

<研究論文(査読有り)>

水中レジスタンス運動の基本動作における下肢の筋活動水準 —陸上での実施時との比較—

Muscle activity level of the leg during basic movements of water resistance exercise
— Comparison between in water and on land exercises —

嶋田 卓¹⁾ 沢井 史穂²⁾
Taku SHIMADA, Shiho SAWAI

Abstract

[Aims] The water resistance exercise (WRE) is a muscle strength training performed using the viscous resistance of water. However, which muscle gets activated and the activity level during WRE remain unclear. The purpose of this study was to compare the muscular activity level of the leg when performing basic movements of WRE in water and on land, and thus, investigate the characteristics of muscular activity during WRE. [Methods] Subjects were 8 female aqua-exercise instructors. Electromyography (EMG) data of the leg (total 6 muscles) when performing the basic 3 movements of WRE [leg extension (LE), leg curl (LC) and hip adduction (HA)] in water and on land using the same tempo, were collected using a waterproof-type telemetric electromyograph. The EMG data in each movement was normalized by the EMG data at the maximal voluntary contraction of each muscle, and the muscular activity level (%EMGmax) was evaluated. [Results and Discussion] In water, while the activity level of the agonist in HA reached 30%EMGmax, the agonist of LE and LC were at approximately 20%EMGmax. It was considered that the subjects of the underwater resistance motion exercise targeted in this study did not reach the load strength enough to expect the muscle strength improvement effect. In addition, in the operation with one leg standing, the level of muscle activity of the thighs to maintain the posture was higher than the muscle as the training object. Even with the same motion and tempo, different muscle activity was observed between underwater receiving viscous resistance of water and land on which gravity load is applied.

Keywords: water resistance exercise electromyography muscular activity level

I. 緒言

水中運動は、古代エジプトやローマ時代に負傷した戦士やリウマチ患者がリハビリのため理学療法として水中で体操を行ったことが始まりといわれている。それが、フィットネスのための水中運動となったのは、1960年にアメリカの元海軍体育教官のシドネイ・シャピロが肥満傾向の中高年者を対象にプールの壁を利用し垂直姿勢で運動を指導したことが始まりである。1970年代に入り、アメリカにおいて水中運動の様々な効果がみられたことから、日本にも紹介されるようになり、広く普及するようになった³⁾。

現在では、水中の浮力による関節や靭帯への負荷軽減²⁾、水圧による血液循環の促進、心肺機能の向上等が期待できる¹⁴⁾ことから、健康や体力の維持増進、中高年者や低体力者、肥満者に対する健康増進のための手段^{6,13,12)}、さらには、スポーツ障害に対するリハビリトレーニング等⁵⁾に利用されている。

水中運動の普及に伴い、生理学的・力学的研究も行われるようになってきた。例えば、陸上歩行より水中歩行の方が股関節にかかる圧縮方向の負荷が顕著に小さいにもかかわらず、被験者が発揮する関節トルクは大きく、筋力を長時間発揮することから、関節に負担をかけずに関節周りの筋肉を鍛えることができること¹⁾、水中での歩行は陸上と比べ、大腿四頭筋と前脛骨筋の筋活動が大きく活動していること^{15,16)}、水中歩行時では陸上で受けている重力負荷から解放されるた

¹⁾ 日本女子体育大学 (助手)

²⁾ 日本女子体育大学 (教授)

めに、陸上での歩容とは大きく異なること¹⁰⁾、などが報告されている。しかしながら、これらの研究報告はもっぱら水中歩行に関するものであり、水中レジスタンス運動について検討した研究は乏しい。水中レジスタンス運動は、身体を動かす際に生じる水の抵抗を利用した筋力トレーニングであり、特定の筋群に負荷をかける運動形式で、筋力・筋持久力向上だけでなく、体幹支持筋群（コアマッスル）の強化に役立ちバランス能力向上にも有効であると言われている³⁾。しかしながら、水中でのレジスタンス運動時にどの部位の筋がどの程度の活動水準に達しているのか、どのような筋活動の様子を示すのかについては十分明らかにされていない。そのため指導者は、経験的に運動プログラムを組み立て、指導しているのが現状である。したがって、水中レジスタンス運動時の筋活動水準を明らかにすることは、効果的な水中レジスタンス運動プログラムを作成するための有益な基礎資料となるといえる。さらに、水中運動の指導者は動きの示範を陸上（プールサイド）で示すことが要求されるため、同じ動作を水中と陸上で行った場合の身体各部の筋の使われ方の違いを比較することにより、指導者に対し、陸上で水中運動を再現するときに使われる筋群を意識した動きのポイントと注意点を示すことができ、指導者のスキルアップにもつながると考えられる。

そこで、本研究では代表的な水中レジスタンス運動を水中と陸上においてそれぞれ同一テンポで実施した時の下肢の筋活動水準を比較検討することを目的とした。

Ⅱ. 方法

1 被験者

被験者は、水中運動の実演・指導能力の高い女性インストラクター8名（年齢：43.0±7.8歳、身長：160.6±4.8cm、体重：55.5±7.0kg、水中運動指導歴：17.1±10.4年）であった。本研究を行うに当たり、被験者には測定趣旨、内容ならびに危険性について説明を行い、書面にて参加への同意を得た。なお、本研究は日本女子体育大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号2016-20）。

2 実験環境

水中での運動は可動床式屋内プール（水温：約30℃、室温：26.4±2.0℃、湿度：79.4±6.6%）にて実施した。水位は、一般的に水中運動の際に使われている水位（剣状突起水位）になるよう、被験者個々の身長に合わせて調整した。陸上での動作はプールサイドにて行った。

3 対象動作

対象動作は、水中での下肢のレジスタンス運動の代表的な種目であるレッグエクステンション（Leg Extension:LE）、レッグカール（Leg Curl:LC）、ヒップアダクション（Hip Adduction:HA）の3種目（図1）

とした。レッグエクステンション（Leg Extension:LE）とレッグカール（Leg Curl:LC）に関しては、片方の脚のみが運動脚となるため、運動脚になる場合と支持脚になる場合の両条件で実施した。各動作は電子メトロノームの音に合わせ、20回/分のテンポで行い、動作が安定したところから連続15回以上実施した。各被験者は、測定前に十分なウォーミングアップと対象動作の練習を行った。

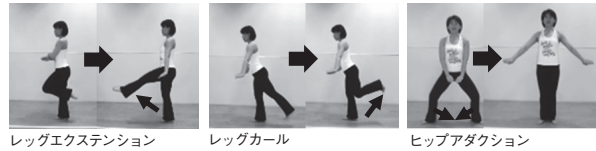


図1.対象動作（3種類）

3-1. レッグエクステンション（Leg Extension:LE）

片脚で立ち、反対の脚の膝を曲げた状態から、すねで水を押しながら膝を伸ばす（膝伸展）。このとき両手で水を押さえて姿勢を維持する³⁾。大腿前面の筋（大腿四頭筋）がトレーニング対象となる。

3-2. レッグカール（Leg Curl:LC）

片脚で立ち、反対の脚を伸ばしたままやや後方に引く。膝の位置は変えずにかかとを臀部の方へ上げる（膝屈曲）。両手で水を押さえて姿勢を維持する³⁾。運動脚は、一動作ごとに地面につける。トレーニング対象となる筋は、ハムストリングである。

3-3. ヒップアダクション（Hip Adduction:HA）

両脚を横に大きく足を開いたところから、一気に脚を閉じる動作。このとき姿勢を維持するため、両手で水を押さえて姿勢を維持する³⁾。トレーニング対象となる筋は股関節内転筋群である。

4. 筋電図の計測と解析

防水型テレメーター式筋電計（DL-510 S&ME 社製）を用いて、各動作遂行時の下肢の筋群の表面筋電図（EMG）を導出した。被験筋は、右脚の大内転筋、中殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋、腓腹筋外側頭、前脛骨筋とした。電極は図2に示すような、25×12×37mm、電極間隔20mm、11gの小型送信機に内蔵されている。受信機に送られたEMGデータはパソコンに転送され、専用ソフトを用いて解析処理を行えるようになっている。各動作は、15回以上行いそのうちの連続10回分を分析対象とした。分析区間の開始と終了は、各動作1回ごとのスタート時点に入れたマーカーにより決定した。しかしながら、マーカーのスイッチは手動であるため、分析区間の時間は動作ごとに多少のずれが生じる。そこで、各動作のEMG生データを全波整流し、計測時間で積分した後、単位時間当たりの平均積分値（mEMG）を算出した。そして、mEMGの値を各筋ごとに計測した最大随意筋力（MVC）発揮中の筋電図積分値（EMGmax）により正規化（%EMGmax）することで、各動作における筋活動水準を評価した。

さらに、各動作の主働筋に関して、EMG分析区間

全体における活動水準の変動範囲と水準別出現頻度をみるため、各動作中のEMGを全波整流した後、0.1秒ごとに平均値を求め、同じくMVC発揮中のEMGについても0.1秒ごとに平均したときのピーク値で除すことによって正規化し、活動水準(%EMGmax)別の出現率(分析区間に占める割合)を調べた。

EMGmaxの測定は、各筋に対して徒手抵抗によって2～3回ずつ(5秒程度)全力発揮を行わせ、筋放電量が高かった試行の値を採用した。徒手抵抗のかけ方は、沢井ら¹¹⁾の手法に倣い実施した。

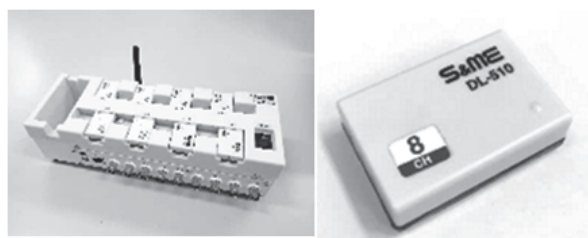


図2. 防水型テレメータ式筋電系 (DL-500, S&ME社製)
左: 受信機 右: 筋電センサ (送信機)

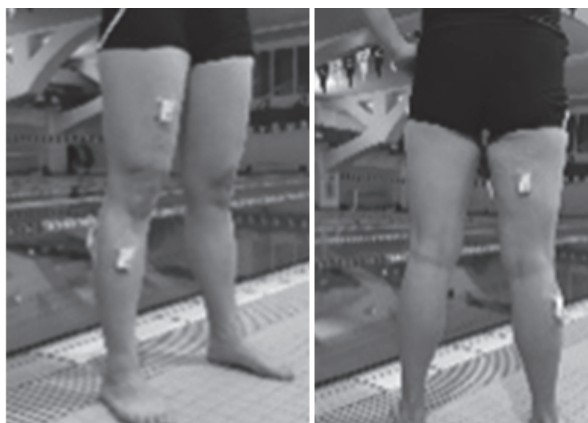


図3. 電極装着時

5. 統計処理

水中と陸上、運動脚と支持脚における筋活動水準の平均値の比較には、対応のあるt検定を用いた。また、各筋間の活動水準の比較にはTukeyの多重比較を用いた。いずれの場合も有意水準は危険率5%未満とした。

Ⅲ. 結果

図4に、水中及び陸上でのLE実施時(4周期分)の運動脚における大腿直筋の放電パターン(全波整流)と、支持脚における中殿筋と腓腹筋の放電パターンの

大腿直筋

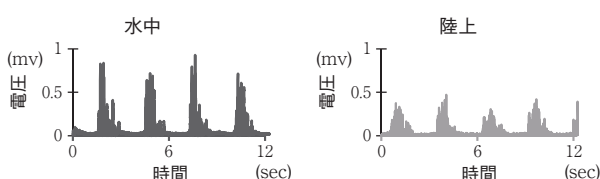


図4-1.LE(運動脚)における大腿直筋の筋放電パターン(例)

中殿筋

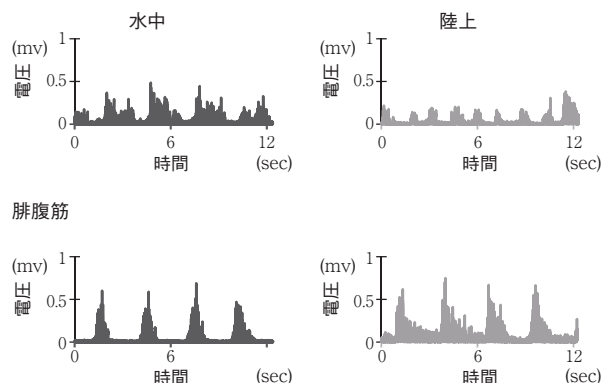


図4-2.LE(支持脚)における中殿筋(上图)
および(下图)筋放電パターン(例)

例を示した。運動脚では陸上よりも水中の方が大腿直筋の放電量が多い様子が、支持脚では中殿筋は水中の方が、腓腹筋は陸上の方が放電量が多い様子が観察される。

それぞれの動作の主動筋の活動水準を陸上と水中で比較したところ、LE(運動脚)では、大腿直筋の筋活動水準が陸上で13%EMGmax程度であるのに対し、水中では20%EMGmaxであり、陸上よりも水中の方が有意に高値を示した(図5A)。一方、LC(運動脚)では、主動筋である大腿二頭筋の活動水準は陸上、水中ともに20%EMGmax程度で、有意差は認められなかった(図5C)。また、大内転筋の活動水準の方が水中(38%EMGmax)、陸上(37%EMGmax)ともに大腿二頭筋より有意に高かった。HAの主動筋である大内転筋の筋活動水準は、陸上、水中ともに同程度(30%EMGmax程度)であり、有意な差は認められなかった(図5E)。

主動筋以外の筋についてみると、すべての動作において陸上よりも水中の方が中殿筋の筋活動水準が有意に高値を示した(図5)。さらに、水中での中殿筋の筋活動水準はLEとLCの主動筋よりも有意に高かった(LEでは28%EMGmax, LCでは29%EMGmax, 図5A, C)。また、陸上では、地面に接する脚(LEとLCの支持脚, HA)において、腓腹筋の筋活動水準が水中よりも高値を示した(LEでは25%EMGmax, LCでは23%EMGmax, HAでは18%EMGmax(図5B, D, E))。

次に、LE及びLCの運動脚と支持脚における各筋の平均活動水準(%EMGmax)を比較したものを図6に示す。支持脚よりも運動脚の方が有意に高い活動水準を示す筋が多かったが、LEに関しては、水中と陸上の中殿筋と陸上の下腿の筋(前脛骨筋と腓腹筋)において運動脚よりも支持脚の方が有意に高い筋活動水準を示した(図6A, B)。

さらに、各動作の分析区間内における主動筋の活動水準別度数分布を図7に示した。縦軸は時間を表すが、動作によって分析区間の時間が若干異なるため、縦軸は分析区間全体の時間に占める割合を示した。LEの

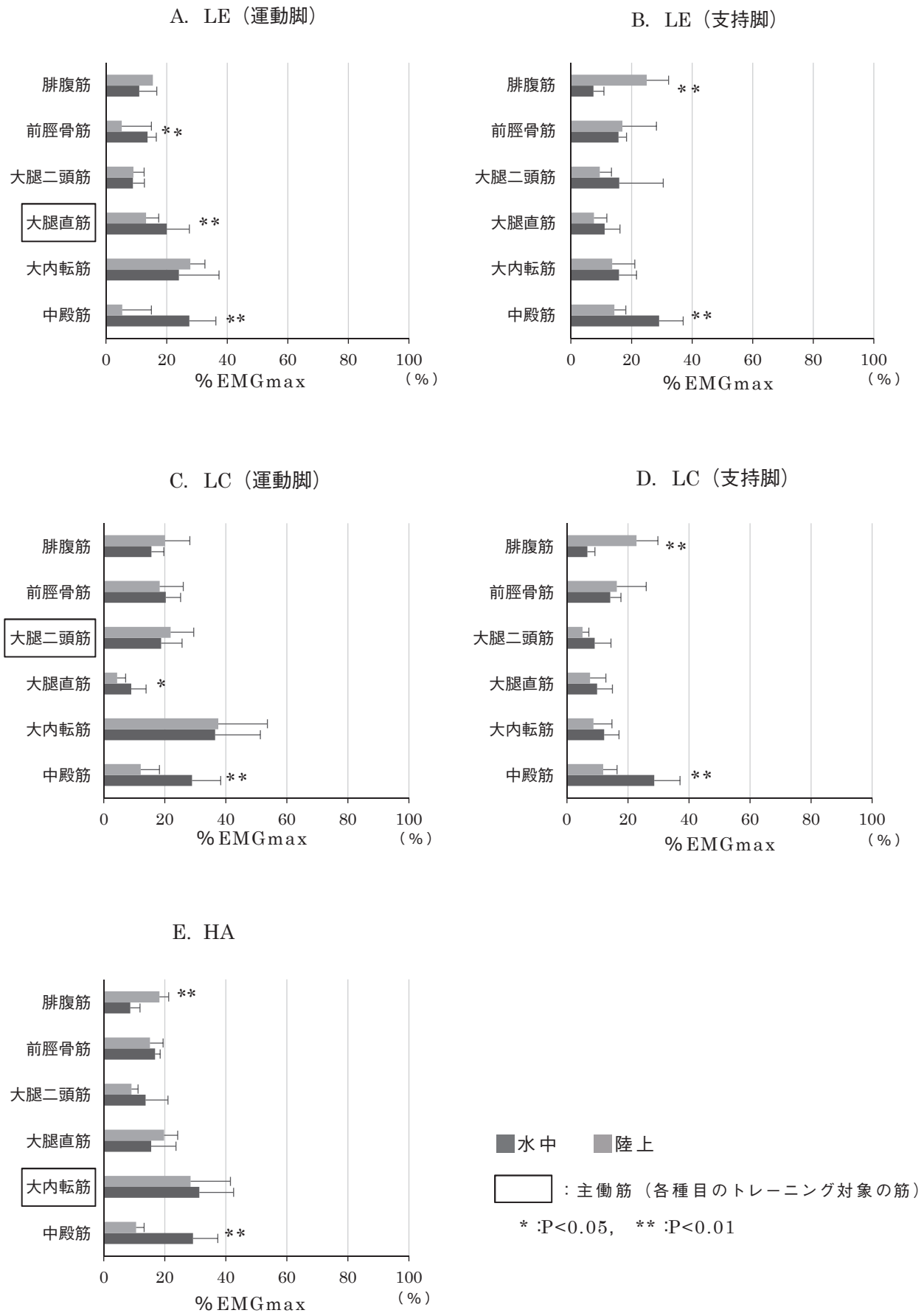


図5. LEの運動脚と支持脚, LCの運動脚と支持脚, HAそれぞれの水中と陸上での各筋の筋活動水準(% EMGmax)の比較

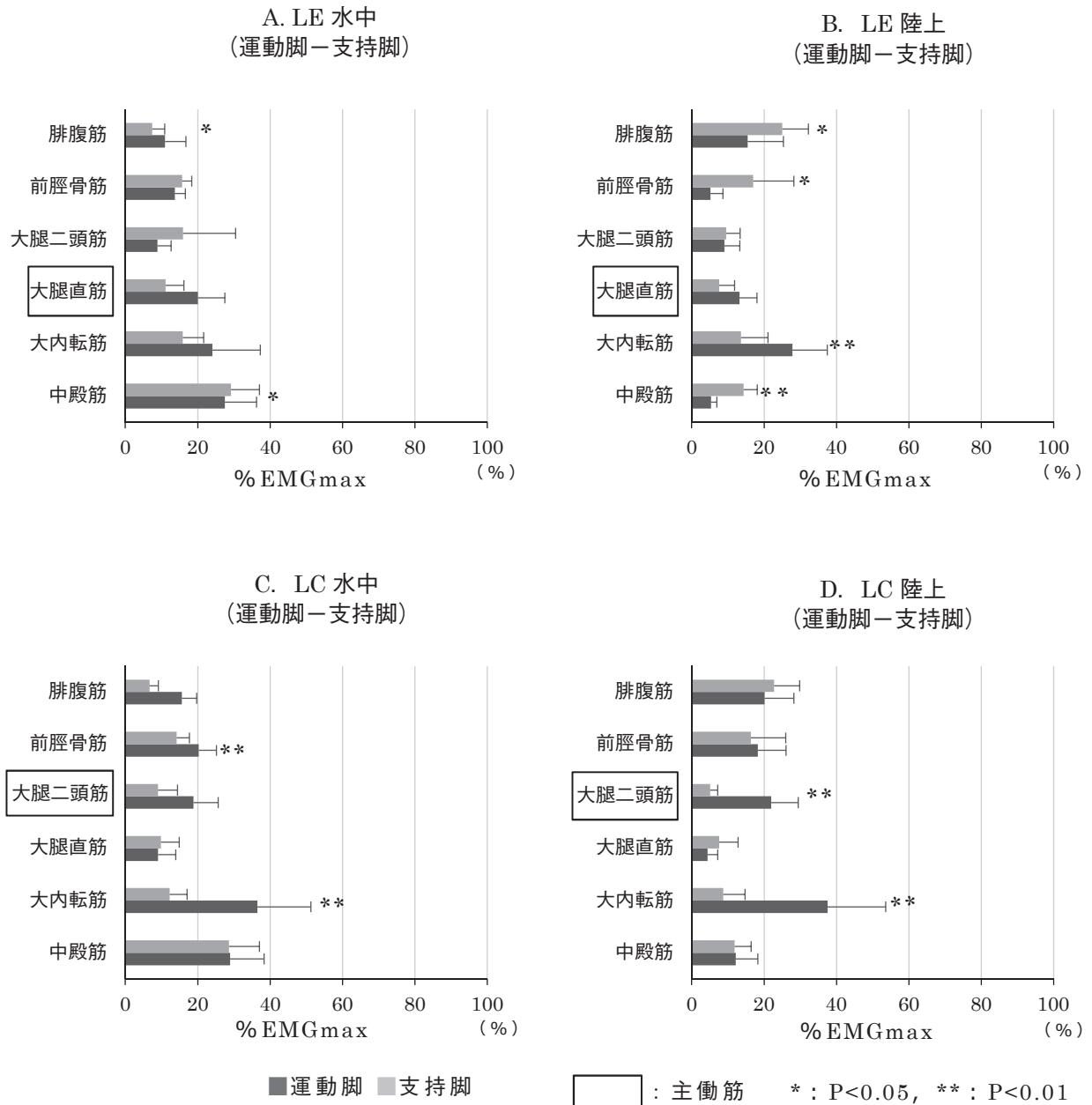


図6. LE, LCの運動脚と支持脚の筋活動水準 (% EMGmax) の比較

大腿直筋の活動水準をみると、水中・陸上とも40%EMGmax を超える時間はほとんどなく、5%以下の非常に低い活動水準を示した時間の割合は陸上の方が多かった。LCの大腿二頭筋の活動についても同様に、水中、陸上とも低い水準を示す時間の割合が多かったが、10%以下の水準は陸上より水中の方が多かった。HAにおいては、水中、陸上ともに主働筋の活動水準の分布に大きな差は認められず、水中、陸上ともに5～10%水準を示す時間の割合が最も多かった。

IV. 考察

本研究により、LE, LC, HAそれぞれの動作を水中

と陸上で実施した時の主働筋の活動水準が明らかとなった。LEの大腿直筋の活動水準は、陸上で13% EMGmax 程度であったのに対し、水中では20% EMGmax であり、水中の方が有意に高値を示したことから、LE 動作を陸上で行ったときにかかる下腿の重量負荷よりも水中で膝を伸展させたときに受ける水の抵抗の方が大きいと考えられた。一方、LCでは水中と陸上とで大腿二頭筋の活動水準はともに20% EMGmax 程度で有意差が認められなかった。このことは、LC動作を陸上で行ったときと水中で行ったときの大腿二頭筋にかかる負荷は同等であったことを示している。同様に、HAの主働筋においても、陸上と水中での活動水準はおよそ30%EMGmaxで差が認め

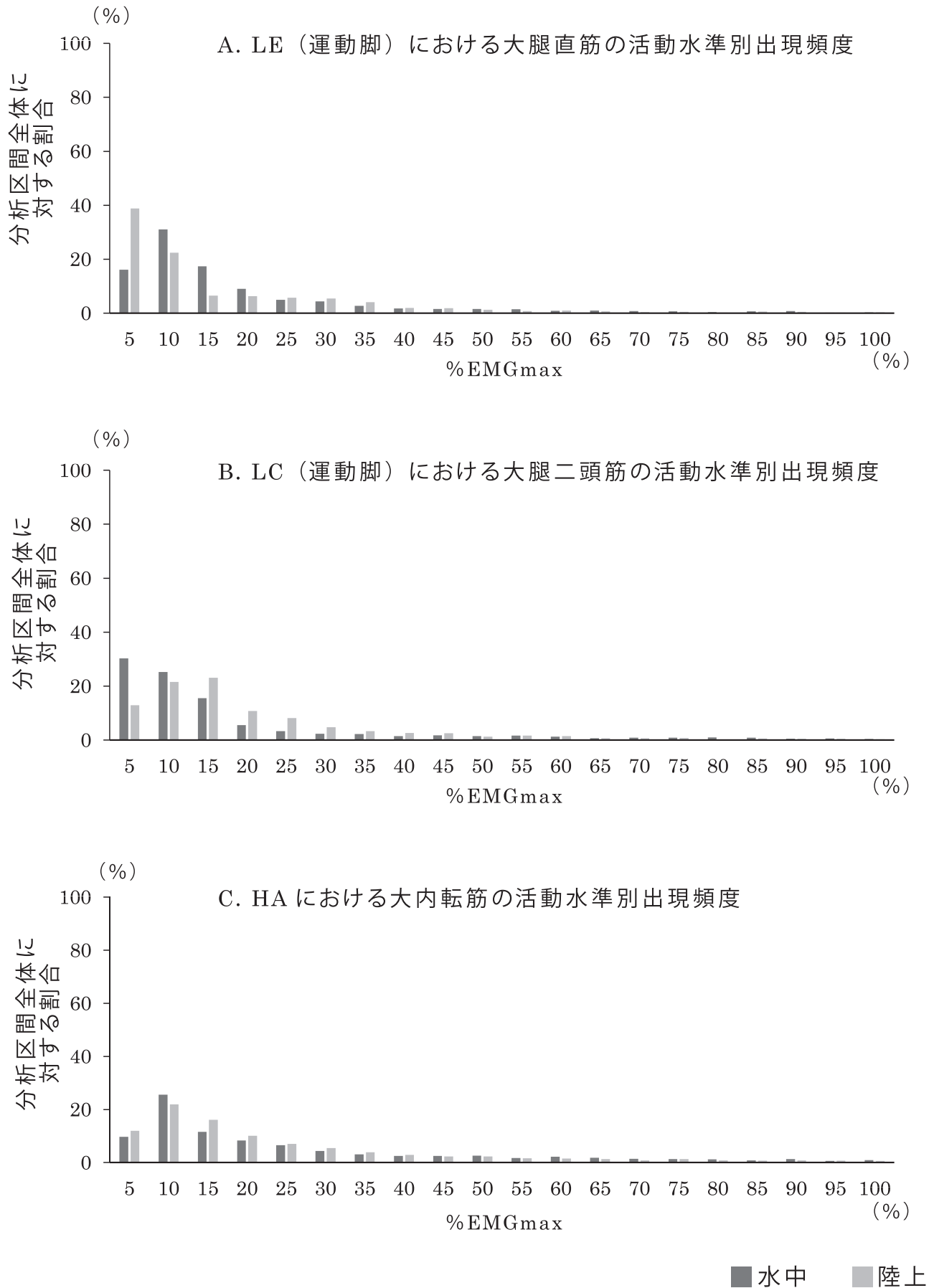


図7. 分析区間全体における対象動作の主働筋の活動水準別出現頻度
縦軸は時間を表すが、動作によって分析区間の時間が異なるため、
縦軸は分析区間全体の時間に占める割合（水中と陸上それぞれの平均値）を示した。

られなかったため、陸上と水中で主働筋にかかる負荷強度には差がないと考えられた。

しかしながら、筋力を向上させるには40%MVC 以上の負荷強度によるトレーニングが必要であるという Hettinger⁴⁾ の指摘を踏まえると、本研究で対象とした水中レジスタンス運動では、HAの主働筋の活動のみ筋力の維持効果が期待できる水準(30%)を示したものの、LEとLCの主働筋の活動水準は20%EMGmax以下であったことから、筋力の維持向上効果をもたらす負荷強度には達していないと考えられた。但し、本研究の被験者は運動指導歴の長いインストラクターであり、ある程度強い下肢筋力の保持者であったと推測されるため、筋力の弱い高齢者や運動習慣の乏しい人が同じ動作を行った場合には、より高い筋活動水準に達する可能性があるだろう。

主働筋以外の特徴的な活動として、すべての動作において陸上よりも水中の方が中殿筋の活動水準が有意に高値を示し、水中でのLEとLCではそれぞれの主働筋より中殿筋(LCでは大内転筋も)の活動水準の方が高かったことが挙げられる。これは、浮力の影響で姿勢保持が不安定な水中環境では、姿勢制御のために股関節内・外転筋の活動が亢進するためと考えられる。また、陸上では、地面に接する脚(LEとLCの支持脚、HA)において、腓腹筋の活動水準が水中よりも高値を示した。井上ら⁷⁾の研究でも、前進歩行において水中よりも陸上の方が腓腹筋の活動水準が高かったことを報告している。重力の働く陸上では、床を踏みしめて体重を支える必要があるため、抗重力筋である腓腹筋の活動が促進されるのだろう。このことから、陸上で水中運動を実演して見せる指導者は、腓腹筋の負担が水中より増すことに留意する必要があると考えられる。

運動脚と支持脚における筋活動水準の比較から、LEでは、水中・陸上における中殿筋と陸上における下腿の筋(前脛骨筋と腓腹筋)の活動水準が運動脚よりも支持脚において高い値を示すことがわかった。LEは3動作の中で最も不安定な姿勢であるため、陸上でも水中でもバランスをとるために支持脚の中殿筋の活動が促進され、さらに陸上では片脚で体重を支持しなくてはならないために下腿の筋活動が亢進すると考えられた。

さらに、単位時間当たりの平均筋活動水準だけではわからない対象動作それぞれの主働筋の活動の特徴をみるために、分析区間全体(動作10回分)を通じての活動水準別出現頻度を調べたところ、いずれの筋も水中・陸上ともに40%EMGmaxを超える時間はほとんどなく、本研究の対象動作中の主働筋の活動水準は動作全体を通して低いことが確認された。

V. まとめ

本研究では、水中レジスタンス運動を水中と陸上においてそれぞれ同一テンポで実施した時の下肢の筋活動水準を比較検討した。その結果、同じ動作とテンポ

であっても、水の抵抗を受ける水中と重力負荷のかかる陸上とでは、異なる筋活動が認められた。水中でのHAの主働筋の活動水準は30%EMGmaxに達していたが、LEとLCの主働筋の活動水準は20%EMGmax程度と低かった。また、片脚立ちで行う動作では、主働筋よりも姿勢を保持するための筋の活動水準が高かったことから、姿勢保持のために働く大腿側部の筋のトレーニング効果の方が期待できると考えられた。

今後は、水中運動の指導現場で行われているより多くの種類の動作についてデータを収集し、水中環境における運動の特性を明らかにしていくことが課題である。

引用・参考文献

1. 秋山啓子, 中島求, 三好扶(2010)水中ウォーキングにおける力学的身体負荷のシミュレーション解析(機械力学,計測,自動制御). 日本機械学会論文集(C編). 76(763):673-681.
2. Asahina M, Asahina MK, Yamanaka Y, Mitsui K, Kitahara A, Murata A(2010) Cardiovascular response during aquatic exercise in patients with osteoarthritis. Am J Phys Med Rehabil. 89(9):731-735.
3. 深代泰子(編著), 田中千晶(著)(2014)AQWBI・AQWI・AQDBI・AQDIのためのアクアエクササイズ指導理論. 公益財団法人日本フィットネス協会.
4. Hettinger, T.h(狗飼道夫, 松井秀治 訳)(1961)アイソメトリックトレーニング. 大修館書店, 東京, 112.
5. 平田圭, 吉本隆哉, 山本正嘉(2016)陸上競技長距離走選手が3ヶ月間にわたる下肢の故障期間に自転車および水中運動を用いて行った「積極的リハビリテーショントレーニング」の成功事例. スポーツパフォーマンス研究, 8:100-116.
6. 堀田息, 出原博嗣, 大柿哲朗, 金谷庄藏(1993)高齢低体力者に対する水中での運動療法. 健康科学, 15:57-61.
7. 井上夏香, 内藤健二, 中澤公孝, 福林徹(2010)水中と陸上運動時における下肢筋群の筋活動量. 日本臨床スポーツ医学会誌, 18(1):91-99.
8. 金田晃一, 木村文律, 秋本崇之, 河野一郎(2004)水中及び陸上運動時の下肢筋群における筋活動とその違い. 体力科学, 53(1):141-148.
9. 三好扶, 中澤公孝, 赤居正美(2005)水中歩行のバイオメカニクス. リハビリテーション医学, 42:138-147.
10. Newman DJ, Alexander HL, Webbon BW(1994) Energetics and mechanics for partial gravity locomotion. Aviat Space Environ Med, 65(9):815-823.
11. 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, 福永哲夫(2004)日常生活動作における身体各部位の

筋活動水準の評価：姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について. 体力科学, 53 (1) :93-105.

12. 重松良祐, 田中喜代次, 太島秀武, 三村寛一 (1996) 肥満女性に対する運動処方種目としての水中運動の有用性. 体力科学, 45 (1) :179-187.
13. 須藤明治, 角田直也, 井尻幸成, 八木良訓 (2003) 高齢・低筋力者における水中運動の効果. 国土舘大学体育研究所報, 21:65-73.
14. Tsourlou T, Benik A, Dipla K, Zafeiridis A, Kellis S (2006) The effects of a twenty-four-week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. J Strength Cond Res, 20 (4) :811-818.
15. 渡辺一志, 宮側敏明, 藤本繁夫 (1995) 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.
16. 山本紳一郎, 中澤公孝, 矢野英雄 (1995) 水中歩行のバイオメカニクス特性. 第14回バイオメカニズムシンポジウム, 8:69-75.