

水中運動の筋電図学的研究

—水中歩行と陸上歩行及び水中トレーニング機器の開発について—

唐 鋒

(保健体育専修)

I. 序論

歩くことは賢者のスポーツといわれている。歩行は人間の一番素朴で単純な運動であるが、これは体の筋肉の 60—70%を動かし、すべての臓器組織の血流をさかんにし、廃用性萎縮を防ぐために最も理想的な方法だと言える。また、歩行は呼吸循環器系の能力（体力）を向上させるばかりでなく、肥満症、高血圧症、脂質代謝及び糖代謝異常ならびに虚血性心疾患に対する予防あるいは治療効果があり、さらには死亡率も減少させる可能性をもっている。歩行はすべての人にとって、健康の保持と長寿のための、最も安価な最も効果的な方法なのである。

水中では浮力の作用により体重負荷が大きく軽減し、抗重力筋の緊張を取り除くので中高齢者、腰や膝などに障害をもつ者に対する安全な運動として適している。水は空気に比べるとはるか熱を伝えやすいので、体温よりも低い水温では陸上より水中の方が多くエネルギーを消費することになる。水の中で息を吸う時に胸郭を広げる動作が水圧に逆らって行われ、呼吸筋の強化につながり、呼吸機能を改善する効果が大きいである。水の抵抗に逆らって運動することによって、下肢筋を中心とした種々な筋に穏やかな刺激を与えることができる。このことは水中運動の大きな特徴となっている。

水中での運動は、水の待つ利点によって、陸上では得られない多様な身体機能への効果がもたらされる。したがって、健康の維持・増進のための運動として、水中運動に取り組む人々が増えてきている。水中運動の中でも水中歩行は、水泳のような特殊な技術を必要としないので、初めて水中運動に取り組む人々にとって、容易に実施できる有酸素運動となる。水中歩行時の生理学的特徴については、呼吸・循環応答、体温調節反応およびエネルギー代謝の面から検討した報告が主であり、水中歩行時の筋活動について検討した報告は少ない。その上、水中後方歩行時の筋活動様式およびパターンを客観的に評価した研究はほとんど存在しない。また、現在水の物理的特性を利用して、適切な水中有酸素性筋トレーニングのための機器の開発が望まれている。

そこで、本研究においては水中歩行運動（前方と後方）と陸上歩行運動（前方と後方）の体幹および下肢筋活動の相違を比較し、水中歩行の筋生理学的特徴を検討し、水中での運動処方やりハビリテーション等に役立てるための基礎的資料を得ることと、開発した水中歩行筋トレーニング装置（水中歩行抵抗板）の負荷調節機構の有効性を検証することを目的とした。

II. 方法

被験者は茨城大学教育研究科男子大学院生 1 名であり、被験筋はすべて左側の前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋内側頭、大腿直筋、外側広筋、ハムストリング（以下 BF と略す）および脊柱起立筋の 7 筋であった。電極を貼る前に剃刀で左脚の体毛をしっかりと剃った。生体信号モニタ用皮膚前処理剤（日本光電株式会社製）にて十分処理した後、双極誘導するため表面電極を各筋腹に中心間距離 3cm で添付した。二つ電極間の抵抗は 20kΩ を越えない範囲で測定したうえで防水処理した。表面電極は銀一塩化銀粘着ディスクタイプ（NT-215U 小型生体電極）であった。筋電図信号はテレメーターによる生体電気用増幅器（日本光電株式会社製）を介し送信し、受信機は 2R-550H（日本光電株式会社製）であり、受信された筋電図信号はマルチテレメータシステム（日本光電株式会社製 WEB-5500）で、デジタル化した。データの処理はパソコンコンピュータ（CL-500H）であった。フットスイッチセンサーを測定側足底部（踵）に添付、筋電図信号とフットスイッチ信号は同期させてパソコンコンピュータに取り込んだ。筋電図、フットスイッチセンサーとも 2 kHz のサンプリング周波数でデジタル化した。水温のコントロールが可能な実験プールは水深 1.1m、長さ 50m、幅 17m であった。

歩行中の筋活動量を測定する種類は測定環境（陸上歩行、水中歩行）、負荷強度（自由歩行、努力性歩行）、歩行方向（前方歩行、後方歩行）により、組み合わせた。筋活動を定量化するために、原波形信号を全波整流する必要があり、筋電図原波形の絶対値を得て、積分処理を行った。その 1 秒当たりの筋電図積分値を得て比較をした。

III. 結果

水中歩行および陸上歩行を問わず、前方歩行において主に下肢後面筋（ヒラメ筋、腓腹筋内側頭、BF）が働いていた、後方歩行において主に下肢前面筋（前脛骨筋、大腿直筋、外側広筋）が働いている傾向があった。水中歩行の脊柱起立筋は前方歩行の筋活動量は全体筋活動量の 20% 前後を占め、後方歩行の筋活動量は全体筋活動量の 10% ほどしか占めていなかった。前方歩行の脊柱起立筋活動量は、かなり大きいことが明らかになった。水中歩行において、下腿の筋活動量は大腿の筋活動量より大きいことがわかった。これは陸上歩行と同じ結果がであった。前方歩行、後方歩行を問わず、努力性歩行は自由歩行より筋放電量が有意に大きかった。また、陸上歩行時の筋放電量は、すべての条件下での水中歩行時と比較して有意に大きかった。原因是水の浮力作用による体重減少で、同じ動きの条件下で水中の方が筋肉にかかる負担が小さくなつたと判断できた。

水中歩行抵抗板を装着した水中歩行において、前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋および BF の筋放電量は、抵抗板が大きくなるとともに上昇していることが明らかになった。この水中筋トレーニング装置（水中歩行抵抗板）はこの 4 箇所の筋に対して負荷増となりトレーニング効果が期待できる。逆に腓腹筋内側頭の筋放電量は抵抗板が大きくなるとともに減少していた。外側広筋についてはあまり影響がないことがわかった。

IV. 考察

今回、水中歩行(前方、後方)と陸上歩行(前方、後方)中の前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋内側頭、大腿直筋、外側広筋、BF および脊柱起立筋の筋放電量を測定した。諸家の報告と同様、歩行速度および運動強度の増加により下肢筋の筋活動量は増加した。また、水中歩行のすべての筋放電量は陸上歩行より小さいことが明らかになった。

水中歩行時の減少した筋活動は、水の物理的特性である浮力の影響に起因すると考えられた。このことから、水中歩行は、水温による効果に加え、浮力の影響によって、術後患者および高齢者などのような、骨・関節にかかるメカニカルストレスに耐えることが困難な集団に対するリハビリテーションおよびレクリエーション運動として理想的な運動様式であることが示唆された。

水中歩行での脊柱起立筋は、陸上歩行と同様活発に活動しており、水中歩行の負荷は陸上より軽いという一般通念は、身体部位によっては妥当でないと言えるかもしれない。今回の実験水深は 1.1m でしか行わなかったが、水深が肩までとなる場合は脊柱起立筋活動が陸上歩行以上に活動することが推定できる。原因は水抵抗に抗して脊柱の姿勢を維持するためと考えられる。さらに水中後方歩行は、脊柱起立筋や前脛骨筋、外側広筋に対する「選択的トレーニング」という意義づけが可能であり、中高年者に対する難しい技術習得を強いることなく、腰痛や転倒予防への効果が期待される。

水中歩行抵抗板を装着し、抵抗板の大きさを変化させ、水中前方歩行の前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋内側頭、大腿直筋、外側広筋、BF および脊柱起立筋の筋放電量を測定した。前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋および BF の筋放電量は抵抗板が大きくなるとともに上昇していることが明らかになったが、このことはこの 4 箇所の筋肉に対してトレーニングであることを可能と証明した。

本装置は、肥満者や高齢者および低体力者、あるいは健康増進を目的とする健常者に対しても様々な運動処方やトレーニング、手術後のリハビリテーションなどへ活用が期待できるものと推察される。また、これまで水中運動の問題であった高価な設備の必要性や、維持管理費、一定の負荷条件設定の困難さなどが解決できる。本装置は、軽量でコンパクトに作製されているため可搬性があり、しかも安価である。今後、水中での運動処方やリハビリテーションへの利用および本装置を基礎として更に効用がある水中トレーニング機器の開発が大いに期待できる。

V. 参考文献

1. 野村 武男・菅野 篤子 (2003. 3) 水中運動の実践—施設、設備、運動プログラム— 臨床スポーツ医学 : Vol. 20, No. 3 P271-280
2. 米国保健福祉省公衆衛生局疾病予防センター・国立産業安全保健研究所 監訳 濑尾 明彦・小木 和孝 (2004) 表面筋電図の人間工学応用 労働科学研究所出版部
3. 大野 寺昇・宮地 元彦・矢野 博己・宮川 健 (1998. 2) 水の物理的特性と水中運動 バイオメカニクス研究 P33-38
4. 小田 伸午 (1998. 2) 走動作の分析と総合 バイオメカニクス研究 P56-62