 昇 (2000) 仰臥位フローティングが心拍数, 血圧および心臓自律神経系活動に及ぼすリラクゼーション効果. *宇宙航空環境医学* 37(3) : 49-56.
- 10) 野田 幸子・入江 由希子・木村和弘・斉藤昌之 (2002) エネルギー代謝と褐色脂肪細胞. *Pharma Medica* 20(12) : 61-67.
- 11) 小野寺 昇・小野 順子・遠山 敬久・松崎 裕美・天岡 寛・早田 剛・吉岡 哲・山口英峰・小海 節美 (2000) ディープウォーターエクササイズにおける心拍数と酸素摂取量変化. *川崎医療福祉学会誌* 10(2) : 409-411.
- 12) 小野寺 昇・宮地 元彦 (2003) 水中運動の臨床応用:フィットネス, 健康の維持・増進. *臨床スポーツ医学* 20(3) : 289-295.
- 13) Pugh LGC and Edholm OG (1955) The physiology of channel swimmers. *Lancet* 2 : 761-768.
- 14) 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.
- 15) 菅原 正志・平田 文夫 (1993) 定期的運動が寒冷血管反応に及ぼす効果. *体力科学*42(5) : 495-501.
- 16) Weiss M, Hack F, Stehle R, Pollert R, Weicker H. (1988) Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. *Int. J. Sports Med.* 9 : 113-117.