

原 著：秋田大学医短紀要 7：59-63, 1999.

大転子水位における浮力の影響を除去した歩行時の呼吸循環反応
—浮力除去歩行の効果に関する基礎的研究—

榎 山 日出樹* 佐 竹 将 宏* 大 澤 諭樹彦*
若 山 佐 一* 進 藤 伸 一* 阪 井 康 友**
玉 木 彰***

Cardiorespiratory Response at Walking to Remove the Effect of Buoyancy
at the Greater Trochanter Water-Level.

Hideki MOMIYAMA* Masahiro SATAKE* Yukihiro OSAWA*
Saichi WAKAYAMA* Shinichi SHINDO* Yasutomo SAKAI**
Akira TAMAKI***

[緒 言]

理学療法における筋機能回復を目的とした運動療法の一つとして、筋力及び持久力訓練が挙げられる。筋力及び持久力訓練を実施するにあたって、最大の効果を得るためには適切な運動負荷が必要であり、これまで種々の検討がなされている。理学療法領域における水中歩行訓練は、水中での物理的作用の一つである浮力を利用して免荷時の早期歩行訓練や水の粘性抵抗を利用した筋力増強訓練、温熱作用を用いた疼痛緩和・リラクゼーションなどを目的に行われている。

岩崎¹⁾らは、水中歩行において、換気性作業閾値に着目して比較検討したところ、水中歩

行時の胸部水位と腰部水位では、胸部水位において、換気性作業閾値が低値を示すことを報告している。これは、腹部浸水により腹腔内臓器が静水圧により加圧され、肺気量が減少することで水中における嫌気性代謝閾値に影響を及ぼしたことが考えられる。

また、GinaBravo²⁾らは、水中歩行を77人の閉経後の女性(50~70才)に対して、1回60分を週3回、ウエスト水位で行った。1年後に、筋力、持久力、柔軟性、精神的健康面において再評価したところ、有意に改善を示したが、脊椎の骨塩量は低下した事を報告している。つまり、水中での運動は、下肢筋機能回復、及び全身持久力向上に有効ではあるが、骨塩量への影

秋田大学医療技術短期大学部

*理学療法学科

**茨城県立医療大学保健医療学部 理学療法学科

***大阪府立看護大学 医療技術短期大学部理学療法学科

Key Words：水中歩行，大転子水位，

酸素摂取量，浮力除去歩行

響からすると必ずしも効果的なものとは言いきれないといえる。

先行研究の結果を踏まえ、水中歩行を行う際の水位は、腹腔内臓器に対して静水圧の影響が最も少ないと考えられる大腿骨外側上端の大転子部までとした。また、我々は、重力環境において歩行する人間は、水中歩行においても陸上に近似した抗重力筋活動を伴いながら筋力・持久力訓練を実施することが望ましいと考えている。つまり、体幹部に浮力分の重錘を荷重して歩行することが、下肢の抗重力筋活動を促し、より効果的な筋力・持久力訓練になると考えた。

今回の研究目的は、今までの水中運動療法においては検討されていない、大転子水位において浮力分の重錘を荷重し、浮力の影響を除いた歩行（以下、浮力除去歩行）時の呼吸循環反応及びその有用性について検討することである。

[研究方法]

1. 被験者

対象は、呼吸器疾患の既往歴のない健常な男子学生5名とし、年齢は、 20 ± 0.8 才 (mean \pm SD), 身長 173 ± 1.9 cm, 体重 69 ± 3.6 kgであった。

2. 測定方法

1) 浮力分の荷重量測定

浮力の測定は、一定の水が満水された浴槽に被験者が大転子まで浸り、浴槽から溢れ出た水の重さをバネ秤にて計測し浮力分の荷重量とし

た。大転子水位における浮力分の荷重量は、自重の約30%に値し、平均20.1kgの重錘を荷重した。(Table 1)

2) 歩行条件

大転子水位における歩行時の呼吸循環反応を比較するために、陸上歩行 (walking of land), 水中歩行 (walking of water immersion) 及び浮力除去歩行 (walking of buoyancy removal) を比較した。歩行様式として統一した条件は、任意の歩行速度である時速2.16kmにて4分間、3mの距離の往復歩行とした。浮力除去歩行時において溢れ出た水の重さ分の重錘を腰背部及び腹部にマジックバンドで固定し、重錘は、水に浸らないように設定した。水中及び浮力除去歩行は、水温36度、室温24~26度、湿度50~60%、水深87cmの環境下において行った。

3) 測定項目

陸上、水中、浮力除去歩行時の呼吸循環反応は、AE-280S (ミナト医科学社製) 及びML5000 (フクダ電子社製) を用いて、安静時から歩行終了後まで連続して測定した。測定項目は、体重当たり酸素摂取量 ($\dot{V}O_2/W$), 酸素脈 ($\dot{V}O_2/HR$), 分時換気量 ($\dot{V}E$), 呼吸数 (RR; Respiration Rate), 心拍数 (HR; Heart Rate), ダブルプロダクト (DP: Double Product) とし、各歩行条件下において歩行中定常状態になったことを確認し、3分半から4分の間に得られた3秒毎データの平均値を採用した。酸素脈は、分時酸素摂取量を心拍数で除して求

Table 1. Results of measurement under each walking condition.(mean \pm SD, n=5)

	walking of land	walking of water immersion	walking of buoyancy removal
$\dot{V}O_2/W$ (ml/kg/min)	8.5 ± 1.6	12.2 ± 3.6	15.1 ± 5.0
O ₂ -pulse(ml/kg/min/beats)	7.1 ± 1.4	9.1 ± 1.3	9.8 ± 1.2
VE(l/min)	19.6 ± 3.6	24.5 ± 8.0	29.2 ± 7.8
RR(n/min)	19.9 ± 4.3	23.7 ± 5.4	28.3 ± 5.1
HR(beats/min)	82.6 ± 7.3	90.6 ± 10.4	104.5 ± 18.2
SBP(mmHg)	134.8 ± 16.9	140.0 ± 5.2	157.0 ± 12.7
DP($\times 100$)	107.9 ± 12.1	124.1 ± 14.7	167.2 ± 30.1
Weight of load (kg)	—	—	20.1 ± 2.3

$\dot{V}O_2/W$; oxygen intake, O₂-pulse; oxygen pulse, VE; expired air, RR; respiration rate, HR; heart rate,

SBP; systolic blood pressure, DP; double product, Weight of load; The weight corresponding to the buoyant force.

められ、1回拍出量と動静脈酸素含量較差の積で示される。また、ダブルプロダクトは、収縮期血圧と心拍数の積で表され心筋酸素消費量の指標となる。

歩行中の心拍数、血圧の値は、ML5000からAE280Sに取り込み、統計処理は、一元配置分散分析法により5%未満を有意水準とした。

[結 果]

各歩行条件における呼吸循環反応の測定結果を表1に示す。(Table 1) 体重当たり酸素摂取量は、陸上歩行 $8.5 \pm 1.6 \text{ ml/kg/min}$ 、水中歩行 $12.2 \pm 3.6 \text{ ml/kg/min}$ 、浮力除去歩行 $15.1 \pm 5 \text{ ml/kg/min}$ で、浮力除去歩行は、陸上歩行に比べ有意 ($p < 0.05$) に高値を示した。(Fig

1) 運動時代謝を安静時代謝で除して求められる基礎代謝エネルギー消費量 (Metabolic equivalent; Met) に換算すると浮力除去歩行は、時速2.16kmで約4.3Metsに相当した。浮力除去歩行は、基礎代謝エネルギー消費量に換算して、陸上歩行の約1.8倍、水中歩行の約1.2倍の値を示した。

酸素脈は、陸上歩行で $7.1 \pm 1.4 \text{ ml/kg/min/}$ beats、水中歩行では、 $9.1 \pm 1.3 \text{ ml/kg/min/}$ beats、浮力除去歩行は、 $9.8 \pm 1.2 \text{ ml/kg/min/}$ beatsであった。陸上歩行と水中歩行間、及び陸上歩行と浮力除去歩行間において有意差 ($p < 0.05$) を認めた。(Fig 2) 心拍数は、陸上歩行で $82.6 \pm 7.3 \text{ beats/min}$ 、水中歩行が $90.6 \pm 10.4 \text{ beats/min}$ 、浮力除去歩行が $104.5 \pm$

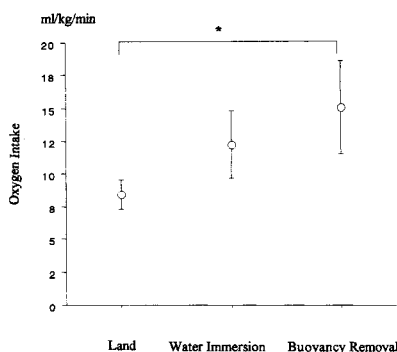


Fig.1 Changes of Oxygen Intake during Walking (mean \pm SD, n=5, * $p < 0.05$)

Land; Walking of land, Water Immersion; Walking of water immersion, Buoyancy Removal; Walking of buoyancy removal.

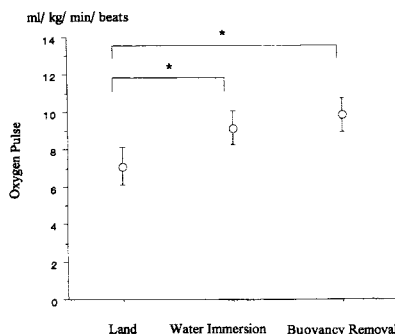


Fig.2 Changes of Oxygen Pulse during Walking (mean \pm SD, n=5, * $p < 0.05$)

Land; Walking of land, Water Immersion; Walking of water immersion, Buoyancy Removal; Walking of buoyancy removal.

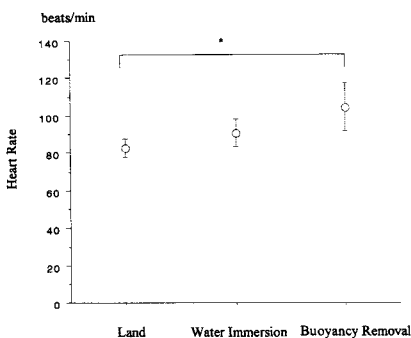


Fig.3 Changes of Heart Rate during Walking (mean \pm SD, n=5, * $p < 0.05$)

Land; Walking of land, Water Immersion; Walking of water immersion, Buoyancy Removal; Walking of buoyancy removal.

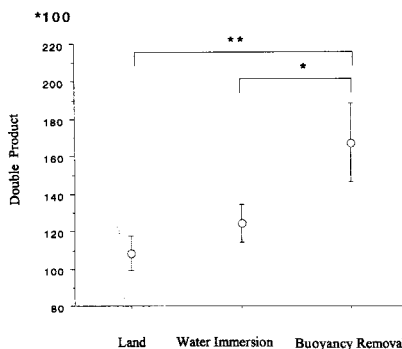


Fig.4 Changes of Double Product during Walking (mean \pm SD, n=5, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

Land; Walking of land, Water Immersion; Walking of water immersion, Buoyancy Removal; Walking of buoyancy removal.

18.2beats/minであった。浮力除去歩行が陸上歩行と比べ有意 ($p < 0.05$) に増加を示した。

(Fig 3)

また、ダブルプロダクトにおいては、陸上歩行が 107.9 ± 12.1 、水中歩行で 124.1 ± 14.7 、浮力除去歩行が 167.2 ± 30.1 であった。浮力除去歩行が陸上及び水中歩行に比して有意

($p < 0.05$) に高い値を示した。(Fig 4)

[考 察]

1. 浮力除去歩行時の $\dot{V}O_2/W$

陸上に近似した抗重力筋活動を伴った水中歩行の試みとして、浮力分の重錘を荷重した浮力除去歩行時の吸循環反応を測定した。

浮力除去歩行が、陸上歩行の1.8倍に相当することは、時速2.16kmの大転子水位歩行において、水の粘性抵抗による物理的作用が、体重当たり酸素摂取量の増加として表されていると考える。同様に、浮力除去歩行が、水中歩行の1.2倍に相当することは、浮力分の物理的作用が体重当たり酸素摂取量に反映されている。

(Table 2)

我々は、下肢にて自重を支持した閉鎖的運動連鎖の条件下において運動学習及び筋力・全身持久力訓練の必要性を重視している。中山³⁾は、身体に対して水の粘性抵抗は、ゆっくりとした歩行スピードで速さに比例し、早い歩行速度では速さの2乗及び推進投影面積に比例すると述べている。つまり、筋力が高値の者ほど水中において歩行スピードは増加することから、水から受ける粘性抵抗が増加する。等速性運動機器から得られる抵抗が、個人の筋力に対応し

た抵抗として供与されるという点において類似している。

また、浮力除去歩行を運動力学的に分析すると、立脚期においては、重錘を荷重した事で閉鎖的運動連鎖を理論的にみだしてはいるが、遊脚期では、通常の水歩行時と同様に浮力作用により振り出し時に要する筋活動が軽減することが考えられる。

2. 他の呼吸循環パラメーター

Fickの式 ($\dot{V}O_2 = \text{心拍出量} \times \text{動静脈酸素較差}$) を基に酸素脈の有意な変化から水中及び浮力除去歩行時の酸素摂取量の応答特性を検討した。つまり、水中歩行は、陸上歩行に比較し体重当たり酸素摂取量が不変で、酸素脈が有意に増加し心拍数が不変であることから一回心拍出量の増大による反応が考えられた。また、浮力除去歩行は、水中歩行に比べ酸素摂取量が高く、酸素脈と心拍数も有意に増加していることから主に心拍数の増加によって酸素供給がなされ、動静脈酸素較差の増大も関与していると推察される。

一回心拍出量に影響を及ぼす静水圧は、我々の基礎的実験⁴⁾において、統計学的に大転子水位までの静止時立位においては循環系に影響を及ぼさないことを確認している。しかし、水中歩行時における動的な水中運動では、厳密に末梢循環における動水圧及び静水圧の静脈環流への影響と筋収縮時のミルキングアクションによる静脈環流の影響を区別することは困難である。水位の違いによって水の物理的作用が変化する事から、今回得られた呼吸循環反応は、大転子水位固有のものとして捉えるべきであると考えられる。

Table 2. Physical action under the each walking condition of the water.

	walking of land	walking of water immersion	walking of buoyancy removal
Buoyancy	-	+	-
Viscosity	-	+	+

3. 浮力除去歩行の有用性

浮力除去歩行は、水中歩行の約1.2倍の酸素摂取量であったことから段階的な運動負荷の位置づけが可能であった。また、閉鎖的運動連鎖により、陸上歩行時と近似した重力環境下により、筋力・持久力増強効果が期待できる。

浮力除去歩行時のダブルプロダクトは、水中歩行に比して有意に高値を示したことから、呼吸循環器疾患の既往がないことが望ましいものとする。また、腰腹部より上部に浮力分の重錘を荷重することから、胸腰椎部以下の関節および骨格に構築学的問題が存在しないことが適用条件になると考えられる。

今回新しく試みた浮力除去歩行は、静水圧による運動能力への影響を抑えた大転子水位で実施し、浮力分の重錘を荷重することで浸水下の下肢筋に対して陸上に近似した重力環境をもたらし、水中歩行を長期間実施した際に危惧される骨塩量に対しても有効な機械的刺激⁵⁾になりうることを期待できるものとする。

今後は、水中歩行時における筋電図も含めた検討と歩行速度の影響を明確にし、浮力除去歩行の有用性についてさらに詳細な検討をしたいと考える。

[まとめ]

1. 大転子水位における浮力相当分の重錘を荷重した水中歩行時の呼吸循環反応を測定しその有用性を検討した。
2. $\dot{V}O_2/W$ は、浮力除去歩行、水中歩行、陸上歩行の順に高く、浮力除去歩行と陸上歩行間において有意に ($p < 0.05$) 高値を示した。
3. 浮力除去歩行は、立脚期において陸上と近似した抗重力活動を伴い水の粘性抵抗を受けて

$\dot{V}O_2/W$ が増加したと考えられた。

4. 浮力除去歩行において、ダブルプロダクトが、他の歩行様式と比較し有意に高値を示したことから、対象者を限定した運動処方必要性が示唆された。

引用文献

- 1) 岩崎 直美, 濱田 豊, 白井 克佳, 他 : 陸上運動と水中運動における呼吸・循環応答の比較, 体力科学, 46(6), pp901. 1997.
- 2) Gina Bravo, Pierre Gauthier, Pierre-Michel Roy, et al: A Weight-Bearing, Water-Based Exercise Program for Osteopenic Women: Its Impact on Bone, Functional Fitness, and Well-Being, Arch Phys Med Rehabil, vol78, pp1375-1381. 1998.
- 3) 中山 彰一: 骨・関節疾患の水中訓練, 理学療法, 4(4), pp279-285. 1987.
- 4) 靱山 日出樹, 佐竹 将宏, 若山 佐一, 他: 水深の違いが静止立位時の循環系に及ぼす影響, 秋田大学医療技術短期大学部紀要, 6(2), pp175-178. 1998.
- 5) 寺山 和雄 編: 標準整形外科学第3版 pp9, 医学書院

参考文献

- 1) 谷口 興一 編: 心肺運動負荷テストー呼吸ガス分析による心肺疾患の新しい見方ー, 南江堂 1993.
- 2) 中村 隆一: 臨床運動学第2版, 医歯薬出版株式会社 1990.