

水の粘性と水中運動

小野寺 昇 (Sho Onodera)	川崎医療福祉大学健康体育学科
宮地 元彦 (Motohiko Miyachi)	//
矢野 博己 (Hiromi Yano)	//
西村 正広 (Masahiro Nishimura)	川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究所
山元 健太 (Kenta Yamamoto)	//
松井 健 (Takeshi matsui)	吉備国際大学社会福祉学部保健福祉学科
原 英喜 (Hideki Hara)	国学院大学文学部
渡辺 律子 (Ritsuko Watanabe)	東京学芸大学

【要旨】

粘性抵抗と歩行速度を段階的に変化させ、それぞれの変化が負荷強度設定の変化量として妥当であるかを検討した。健康成人男子7名、女子1名の計8名を被験者とした。真水と粘性水の中で15分間水中トレッドミル歩行を行った。各条件下での水中歩行速度は、3 km/hで開始し、5分毎に1 km/h増速させ、5 km/hまで漸増した。粘性水は、繊維素カルボキシメチルセルロース (CMC) を用いて、1%及び2%濃度の2種類とした。この水溶液の比重は1.0、pHは7.2であった。その結果、いずれの条件下においても歩行速度の増加に対して酸素摂取量は、指数関数的に増大した。分散分析の結果、速度の増加に伴って酸素摂取量が有意に増加した ($F=484.6$, $p<0.001$)。同時に、水の粘性の増加に伴っても酸素摂取量が有意に増加した ($F=6.065$, $p<0.01$)。このことから水の粘性抵抗は、負荷強度を設定する要因として妥当であることが示唆された。

◆キーワード：粘性、水中トレッドミル、酸素摂取量、心拍数、浮力

1. 目的

水中では、水の持つ物理的特性の影響を受け、陸上とは異なる生理的反応を示す^{5,8,9,11,14,19,31}。水中歩行をはじめとする水中運動に影響を与える水の物理的特性として水の粘性抵抗があげられる。すでに水の粘性抵抗が水中歩行中のエネルギー代謝に有意な影響を及ぼすことを明らかにした²⁵。このことから水中運動の負荷強度を設定できる要因としての可能性が示唆された。そこで粘性抵抗と歩行速度を段階的に変化させ、それぞれの変化が負荷強度設定として妥当であるかを明らかにした。

2. 方法

被験者は、成人男子7名、女子1名の計8名とした。被験者の年齢は、30.8歳±9.8、身長は、170.6cm±4.9、体重は、66.7kg±9.5であった。

負荷設定の手段としてこれまで、プールでの歩行と走行、水中エルゴメーター、水中トレッドミル等が用いられてきた^{5,6,12,13,17,26,28,31,33}。今回は、粘性による滑り防止のためキャタピラ式の水の中トレッドミル (ヤマハ発動機：フローミル, MR 1200M) を用いた。

被験者は、真水と粘性水の中で15分間水中トレッドミル歩行を行った。水位は、大転子の高さとし、水温は、30℃とした。粘性水は、繊維素カルボキシメチルセルロース (CMC) を用いて、1%及び2%濃度の2種類とした。この水溶液の比重は1.0、pHは7.2であった。

実験は、3日間にわけ、初日は真水(0% CMC条件)、2日目は1% CMC濃度水溶液 (1% CMC条件)、そして3日目は、2% CMC濃度水溶液 (2% CMC条件) での実験とした。各条件下での水中歩行速度は、3 km/hで開始し、5分毎に1 km/h増速させ、5 km/hまで漸増した。運動開始2分前から運動開始までの2分間に安静時の呼気ガスを同様に15分間の運動中の呼気ガスも連続的にブレスバイブレス法で、呼気酸素濃度はジルコニア法で、呼気二酸化炭素濃度は、非分散赤外線吸収法で分析し、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を求めた (Sensor Medics, MMC4400tc)。得られた呼気ガス分析値から30秒毎の平均値を算出した。安静時及び運動中の心拍数は、胸部双極誘導にて連続的に測定した。運動開始後4分30秒～5分、9分30秒～10分、そして14分30秒～15分の酸素摂取量及び心拍数の平均値を

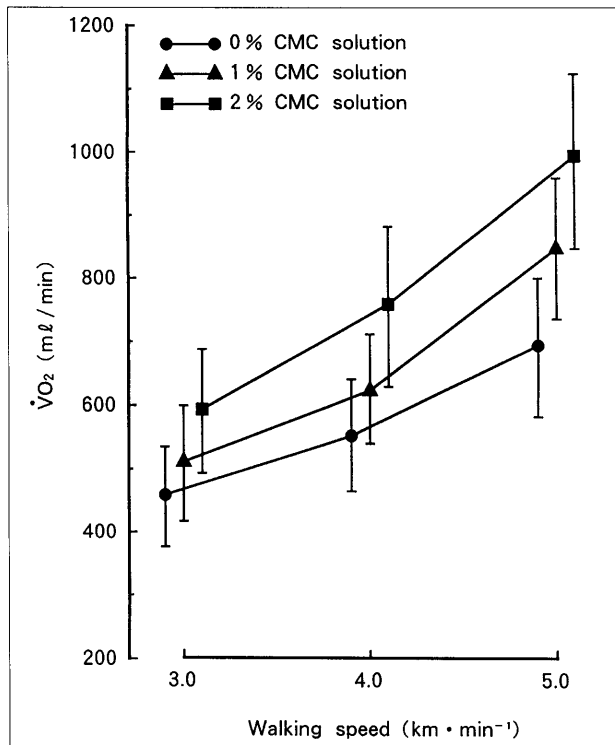


図1 異なる粘性における水中トレッドミル歩行時の酸素摂取量の変化

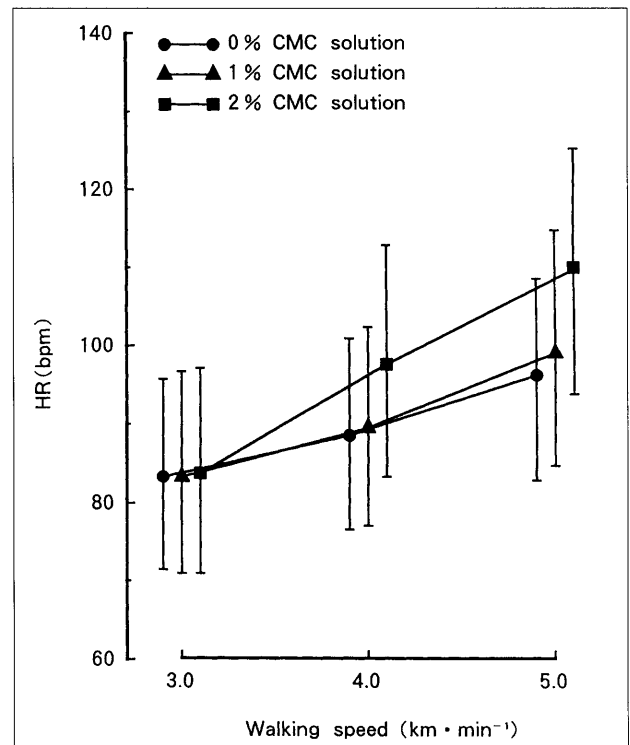


図2 異なる粘性における水中トレッドミル歩行時の心拍数の変化

各速度の代表値とした。また、運動前と終了後5分目に指先採血を行い、直ちに血中グルコース及び乳酸濃度をグルコースラクトアナライザー(YSI,2300STAT)にて分析した。統計処理は、歩行速度、粘性の2要因により繰り返しのある二元配置の分散分析を行った。危険率5%未満を有意な差とした。

3. 結果

図1に各条件下における酸素摂取量の変化を示した。いずれの条件下においても歩行速度の増加に対して酸素摂取量は、指数関数的に増大した。分散分析の統計値は、各速度間の差 $F=484.6$ となり有意($p<0.001$)であった。同時に水の粘性の3条件間の酸素摂取量の差 $F=6.065$ となり有意($p<0.01$)であった。

図2に各条件下における心拍数の変化を示した。3条件下での心拍数は、速度の増加に対して酸素摂取量の変化と同様に増加する傾向がみられたが、各速度間に有意な差はみられなかった。水の粘性が増加するに従って心拍数も増加する傾向がみられたが

各条件間の差は有意ではなかった。

血中乳酸濃度及びグルコース濃度ともに各条件間で有意な差はみられなかった。

4. 考察

これまで水中運動時の循環器応答やエネルギー代謝に対する水位、水温、歩速等の影響がすで明らかにされているが^{1-5,7,10,15,16,19,20,22-24,30,31}、水の粘性に着目し、水中運動時の負荷設定を試みた例はなかった。浮力を上げることなく選択的に粘性を変化させることのできるCMCの性質を活用して²⁵、水の粘性抵抗の段階的な変化と歩速変化におけるエネルギー代謝量の変化について検討した。水の粘性抵抗の変化に対して、酸素摂取量は、指数関数的に増大し、歩速変化においても有意な分散分析の結果を示した。このことは、段階的な水の粘性変化と歩速変化の組み合わせによって、水中運動における負荷設定が可能であることを示唆する。今回の実験においては、水位を大転子としたが、膝関節部位、大腿部中央の水位においても粘性を高めた場合、真水でのエネルギー代謝量変化と同様に増大することが明らかにな

っている²⁷⁾。

心拍数においても酸素摂取量と同様の変化を示したが、有意な対応ではなかった。水中においては、同じエネルギー代謝量の陸上の運動に比較し心拍数変化は、少ないと報告されている。このために有意な差を示さなかったものと考えられる。

粘性の濃度変化によってエネルギー代謝量が有意に増大することは、歩速を変えることなく運動負荷を段階的に設定できることを示唆する。水中での一定歩速において有意な負荷強度設定ができれば、肥満者等の下肢にかかる負担を軽減するような運動処方に活用できるものと考えられる。同時に下肢の傷害からの復帰途上者の持続的トレーニングとしても有益であると考えられる。

今回の負荷強度は、酸素摂取量から見積もると30~40% $\dot{V}O_{2max}$ の低強度の負荷であったために血中乳酸や血中グルコースに大きな変化が見られなかったと考えられる。このことは、先行研究と同じ傾向を示した²⁵⁾。

5.まとめ

粘性抵抗と歩行速度を段階的に変化させ、それぞれの変化が負荷強度設定の変化量として妥当であるかを検討した。その結果、水の粘性抵抗を段階的に増大したとき酸素摂取量が有意な変化を示した。このことから負荷強度を設定する要因として妥当であると考えられた。

6. 謝辞

水中トレッドミル及び粘性材料に関する提言をいただいたヤマハ発動機(株)と四国化成(株)に感謝します。

<引用文献>

- 1) Bergh, U. and B.Ekblom (1979) :Physical performance and peak aerobic power at different body temperature. J.Appl. Physiol, 46:885-889.
- 2) Craig, A.B. Jr. and M.Dvorak (1968) :Thermal regulation of man exercising during water immersion. J. Appl. Physiol, 25:28-35.
- 3) Canon, P. and W.R. Keatinge (1960) :Metabolic rate and heat loss of fat and thin men in heat balance in cold and warm water. J. Physiol, 154:329-344.
- 4) Costill, D.L. et al (1967) : Metabolic responses to

- submaximal exercise in three water temperature. J. Appl. Physiol, 22:628-632.
- 5) Craig, A. B. and Dvorak, M. (1969) :Comparison of exercise in air and in water of different temperatures. Med.Sci.Sports 1: 124-130.
- 6) Eunei Yu et al (1994) :Cardiorespiratory responses to walking in water. Med Sport. Basel. Karger, 39:35-41.
- 7) Galbo, H., et al (1979) :The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming. Acta Physiol. Scand, 105:326-337.
- 8) Gleim, G.W. and Nicholas, J. A. (1989) :Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking at different depths and temperatures. Am J. Sports Med, 17:248-252.
- 9) Greenleaf, J. E. et al (1983) :Hypervolemia and plasma vasopression response during water immersion in men. J. Appl. Physiol, 55:1688-1693.
- 10) Holmer, I. and U. Bergh (1974) :Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperature. J. Appl. Physiol, 37:702-705.
- 11) Hong, S. K. et al (1969) :Mechanics of respiration during subimmersion in men. J. Appl. Physiol., 27:535-538.
- 12) 堀田昇ほか (1995) :新しい水中運動装置(flowmill)を用いた運動療法.体力研究, 88:11-17.
- 13) 堀田昇ほか (1993) :水中トレッドミル (flowmill) 歩行時の呼吸循環応答. 久留米大学保健体育センター研究紀要, 1:19-23.
- 14) 池上晴夫ほか (1983) :水泳における浮くためのエネルギーと推進のためのエネルギーの男女比較. 体育学研究,28:33-42.
- 15) 丹羽健市 (1992) :浸水安静時における体温調節反応の日周変動.体力科学,41:255-260.
- 16) 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, 46:540-545.
- 17) Nakazawa K, et al (1994) :Ground reaction force during walking in water. Med Sports Sci. Basel. Karger, 39:28-34.
- 18) 松井健ほか (1997) :中等度定常水中運動時および回復期の循環系応答. 体力科学, 46:902.
- 19) McArdle,W.D. et al (1976) :Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33°C. J. Appl. Physiol, 40:85-90.
- 20) 大柿哲朗ほか (1995) :3種類の水温下での低強度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.
- 21) 小野寺昇ほか (1993) :水の粘性抵抗と水温が水中トレッドミル歩行中の酸素摂取量及び直腸温に及ぼす影響.川崎医療福祉学会誌,3:167-174.
- 22) 小野寺昇 (1997) :海水を用いた腰痛予防対策の運動処方に係わる基礎的研究.ソルトサイエンス研究報告集,271-283.
- 23) 小野寺昇 (1996) :高血圧のための水中運動療法の開発.試験研究論叢, 11:33-39.
- 24) 小野寺昇 (1996) :血圧からみた高齢者の水中運動プログラムの安全性と妥当性. デサントスポーツ科学, 17:53-61.
- 25) 小野寺昇ほか (1992) :水の粘性抵抗が水中トレッドミル歩行中の心拍数と酸素摂取量に及ぼす影響. 宇宙航空環

- 境医学, 29:67-72.
- 26) 小野寺昇ほか (1997) :新型水中エルゴメーターを用いた運動負荷時の心拍数と酸素摂取量の変化. 川崎医療福祉学会誌, 7:205-209.
- 27) 小野寺昇ほか (1994) :水中トレッドミルを用いた水中歩行運動時の粘性抵抗と水位の変化がエネルギー代謝量へ与える影響. デサントスポーツ科学, 14:100-104.
- 28) 小野寺昇ほか (1991) :回流水槽型水中トレッドミルにおける流速の分布. 川崎医療福祉大学誌, 2:249-251.
- 29) Onodera S. et al(1994):Effect of differences in buoyancy of water on oxygen uptake and heart rate during swimming Med Spoer Sci Basel.Karger, 39:126-130.
- 30) Pugh, L.G.C. and O.G Edholm (1955) : The physiology of channel swimmers. Lancet, 2:761-768.
- 31) Risch, W.D. et al (1991) : Theeffect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution and heart rate in man. Pflugers Arch., 374:115-118.
- 32) 渡辺一志ほか (1996) :水中トレッドミル歩行時の呼吸循環機能ならびに下肢筋活動に及ぼす水位の影響. デサントスポーツ科学, 16:252-259.
- 33) Whiteley, J. D. and Sehoene, L.L. (1987) ;Comparison of heart rate responses water walking versus treadmill walking. Physical therapy, 67:1501-1504.