

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

水中運動と温泉療法におけるランダム化比較試験の
システマティック・レビューの現状：
エビデンスの包括整理と質評価

分担研究者 上岡 洋晴 東京農業大学地域環境科学部教養分野 准教授

研究要旨

本研究は、水中運動および温泉療法のランダム化比較試験（RCT）に基づくシステマティック・レビュー（SR）から、現段階におけるエビデンスを整理・統合するとともに、それぞれのSRの質を評価することを目的とした。

キーワードは、「aquatic exercise」「water exercise」「spa」「balneotherapy 水中運動」「温泉」とした。使用データベースは、「Cochrane Database Syst Rev」「PubMed」「CINAHL」「Web of Science」「JDream II」「医学中央雑誌」であった。研究デザインは、RCTに基づくSR限定とした。出版の時期は、1990年以降で

語は無制限とした。1研究において複数の発表がある場合には、新しい方の報採用した。対象疾患は、無制限とした。検索日は、2008年8月5-17日で、検索医学研究に熟練したサーチャー資格を有する司書2名であった。論文採否の審査者は研究者2名が独立して実施した。論文(SR)の質評価として、AMSTARチェックリストを用いた。

適格基準に合致したのは7編（英語6編、日本語1編）で、水中運動は3編、温泉療法は1編の水中運動との重複を含む5編であった。メタ分析の状況としては、運動では、3編で実施されていた。1番目の文献は、変形性関節症(膝・股関節)における治療効果で、「機能回復($P < 0.001$, 重み付け標準化平均差(SMD): 0.26, 95% 区間(CI) 0.11-0.42, $n=648$)」、「Quality of life ($P < 0.05$, SMD: 0.32, 95%CI 0.03-0.61, $n=599$)」、「精神的健康度($P < 0.05$, SMD: 0.16, 95%CI 0.01- 0.32, 642)」、「除痛効果 ($p < 0.05$, SMD: 0.19, 95% CI 0.04-0.35, $n=638$)」となった。2番目の文献では、多種の運動器疾患を対象としているが、「除痛効果 ($P < 0.05$, SMD: -0.17, 95%CI -0.33--0.01, $n=594$)」であった。3番目の文献では、ゆる腰痛を対象疾患とし、「除痛効果 ($P < 0.001$, SMD: 26.6, 95%CI 20.4-32.8 $n=442$)」であった。いずれも、主要なアウトカムにおいて、効果が認められて

。一方、温泉療法においてメタ分析を行っているのは、1文献のみで、腰痛の「効果 ($P < 0.001$, SMD: 18.8, 95%CI 10.3-27.3, $n=138$)」であった。その他のでは、異質性や対象疾患・コントロール群・介入方法の差異などの問題を理、メタ分析が行われていなかった。11項目中、すべての論文(100%:7編)で記あったのは、「事前の研究デザイン」「適格基準の明確な設定」「研究参加者の」「評価における科学的な質の確保」「適切な結論づけ」であった。記載が少なかった項目は、「パブリケーション・バイアスの評価:14%(81編)」「除外論文のリ化:43%(3編)」であった。

水中運動は、運動器の疾患において、メタ分析の結果、小さいながら除痛効果があるが、それは短期的なものであり、長期的な効果はわからない。陸上運動として、水中運動の方が効果があるとも現時点では言及できない。温泉療法にては、方法論的質の問題や、介入方法や対象（介入群・コントロール群）の異の問題があり、効果に関する十分なエビデンスが得られていない。

A. 研究目的

水中運動は、水療法や温泉療法として古くから知られている。¹ 温かい水の中での運動は、痛みを伴う神経・筋骨格系の多くの疾患において用いられている。² 水の温熱や浮力は、温熱受容器や物理的受容器に作用することで侵害受容器をブロックするかもしれない。^{3,4} さらに、温熱作用は、血流を促進し、痛覚発生化学物質を分散させる助けにもなり、筋肉のリラクゼーションをもたらすかもしれない。また、静水圧は、末梢の浮腫を減じたり⁵、交感神経活動を鈍化させること⁶、により疼痛を軽減させるかもしれない。

運動を伴わない入浴（温泉療法）は、代替医療としても行われてきた。日本やイスラエルだけでなく、ヨーロッパ諸国でも関節症の治療方法のひとつとして行われている。^{7,9} 加えて、最近の報告では、中高年者を対象として生活・運動指導に温泉を組み合わせた包括的な健康教育の効果も報告されている。^{10,11}

多くの研究は、水中運動や温泉療法の効果を報告しているが、ランダム化比較試験（RCT）に基づいたシステマティック・レビューを整理した研究はない。本研究の目的は、RCTに限定したSRから、水中運動と温泉療法の現時点におけるエビデンスを明らかにするとともに、それらの論文の質を評価することを目的とした。

B. 研究方法

1. 適格基準

1) 研究デザイン

RCTに基づくSR限定とした。ただし、メタ分析の実施の有無は問わなかった。

2) 参加者の特性

参加者については、制限を設けず、疾病の有無を問わなかった。

3) 介入及び言語の種類

介入群のいずれかに、水中運動あるいは温泉療法が含まれる研究を対象と

した。プールや風呂で行われるすべての種類の運動（例えば、関節可動域を広げる運動や有酸素性運動、筋力増強運動、あるいは浸水だけなど）が含まれた。言語は、無制限とした。

2. 論文の検索方法

1) データベース

用いたデータベースは、英文として「Cochrane Database Systematic Review」、「PubMed」、「CINAHL」、「Web of Science」、和文として、「JDream II」、「医学中央雑誌」で、それぞれ1990年から2008年8月17日までに出版された論文とした。すべての検索作業は、臨床研究や疫学研究に熟練し、サーチャー資格を有する図書館司書2名が実施した。

2) 検索ストラテジー

すべてのデータベースにおいて、以下の検索テーブルにより実施した。

I

Search "aquatic therapy" OR "aquatic exercise" OR "water exercise"

II

Search ("Water"[Majr] OR "Swimming"[Majr]) AND Exercise Therapy*/methods

III

Search "water gymnastic" OR "water training" OR "water aerobics" OR "pool exercise" OR "pool therapy" OR "aerobic aquatics" OR "hydrotherapy" OR "thalassotherapy" OR "aquatics" OR "balneotherapy" OR "spa therapy"

IV

Search I OR II OR III

V

Search I OR II OR III Limits:

3. システマティック・レビュー／メタ分析

キーワード検索のみで行われた。最初にデータベースからヒットした潜在的な研究の抄録（抄録がなくタイトル・著者・雑誌名だけのものもあった）を入手した。それに基づき、適格基準

に合致した RCT の SR 論文を抽出した。

4.参考文献の点検とハンドサーチ

研究に含まれる参考文献の確認やハンドサーチ、水中運動あるいは温泉療法の研究機関、学会、専門家への問い合わせは行わなかった。また追加的に公表あるいは未公表のデータを特定するために著者への問い合わせも行わなかった。

5.レビューの方法

1)論文の抽出方法

レビューのための研究を最終的に選択するために、最初の適格基準を通過した論文のフルテキストに対して、2名の著者(HKとTHなど)によって独立して評価した(Figure 1)。不一致や不明確な場合は、お互いに相談して解決した。

選ばれた研究は次の条件であった。

(1)研究デザインがRCTのSRであること、(2)介入のひとつが、水中運動か温泉療法であること、であった。治療や健康増進効果は、主要アウトカムとして用いられた。健康増進効果は、QOLの向上のために血圧や血清脂質の安定化、免疫機能の改善からQOLの向上まで広く定義された。n RCTあるいは観察研究を含むSRは除外した。除外した論文は、その理由とともに示した(付録)。

2)論文の質評価

バラツキが、研究デザインや実施の系統誤差によって生じていないことを確かめるために、2名の著者(MKとHKなど)が独立して論文の質を評価した。論文の十分な質評価は、SRの方法論的質を評価するために開発されたAMSTARチェックリスト¹²を用いた。不一致や不明確な場合は、両者の相談によって解決された。

3)研究の要約

1名の著者が、構造化抄録や統計分析の結果から要約を行った。主要アウトカムは、常に分析に用いられた。

4)有害事象とドロップアウト

GRADEワーキンググループ¹³は、便益と害のバランス、応用性、ベースラインのリスクの確認は、推奨の強さの判断ですべて考慮されるべきことを報告している。有害事象やドロップアウトは、とくに研究者や臨床ガイドラインの利用者にとってとくに重要な情報であり、それぞれの論文における記載の情報を示した。

C. 結果

1. 研究の特徴

データベースによる論文検索において、111の潜在的な論文が含まれていた(Figure 1)。これらの論文の抄録(タイトル)を吟味し、35編が最終評価の対象となった。28編が、SRではないこと、RCTのSRではないこと、水を主たる介入としていないことにより除外された(付録)。7編^{1,2,14-18}が、すべての適格基準に合致した(Table 1-2)。水中運動についてが3編^{1,2,17}、温泉療法についてが5編^{14,15,16,17,18}で、これらの1編は水中運動も含んでいた。対象疾患は、変形性関節症(膝・股関節)^{1,15,16}、関節リウマチ¹⁴、腰痛¹⁷、神経-筋疾患(関節リウマチ、線維筋痛症、腰痛、変形性関節症)²であった。健康増進効果が含まれている研究も1編あった¹⁸。

2.メタ分析結果

3編^{1,2,17}が、メタ分析を行っていた。最初に変形性関節症に対する水中運動の治療効果を示す¹。小さいが身体機能(P<0.001, 重み付け標準化平均差(SMD): 0.26, 95%信頼区間(CI):0.11-0.42, n=648)、QOL(P<0.05, SMD:0.32, 95%CI:0.03-0.61, n=599)、精神的健康度(P<0.05, SMD:0.16, 95%CI:0.01-0.32, n=642)において介入群が有意な改善があった。VASを用いた疼痛(P<0.05, SMD:0.19, 95%CI:0.04-0.35, n=638)も有意な改善があった。

2編目は神経・筋疾患の水中運動による除痛(P<0.05, SMD:-0.17, 95%CI:-0.33--0.01, n=594)の有意な効果が見られた。しかし、水中運動と陸上運動との比較

では、有意な効果は認められなかった(P=0.56, SMD: 0.11, 95%CI: -0.27 to 0.50, n=103)。

3 編目は、腰痛に対する水中運動の効果についての報告である¹⁷⁾。除痛(VAS)は、水中運動において有意な効果(P<0.001, SMD: 26.6, 95%CI 20.4 to 32.8, n=442)があった。温泉療法も有意な除痛効果(P<0.001, SMD:18.8,95%CI 10.3-27.3,n=138)が見られた。

3. ドロップアウトと有害事象

3 編にドロップアウト、4 編に有害事象が報告されていた(Table3)。死亡事故や深刻な健康被害は報告されていなかった。

4. 論文の質評価

除外論文のリストの提示をしていたのは3 編(43%)、パブリケーションバイアスの評価を行っていたのは1 編(14%)だけであった(Table 4)。

D. 考察

1. 水中運動と温泉療法(運動なし)

効果を明らかにするために水中運動と温泉療法を用いたが、両者の区別を明確にしていない研究が多いためである。水中運動は、小さいながら、疼痛、身体機能、QOL、精神的健康度に有意な効果があった。これは、運動療法としての介入は、受動的な温泉療法よりも神経・筋疾患に効果があることを示しているのかもしれない。しかし、介入直後のもので、長期間の効果ではないことも理解する必要がある。実際に水中運動では3週間から12ヶ月間、温泉療法では15日間から12ヶ月間であった。RCTの研究デザインでは、参加者を長期間介入しつづけることは困難なことを示しているのかもしれない。長期間の効果ははっきりしない。

温泉療法^{15,16,17,18)}のメタ分析は、研究の異質性や多様なアウトカム、対象疾患の違いなどから行うことができていなかった。温泉療法のSRは、RCT自体の方法論的質の問題のために科学的根拠は弱いことを示している。このよ

うに、運動を除く温泉療法の独自の効果を決定するのは現時点では難しい。

2. 論文の質評価

7 編は、2006 年以降の発表であり、比較的新しい。内容妥当性が高く、設問数が11と少ないAMSTARチェックリストを用いて論文の質評価を行った。設問の大部分が設問項目に合致していたが、パブリケーションバイアスの評価については記載が乏しかった。AMSTARチェックリストは、パブリケーションバイアスの評価のための図式化(funnel 散布図や他のテスト)を1つの項目に掲げている。RCTにおいて、統計的に有意な結果が出ている研究は英語の雑誌に投稿する傾向がある、とする典型的なパブリケーションバイアスを報告した研究がある¹⁹⁾。それゆえ、SR(メタ分析)自体が英語に限定している場合には、英語バイアスが生じているかもしれない。

除外論文のリストを示していたのはコクランレビュー^{11,14,15)}だけであった。もし、論文の執筆規定がコクランレビューと同様であるならば、記入漏れは生じないだろう。しかし、多くの科学雑誌は、文字数を制限しているために直接的にリサーチ・クエスチョンとは関係ない部分が省略されているのかもしれない。研究の透明性や正確性を改善させるために除外論文リストの記載は必要だろう。

3. 全体的なエビデンスと今後の課題

水中運動と温泉療法における全体的なエビデンスと将来の研究課題をまとめた(Table5)。水中運動は小さいながら、有意な効果があることが明らかになった。さらなるRCTとして、長期的な効果や実際の指導の種類・内容など別の効果の検証やそうしたRCTに基づくSRが望まれる。一方、温泉療法においては、本研究では明確な効果を示すことができなかったが、適切な方法に基づくRCTが必要である。RCTによる共通した問題としては、有害事象の評価を正確に示すべきである。

4.研究の限界

本研究には、いくつかの限界がある。選ばれた各研究自体において選択バイアスのある可能性があり、本研究の潜在的な問題となっている。

言語を英語に限定していないが、他の言語のSRを見つけられず、パブリケーションバイアスの可能性も否定できない。また、ハンドサーチや参考文献からの検索、さらには専門機関、学会などへの問い合わせも行わなかった。質評価において、結果の不一致や不明な部分があった場合には2名の著者が相談して決定したが、第3の研究者にさらに託したり、該当する論文の著者に直接問い合わせることも行っていない。

E. 結論

水中運動と温泉療法に関するRCTのSRは少なかった。水中運動は、運動器の疾患において除痛効果や関連したアウトカムの有意义的な改善効果があることを明らかにできたが、長期的な効果は不明である。

温泉療法においては、各RCTの方法論的質の問題のため十分なエビデンスが得られておらず、介入効果を結論づけることはできなかった。

SRの問題点としては、除外論文リストの提示とパブリケーションバイアスの評価を行うべきことが示された。

【参考文献】

1. Bartels EM, Lund H, Hagen KB, et al. Aquatic exercise for the treatment of knee and hip osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2007; 4: CD005523.
2. Hall J, Swinkels A, Bridson J, McCabe CS. Does aquatic exercise relieve pain in adults with neurologic or musculoskeletal disease? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89: 873-883.
3. Bender T, Karaglle Z, Balint GP, et al. Hydrotherapy, balneotherapy, and spa treatment in pain management. *Rheumatol Int* 2005; 25: 220-224.
4. Yamazaki F, Endo Y, Torii S, et al. Continuous monitoring of change in hemodilution during water immersion in humans: effect of water temperature. *Aviat Space Environ Med* 2000; 71: 632-639.
5. Gabrielsen A, Videbaek R, Johansen LB, et al. Forearm vascular and neuroendocrine responses to graded water immersion in humans. *Acta Physiol Scand* 2000; 169: 87-94.
6. Fam AG. Spa treatment in arthritis: a rheumatologist's view. *J Rheumatol* 1991; 18: 1775-1777.
7. Nguyen M, Revel M, Dougados M. Prolonged effects of 3 week therapy in a spa resort on lumbar spine, knee and hip osteoarthritis: follow-up after 6 months. A randomized controlled trial. *Bri J Rheumatol* 1997; 36: 77-81.
9. Franke A, Reiner L, Pratzel HG. Long-term efficacy of radon spa therapy in rheumatoid arthritis: A randomized, sham-controlled study and follow-up. *Rheumatol* 2000; 39: 894-902.
10. Kamioka H, Nakamura Y, Yazaki T, et al. Effectiveness of comprehensive health education combining hot spa bathing and lifestyle education in middle-aged and elderly women: one-year follow-up on randomized controlled trial of three- and six-month interventions. *J Epidemiol* 2006; 16: 35-44.
11. Kamioka H, Ohshiro H, Mutoh Y, et al. Effect of long-term comprehensive health education on the elderly in a Japanese village: Unnan cohort study. *Int J Sports Health Sci* 2008; 6: 1-6.
12. Shea BJ, Grimshaw JM, Wells GA, et al. Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of

- systematic reviews. BMC Medical Research Methodology 2007;7:10.
13. Atkins D, Best D, Briss PA, et al: Grading quality of evidence and strength of recommendations. BMJ 2004; 328:1490-1497.
 14. Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SMA, Boers M, et al. Balneotherapy for rheumatoid arthritis. Cochrane Database Syst Rev 2004;1:CD000518.
 15. Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SMA, Boers M, et al. Balneotherapy for osteoarthritis. Cochrane Database Syst Rev 2007; 4:CD006864.
 16. Forestier R, Fran?on A. Crenobalneotherapy for limb osteoarthritis: Systematic literature review and methodological analysis. Joint Bone Spine 2008; 75: 138-148.
 17. Pittler MH, Karagülle MZ, Karagülle M, et al. Spa therapy and balneotherapy for treating low back pain: meta-analysis of randomized trials. Rheumatol 2006; 45: 880-884.
 18. Kamioka H, Kuroyanagi R, Komatsu T, et al. A systematic review of randomized controlled trials on the therapeutic and health-promoting effects of spas. J Jpn Soc Balneol Climatol Phys Med 2006; 69: 155-166. (in Japanese)
 19. Egger M, ZellwegerZahner T, Schneider M, et al. Language bias in randomized controlled trials published in English and German. Lancet 1997;350:326-329.

F.健康危険情報

なし。

G.研究発表

なし。

H.知的財産権の出願・登録状況

なし。

水中運動の効果と運動特性に関する研究

分担研究者	高杉 紳一郎	九州大学病院リハビリテーション部 講師
	岡田 真平	身体教育医学研究所 研究部長
研究協力者	奥泉 宏康	東御市立みまき温泉診療所 所長
	半田 秀一	東御市立みまき温泉診療所 理学療法士
	樋口 和洋	信州短期大学ライフマネジメント学科 准教授
	増本 賢治	日本学術振興会 特別研究員

研究要旨

【目的】安全かつ有効な健康増進・リハビリテーションの手段の一つとして普及している水中運動の中で、これまで知見が示されていない側方歩行の特性について、前方歩行との比較により明らかにすることを目的とする。

【方法】対象は、18歳～29歳までの健常成人男性17名であった。実験は、室内の25mプールで室温、湿度、水温などが一定の条件に保たれた環境下で実施した。水中での側方歩行と前方歩行の運動特性を比較するために、それぞれの歩行方向について、3段階の主観的運動強度（11「楽である」、13「ややきつい」、15「きつい」）で4分間ずつの歩行（各強度の間に1分間の休憩）を行った。側方歩行と前方歩行の順番は被検者ごとにランダムに設定し、先に行った歩行の後に30分以上の十分な休憩時間を設けた。測定項目のうち、酸素摂取量と心拍数は実験中常時モニタリングを行い、各強度での4分間の歩行の最後の1分間を分析対象データとした。血圧と血中乳酸は、各強度の歩行直後の休憩時に計測を行った。歩行時間と歩数は、各強度での4分間の歩行の最後の1分の中での15mの歩行について計測した。水中歩行の方向と運動強度による差について統計学的な検証を行った。

【結果】脱落データを除いた結果、分析対象は10名となった。水中での側方歩行、前方歩行それぞれにおける3段階の主観的運動強度では、拡張期血圧を除いて、酸素摂取量、体重あたり酸素摂取量、心拍数、血圧、乳酸、15mに要した歩行時間、15mに要した歩数の平均値において、有意な差を認めた。側方歩行においては、15mに要した歩数（ $p=0.010$ ）が前方歩行より多く、歩行時間が長い傾向にあった。また、乳酸値が側方歩行でより高くなり（ $p=0.019$ ）、主観的運動強度が高くなるとその傾向は顕著になった。

【結論】水中歩行の指導においては、歩行方向に関わらず、主観的運動強度の設定によって、循環器系への負荷はコントロール可能であり、側方歩行では歩幅が大きく、ゆっくりとした歩行パターンとなり、筋疲労が大きくなるので、適切なアドバイスを行って安全な水中運動の実践と継続のモチベーションを維持することが可能であると考えられた。

キーワード：水中歩行、側方歩行、主観的運動強度、酸素摂取量、乳酸

A. 研究目的

安全かつ有効な健康増進・リハビリテーションの手段の一つとして、水中運動が普及している。したがって、より適正で安全な水中運動の処方と合理的指導の普及に役立てるためには、その効果と限界、運動特性を把握することは重要である。

水中運動の中でも、中高年者を対象に最も普及している形態が水中歩行である。水中歩行は前方・後方・側方が基本となり、前方は一般的であり、特性は既に明らかにされており、後方歩行に関する知見は先行研究(Masumoto ら 2007)が報告しているが、側方歩行に関しては明らかではない。そこで本研究は、水中での側方歩行の特性を、前方歩行との比較により明らかにすることを目的とする。

B. 方法

【対象】

健常な 18 歳～29 歳までの成人男性で、実験への協力が同意が得られた 17 名を対象とした。

被検者は、定期的に水中運動を行っていないこと、喫煙歴がないこと、BMI が 30 を超えないこと(平均 BMI 23.2: 最小 18.7～最大 28.4)、身長が 180 cm を超えないこと(平均身長 170.9: 最小 165.5～最大 177.5)を条件とした(表 1)。

【実験環境】

一般者が利用している室内温水プール(ケアポートみまき温泉アクティブセンター)の休館日に、施設内の 25m プール(水深 1.1m、設定水温 30℃)で実験を行った。実験時の環境は、館内平均温度 27.0℃(24.0～28.5)、館内平均湿度 34.1%(29.5～42.0)、平均水温 30.1℃(29.5～31.0)であった。

【測定手順】

水中での側方歩行と前方歩行の運動特性を比較するために、それぞれの歩行方向について、

3 段階の主観的運動強度(11「楽である」、13「ややきつい」、15「きつい」)で 4 分間ずつの歩行を行い、各強度での歩行間に 1 分間の休憩時間を設定した。側方歩行と前方歩行は被検者ごとにランダムに順番を設定するとともに、先に行った歩行の後に、30 分以上の十分な休憩時間を設け、心拍数と乳酸で疲労回復の状況を確認した後に、次の歩行を実施した(図 1)。

水中歩行は、片道 25m のコースのうち 15m の区間を往復する方法で行った(図 2、3)。そして、歩行特性の比較から、上半身の影響を少なくするために、側方歩行時、前方歩行時ともに、上肢で水をかかないように指示した。また、側方歩行時は足を交差させないようにした。全被検者はいずれの歩行時も、滑り止めのためにアクアシューズを装着した。

なお、本研究は主観的運動強度を用いて被検者の運動強度をコントロールするために、実験当日を迎える前に、主観的運動強度の指示による水中歩行の練習を行った。なお、疲労の影響を考慮して、練習日は実験当日の 2 日以上前とした。また、実験協力の注意事項として、測定日 2 日前から激しい運動と飲酒を控えること、実験実施 3 時間前から実験中は水以外の摂取を避けることとした。

【測定項目】

測定項目は、酸素摂取量(エアロソニック AT-1100、アニマ社)、心拍数(バンテージ NV、Polar 社)、血中乳酸(Lactate Pro LT-1710、ARKRAY 社)、血圧、15m に要する歩行時間および歩数であった。

酸素摂取量と心拍数は水中歩行実験中、無線にて常時モニタリングを行い(図 4)、各強度での 4 分間の歩行の最後の 1 分間の平均値を分析対象データとした。血圧と血中乳酸は、各強度の歩行直後の休憩時に計測を行った(図 5)。歩行時間と歩数は、各強度での 4 分間の歩行の最後の 1 分の中での 15m の歩行につい

て計測した。

【分析】

各測定項目の、側方歩行と前方歩行の間での比較および3段階の運動強度による平均値の比較を、SPSS ver12 (エスピーエスエス社) を用いて、繰り返しのある二元配置の分散分析によって行い、危険率5%未満を有意とした。

【倫理的配慮】

本研究実施にあたっては、身体教育医学研究所倫理審査委員会の承認を受けるとともに、大学病院医療情報ネットワークの臨床試験登録 (UMIN-CTR) を行った (ID 000001506)。

被検者に対して、途中で辞めたい場合には、いつでも可能であることや、考えられるデメリットを含む研究計画を文書と口頭で十分に説明し、参加の承諾の同意を文書で得た。

C. 研究結果

酸素摂取量に対してノイズ処理 (極端な変動数値の除外) を行い、各測定項目で明らかな測定エラーやデータ欠損を除外した結果、10名のデータが分析可能であった (表1)。なお、乳酸測定値は実験機器の特性から、0.8mmol/L未満の数値は「Lo」と表示されるので、全て「0.7mmol/L」として分析した。実験対象者17名のうち、前方から先に実験した者は9名、側方が先8名であり、解析対象者10名では、それぞれ、前方が先4名、側方が先6名であった。

水中での前方歩行、側方歩行それぞれにおける3段階の主観的運動強度 (11「楽である」、13「ややきつい」、15「きつい」) での、酸素摂取量 (ml/分)、体重あたり酸素摂取量 (ml/分/kg)、心拍数 (拍)、収縮期血圧 (mmHg)、拡張期血圧 (mmHg)、乳酸 (mmol/l)、15mに要した歩行時間 (秒)、15mに要した歩数 (歩) の結果を表2に示した。

酸素摂取量、体重あたり酸素摂取量、心拍数、

収縮期血圧および拡張期血圧は、いずれも側方歩行と前方歩行で有意差を認めなかった。血中乳酸は、前方歩行に対して側方歩行では有意に高かった ($p=0.019$)。15mの歩行時間は側方歩行の方がやや長かったが、15mに要した歩数は有意に低かった ($p=0.010$)。すなわち、一步の歩幅は側方歩行の方が長かったと考えられた。

一方、主観的運動強度による差は、拡張期血圧を除く全ての項目で有意な差が認められており、主観的運動強度が運動の目安になることが示唆された。なお、主観的運動強度において、側方歩行と前方歩行では特に異なる傾向は認められなかった。

D. 考察

実際の水中運動指導の現場では、頻繁に血圧や脈拍を測定することは困難であり、主観的運動強度を用いて、個人の疲労感に依存した運動強度が決定されている。しかし、歩行方向を変更した場合においてもなお、この方法が真に適切な運動強度を与えるか否かについては、未だ学術的に明らかにされていなかった。

本研究において、主観的運動強度を用いて運動を3段階に規定したところ、酸素摂取量、心拍数、血圧に関して、側方歩行と前方歩行との間に有意差を認めなかった。すなわち、主観的運動強度による設定によって、前方歩行でも側方歩行でも、呼吸循環系の運動負荷をほぼ正確にコントロールできることが明らかになった。

一方、側方歩行と前方歩行の比較において、側方歩行では前方歩行より歩数が少なく、歩行時間は長かった。すなわち、同じ主観的運動強度であっても、側方ではやや歩幅が大きく、ゆっくりとした動きになることが考えられた。しかし、歩行速度は、側方歩行において運動強度の上昇による速度の上がり方が大きく、馴れることにより速く歩くことも可能になること

も示された。

また、乳酸値は、同じ運動強度であれば、側方歩行の方が前方歩行よりも有意に高く、運動強度が高くなるほど乳酸値は上昇し、その上昇は側方歩行で前方歩行より顕著であった。この結果は、側方歩行では、ゆっくりで大きな動作にも関わらず、筋肉への負担は大きく、早期から無酸素運動に移行しやすいことを示している。すなわち側方歩行では、ある特定の筋肉局所に大きな負荷が加わり、筋細胞での嫌気的な糖代謝が高まって、乳酸産生が亢進したものと推測された。

このような科学的データにもとづいて、現場で側方歩行を指導する際に、「速度を上げると、より疲れやすい」「筋痛が生じることがある」ことをきちんと指導して、運動中には歩行速度に注意を払い、運動後には筋肉のマッサージやアイシングを促すべきであり、本研究成果は安全な水中運動の実践と継続に貢献できるものと考えられる。

E. 結論

水中歩行の指導において、歩行方向に関わらず、主観的運動強度の設定によって、呼吸循環系にかかる負荷を同等とした正確な有酸素運動が実施できる。

運動学的には、側方歩行は歩幅が大きく、ゆっくりとした歩行パターンであり、主観的運動強度が高くなるほど血中乳酸の増加が著明となる。これは、側方歩行で局所の筋にかかる負荷が大きくなることによると考えられ、運動指導の際に、運動特性による疲労の蓄積について運動実践者に明確に説明することによって、安全な水中運動の実践と、長期継続へのモチベーション維持が可能であると考えられた。

F. 健康危険情報

該当せず。

G. 研究発表

なし

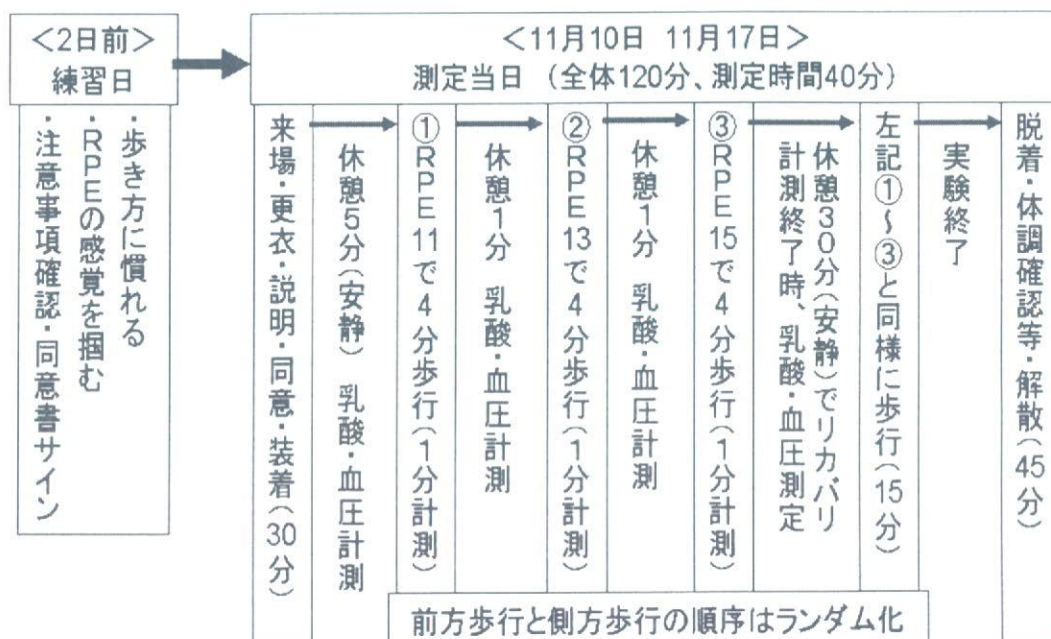
H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 被検者と解析対象者の属性

	被検者 (17名)		解析対象者 (10名)	
年齢 (歳)	20.2 ± 2.0	(18 - 27)	20.6 ± 2.5	(18 - 27)
身長 (cm)	170.9 ± 4.2	(165.5 - 177.5)	171.6 ± 3.8	(165.5 - 177.5)
体重 (kg)	68.1 ± 9.4	(55.8 - 84.3)	69.9 ± 9.2	(56.1 - 84.3)
BMI	23.2 ± 2.6	(18.7 - 28.4)	23.7 ± 2.5	(20.3 - 28.4)

平均値±標準偏差 (最小値-最大値)



歩行時は上肢で極力水を搔かないように注意し、自然な動きにとどめる。
側方歩行時は、足を交差させない。滑り止めのためにアクアシューズを履く。

図1 実験のプロトコール



図2 水中での前方歩行中の測定の様子



図3 水中での側方歩行中の測定の様子

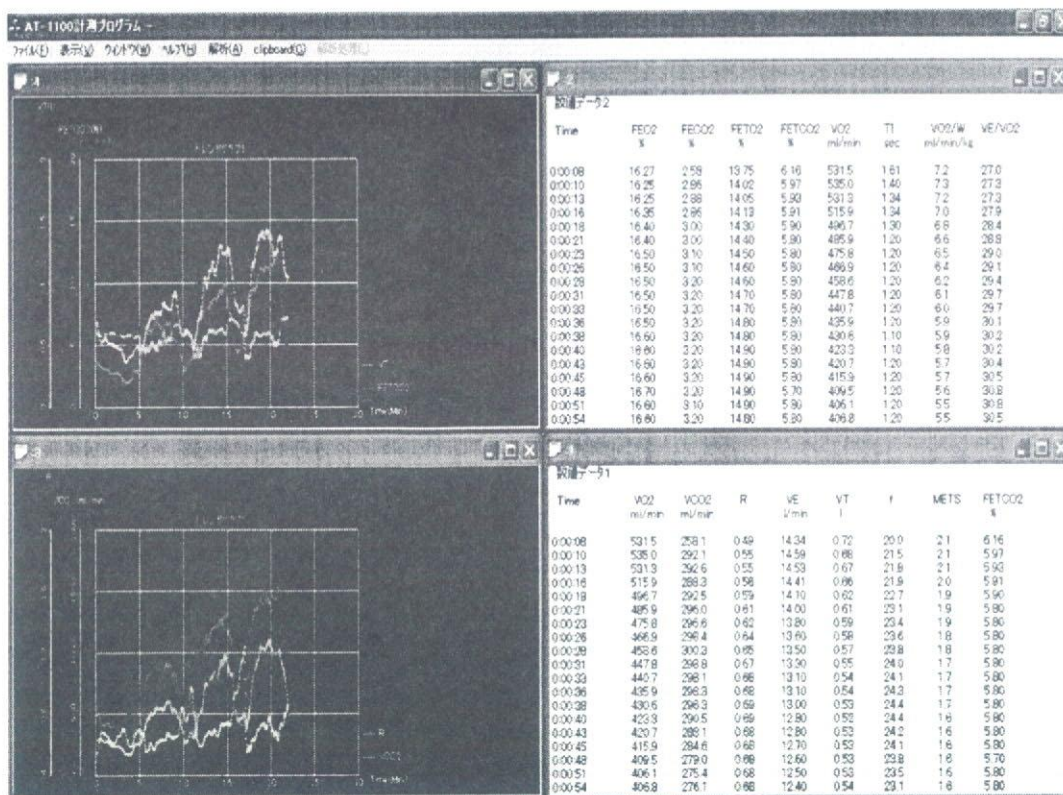


図4 水中歩行中に常時モニタリングされたデータ (エアロソニックAT-1100 (アニマ社))

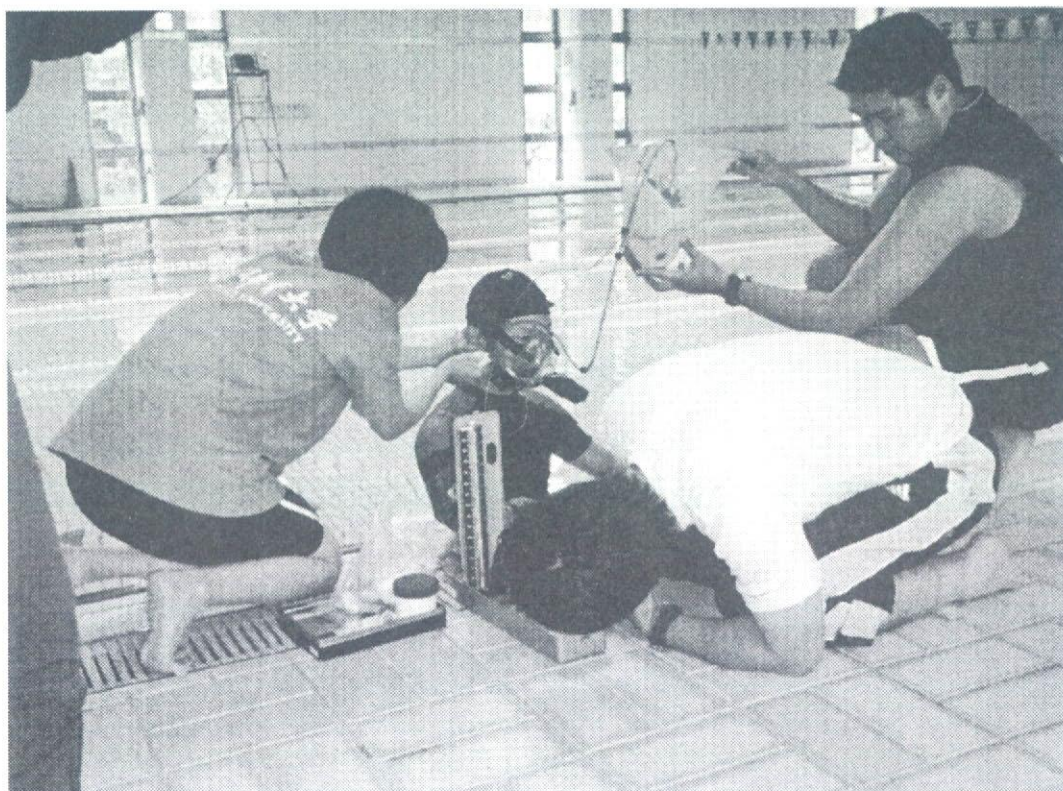


図5 休憩中の乳酸、血圧の測定の様子

表2 歩行方向と主観的運動強度による各測定項目の平均値（繰り返しのある二元配置分散分析）

測定項目	歩行方向	主観的運動強度 (RPE)			p値 (二元配置分散分析)		
		11「楽である」	13「ややきつい」	15「きつい」	歩行方向	運動強度	方向×強度
酸素摂取量 (ml/分)	前方	709.4 ± 221.3	1016.7 ± 279.8	1386.6 ± 341.8	p=0.612	p=0.000 ***	p=0.726
	側方	660.1 ± 174.9	982.9 ± 217.3	1302.9 ± 259.3			
体重あたり 酸素摂取量 (ml/分/kg)	前方	10.2 ± 2.8	14.7 ± 3.8	20.2 ± 5.6	p=0.600	p=0.000 ***	p=0.733
	側方	9.5 ± 2.3	14.2 ± 3.1	18.9 ± 3.9			
心拍数 (拍)	前方	85.3 ± 14.2	101.9 ± 17.4	126.0 ± 28.3	p=0.739	p=0.000 ***	p=0.577
	側方	85.2 ± 14.5	106.5 ± 18.5	130.2 ± 24.2			
収縮期血圧 (mmHg)	前方	130.6 ± 14.5	138.4 ± 19.2	152.8 ± 29.5	p=0.561	p=0.000 ***	p=0.739
	側方	132.8 ± 12.1	145.6 ± 18.1	158.9 ± 28.3			
拡張期血圧 (mmHg)	前方	73.4 ± 5.1	72.0 ± 7.5	69.4 ± 6.3	p=0.885	p=0.062	p=0.968
	側方	73.1 ± 6.2	71.2 ± 6.9	69.4 ± 9.1			
乳酸 (mmol/l)	前方	0.9 ± 0.3	1.1 ± 0.3	2.1 ± 1.2	p=0.019 *	p=0.014 *	p=0.109
	側方	1.1 ± 0.3	1.8 ± 0.7	3.4 ± 2.7			
15m歩行時間 (秒)	前方	32.3 ± 8.3	24.4 ± 4.4	21.2 ± 3.0	p=0.098	p=0.000 ***	p=0.023 *
	側方	42.0 ± 13.2	27.1 ± 5.0	22.7 ± 3.0			
15m歩数 (歩)	前方	23.0 ± 5.7	17.8 ± 2.0	17.4 ± 2.2	p=0.010 **	p=0.000 ***	p=0.800
	側方	19.2 ± 5.2	15.3 ± 2.6	14.0 ± 1.3			

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001