

2008年度 修士論文

水中と陸上運動時における下肢筋群の筋活動量

The muscle activity of lower extremities during
exercise in water and on land

早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5007A006-9

井上 夏香

Inoue, Natsuka

研究指導教員： 福林 徹 教授

水中と陸上運動時における下肢筋群の筋活動量

The muscle activity of lower extremities during exercise in water and on land

スポーツ医科学研究領域

5007A006-9 井上 夏香

研究指導教員 福林 徹 教授

第1章 緒言

近年、我が国において水中運動は広く行われるようになってきた。水中運動は水中の特性である浮力、抵抗、水圧、温度を利用して各個人の目的に合わせた運動が実施可能である。水中において、生理学的研究や歩行に関する研究は数多く行われているが、水深間や速度の違い、歩行以外の水中運動を筋電図学的観点や運動力学的観点から研究したものは少ないのが現状である。

第2章 水中と陸上の比較

【目的】 水中には浮力が存在するため陸上とは異なり免荷状態で運動が実施可能である一方、空中よりも粘性抵抗が高く四肢の運動に大きな抵抗を伴う。そのため、水中と陸上との環境の違いだけで運動動作中における筋活動への影響は大きいと考えられる。そこで、本章では、水中と陸上の環境の違いが各種の運動時の筋活動に及ぼす影響を検討することを目的とした。

【方法】 健康成人男性 6 名を対象として実験を行った。水中における測定には、水深、温度調節可能な実験用プールを用いた。水温は不感温度帯である 34℃とし、水深は各被験者の臍部とした。実験用プールの外壁は一面がガラス張りになっており、その外から小型 CCD カメラで動作を撮影した。一方、陸上における測定は、赤外線カメラ 8 台からなる 3 次元動作解析システム (Motion analysis 社製) が設置された実験室で行った。実験試技は、前進歩行 (Forward Walk: FW)、後進歩行 (Backward Walk: BW)、ジャンプ (Jump: JP)、片足スイング (Swing: SW)、ランジ (Lunge : LU)、スクワット (Squat: SQ) の 6 種類とした。各動作中に、大腿直筋 (RF)、前脛骨筋 (TA)、大殿筋 (GM)、大腿二頭筋長頭 (BF)、内側腓腹筋 (MG)、ヒラメ筋 (SOL) の計 6 筋の右側から双極表面筋電図法により筋活動を計測した。水中における筋電図計測には防水処理を施した皿型電極を使用し、陸上での計測にはディスク電極を使用した。水中での筋電図は、シンクロナイザ (LED 型シンクロナイザ、株式会社ディケイエイチ) を用いてビデオ画像と同期さ

せ、陸上では 3 次元動作解析システムと同期させた。導出された筋電図は AD 変換器 (PowerLab, AD Instruments, Japan) を介してコンピューターに取り込み解析を行った。得られた筋電図波形から全波整流波形処理および 50msec の移動平均平滑化 (Average Rectified Value: ARV) を行ったうえで、最大随意収縮時の筋活動量で標準化し %MVC を算出した。遊脚期、立脚期 (屈曲相、伸展相)、1 周期における %MVC の平均値を average %MVC として比較対照に用いた。統計処理は、水中と陸上における運動時間および筋ごとの水中と陸上の比較に関して、対応のある t 検定を行った。尚、有意水準は 5% 未満とした。

【結果】 水中と陸上において、それぞれ被験者に各運動を至適速度で行った結果、遊脚期 (屈曲相)、立脚期 (伸展相)、1 周期すべてにおいて水中では陸上よりも運動時間が有意に延長した。全体的には陸上よりも水中の方が低い筋活動を示す傾向が見られ、特に JP, LU では、ほぼすべての筋において陸上よりも水中のほうが小さな筋活動を示した。しかし、有意な差は認められなかったものの、FW, BW, SW, SQ において一部の筋では陸上よりも水中のほうが大きな筋活動を示した。

【考察】 水中では浮力の影響で、下肢の大部分の筋で陸上よりも筋活動の要求が少ないと推測される。特に JP, LU, SQ のような上下の動作を含む運動では、水の抵抗よりも浮力が大きく作用したことから、陸上と比べて大きな筋活動を必要としなかった。そのため、これらの運動様式は関節の安定性向上や関節可動域訓練が実施可能な運動として有用であると示唆された。一方で、FW, BW, SW のような運動様式では免荷による影響もあるものの、進行方向への粘性抵抗に抗するために、RF や BF, TA の筋活動が陸上と同程度になったと考えられた。すなわち、これらの運動様式を用いれば、水中における水の抵抗を用いて水中下で抗重力筋以外の筋力トレーニングも実施可能なことが示唆された。

第3章 水中での条件の違いにおける比較

【目的】水中での運動負荷やそれに伴う筋活動の大きさは、浮力の大きさや運動方向に対する粘性抵抗の大きさなどによって大きく影響される。更にそれらの変数は運動様式や水深、運動速度などの条件の差異によって左右される。そのため各水中運動に適した条件を把握することは重要である。そこで、本章では実験Ⅰでは運動様式、実験Ⅱでは水深の違い、実験Ⅲでは運動速度の違いに、それぞれ着目し、それらの条件の違いが筋活動に及ぼす影響を検討することを目的とした。

【方法】健康成人男性 6 名を対象とした。実験用プールの設備、設定は水深以外は第 2 章と同様とした。実験Ⅰは水深を各被験者の剣状突起の高さとした。実験Ⅱ、Ⅲは水深を各被験者の腋窩、剣状突起、臍部の 3 条件とした。実験試技は、実験Ⅰは FW、BW、JP、SW の 4 試技、実験Ⅱは FW、BW、JP、SW、静止立位(ST)の 5 試技、実験Ⅲは FW、BW、SW の 3 試技とした。実験Ⅰ、Ⅱの各運動速度は、被験者の至適速度で行った。実験Ⅲの各運動速度は、被験者の至適速度と至適速度よりも速い速度の 2 条件で行った。筋電図、解析方法は第 2 章に準ずる。統計処理は、実験Ⅰは運動時間、運動様式の違いによる筋活動の比較に関して、一元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合には、Bonferroni による多重比較検定を行った。実験Ⅱは、各運動様式内の水深の違いにおける運動時間の比較に関して、一元配置分散分析を行った。また、運動様式ごとの水深の違いによる筋活動の比較に関して、二元配置分散分析（筋×水深条件）を行った。有意差が認められた場合には Bonferroni による多重比較検定を行った。実験Ⅲは、至適速度と速い速度の運動時間、同一水深での筋ごとにおける至適速度と速い速度の比較に関して、対応のある t 検定を行った。尚、有意水準は 5%未満とした。

【結果】実験Ⅰ.FW、BW、SW よりも JP のほうが RF、MG、SOL の筋活動が有意に大きかった。また、FW、BW よりも SW のほうが GM の筋活動が有意に大きかった。

実験Ⅱ.1)水深が浅くなるにつれ、FW と BW の運動時間が有意に減少した。2)FW では、水深が浅くなるにつれ、RF、SOL の筋活動が有意に増加した。3)JP では、水深が浅くなるにつれ、RF、TA、GM の筋活動が有意に増加した。4)ST では、水深が浅くなるにつれ、TA の筋活動が有意に減少し、SOL の筋活動は有意に増加した。5)BW、SW に関しては、水深の変化に対して、筋活動

に変化は見られなかった。

実験Ⅲ.1)FW では、各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した。特に、RF、MG、SOL の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した。2)BW では、各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した。特に、RF、SOL の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した。3)SW では、各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した。特に、RF、BF、MG の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した。

【考察】実験Ⅰにより、JP のような下肢への衝撃が大きい運動では、水中であっても特に荷重を支える下腿の筋活動が大きくなったと考えられる。また SW のように粘性抵抗を使う運動では近位部の筋活動が高まったと考えられ、水中での運動様式による筋活動特性の差があることが示唆された。実験Ⅱにより、水深を変化させることで免荷量が変わり多くの筋で筋活動量にも変化が見られた。しかし一方では、水深の変化により筋活動量の変化があまり見られなかった筋や運動様式も見られた。これらの特性としては主に粘性抵抗に抗するための筋活動が主となるものであったことから、水深の低下は下肢にかかる負荷の増大をもたらす一方で、前面からの粘性抵抗の減少を導き、それによって相殺されたと考えられた。そのため SW のような粘性抵抗のみを基盤とする運動では水深の影響を受けないことが示唆された。実験Ⅲでは、至適速度よりも速度が速いほうが筋活動量は全般的に大きかった。これは、速度の 2 乗に比例した粘性抵抗の増大によるものであろう。深い水深においては SW では進行方向からの体幹への前面抵抗の影響が無いため速度増加が容易である一方、BW、FW ではそれほど運動速度を上げることが出来なかった。しかし、特に推進力を産み出す筋では運動方向への粘性抵抗に打ち勝つ力が要されたため筋活動が増加したと考えられた。以上から、水中では移動を基盤とする運動に加え、粘性抵抗を用いた運動を取り入れ、運動速度をある程度速くすることが望ましいと考えられた。

第 4 章 結論

様々な様式の水中運動により、筋力トレーニングやリハビリテーションが実施可能な事が示唆された。

目次

第一章 緒言

1. 水中運動について 1
2. 水の特 性 1
3. 水中運動プログラムの実際 3
4. 水中運動に関する研究 5
5. 研究目的 6

第二章 水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響

1. 目的 8
2. 方法 9
3. 結果 17
4. 考察 50
5. 結論 53

第三章 水中運動が筋活動に及ぼす影響

I. 同一水深における運動様式が筋活動に及ぼす影響

II. 水深の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響

III. 水中運動時の速度の違いが筋活動に及ぼす影響

1. 目的 54
2. 方法 55
3. 結果 63
4. 考察 84
5. 結論 90

第四章 総合考察ならびに結語 92

参考文献 94

謝辞 97

第一章 緒言

1. 水中運動について

水中で運動をするという考え方は、ヨーロッパを中心としたアクアセラピー（水治療）に基づき、古代エジプトやローマの時代から始まったと言われている。それがフィットネスのための水中運動として始められたのは、1960年にアメリカ人のシドネイ・シャピロという元海軍の体育教官が、泳げない高齢者に垂直姿勢で運動を指導したことが最初である。1970年代に入って、アメリカ国内において中高年向けの運動として、その運動様式にさまざまな効果がみられるという実績が得られ、日本にも1980年代になって水中運動が紹介されるようになった。そして近年、我が国において水中運動は広く行われるようになった。水中運動は老若男女を問わず、スポーツ選手をはじめ、水泳愛好家、高齢者、肥満者や下肢に関節障害を有する者、リハビリテーションを必要とする者等が簡単に実施でき、各個人の体力に合わせた運動が実施可能である。

2. 水の特性

2-1. 浮力

浮力とは、身体が水中にある部分の体積（浸水部分）と等しい水の重さの分だけ、重力と反対方向に働く力のことを指す。各水深における荷重免荷の割合は、首では10%、剣状突起では30%、腹部では50~60%、恥骨部では80%、大腿部では90%、下腿部では100%となる（Fig. 1-1）[1]。

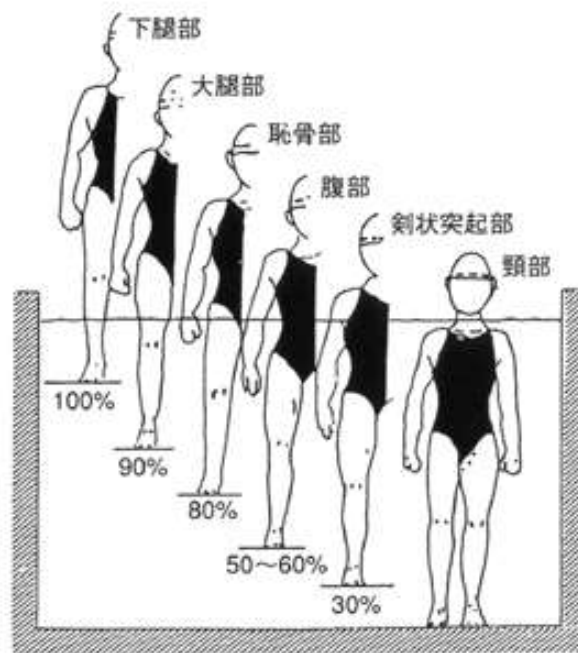


Fig. 1-1. The ratio of weight of the depth of water

2-2. 抵抗

水中で物体が移動する際、その移動方向とは逆向きの力の抵抗を受ける。水の密度は空気の 800 倍以上もあり、水中では同速度、同姿勢で動いても陸上の 12~15 倍の粘性抵抗を受ける。そして、一般に水の抵抗の大きさは移動する物体の速度の 2 乗に比例し、物体の形や大きさ、向きによっても変化する。同じ体積でも移動方向に向けた面積が大きいと抵抗は大きくなり、摩擦の大きな材質や表面積が大きい物も抵抗を受けやすくなる。つまり、個人の体力（動く速度）に応じて負荷を調節することが可能となる。

2-3. 水圧

空気中では 1 気圧の圧力を受けているが、水中では水深 1m につき 0.1 気圧の圧力を受ける。そのため、首まで水に浸かると胸はやや圧迫感を感じ、肺活量は大気中にいるときよりも 9% 減少する。水中での立位時には、上半身より下半身のほうが多くの水圧がかか

るので、静脈血が心臓に戻りやすくなる。これにより、心臓からの1回拍出量が増え、同一運動をしても陸上より水中では心拍数が10拍/分程度低くなる。

小野寺ら[2]の研究によれば陸上立位と水中立位での血圧の変化は、若者では陸上より水中のほうが低くなったが、中高齢者では陸上よりも水中のほうが高くなる傾向があると報告されている。その要因として加齢や動脈硬化とそれに関連した圧反射感受性の変化によると推測されており、高血圧症や生活習慣病を有する者に対しては注意が必要である。

2-4. 水温

水の伝導率は空気より5倍以上も高く、比熱も空気より1000倍以上高い。そのため、水に入っているだけで多くの熱が身体から奪われていく。そこで、熱損失を防ぐために皮膚血管の収縮が生じ、血液循環や代謝が活発になり、陸上にいるときよりも多くのエネルギーを消費する。人の体温は36～37℃であり、皮膚表面の温度は32℃前後である。人の身体は、水温との差によって冷たいと感じたり（冷感温度帯：31℃以下）、温かいと感じたり（温感温度帯：37℃以上）、どちらかわからない（不感温度帯：32～36℃）範囲がある。水中で安静状態にしてもふるえや筋緊張が生じないのは水温が32～36℃の不感温度帯であり、水中運動を行うには33℃前後が望ましいとされる。

3. 水中運動プログラムの実際

浮力や水圧、抵抗などの水の特性を利用して行う水中運動は、健康維持・増進、予防医学的な観点、リハビリテーション等の運動処方の一手段として実施可能である。幅広い年齢層や疾患に対してさまざまな水中運動プログラムが展開されている。水中運動プログラムの基本的な内容を Fig. 1-2 に示す。

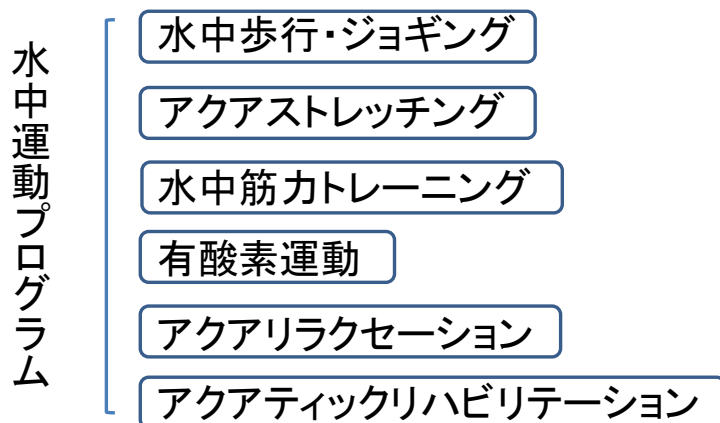


Fig. 1-2. Aquatic exercise program

水中歩行・ジョギングは持久力や柔軟性の向上、筋力の強化を目的に実施されている。水中歩行は、陸上と比べてより少ない関節への荷重負荷で、より大きな歩幅で安定した姿勢で実施可能である。そのため、変形性関節症を有する人の運動療法として実践されている。アクアストレッチングは、可動域の改善や柔軟性の向上を目的に実施されている。水中でストレッチを行うと、浮力の影響により抗重力筋がリラックスするため、陸上で行うよりも可動域の改善や柔軟性が獲得されやすく、痛みなどを感じにくい利点がある。水中筋力トレーニングは、動作速度を速くすることや水中運動器具等を用いて、抵抗を受ける表面積を大きくすることで筋力を強化することを目的とする。有酸素運動である水泳やアクアビクスは、全身持久力や体力の向上を目的としている。アクアリラクセーションは、水温、水圧により温熱効果が得られ、血行循環の促進、自律神経機能の賦活なども同時に起こり、リラクセーション効果が得られる。また、水中にすることで精神的なリラックス効果も得られる。アクアティックリハビリテーションは、早期リハビリテーションの一手段として用いることが可能である。水深の違いによる負荷の変化を利用して、半荷重状態での運動を水中で行い、下肢のスポーツ傷害からの競技復帰へ向けて、仕上げの前段階として活用可能である。また、傷害後の訓練早期で、動作が鈍い時期から水中抵抗を利用してトレーニングを行うことで、動きの改善に伴い水中運動のスピードは増し、負荷抵抗も

徐々に高まるので、自動的に負荷調整が可能となる。

これらのプログラム内容を対象者の個々の体力レベルや目的に応じて組み合わせることにより、効果的な水中運動プログラムが実行可能となる。

4. 水中運動に関する研究

水中運動において、歩行に関する研究は数多く行われている。生理学的観点から、水中と陸上における歩行において、同一心拍数であっても、水中歩行では酸素摂取量が高いなど呼吸循環系や代謝に関する報告は多くなされている[3-8]。一般に、同一速度における歩行では、陸上と比べて水中では、大腿部の筋群と前脛骨筋の筋活動が大きく増加することが知られている[3, 9, 10]。さらに、陸上では大腿直筋の活動が踵接地と足底接地で増加し、水中では踵接地前と足底接地で増加すると報告されている[11]。陸上と水中において床反力計を用いた研究では、床反力計垂直分力の加算平均波形パターンは、陸上では2峰性のカーブを描くのに対し、水中では1峰性のカーブを描き、平均力は陸上に比べ大きく減少し、床反力前後分力において陸上では立脚期の前半に後ろ向きに制動力が働くのに対し、水中では立脚期を通して制動力はなく、常に前向きの推進力が働いている。床反力左右分力では水中において立脚周期になるにつれて大きくなると報告されている[12-15]。また、水中歩行での下肢関節角度・関節モーメントを陸上と比較した研究では、下肢関節角度変化は水中・陸上歩行ともに同様なパターンを示し、股関節モーメントが陸上では伸展から屈曲へ推移するのに対し、水中歩行では立脚期を通じて伸展モーメントであること、過重負荷よりも歩行速度の増大に対して各モーメントのピーク値が顕著に増大したと報告している[16]。また、三好らは、水中歩行時における下腿三頭筋において、内側腓腹筋の筋活動の増大は水中歩行速度に大きく依存し、ヒラメ筋の筋活動の増大は荷重負荷および水中歩行速度の増大に依存して変化すると報告している[17, 18]。一方、水中トレッドミルを用いた研究では、大腿直筋と内側広筋の筋活動は水深の低下に伴い増加する傾向を示し、大腿二頭筋の筋活動は水深の低下とともに減少する傾向を示したと報告している[3]。しかし、

水中トレッドミルを用い、速度を変えた研究では、低速度において陸上に比べて水中では、大殿筋、内側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の筋活動は低く、中速においても前脛骨筋を除いて陸上よりもすべて低かったと報告されているものもある[6]。また、陸上と水中歩行、水中ランニングの速度を同じにして行った研究では、ヒラメ筋と腓腹筋の筋活動は水中歩行、水中ランニングよりも陸上のほうが大きく、大腿二頭筋に関しては陸上、水中歩行よりも水中ランニングのほうが大きくなると報告されている[19]。

一方で、水中運動が運動療法として実際にどのような効果があるかを報告している研究もある。変形性関節症患者に対して、水中運動を実施した研究では、大腿四頭筋の筋力増強や疼痛軽減、身体機能、精神状態の改善が見られたと示している[20-26]。また、リウマチ患者にも適用し、陸上で運動を行うよりもより良いと感じ、10m 歩行のタイムも向上したと報告されている[27]。水中において運動を実施することで筋力向上や体脂肪、LDL - コレステロール、総コレステロールの減少が見られたものや[28]、軽度の要介護認定者に対し、起居・移乗動作を含む水中運動を週 1 回と週 2 回群で 6 ヶ月間行った結果、両群とも起居・移乗動作の改善が見られ、QOL の向上に繋がっているものもある[29]。

水中運動において、水深間や速度の違いに着目した研究はまだまだ少なく、一致した見解が得られていない。また、運動療法として水中運動を実施する際は、歩行以外の運動も取り入れられている。しかし、歩行以外の水中運動を筋電図学的観点や運動力学的観点から研究したものは少ないのが現状である。

5. 研究目的

近年、我が国では健康維持・増進、リハビリテーションを目的とした水中運動が広く行われるようになってきた。陸上では全荷重が下肢にかかるが、水中では浮力の働きにより体重が軽減されるため、下肢にかかる負荷が減少する。そのため、肥満者や下肢に関節障害を有する人等の運動療法として用いられている。運動療法として用いられている水中運動の多くは歩行である。さらに、近年では歩行以外にも各個人の体力レベルや要介護認定

者の運動療法としてさまざまな運動が水中で実施されるようになってきた。しかし、水中と陸上の運動様式の比較や水中における歩行以外の運動がどの程度、筋活動が誘発されるかは明らかになっておらず、水中における適切な運動様式もまた、明らかになっていない。そこで、適度な筋活動を誘発する運動様式を確立する必要がある。

また、水深が異なることにより浮力の働きが異なるため、立位姿勢時に下肢にかかる負荷は増減することは分かっている。しかし、異なる水深間で同一運動を行った際に、浮力や水圧、抵抗が及ぼす影響は明らかになっていないことが多い。

そこで、本研究では水中と陸上における環境の違いや水中におけるさまざまな要因が筋活動に及ぼす影響を筋電図学的観点から検討し、水中における運動の有用性を検討することを目的とした。

第二章

水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響

1. 目的

水中には浮力が存在するため、陸上とは異なり、免荷状態で運動が実施可能である。そのため、肥満者や下肢に関節障害を有する人でも下肢に負担をかけることなく、運動を行うことが可能である。一方、陸上での運動は常に身体に重力がかかるため、肥満者や下肢に関節障害を有する人が立位で運動を実施するには危険性を伴う恐れがある。

水中と陸上において、環境が異なるだけで運動動作中における筋活動への影響は大きいと考えられる。しかし、水中と陸上の環境の違いからさまざまな運動様式を筋電図学的観点から行った研究は少なく、明らかになっていないことが多い。そこで、本研究では、水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響を検討し、水中における運動の有用性を検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象

健康な成人男性 6 名を対象とした (Table. 2-1).

Table 2-1. Characteristics of subjects

	age(year)	height(cm)	weight(kg)
average	23.0	171.4	68.8
SD	1.4	4.0	6.7

被験者には事前に実験の主旨を説明し、十分な理解を得た上で本研究の参加の同意を得た。また、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を得て行った。

2-2. 実験条件

水中における測定は、実験用プール（石川島播磨重工業株式会社製）を用いて行った (Fig. 2-1)。実験用プールの全体は、長さ 5820mm×幅 2460mm×高さ 2520mm であった。計測水槽室は、長さ 4000mm×幅 2000mm×高さ 2300mm、最大水深は 2200mm であり、最大水量は 17.6 m³であった。水深 1.0m には手すりがあり、中央には、水中床反力計（KISTLER 社製）が設置されている。また、この実験用プールは、濾過器操作盤により温度調節が可能であり (Fig. 2-2)、水位調整用操作盤により水位調節も可能である (Fig. 2-2)。

実験用プールの水温は不感温度帯である 34℃で行い、水深は各被験者の臍部とした。



Fig. 2-1. The pool of experiment



Fig. 2-2. Up : Filter

Down : Adjuster of the depth of water

陸上における測定は、赤外線カメラ Hawk Digital Camera (Motion analysis 社製) 8 台、中央には、床反力計 (KISTLER 社製) を用いて計測可能な屋内で行った (Fig. 2-3)。

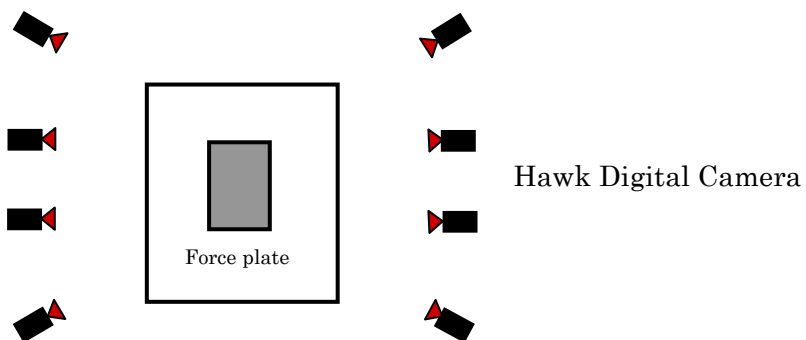


Fig. 2-3. Experiment setup on land

2-3. 実験試技

実験試技は、前進歩行 (Forward Walk : FW), 後進歩行 (Backward Walk : BW), ジャンプ (Jump : JP), 片足スイング (Swing : SW), ランジ (Lunge : LU) (Fig. 2-4), スクワット (Squat : SQ) (Fig. 2-5) の 6 試技とした。尚, Fig. 2-4, 5 は光の屈折現象により、実際の水深より高めに見える。

水中における前進歩行は、実験用プールの左側から開始し、開始姿勢から1歩目を左足とした。また、上肢は体側にし、大きく振る動作や水を掻く動作はしないように指示した。後進歩行は、実験用プールの右側から開始し、開始姿勢から1歩目が左足とした。また、上肢は体側にし、大きく振る動作や水を掻く動作はしないように指示した。ジャンプは、足幅は肩幅とし、3回連続で跳ぶように指示した。また、上肢は両手を腰に置くように指示した。片足スイングは、左足で立ち、右足関節を中間位、右膝関節を伸展位のまま、右股関節を最大屈曲、伸展を2回連続で行うよう指示した。また、上肢は体側とした。ランジは、右足を踏み出し、股関節、膝関節が 90° になるように指示した。また、上肢は頭上で組むように指示した。スクワットは、足幅を肩幅とし、股関節、膝関節が 90° になるように指示した。また、上肢は頭上で組むように指示した。各運動速度は、被験者の至適速度とした。

陸上における動作は水中と同様に指示した。また、各運動速度は陸上における被験者の至適速度とした。



Fig. 2-4. Lunge



Fig. 2-5. Squat

2-4. 筋電図

対象筋は、大腿直筋 (Rectus Femoris : RF), 前脛骨筋 (Tibialis Anterior : TA), 大殿筋 (Gluteus Maximus : GM), 大腿二頭筋長頭 (Biceps Femoris, Long Head : BF), 内側腓腹筋 (Medial Gastrocnemius : MG), ヒラメ筋 (Soleus : SOL) の計 6 筋をすべて右側で計測した。GM は大転子と仙骨を結んだ中点, RF は膝蓋骨上縁と上前腸骨棘と結んだ中点, BF は腓骨頭と坐骨結節を結んだ中点, MG は腓腹筋内側頭の膝窩皮線より 5 横指遠位部, TA は脛骨粗面より 4 横指遠位部, SOL は腓腹筋の筋腹の遠位部で, アキレス腱の内側前面にそれぞれ電極を貼付した[30]。測定部位は剃毛し, 消毒用エタノールで脱脂し, 皮膚の表面の角質を除去した後, 電極を貼付した。

水中では, 双極皿型表面筋電図法により筋電図を測定し, 双極皿型表面電極 (Ag-AgCl, 直径 6mm, 電極間距離 2cm) を各筋に貼付した (Fig. 2-6)。また, 防水フィルムを電極の上から貼付し, 防水処理を施した。さらに, コードをまとめるために電極の上からアンダーラップを巻いた (Fig. 2-7)。筋電図からの信号はサンプリング周波数を 1kHz とし, A/D 変換器 (PowerLab, ADInstruments 社製) を通してパーソナルコンピュータへ記録した。



Fig. 2-6. Bipolar electrodes

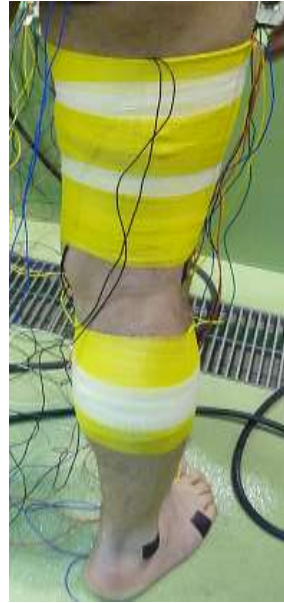


Fig. 2-7. Under wrap

陸上では、各筋にディスポ電極を貼付し、電極間距離を 2cm とした (Fig. 2-8). 陸上も水中と同様に、動作中にコードが邪魔にならないよう電極の上からアンダーラップを巻いた. 筋電図のデータは、マルチテレメータシステム (WEB-5500, 日本光電社製) によって記録した (Fig. 2-9). 筋電図からの信号はサンプリング周波数を 1kHz とし, A/D 変換器 (PowerLab, ADInstruments 社製) を通してパーソナルコンピュータへ記録した.



Fig. 2-8. Disposable electrodes

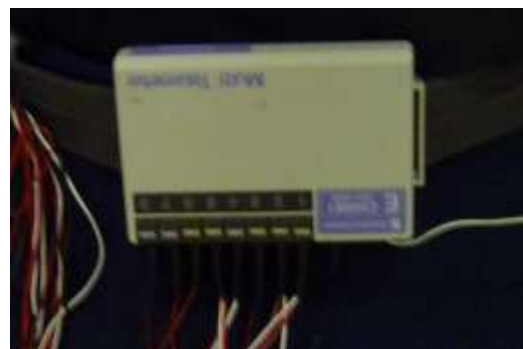


Fig. 2-9. Multi telemeter system

筋電図を正規化するために、各被験者の各筋最大随意収縮（maximum voluntary contraction：MVC）時の筋活動を記録した。MVC は、等尺性最大随意収縮を各筋 3 秒間行わせ、そのうち筋活動の安定した 500msec を採用した。MVC の測定肢位は、GM は、立位姿勢で等尺性最大随意収縮、または股関節を約 30° 伸展させた状態で検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせ、筋活動が高い方を MVC として用いた。RF は、端座位で膝関節を 90° 屈曲位から検者が抵抗を加え、伸展方向に等尺性最大随意収縮を行わせた。また、立位姿勢で等尺性最大随意収縮を行わせ、筋活動が高い方を MVC として用いた。BF は、立位、膝関節屈曲位にて検者が抵抗を加え、股関節を伸展方向へ等尺性最大随意収縮を行わせた。MG は、立位にて足関節を底屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。TA は、端座位にて足関節を背屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。SOL は、端座位にて足関節を底屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。

2-5. 解析方法

2-5-1. 運動試技

前進歩行と後進歩行は、立位姿勢の開始肢位から離床し、2 歩目の右足が接地するまでを遊脚期とし、足が接地してから離床するまでを立脚期とした。また、遊脚期と立脚期を合わせて 1 歩行周期とした。ジャンプは、3 回連続ジャンプのうち、2 回目のジャンプを解析対象とした。1 回目のジャンプ後、膝関節最大屈曲位からジャンプし、上前腸骨棘が最も高い位置にくるまでを伸展相とし、上前腸骨棘が最も高い位置から着地し、膝関節が最大屈曲位になるまでを屈曲相とした。また、伸展相と屈曲相を合わせて 1 動作周期とした。片足スイングは、股関節最大屈曲位から最大伸展位になるまでを伸展相とし、最大伸展位から最大屈曲位になるまでを屈曲相とした。また、伸展相と屈曲相を合わせて 1 動作周期とした。ランジ、スクワットは、立位から股関節、膝関節最大屈曲位までを屈曲相、股関節、膝関節最大屈曲位から立位までを伸展相とした。また、屈曲相と伸展相を合わせ

て1動作周期とした。

2-5-2. 運動時間

水中での各動作の記録は、矢状面よりビデオカメラ（30Hz）にて撮影を行った。撮影されたビデオ映像は、Dipp Basic version 1.0.7（株式会社ディテクト）を用いてパーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込んだ画像より、2・3次元高精度運動解析ソフトウェア（Dipp Motion Pro, 株式会社ディテクト）を用いて、各運動動作の遊脚期（屈曲相）、立脚期（伸展相）、1周期の時間を算出した。

陸上での各動作の記録は、自動動作計測システム（Motion analysis 社製）を用いた。被験者の動作を自動動作計測システムに認識させるために、三次元データ用の反射マーカーを被験者に11個貼付した。反射マーカーの貼付位置は、両側の肩峰、仙骨、大転子、膝関節裂隙、外果、第五中足骨骨頭であった（Fig. 2-10）。運動動作は、8台からなる赤外線カメラ Hawk Digital Camera（Motion analysis 社製）を両側方に設置し、Motion analysis から三次元座標データの収集を200Hzにて行った。また、同時に床反力計より動作の接地時の床反力をサンプリング周波数1kHzにて記録した。三次元座標データと床反力計より、各運動動作の遊脚期、立脚期、1周期の時間を算出した。

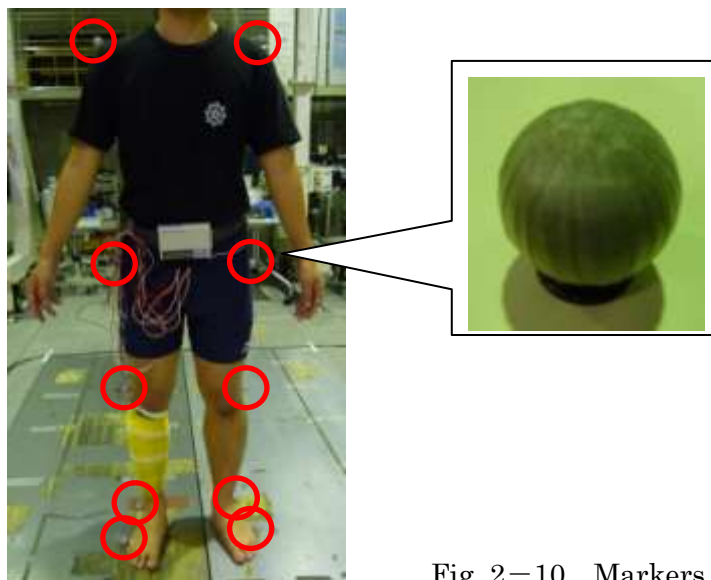


Fig. 2-10. Markers position

2-5-3. 筋電図

水中での筋電図は、シンクロナイザ (LED 型シンクロナイザ, 株式会社ディケイエイチ) を用いてビデオ画像と同期させた。その後、算出した運動時間より各運動動作の遊脚期 (屈曲相), 立脚期 (伸展相), 1 周期の筋電図を表出した。

陸上での筋電図は、シンクロナイザ (LED 型シンクロナイザ, 株式会社ディケイエイチ) を用いて自動動作計測システムと同期させた。算出した運動時間より、各運動動作の遊脚期, 立脚期, 1 周期の筋電図を表出した。

水中と陸上の筋電図の解析は、専用ソフト (Chart 5.0 for Windows, AD Instruments, Japan) を用いて行った。全波整流波形処理を行い、50msec の移動平均平滑化 (Average Rectified Value : ARV) し、%MVC を算出した。そして、遊脚期, 立脚期 (屈曲相, 伸展相), 1 周期における%MVC の平均値を average %MVC として標準化した。

2-6. 統計処理

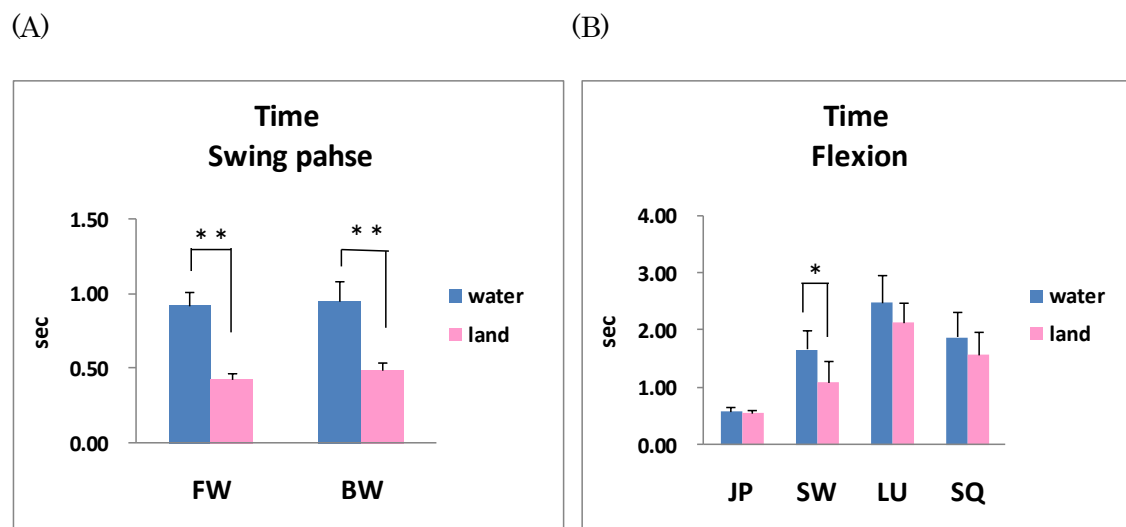
水中と陸上における運動時間, および前進歩行, 後進歩行, ジャンプ, 片足スイング, スクワット, ランジにおける筋ごとの水中と陸上の比較に関して、対応のある t 検定を行った。尚、有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

3-1. 運動時間

前進歩行，後進歩行，ジャンプ，片足スイング，ランジ，スクワットにおいて水中と，陸上での運動時間を比較したところ，前進歩行，後進歩行の遊脚期，立脚期，1 周期において有意に（各 $p<0.01$ ），片足スイングの屈曲相において有意に（ $p<0.05$ ），ランジとスクワットの伸展相において有意に（各 $p<0.01$ ），ランジとスクワットの 1 周期においても有意に（各 $p<0.01$ ），それぞれ水中よりも陸上のほうが運動時間は短かった（Fig. 2-11）.

また，各運動時間の実数値を Table 2-2 に示した.

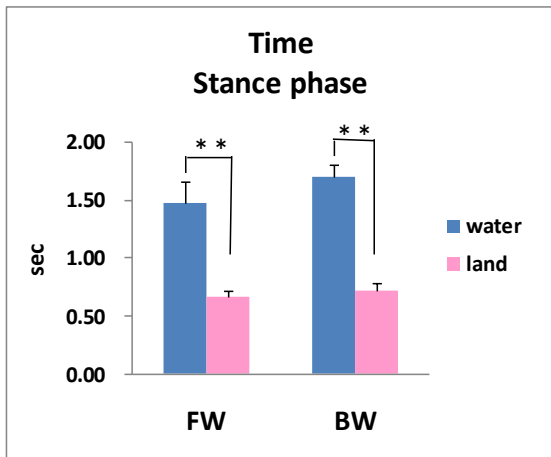


(A)Time of swing phase of FW, BW, (B)Time of flexion of JP, SW, LU, SQ

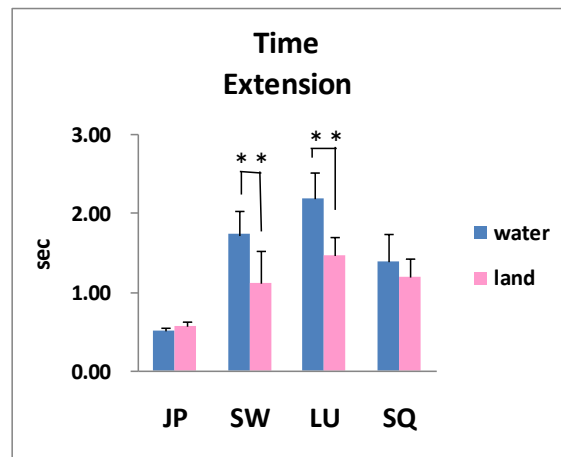
FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing, LU: Lunge, SQ: Squat

The depth of water : Umbilicus, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

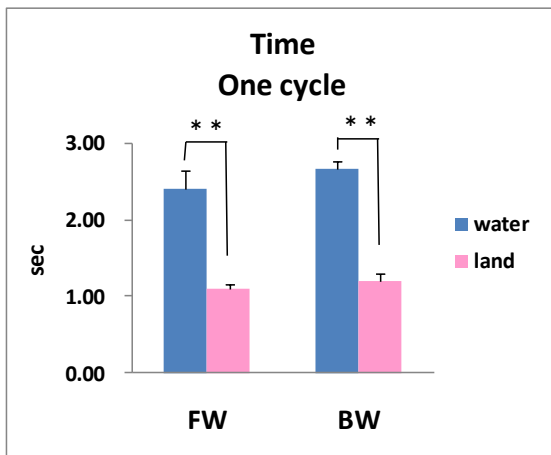
(C)



(D)



(E)



(F)

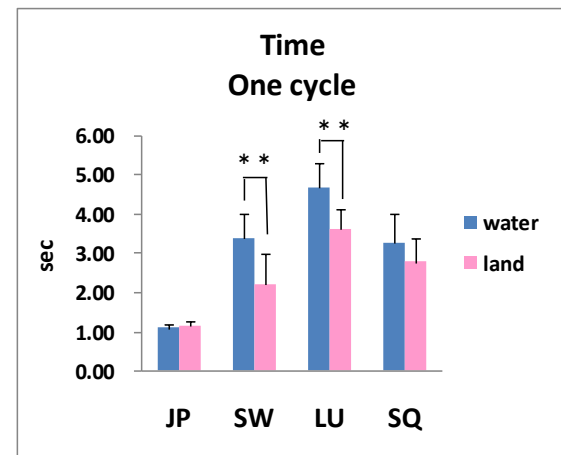


Fig. 2—11. Time of each phase exercises

(C)Time of stance phase of FW, BW, (D)Time of extension JP, SW, LU, SQ

(E) Time of one cycle of FW, BW, (F)Time of one cycle JP, SW, LU, SQ

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing, LU: Lunge, SQ: Squat

The depth of water : Umbilicus, * *: p<0.01

Table 2—2. Time of each phase exercises(sec)

(A)

	Swing phase		Stance phase		One cycle	
	FW	BW	FW	BW	FW	BW
Water	0.92 ± 0.10	0.95 ± 0.13	1.48 ± 0.19	1.71 ± 0.10	2.40 ± 0.25	2.66 ± 0.11
Land	0.43 ± 0.04 * *	0.49 ± 0.05 * *	0.67 ± 0.05 * *	0.72 ± 0.07 * *	1.09 ± 0.07 * *	1.21 ± 0.09 * *

(B)

Exercise	Circumstance	JP	SW	LU	SQ
Flexion	Water	0.59 ± 0.07	1.68 ± 0.32	2.50 ± 0.48	1.89 ± 0.45
	Land	0.57 ± 0.06	1.11 ± 0.37 * *	2.16 ± 0.34	1.59 ± 0.40
Extension	Water	0.51 ± 0.05	1.74 ± 0.30	2.19 ± 0.33	1.40 ± 0.35
	Land	0.58 ± 0.07	1.12 ± 0.41 * *	1.47 ± 0.24 * *	1.19 ± 0.25
One cycle	Water	1.09 ± 0.10	3.41 ± 0.61	4.70 ± 0.62	3.29 ± 0.74
	Land	1.14 ± 0.13	2.23 ± 0.78 * *	3.62 ± 0.51 * *	2.78 ± 0.61

(A): Time of swing phase, stance phase and one cycle of FW, BW

(B): Time of flexion of JP, SW, LU, SQ, Time of extension of JP, SW, LU, SQ,

Time of one cycle of JP, SW, LU, SQ

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing, LU: Lunge, SQ: Squat

The depth of water : Umbilicus, Values are mean ± SD, * *: p<0.01

3-2. 水中と陸上の違いにおける筋活動の比較

3-2-1. 前進歩行

前進歩行における筋電図の波形パターンを Fig. 2-12 に示した.

RF において遊脚期は陸上よりも水中の方が、立脚期では 水中よりも陸上の方が筋放電量は大きくなる傾向を示した. また, BF において立脚期では水中と陸上で同程度の筋放電量を示した. TA, MG, SOL はいずれも水中よりも陸上の方が筋放電量は大きくなった.

Forward walk

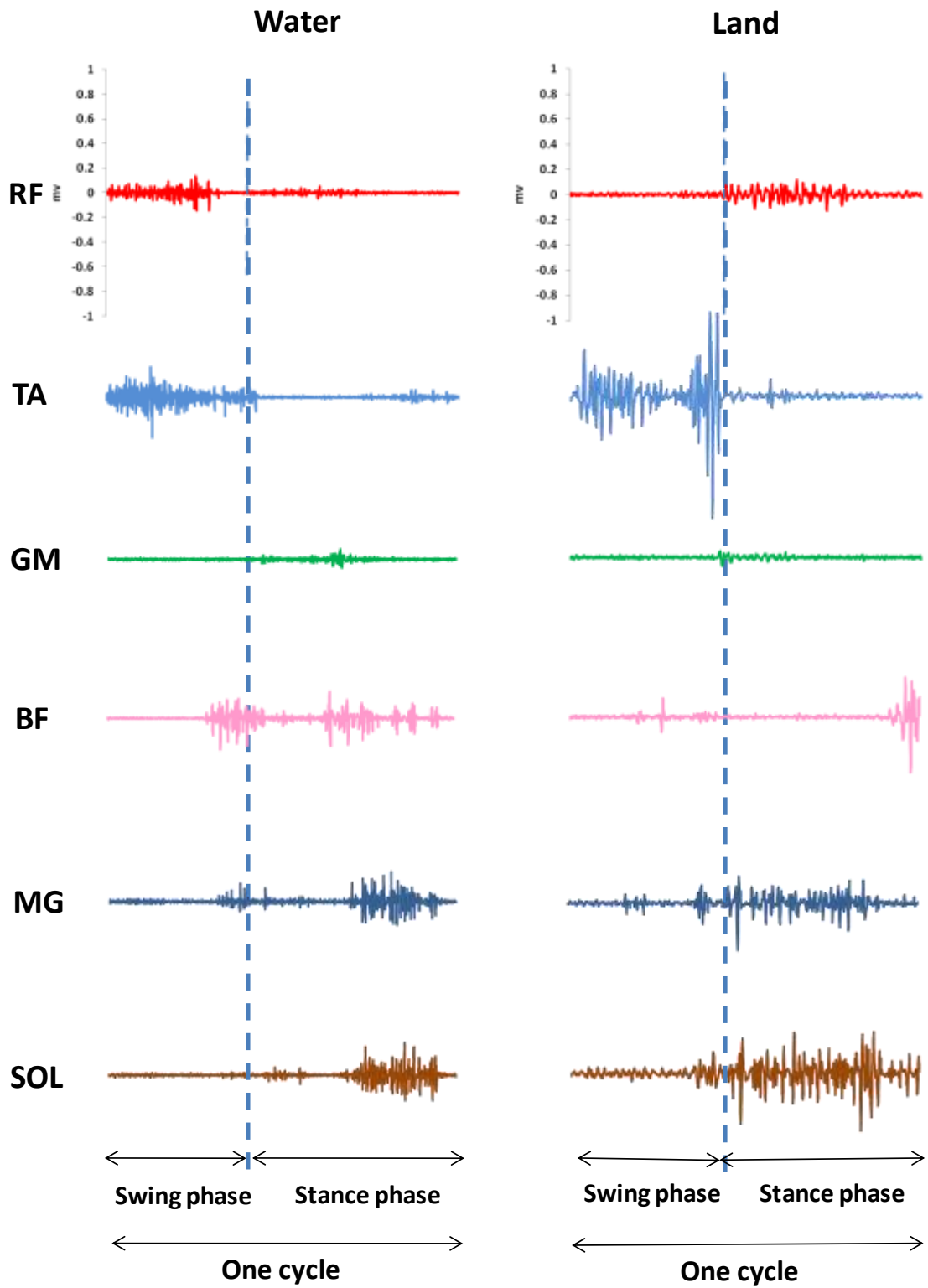
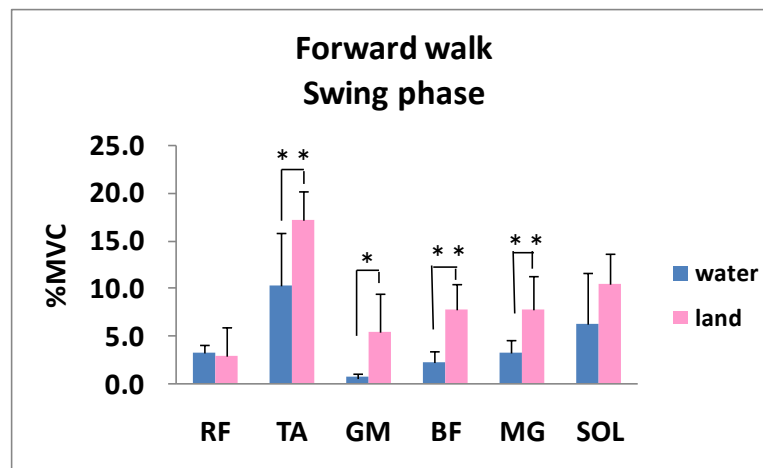


Fig. 2—12. The raw EMG pattern of forward walk of water and land

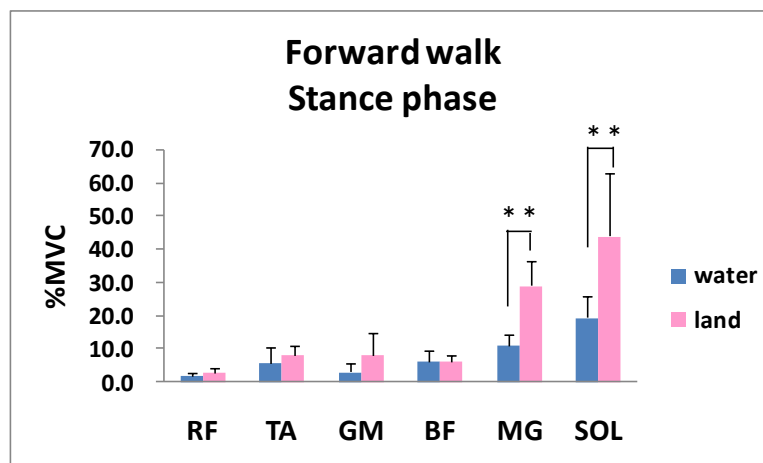
前進歩行において、遊脚期では TA, GM, BF, MG において有意に (GM: $p<0.05$, TA, BF, MG: $p<0.01$), 立脚期では MG, SOL において有意に (各 $p<0.01$), 水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった。遊脚期では RF, 立脚期では BF において陸上よりも水中のほうが筋活動は大きい傾向が見られた。1 周期では TA, MG, SOL において有意に (TA, SOL: $p<0.05$, MG: $p<0.01$), 水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった (Fig. 2-13)。

また、各筋の筋活動量の実数値を Table 2-3 に示した。

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

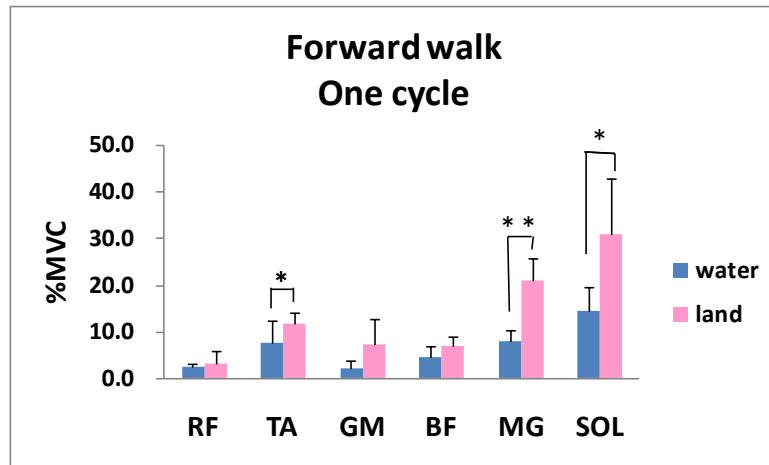


Fig. 2—13. Comparison of %MVC of water and land

(A): Swing phase of forward walk, (B): Stance phase of forward walk

(C): One cycle of forward walk

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus * : $p < 0.05$, * * : $p < 0.01$

Table 2–3. Comparison of %MVC of swing phase, stance phase
and one cycle of forward walk of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Swing phase	water	3.3 ± 0.8	10.2 ± 5.6	0.6 ± 0.4	2.2 ± 1.1	3.2 ± 1.4	6.2 ± 5.4
	land	2.8 ± 3.1	17.1 ± 3.1 * *	5.4 ± 3.9 *	0.6 ± 2.7 * *	7.8 ± 3.5 * *	10.5 ± 3.2
Stance phase	water	1.7 ± 1.0	5.7 ± 4.9	3.1 ± 2.8	6.2 ± 3.4	11.0 ± 3.6	19.5 ± 6.2
	land	2.7 ± 1.9	8.2 ± 2.8	8.1 ± 6.8	6.3 ± 1.7	29.2 ± 7.3 * *	44.1 ± 19.2 * *
One cycle	water	2.3 ± 0.7	7.4 ± 4.9	2.1 ± 1.7	4.6 ± 2.2	8.0 ± 2.5	14.4 ± 5.1
	land	3.1 ± 2.7	11.7 ± 2.5 *	7.1 ± 5.5	6.8 ± 1.9	20.8 ± 4.8 * *	30.9 ± 12.1 *

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05, * *: p<0.01

3-2-2. 後進歩行

後進歩行における筋電図の波形パターンを Fig. 2-14 に示した.

RF, TA において遊脚期, 立脚期を通して水中よりも陸上のほうが筋放電量は大きい傾向を示した. 特に, 陸上において TA の立脚期後期に筋放電量は大きくなった. また, BF において遊脚期では陸上よりも水中のほうが筋放電量は大きくなる傾向を示した.

Backward walk

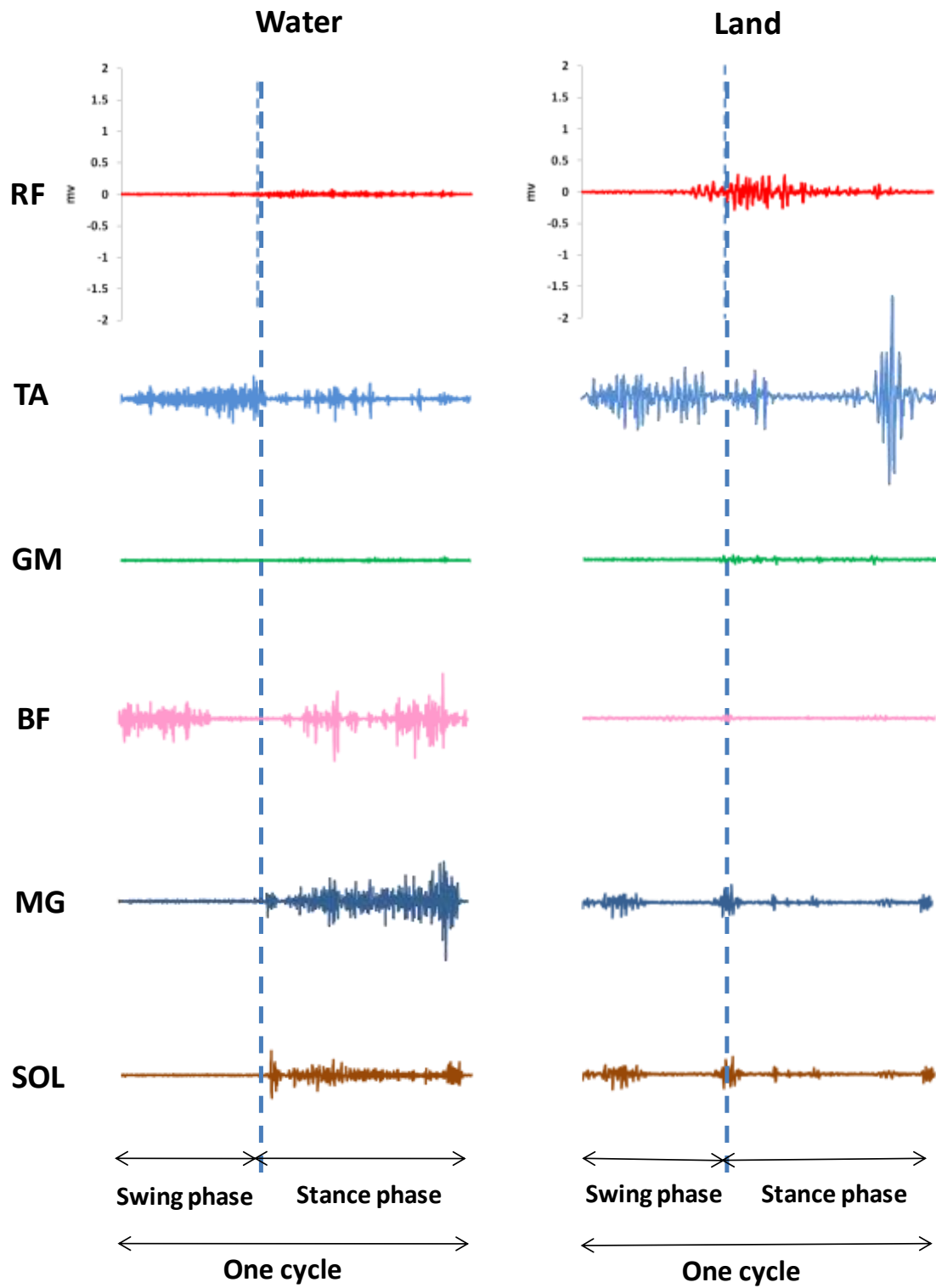
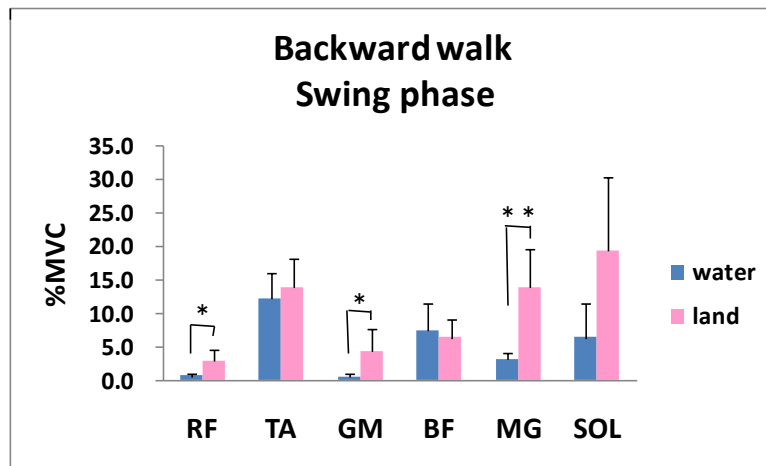


Fig. 2—14. The raw EMG pattern of backward walk of water and land

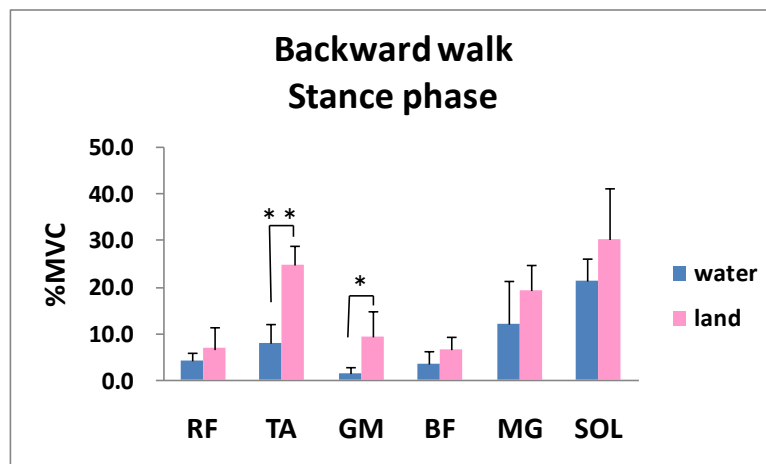
後進歩行において、遊脚期では RF, GM, MG において有意に (RF, GM: $p<0.05$, MG: $p<0.01$), 水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった. BF においては, 陸上よりも水中のほうが筋活動は大きい傾向が見られた. 立脚期では TA, MG において有意に (TA: $p<0.01$, GM: $p<0.05$), 1 周期では TA, GM において有意に (TA: $p<0.01$, GM: $p<0.05$), 水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった (Fig. 2-15).

また, 各筋の筋活動量の実数値を Table 2-4 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

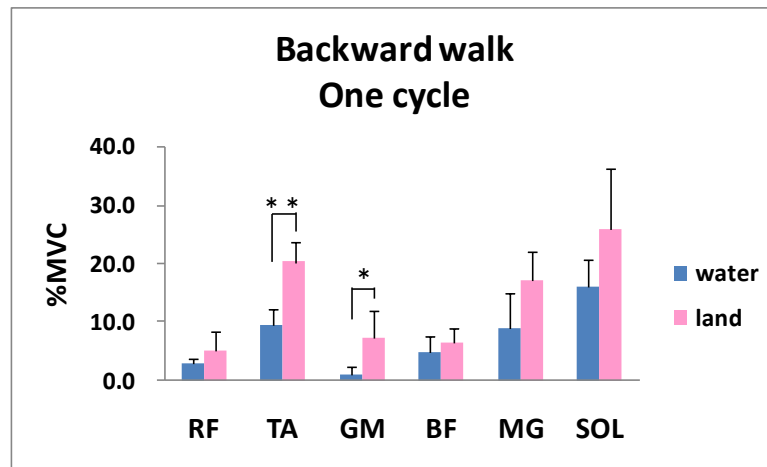


Fig. 2—15. Comparison of %MVC of water and land

(A): Swing phase of backward walk, (B): Stance phase of backward walk

(C): One cycle of backward walk

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 2–4. Comparison of %MVC of swing phase, stance phase
and one cycle of backward walk of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Swing phase	water	0.7 ± 0.3	12.2 ± 4.0	0.6 ± 0.4	7.4 ± 4.2	3.2 ± 1.0	6.4 ± 5.2
	land	2.9 ± 1.7 *	13.9 ± 4.3	4.3 ± 3.5 *	6.4 ± 2.8	13.8 ± 5.7 * *	19.4 ± 10.9
Stance phase	water	4.2 ± 1.6	7.9 ± 4.1	1.4 ± 1.6	3.5 ± 2.9	12.2 ± 9.0	21.3 ± 5.0
	land	6.8 ± 4.7	24.9 ± 3.9 * *	9.3 ± 5.6 *	6.6 ± 2.9	19.3 ± 5.6	30.3 ± 10.9
One cycle	water	2.9 ± 0.9	9.6 ± 2.6	1.2 ± 1.1	4.9 ± 2.6	9.0 ± 5.9	16.0 ± 4.7
	land	5.1 ± 3.3	20.3 ± 3.3 * *	7.3 ± 4.6 *	6.5 ± 2.5	17.1 ± 5.0	26.0 ± 10.4

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05, * *: p<0.01

3-2-3. ジャンプ

ジャンプにおける筋電図の波形パターンを Fig. 2-16 に示した.

いずれも水中よりも陸上のほうが筋放電量は大きくなった. しかし, BF の筋放電量は同程度を示した.

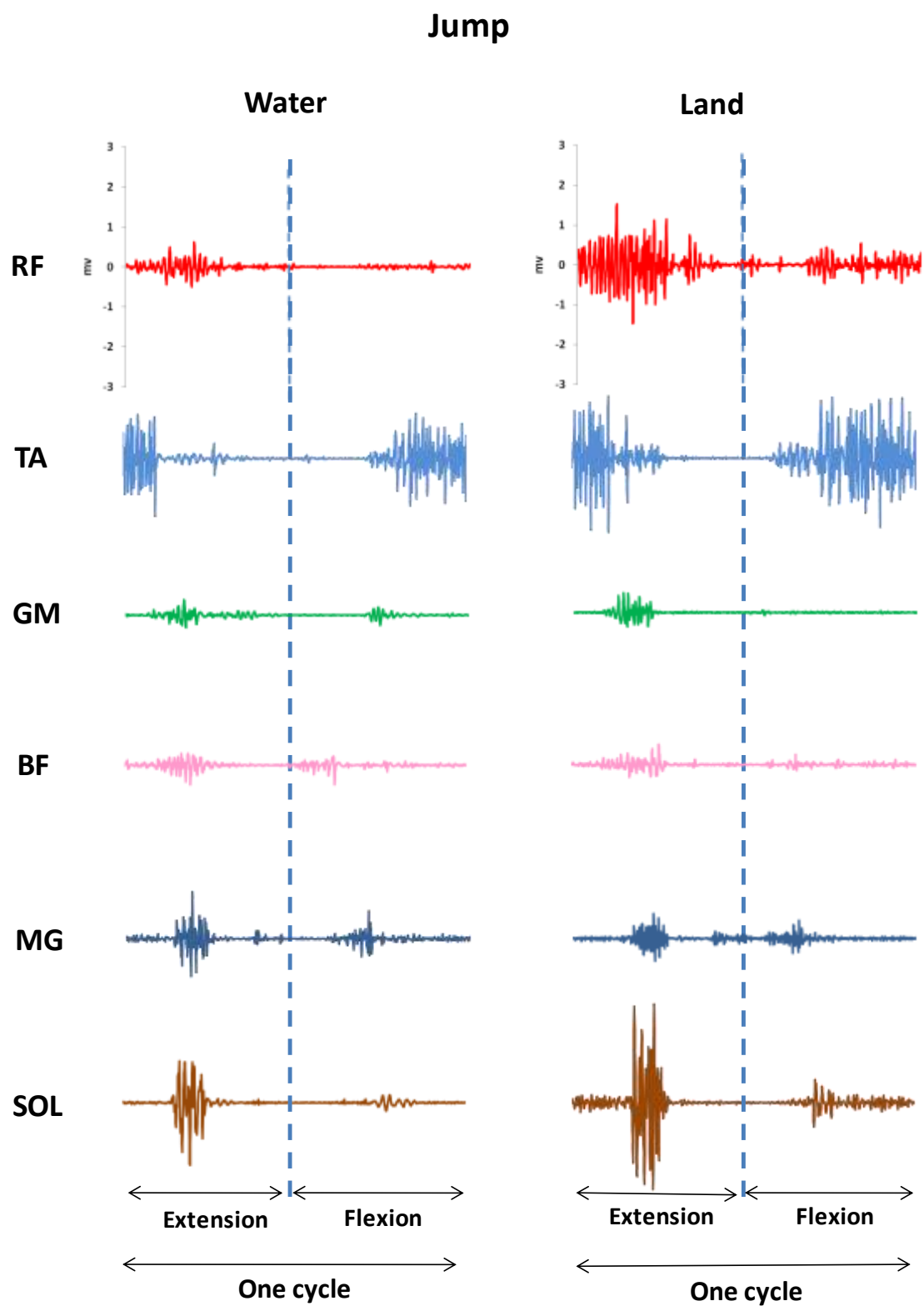
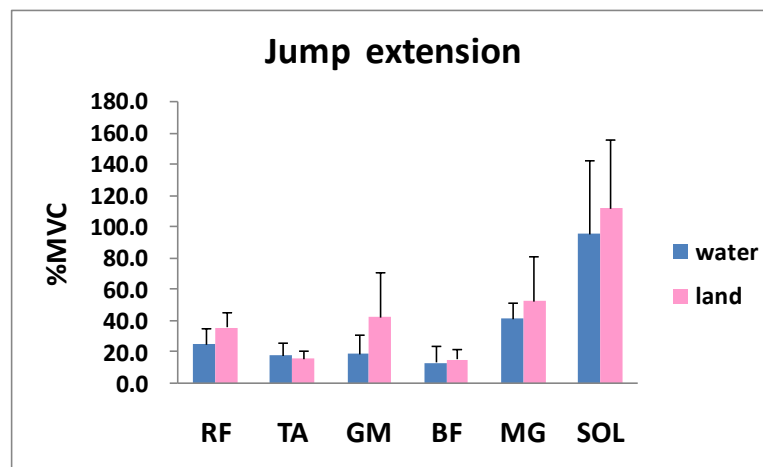


Fig. 2—16. The raw EMG pattern of jump of water and land

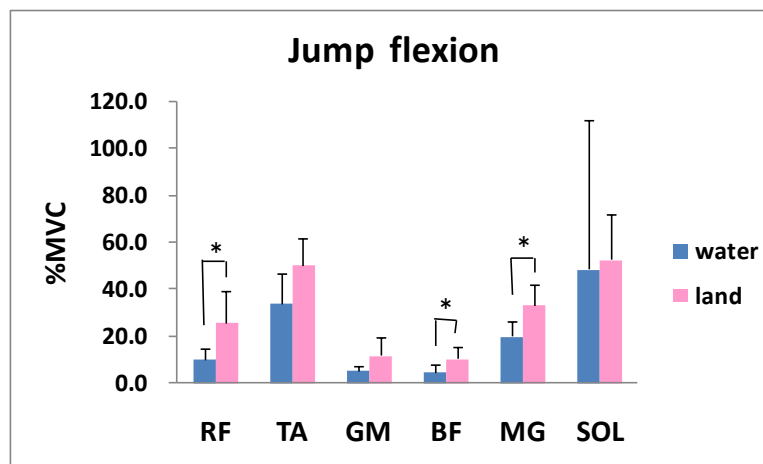
ジャンプにおいて、屈曲相では RF, BF, MG において有意に (各: $p<0.05$), 水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった。伸展相, 1 周期においては有意な差は認められなかった (Fig. 2-17)。

また, 各筋の筋活動量の実数値を Table 2-5 に示した。

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus * : $p<0.05$

(C)

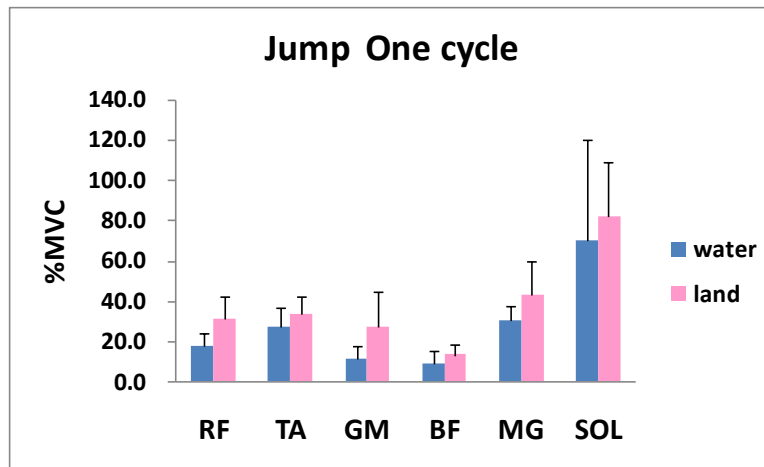


Fig. 2—17. Comparison of %MVC of water and land

(A): Extension of jump, (B): Flexion of jump, (C): One cycle of jump

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, *: $p < 0.05$

Table 2—5. Comparison of %MVC of extension, flexion
and one cycle of jump of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Extension	water	25.1 ± 10.3	18.6 ± 8.2	19.0 ± 12.0	13.8 ± 10.2	41.6 ± 10.4	96.2 ± 46.7
	land	36.3 ± 9.5	16.5 ± 4.3	42.8 ± 29.0	15.8 ± 6.2	53.4 ± 27.7	112.3 ± 43.9
Flexion	water	10.1 ± 4.9	34.0 ± 12.9	5.1 ± 2.2	4.7 ± 3.1	20.1 ± 6.4	48.7 ± 63.6
	land	25.8 ± 13.5 *	50.3 ± 11.7	11.7 ± 7.7	10.4 ± 5.0 *	33.3 ± 8.9 *	52.6 ± 19.3
One cycle	water	17.2 ± 7.0	26.9 ± 10.1	11.5 ± 6.3	8.9 ± 6.3	30.2 ± 7.3	70.4 ± 50.1
	land	31.0 ± 11.4	33.8 ± 8.2	26.9 ± 17.5	13.2 ± 4.9	42.9 ± 16.8	82.1 ± 26.7

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05,

3-2-4. 片足スイング

片足スイングにおける筋電図の波形パターンを Fig. 2-18 に示した.

いずれも水中と陸上においてほぼ同程度の筋放電量になる傾向を示した. 特に, RF, TA, BF, GM の筋放電量が大きく, BF の伸展相において陸上よりも水中のほうが筋放電量は大きくなる傾向を示した.

Swing

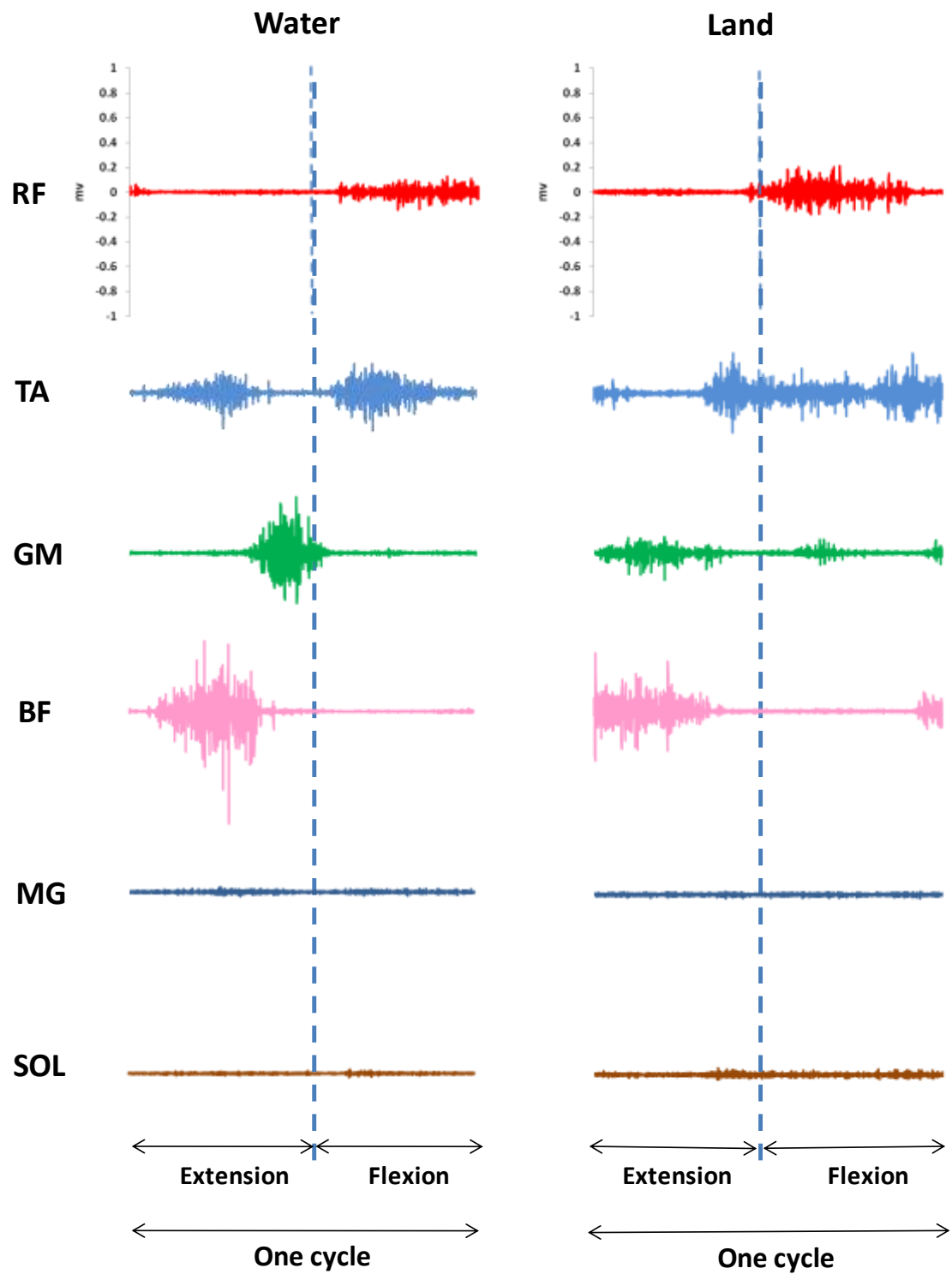


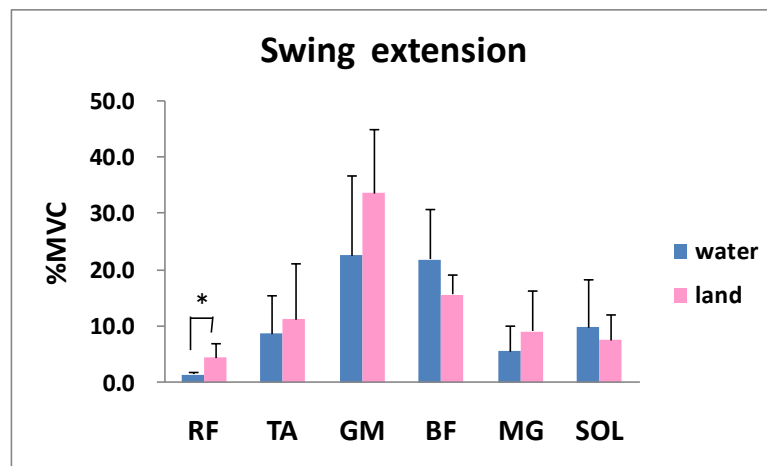
Fig. 2—18. The raw EMG pattern of swing of water and land

片足スイングにおいて、伸展相では RF ($p<0.05$), 屈曲相では BF ($p<0.01$), 1 周期では RF ($p<0.05$) に、水中よりも陸上のほうが有意に筋活動は大きかった (Fig. 2-19).

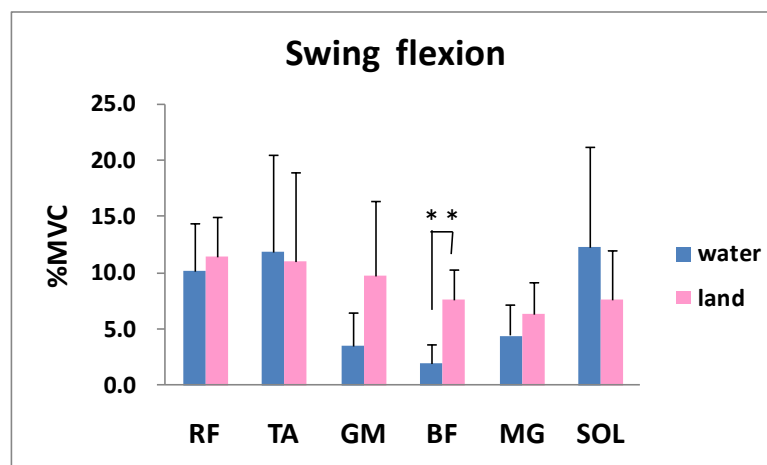
伸展相では BF と SOL, 屈曲相では TA と SOL, 1 周期では BF と SOL において陸上よりも水中のほうが筋活動は大きい傾向を示した.

また、各筋の筋活動量の実数値を Table 2-6 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

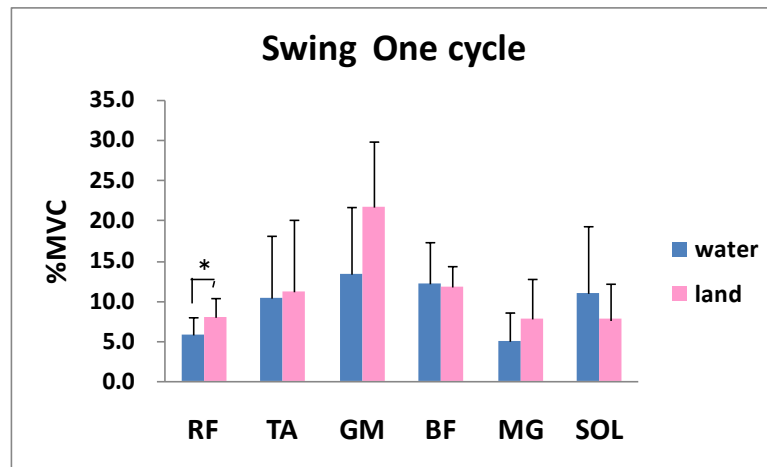


Fig. 2—19. Comparison of %MVC of water and land

(A): Extension of swing, (B): Flexion of swing, (C): One cycle of swing

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 2—6. Comparison of %MVC of extension, flexion
and one cycle of swing of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Extension	water	1.6 ± 0.5	8.7 ± 6.9	22.8 ± 14.2	22.0 ± 8.8	5.6 ± 4.6	9.9 ± 8.4
	land	4.5 ± 2.6 *	11.4 ± 9.9	33.7 ± 11.5	15.8 ± 3.6	9.2 ± 7.3	7.7 ± 4.6
Flexion	water	10.2 ± 4.2	11.9 ± 8.6	3.6 ± 2.9	2.0 ± 1.7	4.4 ± 2.7	12.3 ± 8.9
	land	11.5 ± 3.5	11.0 ± 8.0	9.8 ± 6.6	7.6 ± 2.6 * *	6.3 ± 2.9	7.6 ± 4.4
One cycle	water	5.8 ± 2.2	10.3 ± 7.8	13.3 ± 8.5	12.1 ± 5.1	5.0 ± 3.6	11.0 ± 8.3
	land	8.0 ± 2.3 *	11.2 ± 8.9	21.8 ± 8.0	11.7 ± 2.6	7.7 ± 5.0	7.7 ± 4.4

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05, **: p<0.01

3-2-5. ランジ

ランジにおける筋電図の波形パターンを Fig. 2-20 に示した.

ほぼすべての筋において水中よりも陸上のほうが筋放電量は大きくなる傾向を示した.

特に, 陸上において屈曲相, 伸展相を通して RF, TA, GM, SOL の筋放電量は大きくなった.

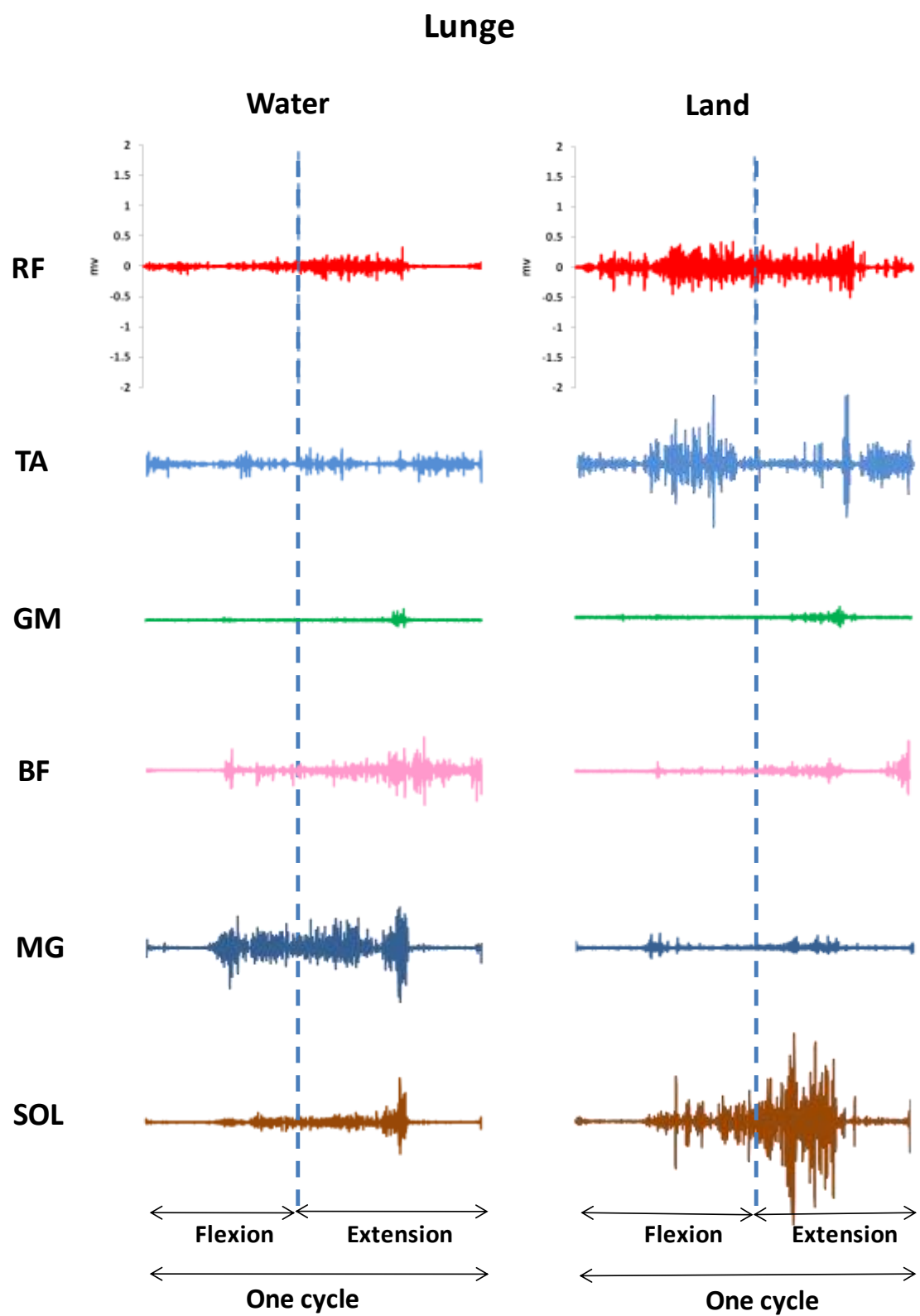
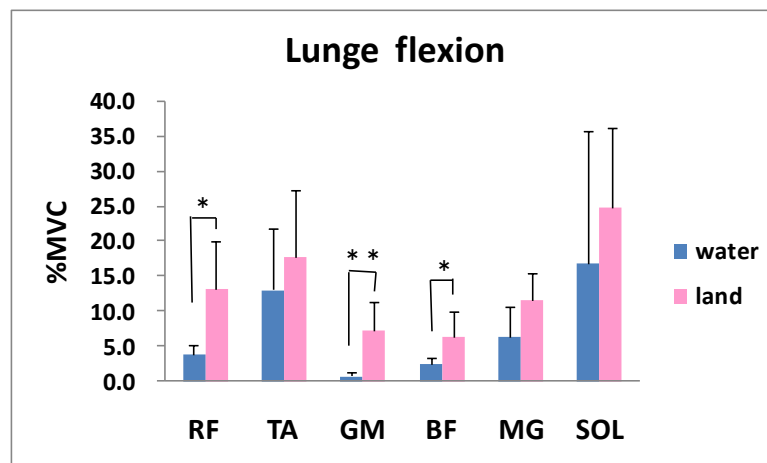


Fig. 2—20. The raw EMG pattern of lunge of water and land

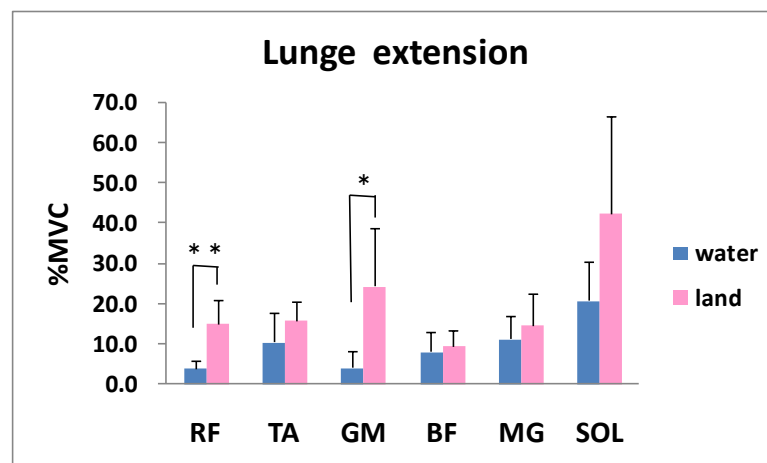
ランジにおいて、屈曲相では RF, GM, BF (RF, BF: $p<0.05$, GM: $p<0.01$), 伸展相では RF, GM (RF: $p<0.01$, GM: $p<0.05$), 1 周期では RF, GM (各 $p<0.01$) に、水中よりも陸上のほうが有意に筋活動は大きかった (Fig. 2-21).

また、各筋の筋活動量の実数値を Table 2-7 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,
MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

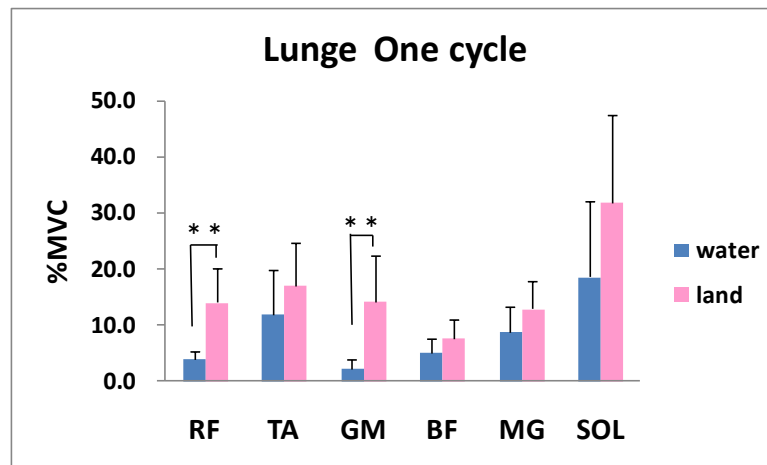


Fig. 2—21. Comparison of %MVC of water and land

(A): Flexion of lunge, (B): Extension of lunge, (C): One cycle of lunge

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 2–7. Comparison of %MVC of flexion, extension
and one cycle of lunge of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Flexion	water	4.0 ± 1.2	13.1 ± 8.7	0.8 ± 0.5	2.5 ± 0.9	6.3 ± 4.3	17.0 ± 18.9
	land	13.3 ± 6.7 *	17.9 ± 9.5	7.4 ± 4.0 * *	6.4 ± 3.8 *	11.7 ± 3.8	24.8 ± 11.4
Extension	water	3.9 ± 1.9	10.4 ± 7.3	4.0 ± 4.1	8.1 ± 4.9	11.2 ± 5.6	20.8 ± 9.8
	land	15.1 ± 6.0 * *	15.7 ± 4.7	24.5 ± 14.5 *	9.4 ± 3.9	14.6 ± 8.0	42.5 ± 24.2
One cycle	water	4.0 ± 1.5	12.0 ± 7.9	2.2 ± 1.8	5.1 ± 2.6	8.7 ± 4.6	18.6 ± 13.5
	land	14.0 ± 6.2 * *	17.1 ± 7.6	14.2 ± 8.1 * *	7.5 ± 3.5	12.9 ± 5.0	31.7 ± 15.8

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05, *: p<0.01

3-2-6. スクワット

スクワットにおける筋電 Fig 図の波形パターンを Fig. 2-22 に示した.

ほぼすべての筋が水中よりも陸上のほうが筋放電量は大きくなる傾向を示した. しかし, TA においては屈曲相, 伸展相を通して水中と陸上で同程度の筋放電量を示した. また, 陸上において, SOL では伸展相の後期に筋放電量が大きくなる傾向を示した.

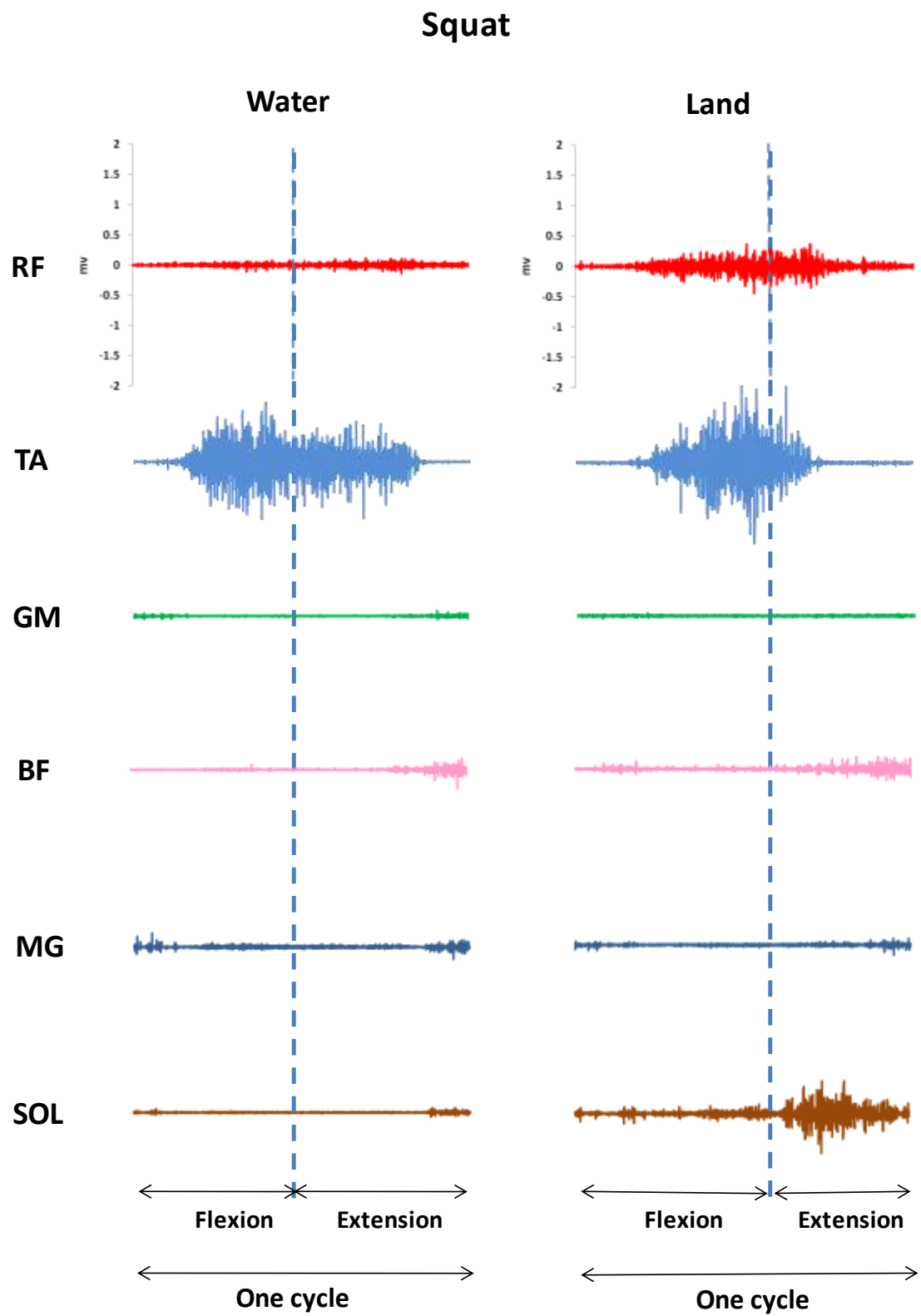


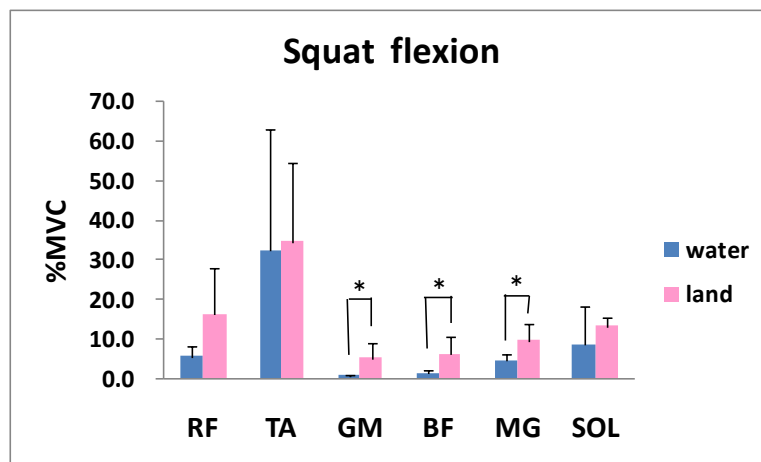
Fig. 2—22. The raw EMG pattern of squat of water and land

スクワットにおいて、屈曲相では GM, BF, MG (各 $p<0.05$), 伸展相では GM, BF (各 $p<0.01$), 1 周期では GM, BF, MG (GM: $p<0.05$, BF, MG: $p<0.01$) に、水中よりも陸上のほうが有意に筋活動は大きかった (Fig. 2-23).

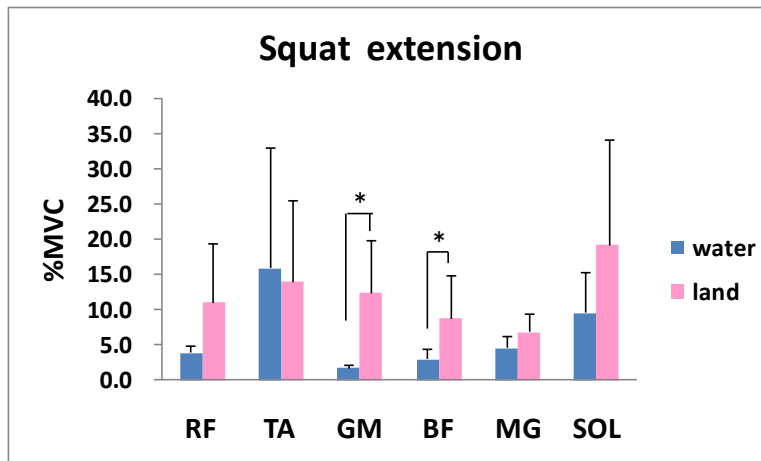
屈曲相, 伸展相, 1 周期を通して水中での TA の筋活動は陸上と同じ大きさを示した.

また, 各筋の筋活動量の実数値を Table 2-8 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus * : $p<0.05$, * * : $p<0.01$

(C)

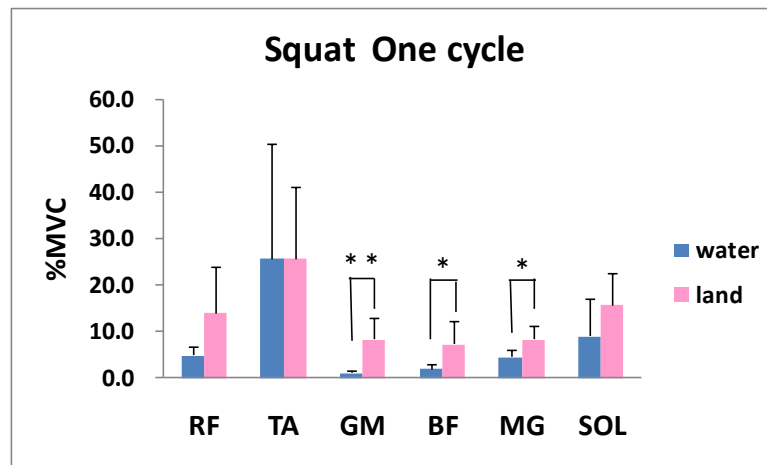


Fig. 2—23. Comparison of %MVC of water and land

(A): Flexion of squat, (B): Extension of squat, (C): One cycle of squat

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 2—8. Comparison of %MVC of flexion, extension
and one cycle of squat of water and land

Phase	circumstance	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
Flexion	water	5.5 ± 2.9	32.5 ± 30.5	0.7 ± 0.5	1.2 ± 0.8	4.6 ± 1.5	8.5 ± 9.7
	land	16.2 ± 11.8	34.7 ± 20.0	5.2 ± 3.6 *	6.2 ± 4.5 *	9.5 ± 4.2 *	13.2 ± 2.2
Extension	water	3.9 ± 0.9	16.0 ± 17.3	1.8 ± 0.3	3.0 ± 1.4	4.6 ± 1.7	9.6 ± 5.7
	land	11.0 ± 8.3	14.1 ± 11.5	12.4 ± 7.6 *	8.9 ± 5.9 *	6.9 ± 2.6	19.3 ± 14.9
One cycle	water	4.9 ± 1.8	25.6 ± 25.0	1.1 ± 0.4	2.0 ± 1.0	4.6 ± 1.4	9.0 ± 8.0
	land	13.9 ± 10.1	25.6 ± 15.6	8.4 ± 4.7 * *	7.3 ± 5.0 *	8.3 ± 2.8 *	15.6 ± 6.8

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, The depth of water : Umbilicus,

Values are mean ± SD, *: water vs land, *: p<0.05, *: p<0.01

4. 考察

本研究は、水深が臍部における水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響を検討することを目的として、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイング、ランジ、スクワットの計 6 試技を行い、運動時間と右側の RF, TA, GM, BF, MG, SOL の筋電図を測定した。

前進歩行、後進歩行ともに遊脚期、立脚期、1 周期において陸上のほうが水中よりも有意に運動時間は短かった。これは、前進歩行、後進歩行とも移動を基盤とした運動であり、水中では移動に伴い生じる粘性抵抗と前面からの粘性抵抗により時間を要したと考えられる。また、片足スイングとランジにおいても屈曲相、伸展相、1 周期において陸上のほうが水中よりも有意に運動時間は短かった。これは、片足スイング、ランジは移動を伴わないが前後の動きを伴う運動であり、水中では運動に伴い生じた粘性抵抗により時間を要したと考えられる。一方、ジャンプとスクワットは水中と陸上で運動時間に有意な差は認められなかった。これは、ジャンプ、スクワットともに定位置での運動であり、水中で運動に伴い生じる粘性抵抗はわずかであり、影響がなかったと思われる。

ジャンプ、ランジにおいてはすべての筋において水中よりも陸上のほうが筋活動は大きかった。一方、前進歩行、後進歩行、片足スイング、スクワットにおいては有意な差は認められなかったものの、一部の筋において陸上よりも水中のほうが筋活動は大きい傾向を示した。このことから、水中における浮力や抵抗が与える影響は運動様式により異なるものと考えられる。

金田らは水深が腰部と陸上において、それぞれ 1 秒に 1 歩の速さで前進歩行を行い、RF, TA, BF の筋活動が水中よりも陸上のほうが有意に増加したと報告している[9]。本研究では、水中と陸上において、それぞれ被験者の至適速度で行った。そのため、水中、陸上ともにその環境における必要最小限の筋活動で運動が実施され、異なる結果になったと考えられる。遊脚期では RF、立脚期では BF の筋活動が陸上よりも水中のほうが大きい傾向を示した。遊脚期は股関節を屈曲、膝関節を伸展させ、立脚期は股関節を伸展、膝関節を

屈曲させる必要がある。この際、水中では粘性抵抗を受けるため、大きな推進力を必要とし、他の筋と比べて遊脚期では **RF**、立脚期では **BF** の筋活動が陸上よりも水中のほうが大きくなったと考えられる。

後進歩行では、遊脚期において **BF** の筋活動が陸上よりも水中のほうが大きくなる傾向を示した。後進歩行の遊脚期は足関節を背屈位に保持し、股関節を伸展させる必要がある。また、遊脚期前半では膝関節を屈曲し、後半には膝関節を伸展させる。この際、前進歩行と同様、水中では粘性抵抗を受けるため、大きな推進力を必要とする。そのため、股関節伸展、膝関節屈曲の作用をする二関節筋である **BF** の筋活動が大きくなったと考えられる。

ジャンプでは、伸展相、屈曲相、1 周期を通して、いずれも陸上よりも水中のほうが筋活動は小さく、特に屈曲相においては陸上よりも水中の **RF**、**BF**、**MG** の筋活動は有意に小さかった。これは、陸上と比べて水中では浮力の影響を受けるため、着地する際に身体にかかる衝撃は陸上よりもはるかに小さいと考えられる。このため、水中における下肢筋力の筋活動は陸上と比べて有意に減少したと考えられる。

片足スイングでは、伸展相において **BF**、**SOL** の筋活動は陸上よりも水中のほうが大きい傾向を示し、屈曲相では **RF** において陸上と同等、**TA**、**SOL** は陸上よりも水中のほうが筋活動は大きい傾向を示した。伸展相は足関節中間位、膝関節伸展位で股関節を最大屈曲位から最大伸展位、屈曲相は股関節を最大伸展位から最大屈曲位にさせる動作である。その際、水中において伸展相では股関節伸展、足関節底屈方向に、屈曲相では股関節屈曲、足関節背屈方向に粘性抵抗を受け、かつ下腿部は下肢の支点である大転子からの距離が長いいため、大腿部よりも下腿部に受ける抵抗は大きくなり、より大きな推進力を必要とする。さらに、屈曲相において抵抗に打ち勝ち、足関節を中間位に保持するため、拮抗筋である **SOL** の筋活動が大きくなったのではないかと推測される。その結果、水中では陸上よりも伸展相では **BF**、**SOL**、屈曲相では **RF**、**TA**、**SOL** の筋活動が大きくなったと考えられる。

ランジでは、屈曲相、伸展相、1 周期を通して、いずれも陸上よりも水中のほうが筋活動は小さかった。特に屈曲相、伸展相、1 周期を通して **RF**、**GM** の筋活動は陸上よりも水

中のほうが有意に小さかった。この結果は、金田らの報告と一致している[9]。屈曲相は立位姿勢から股関節、膝関節を屈曲させ、右脚を一步前に出す際には水の粘性抵抗を受け、筋活動は大きくなると考えられた。しかし、ランジでは水の粘性抵抗よりも浮力が大きく作用し、右脚を床に接地する際の下肢への衝撃は陸上よりもはるかに小さくなるため、筋活動が減少したと考えられる。一方、伸展相では股関節、膝関節を伸展させ、立位姿勢に戻る動きである。屈曲相と同様、股関節伸展方向へは粘性抵抗を受けるが、同時に浮力が働くため、陸上よりも GM にかかる負担が減少し、膝関節伸展の際にも浮力が大きく作用し、RF の筋活動が陸上よりも小さくなったと考えられる。

スクワットでは、屈曲相、伸展相、1 周期を通して、TA の筋活動は陸上よりも水中のほうが大きい傾向を示したが、ほかの筋は陸上よりも水中のほうが小さかった。スクワットは上下方向の運動だけであり、浮力が大きく影響すると思われる。屈曲相では浮力が働く向きと逆方向の運動であり、バランスを維持するため、TA の筋活動が大きくなったと考えられる。一方、伸展相では浮力が働く向きと同じ方向の運動であるが、屈曲相と同様、身体のバランスを維持する必要があるため、TA の筋活動が大きくなったと考えられる。このことから、TA は水中における姿勢制御筋で重要な役割を果たしていると思われる。

水中では、浮力により下肢にかかる負荷は減少した状態で運動が実施可能である。そのため、至適速度での移動を基盤とした運動では陸上のほうが筋活動は大きくなったと考えられる。しかし、水中には粘性抵抗が存在するため、運動方向からの前面抵抗と自身が動かす際に生じる抵抗により、抵抗を受ける筋の筋活動は陸上と同程度になると推測される。また、上下方向の運動では陸上では抗重力筋の筋活動が大きくなるのに対し、水中では浮力が存在するため抗重力筋を陸上よりも使用せずに運動が実施可能であり、抗重力筋以外の筋、特に TA が姿勢制御として大きな役割を果たしていると考えられる。

5. 結論

水深が臍部における水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響を検討するために、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイング、ランジ、スクワットの計 6 試技を行い、右側の RF, TA, GM, BF, MG, SOL の筋電図を測定したところ、以下のような結果が得られた。

- 1). 水中と陸上において、それぞれ被験者に各運動を至適速度で行った結果、遊脚期（屈曲相）、立脚期（伸展相）、1 周期すべてにおいて水中よりも陸上での運動時間が短かった。
- 2). 前進歩行、後進歩行、片足スイング、スクワットにおいて、有意な差は認められなかったものの、一部の筋において陸上と同程度の筋活動を示した。
- 3). ジャンプ、ランジでは、ほぼすべての筋において陸上よりも水中のほうが小さな筋活動を示した。

以上のことから、水中における前進歩行、後進歩行、片足スイングのような運動は、転倒の危険性が少なく、水の粘性抵抗を用いて水中下で筋力トレーニングが可能なが示唆された。また、中高齢者や肥満者が下肢の関節に負担をかけることなく、転倒予防のための筋力トレーニングや健康維持・増進の獲得が可能な運動として有用であると考えられる。

一方、水中におけるジャンプ、ランジ、スクワットのような上下の動作を含む運動は、水の粘性抵抗よりも浮力が大きく作用し、陸上と比べて大きな筋活動を必要とせず、関節の安定性向上や関節可動域訓練が実施可能な運動として有用であることが示唆された。

第三章

水深と運動様式の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響

1. 目的

近年、水中運動は健康維持・増進、リハビリテーションの目的で広く行われるようになってきた。水中は陸上と異なり、浮力、抵抗、水圧、温度などの特性がある。

水中では運動に伴い粘性抵抗が生じるため、歩行などの移動を主目的とした運動や OKC 様の運動を行っても、筋活動が大きく異なる可能性がある。運動療法として適切な運動様式と注意を要する運動様式があると思われるが、定かになっていない。また、水中において運動様式間の筋活動を比較、検討した研究はほとんどない。そこで、実験Ⅰとして、同一水深における運動様式が筋活動に及ぼす影響を筋電図学的観点から検討することを目的とした。

また、特に浮力は水深に応じて増減し、この効果により、肥満者や下肢に関節障害を有する人でも下肢にかかる負担が減少するため、運動可能となる利点がある。しかし、水深が変化し、荷重負荷が減少することで筋活動が減少する可能性もある。さらに、水深が変化することで運動方向に対する前面からの抵抗量も異なってくる。これらの要因が筋活動量にどのように影響するかは明らかになっておらず、運動するにあたり適切な水深で行うことが重要であると考えられる。そこで、実験Ⅱとして、水深の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響を筋電図学的観点から検討することを目的とした。

さらに、水中での抵抗の大きさは、移動する物体の速度の 2 乗に比例し、物体の形や大きさ、向きによっても変化することが知られているが、運動様式ごとに比較、検討した研究は少ない。運動を実施する際に、運動速度が速すぎると筋活動量が大きくなりすぎ、かえって筋に負担がかかる恐れがある。そこで、実験Ⅲとして、水中運動時の速度の違いが筋活動に及ぼす影響を筋電図学的観点から検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象

健康な成人男性 6 名を対象とした (Table 3-1).

Table 3-1. Characteristics of subjects

	age(year)	height(cm)	weight(kg)
average	23.0	171.4	68.8
SD	1.4	4.0	6.7

被験者には事前に実験の主旨を説明し、十分な理解を得た上で本研究の参加の同意を得た。また、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を得て行った。

2-2. 実験条件

実験は、実験用プール（石川島播磨重工業株式会社製）を用いて行った。実験用プールの全体は、長さ 5820mm×幅 2460mm×高さ 2520mm であった。計測水槽室は、長さ 4000mm×幅 2000mm×高さ 2300mm、最大水深は 2200mm であり、最大水量は 17.6 m³ であった。水深 1.0m には手すりがあり、中央には、水中床反力計（KISTLER 社製）がある。また、この実験用プールは、濾過器操作盤により温度調節が可能であり、水位調整用操作盤により水位調節も可能である。実験用プールの水温は不感温度帯である 34℃で行った。

実験 I は水深を各被験者の剣状突起の高さとした (Fig. 3-1)。

実験 II, III は水深を各被験者の腋窩、剣状突起、臍部の 3 条件とした (Fig. 3-1)。尚、Fig. 3-1 は光の屈折現象により、実際的水深より高めに見える。

また、各水深の実測値を Table 3-2 に示した。

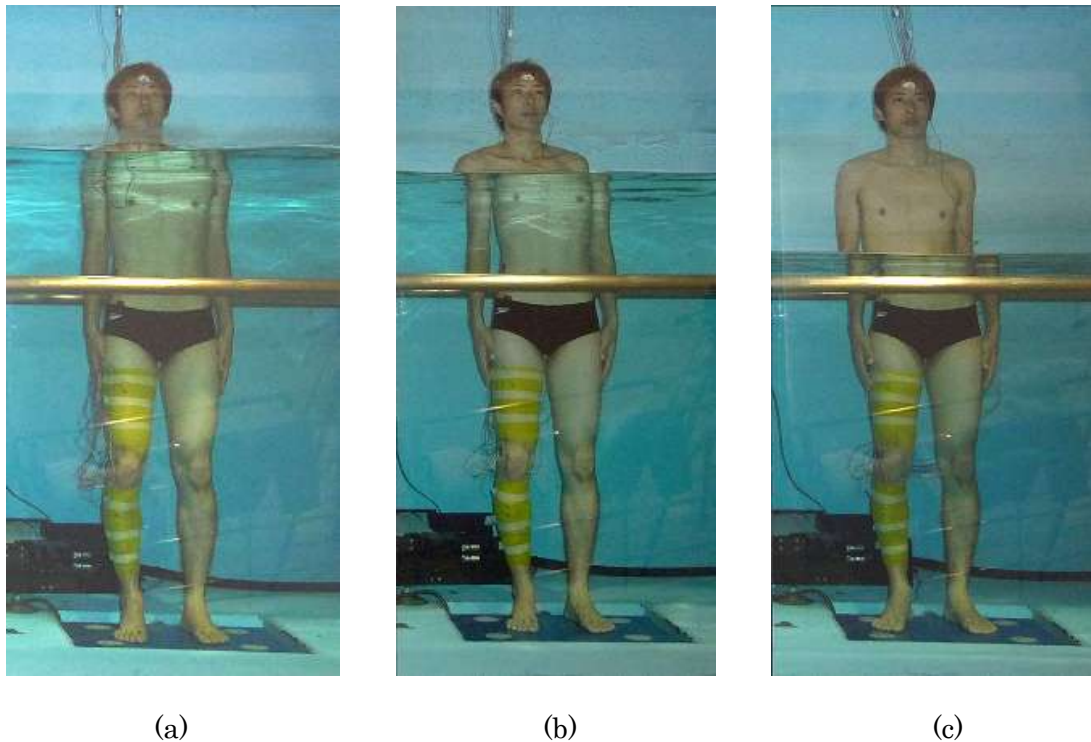


Fig. 3-1. The depth of water (a) : axilla, (b) : xiphoid process, (c) : umbilicus

Table 3-2. The depth of water of subjects

	axilla(cm)	xiphoid process(cm)	umbilicus(cm)
average	132.4	122.8	101.0
SD	2.5	4.7	3.8

2-3. 実験試技

実験Ⅰは、前進歩行（Forward Walk : FW）（Fig. 3-2）、後進歩行（Backward Walk : BW）（Fig. 3-3）ジャンプ（Jump : JP）（Fig. 3-4）、片足スイング（Swing : SW）（Fig. 3-5）の4試技とした。

実験Ⅱは、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイング、静止立位（Stance : ST）（Fig. 3-6）の5試技とした。

実験Ⅲは、前進歩行、後進歩行、片足スイングの3試技とした。

尚, Fig. 3-2~6 は光の屈折現象により, 実際の水深より高めに見える。

前進歩行は, 実験用プールの左側から開始し, 開始姿勢から 1 歩目を左足とした。また, 上肢は体側にし, 大きく振る動作や水を掻く動作はしないように指示した。後進歩行は, 実験用プールの右側から開始し, 開始姿勢から 1 歩目を左足とした。また, 上肢は体側にし, 大きく振る動作や水を掻く動作はしないように指示した。ジャンプは, 足幅を肩幅とし, 3 回連続で跳ぶように指示した。また, 上肢は両手を腰に置くように指示した。片足スイングは, 左足で立ち, 右足関節を中間位, 右膝関節を伸展位のまま, 右股関節を最大屈曲, 伸展を 2 回連続で行うよう指示した。また, 左上肢は体側とし, 右上肢は体幹が安定するように手すりを軽く握るよう指示した。静止立位は, 30 秒間, 足幅を拳 1 個分に広げ両足で立ち, 上肢は体側にするように指示した。

実験Ⅰ, Ⅱの各運動速度は, 被験者の至適速度で行った。

実験Ⅲの各運動速度は, 被験者の至適速度と至適速度よりも速い速度の 2 条件で行った。



Fig. 3-2. Forward walk



Fig. 3—3. Backward walk



Fig. 3—4. Jump

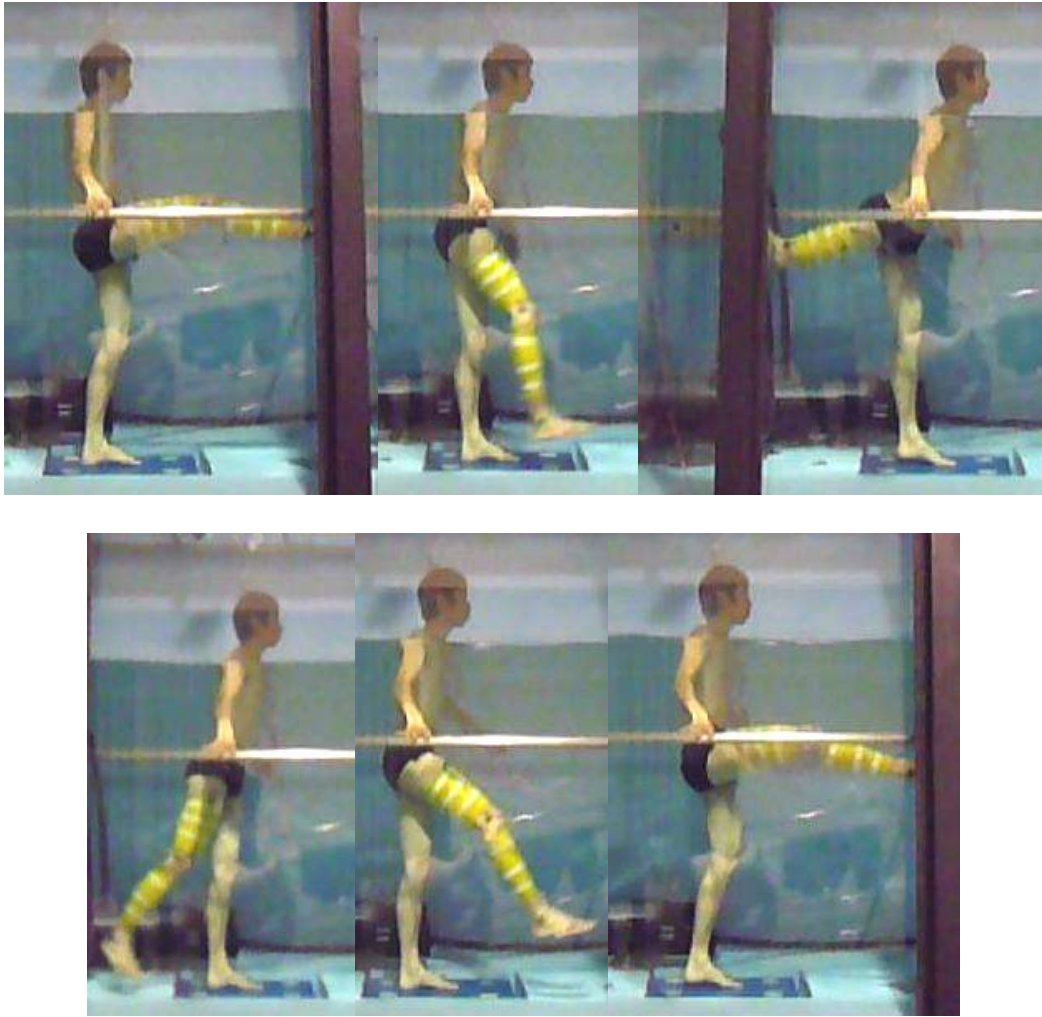


Fig. 3—5. Swing

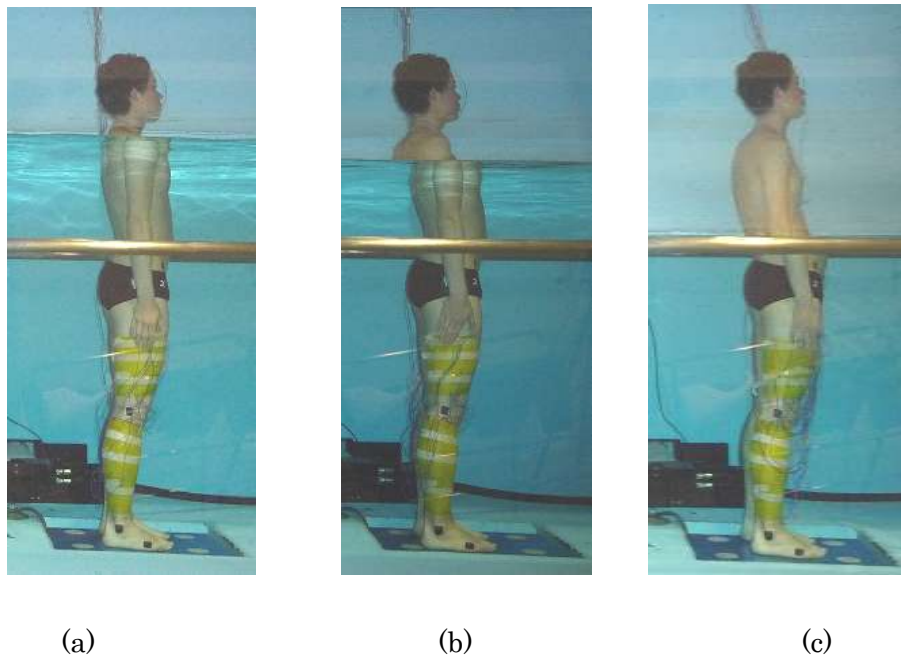


Fig. 3-6. Stance

(a) : axilla, (b) : xiphoid process, (c) : umbilicus

2-4. 筋電図

対象筋は、大腿直筋 (Rectus Femoris : RF), 前脛骨筋 (Tibialis Anterior : TA), 大殿筋 (Gluteus Maximus : GM), 大腿二頭筋長頭 (Biceps Femoris, Long Head : BF), 内側腓腹筋 (Medial Gastrocnemius : MG), ヒラメ筋 (Soleus : SOL) の計 6 筋をすべて右側で計測し、双極皿型表面筋電図法によって記録した。GM は大転子と仙骨を結んだ中点, RF は膝蓋骨上縁と上前腸骨棘と結んだ中点, BF は腓骨頭と坐骨結節を結んだ中点, MG は腓腹筋内側頭の膝窩皮線より 5 横指遠位部, TA は脛骨粗面より 4 横指遠位部, SOL は腓腹筋の筋腹の遠位部で、アキレス腱の内側前面にそれぞれ電極を貼付した。測定部位は剃毛し、消毒用エタノールで脱脂し、皮膚の表面の角質を除去した後、双極皿型表面電極 (Ag-AgCl, 直径 6mm, 電極間距離 2cm) を貼付した。また、防水フィルムを電極の上から貼付し、防水処理を施した。さらに、コードをまとめるために電極の上からアンダーラップを巻いた。筋電図からの信号はサンプリング周波数を 1kHz とし、A/D 変換器

(PowerLab, ADInstruments 社製) を通してパーソナルコンピュータへ記録した。

筋電図を正規化するために、各被験者の各筋最大随意収縮 (maximum voluntary contraction : MVC) 時の筋活動を記録した。MVC は、等尺性最大随意収縮を各筋 3 秒間行わせ、そのうち筋活動の安定した 500msec を採用した。MVC の測定肢位は、GM は、立位姿勢で等尺性最大随意収縮、または股関節を約 30° 伸展させた状態で検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせ、筋活動が高い方を MVC として用いた。RF は、端座位で膝関節を 90° 屈曲位から検者が抵抗を加え、伸展方向に等尺性最大随意収縮を行わせた。また、立位姿勢で等尺性最大随意収縮を行わせ、筋活動が高い方を MVC として用いた。BF は、立位、膝関節屈曲位にて検者が抵抗を加え、股関節を伸展方向へ等尺性最大随意収縮を行わせた。MG は、立位にて足関節を底屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。TA は、端座位にて足関節を背屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。SOL は、端座位にて足関節を底屈させ、検者が抵抗を加え、等尺性最大随意収縮を行わせた。

2-5. 解析方法

2-5-1. 運動試技

立位姿勢は、床反力計上に両足で立ち、安定してから 30 秒間を解析対象とした。前進歩行と後進歩行は、開始肢位から右足が離床し、次の右足が離床するまでを 1 歩行周期とした。ジャンプは、3 回連続ジャンプのうち、2 回目のジャンプを解析対象とした。1 回目のジャンプ後、膝関節最大屈曲位からジャンプを行い、着地し、再度、膝関節が最大屈曲位になるまでを 1 周期とした。片足スイングは、股関節最大屈曲位から最大伸展し、再度、股関節が最大屈曲位になるまでを 1 周期とした。

2-5-2. 運動時間

水中での各動作の記録は、矢状面よりビデオカメラ (30Hz) にて撮影を行った。撮影さ

れたビデオ映像は、Dipp Basic version 1.0.7（株式会社ディテクト）を用いてパーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込んだ画像より、2・3次元高精度運動解析ソフトウェア（Dipp Motion Pro, 株式会社ディテクト）を用いて、各運動動作の遊脚期、立脚期、1周期の時間を算出した。

2-5-3. 筋電図

筋電図は、シンクロナイザ（LED型シンクロナイザ, 株式会社ディケイエイチ）を用いてビデオ画像と同期させた。その後、算出した運動時間より、各運動動作の遊脚期、立脚期、1周期の筋電図を表出した。

筋電図の解析は、専用ソフト（Chart 5.0 for Windows, AD Instruments, Japan）を用いて行った。その後、全波整流波形処理を行い、整流平滑化（Average Rectified Value: ARV）し、%MVCを算出した。そして、1周期における%MVCの平均値をaverage %MVCとして標準化した。

2-6. 統計処理

実験Ⅰは、運動時間、運動様式の違いによる筋活動の比較に関しては、一元配置分散分析を行った。有意差が認められた場合には、Bonferroniによる多重比較検定を行った。尚、有意水準は5%未満とした。

実験Ⅱは、各運動様式内の水深の違いにおける運動時間の比較に関しては、一元配置分散分析を行った。また、運動様式ごとの水深の違いによる筋活動の比較に関しては、二元配置分散分析（筋×水深条件）を行った。有意差が認められた場合にはBonferroniによる多重比較検定を行った。尚、有意水準は5%未満とした。

実験Ⅲは、至適速度と速い速度の運動時間、同一水深での筋ごとにおける至適速度と速い速度の比較に関しては、対応のあるt検定を行った。尚、有意水準は5%未満とした。

3. 結果

3-I. 同一水深における運動様式が筋活動に及ぼす影響

1. 運動時間

水深が剣状突起において、運動時間について検討したところ、前進歩行とジャンプ、後進歩行とジャンプ、片足スイングとジャンプとの間に有意に（各 $p<0.01$ ），ジャンプよりも前進歩行、後進歩行、片足スイングのほうが運動時間は長かった．同様に、前進歩行と片足スイングとの間にも有意に（ $p<0.05$ ），前進歩行よりも片足スイングのほうが運動時間は長かった（Fig. 3-7）．

また、各運動時間の実数値を Table 3-3 に示す．

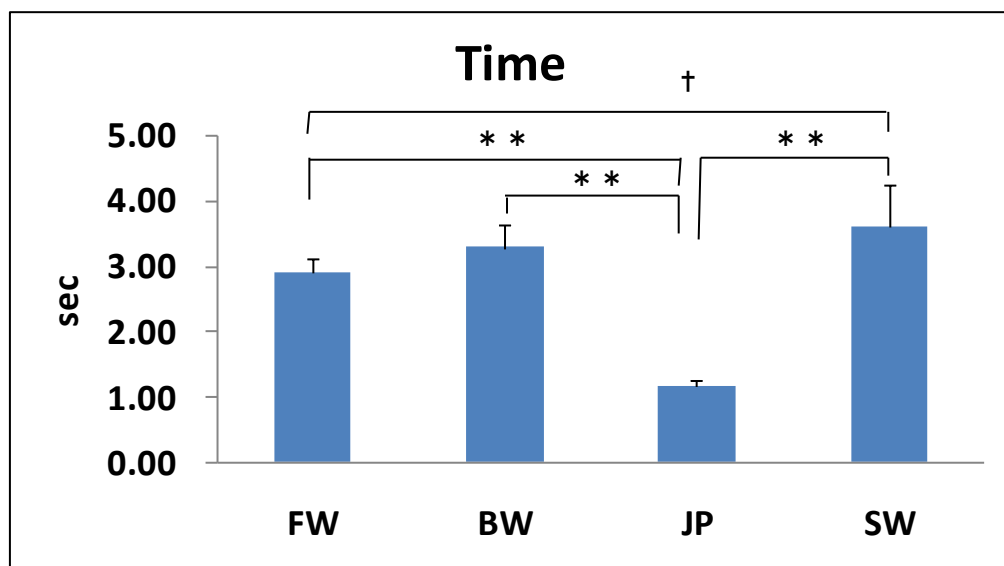


Fig. 3-7. Time of exercise of the same depth of water

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : Xiphoid process,

** : FW, BW, SW vs JP ** : $p<0.01$, † : FW vs SW † : $p<0.05$

Table 3-3. Time of exercise of the same depth of water (sec)

The depth of water	FW	BW	JP	SW
xiphoid process	2.91 ± 0.20 †	3.28 ± 0.36	1.16 ± 0.10 * *	3.60 ± 0.63

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water :Xiphoid process, Values are mean ± SD

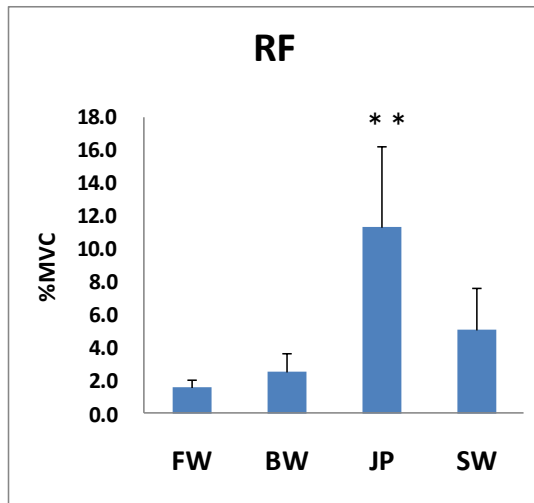
* *:FW, BW, SW vs JP * *: p<0.01, † : FW vs SW † : p<0.05

2. 運動様式の違いによる筋活動の比較

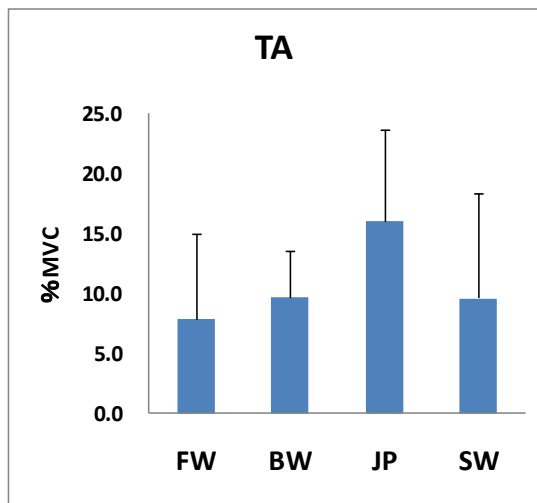
水深が剣状突起において、各筋における運動様式の筋活動の比較をしたところ、RF と MG, SOL において、前進歩行、後進歩行、片足スイングよりもジャンプのほうが有意に筋活動は大きかった（各 p<0.01）。GM は、前進歩行（p<0.05）、後進歩行（p<0.01）よりも片足スイングのほうが有意に筋活動は大きかった。TA と BF においては有意な差が認められなかった（Fig. 3-8）。

また、各筋の筋活動量の実数値を Table 3-4 に示した。

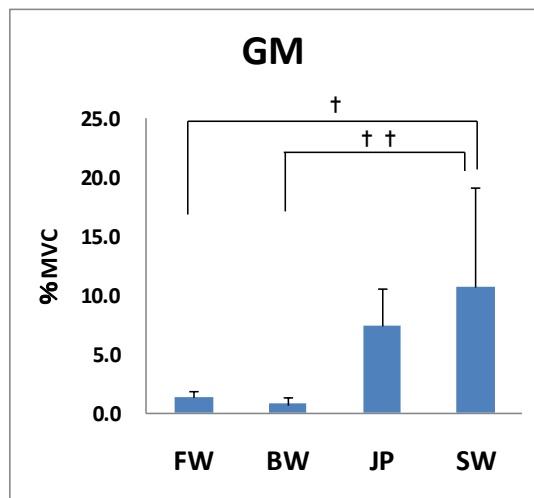
(A)



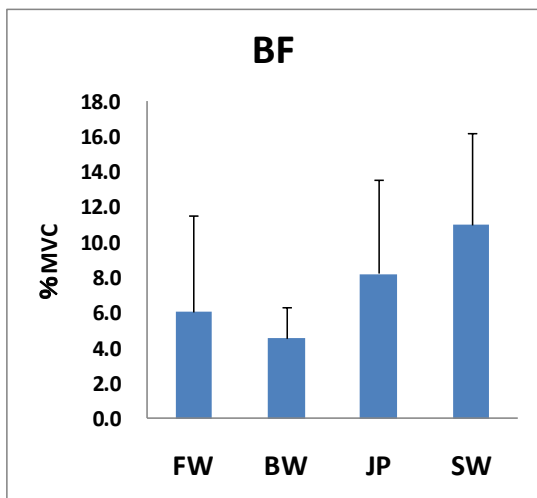
(B)



(C)



(D)

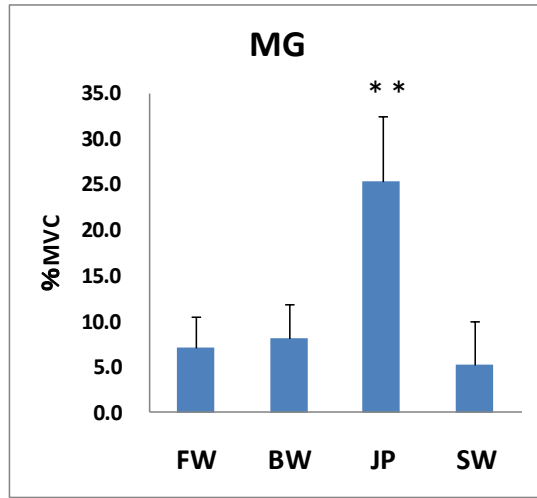


FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : Xiphoid process,

*:FW, BW, SW vs JP **: p<0.01, † : FW vs SW † : p<0.05, †† : p<0.01

(E)



(F)

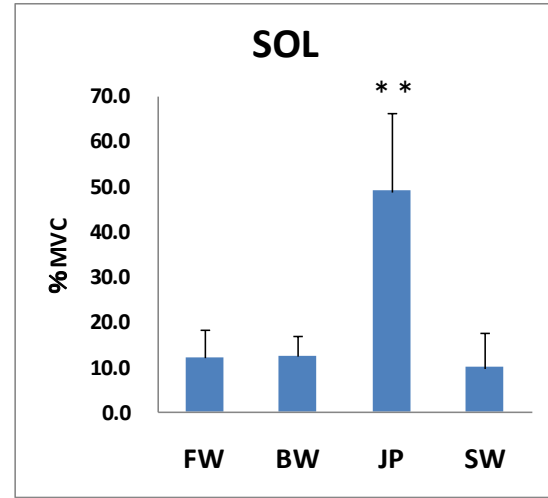


Fig. 3—8. Comparison of %MVC of each muscles of different exercises

(A)RF: Rectus Femoris, (B)TA: Tibialis Anterior, (C)GM: Gluteus Maximus,

(D)BF: Biceps Femoris, (E)MG: Medial Gastrocnemius, (F)SOL: Soleus

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : Xiphoid process,

*:FW, BW, SW vs JP **: p<0.01, † : FW vs SW † : p<0.05, † † : p<0.01

Table 3–4. Comparison of %MVC of each muscles of different exercises

	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
FW	1.6 ± 0.5	7.9 ± 7.2	1.3 ± 0.6 †	6.0 ± 5.5	7.1 ± 3.4	12.1 ± 6.2
BW	2.6 ± 1.1	9.7 ± 3.9	0.7 ± 0.6 † †	4.6 ± 1.8	8.2 ± 3.7	12.5 ± 4.5
JP	11.3 ± 5.0 * *	16.1 ± 7.6	7.4 ± 3.2	8.2 ± 5.3	25.4 ± 7.2 * *	48.9 ± 17.3 * *
SW	5.1 ± 2.5	9.6 ± 8.8	10.7 ± 8.4	11.0 ± 5.2	5.2 ± 4.8	9.9 ± 7.8

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : xiphoid process, Values are mean ± SD

*:FW, BW, SW vs JP * *: p<0.01, † : FW vs SW † : p<0.05, † † : p<0.01

3-Ⅱ. 水深の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響

1. 運動時間

水深が腋窩，剣状突起，臍部での前進歩行，後進歩行，ジャンプ，片足スイングにおける運動時間を比較したところ，前進歩行において腋窩と剣状突起 ($p<0.01$)，腋窩と臍部 ($p<0.01$)，剣状突起と臍部 ($p<0.05$) で有意に，腋窩よりも剣状突起と臍部のほうが運動時間は短かった．また，剣状突起よりも臍部のほうが運動時間は短かった．後進歩行において腋窩と臍部 ($p<0.01$)，剣状突起と臍部 ($p<0.05$) との間に有意な差が見られ，腋窩よりも臍部，剣状突起よりも臍部のほうが運動時間は短かった (Fig. 3-9)．

また，各運動時間の実数値を Table 3-5 に示した．

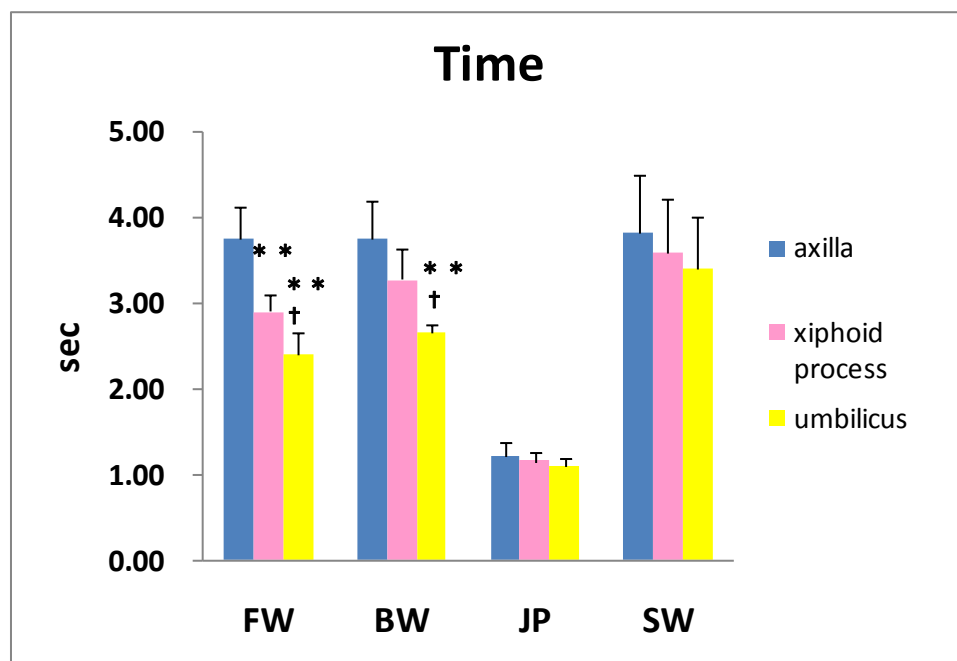


Fig. 3-9. Time of exercise of the different depth of water

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus

*: axilla vs xiphoid process, umbilicus *: $p<0.01$,

†: xiphoid process vs umbilicus †: $p<0.05$

Table 3—5. Time of exercise of the different depth of water(sec)

The depth of water	FW	BW	JP	SW
axilla	3.76 ± 0.36	3.76 ± 0.45	1.21 ± 0.17	3.83 ± 0.67
xiphoid process	2.91 ± 0.20 * *	3.28 ± 0.36	1.16 ± 0.10	3.60 ± 0.63
umbilicus	2.40 ± 0.25 * *, †	2.66 ± 0.11 * *, †	1.09 ± 0.10	3.41 ± 0.61

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , Values are mean ± SD

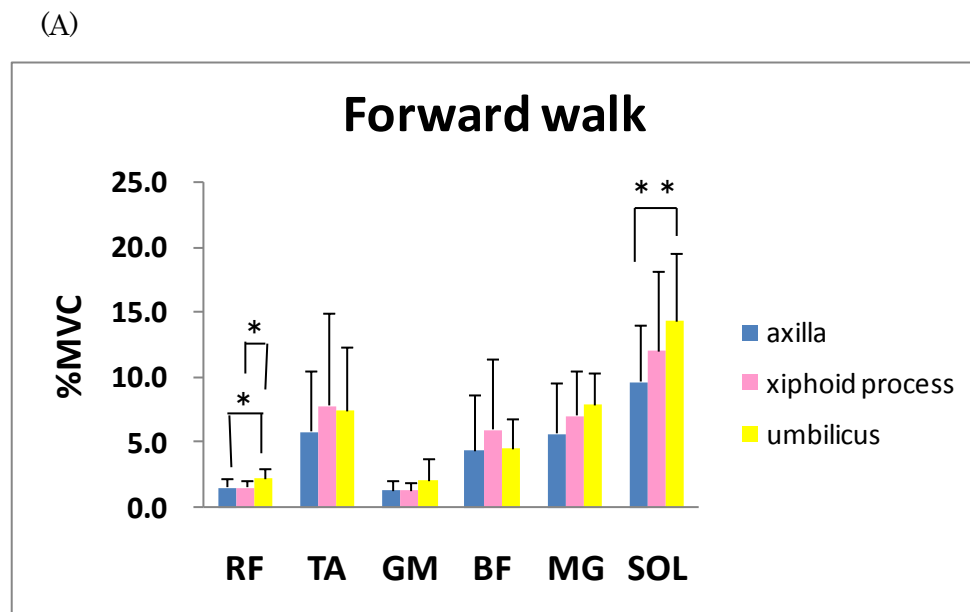
* :axilla vs xiphoid process, umbilicus * * : p<0.01,

† :xiphoid process vs umbilicus † : p<0.05

2. 水深の違いによる筋活動の比較

前進歩行，後進歩行，ジャンプ，片足スイング，静止立位において，水深が腋窩，剣状突起，臍部での RF，TA，GM，BF，MG，SOL の筋活動を比較したところ，前進歩行では，RF は腋窩と臍部，剣状突起と臍部に有意に（各 $p<0.05$ ），いずれも臍部での筋活動が大きかった．また，SOL は腋窩よりも臍部のほうが有意に筋活動は大きかった（ $p<0.01$ ）．ジャンプでは，RF，TA，GM において腋窩よりも臍部が有意に筋活動は大きかった（RF: $p<0.05$ ，TA: $p<0.01$ ，GM: $p<0.01$ ）．また，TA は剣状突起よりも臍部が有意に筋活動は大きかった（ $p<0.01$ ）．静止立位では，TA は臍部よりも腋窩が（ $p<0.05$ ），SOL は腋窩よりも臍部の筋活動が有意に大きかった（ $p<0.01$ ）（Fig. 3-10）．

また，各筋の筋活動量の実数値を Table 3-6 に示した．

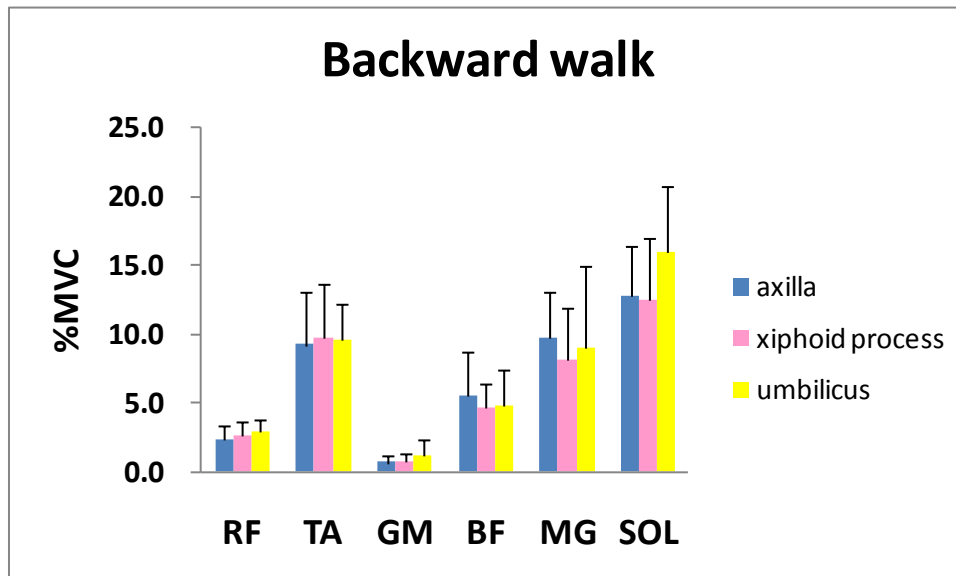


RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

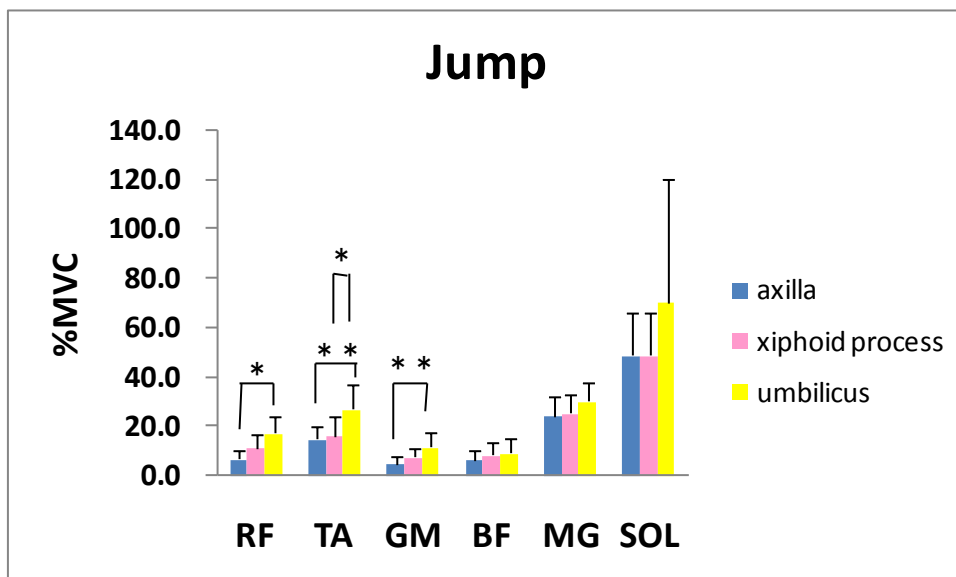
BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , * : $p<0.05$, * * : $p<0.01$

(B)



(C)

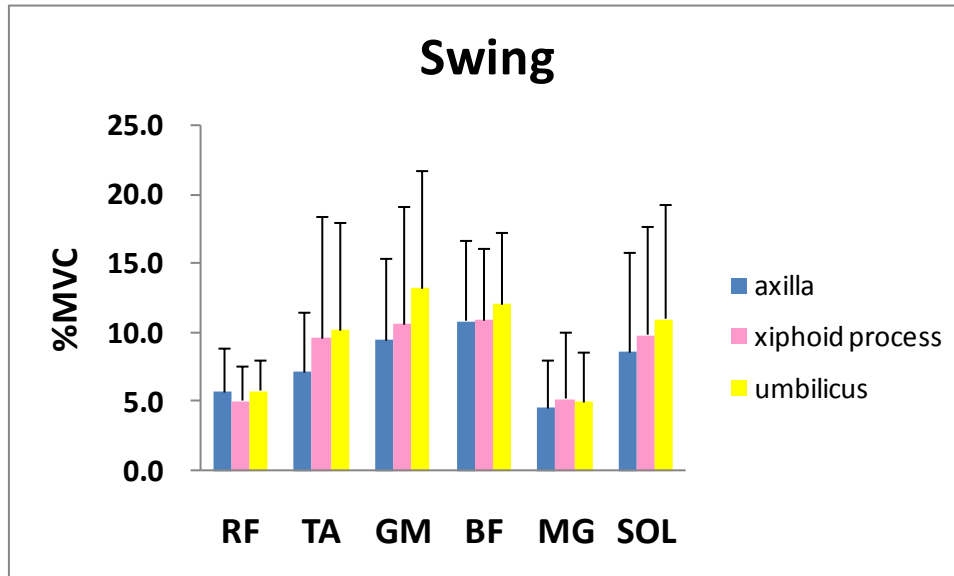


RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , * : $p < 0.05$, * * : $p < 0.01$

(D)



(E)

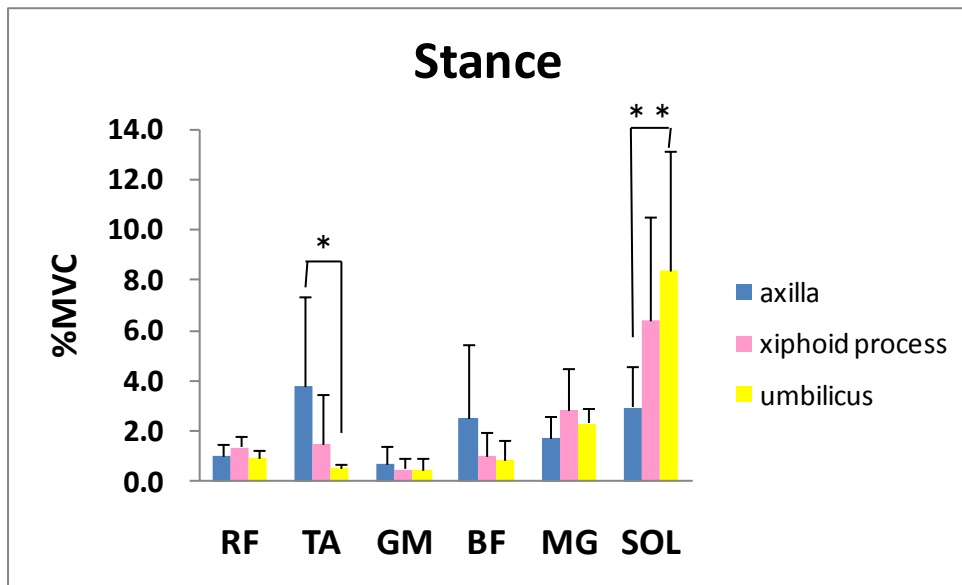


Fig. 3—10. Comparison of % EMG of different of the depth of water

(A): Forward walk, (B):Backward walk, (C): Jump, (D): Swing, (E): Stance,

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , * : $p < 0.05$, * * : $p < 0.01$

Table 3—6. Comparison of %MVC of different of the depth of water

Exercise	The depth of water	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
FW	axilla	1.6 ± 0.6 *	5.9 ± 4.7	1.3 ± 0.7	4.4 ± 4.3	5.7 ± 3.8	9.7 ± 4.3
	xiphoid process	1.6 ± 0.5 *	7.9 ± 7.2	1.3 ± 0.6	6.0 ± 5.5	7.1 ± 3.4	12.1 ± 6.2
	umbilicus	2.3 ± 0.7	7.4 ± 4.9	2.1 ± 1.7	4.6 ± 2.2	8.0 ± 2.5	14.4 ± 5.1
BW	axilla	2.4 ± 1.0	9.2 ± 3.8	0.7 ± 0.5	5.6 ± 3.2	9.8 ± 3.3	12.7 ± 3.7
	xiphoid process	2.6 ± 1.1	9.7 ± 2.9	0.7 ± 0.6	4.6 ± 1.8	8.2 ± 3.7	12.5 ± 4.5
	umbilicus	2.9 ± 0.9	9.6 ± 2.6	1.2 ± 1.1	4.9 ± 2.6	9.0 ± 5.9	16.0 ± 4.7
JP	axilla	6.9 ± 3.0 *	14.8 ± 5.3 * *	4.5 ± 3.4 * *	6.4 ± 3.8	23.9 ± 7.7	48.9 ± 17.4
	xiphoid process	11.3 ± 5.0	16.1 ± 7.6 * *	7.4 ± 3.2	8.2 ± 5.3	25.4 ± 7.2	48.9 ± 17.3
	umbilicus	17.2 ± 7.0	26.9 ± 10.1	11.5 ± 6.3	8.9 ± 6.3	30.2 ± 7.3	70.4 ± 50.1
SW	axilla	5.7 ± 3.2	7.2 ± 4.2	9.5 ± 5.9	10.9 ± 5.9	4.6 ± 3.4	8.7 ± 7.2 * *
	xiphoid process	5.1 ± 2.5	9.6 ± 8.8	10.7 ± 8.4	11.0 ± 5.2	5.2 ± 4.8	9.9 ± 7.8
	umbilicus	5.8 ± 2.2	10.3 ± 7.8	13.3 ± 8.5	12.1 ± 5.1	5.0 ± 3.6	11.0 ± 8.3
ST	axilla	1.0 ± 0.4	3.8 ± 3.6 *	0.7 ± 0.7	2.5 ± 2.9	1.8 ± 0.9	3.0 ± 1.6 * *
	xiphoid process	1.4 ± 0.5	1.5 ± 1.9	0.5 ± 0.5	1.0 ± 0.9	2.8 ± 1.7	6.4 ± 4.1
	umbilicus	1.0 ± 0.3	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.5	0.8 ± 0.8	2.3 ± 0.6	8.4 ± 4.8

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing, ST: Stance

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus ,

Values are mean ± SD, *: p<0.05, * *: p<0.01

3-Ⅲ. 水中運動時の速度の違いが筋活動に及ぼす影響

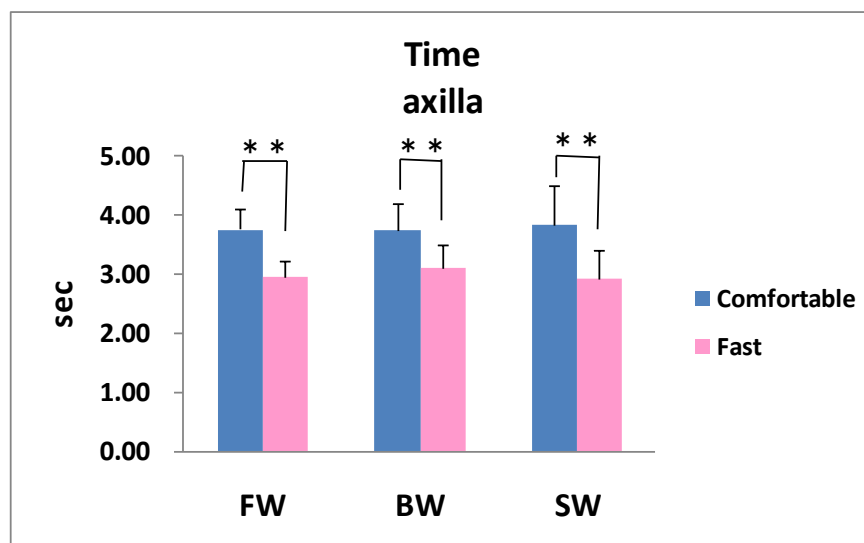
1. 運動時間

水深が腋窩，剣状突起，臍部での前進歩行，後進歩行と片足スイングにおいて，各被験者の至適速度と速い速度で運動時間を比較したところ，有意な差が見られた（各 $p<0.01$ ）。

水深が腋窩のところを着目すると前進歩行，後進歩行，片足スイングの至適速度の運動時間はほぼ同じであったが，速い速度になると片足スイング，前進歩行，後進歩行の順に運動時間は短くなった（Fig. 3-11）。

また，各運動時間の実数値を Table 3-7 に示し，水深が腋窩での至適速度と速い速度の運動時間の差を Table 3-8 に示した。

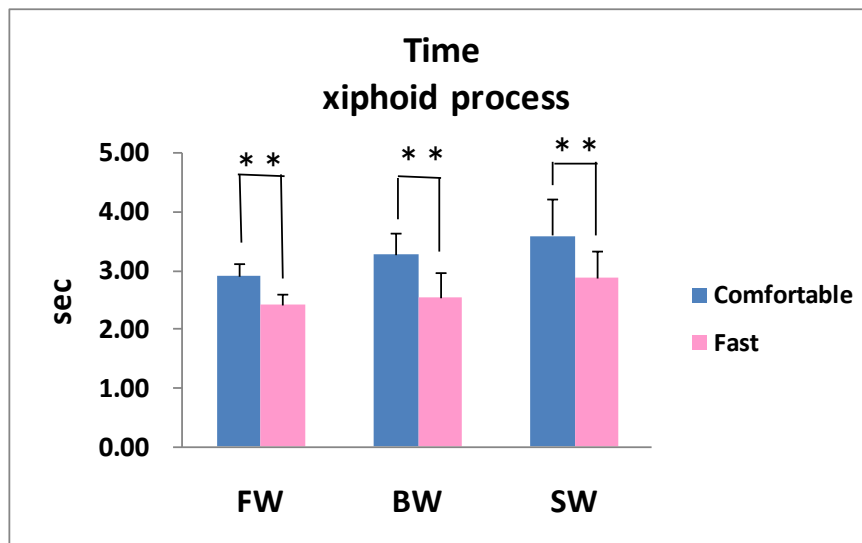
(A)



FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, SW: Swing

Velocity: Comfortable, Fast, **: $p<0.01$,

(B)



(C)

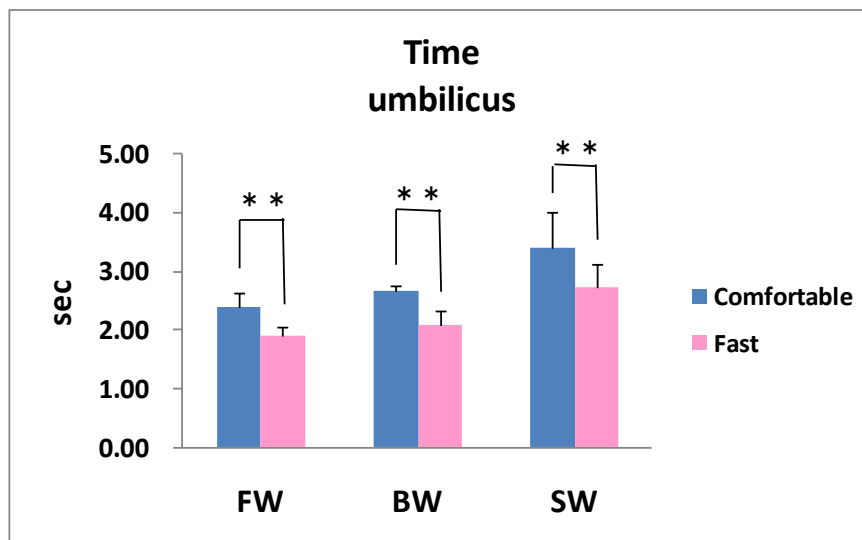


Fig. 3—11. Time of exercise of the different velocity

(A): Time of exercise of axilla,

(B): Time of exercise of xiphoid process, (C): Time of exercise of umbilicus

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, SW: Swing

Velocity: Comfortable, Fast, * *: $p < 0.01$,

Table 3—7. Time of exercise of the different velocity(sec)

The depth of water	velocity	FW	BW	SW
axilla	comfortable	3.76 ± 0.36	3.76 ± 0.45	3.83 ± 0.67
	Fast	2.96 ± 0.25 * *	3.11 ± 0.39 * *	2.92 ± 0.50 * *
xiphoid process	comfortable	2.91 ± 0.20	3.28 ± 0.36	3.60 ± 0.63
	Fast	2.42 ± 0.19 * *	2.54 ± 0.44 * *	2.88 ± 0.46 * *
umbilicus	comfortable	2.40 ± 0.25	2.66 ± 0.11	3.41 ± 0.61
	Fast	1.90 ± 0.15 * *	2.08 ± 0.26 * *	2.72 ± 0.42 * *

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, SW: Swing

The depth of water: axilla, xiphoid process, umbilicus , Values are mean ± SD

Velocity: Comfortable, Fast, * *: p<0.01,

Table 3—8. Time of the difference between comfortable and fast(sec)

The depth of water	FW	BW	SW
axilla	0.8 ± 0.33	0.65 ± 0.26	0.91 ± 0.24

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, SW: Swing

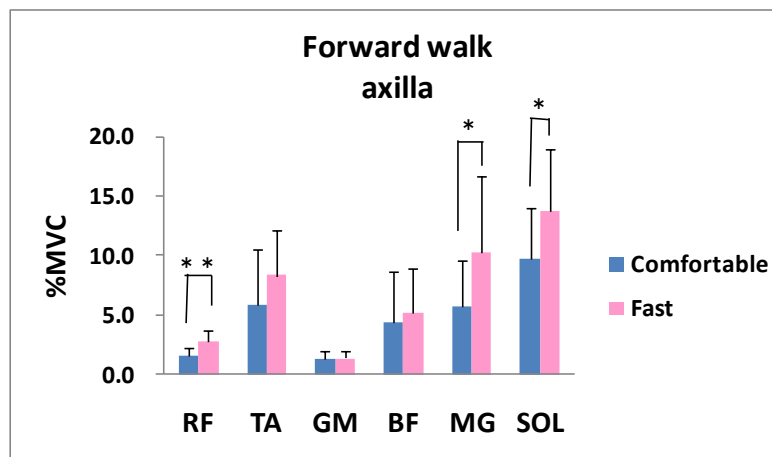
The depth of water: axilla, Values are mean ± SD

2. 速度の違いによる筋活動の比較

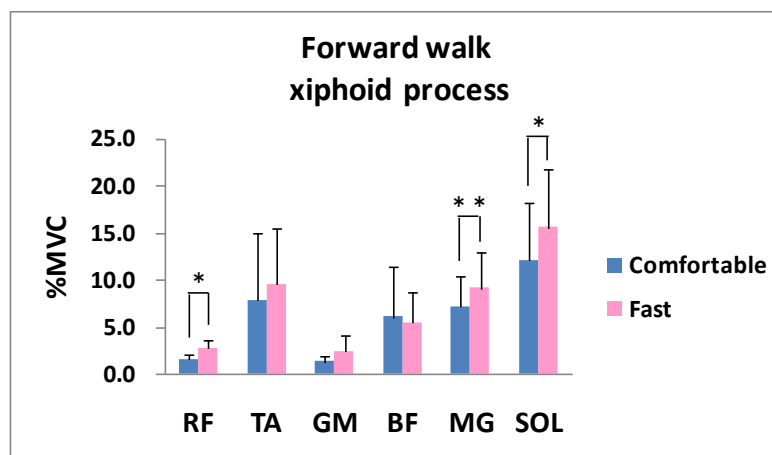
前進歩行において、水深が腋窩では RF, MG, SOL で有意に (RF: $p<0.01$, MG, SOL: $p<0.05$), 剣状突起では RF, MG, SOL で有意に (RF, SOL: $p<0.05$, MG: $p<0.01$), 臍部では RF, GM, SOL で有意に (各 $p<0.01$), 至適速度よりも速い速度が筋活動は大きかった (Fig. 3-12).

また, 各筋の筋活動量の実数値を Table 3-9 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus,

Velocity: Comfortable, Fast, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

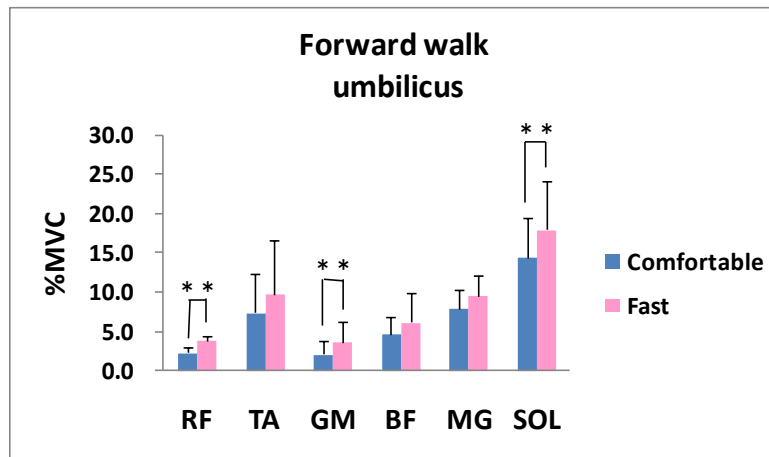


Fig. 3–12. Comparison of average EMG of different velocity

(A): Forward walk of axilla, (B): Forward walk of xiphoid process,

(C): Forward walk of umbilicus, RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM:

Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, Velocity:

Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 3–9. Comparison of % MVC of different velocity

The depth of water	velocity	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
axilla	Comfortable	1.6 ± 0.6	5.9 ± 4.7	1.3 ± 0.7	4.4 ± 4.3	5.7 ± 3.8	9.7 ± 4.3
	Fast	2.7 ± 1.0 **	8.3 ± 3.9	1.4 ± 0.6	5.2 ± 3.7	10.3 ± 6.4 *	13.8 ± 5.2 *
xiphoid process	Comfortable	1.6 ± 0.5	7.9 ± 7.2	1.3 ± 0.6	6.0 ± 5.5	7.1 ± 3.4	12.1 ± 6.2
	Fast	2.8 ± 0.9 *	9.5 ± 6.0	2.4 ± 1.8	5.5 ± 3.3	9.1 ± 3.8 **	15.6 ± 6.2 *
umbilicus	Comfortable	2.3 ± 0.7	7.4 ± 4.9	2.1 ± 1.7	4.6 ± 2.2	8.0 ± 2.5	14.4 ± 5.1
	Fast	3.8 ± 0.7 **	9.7 ± 6.9	3.7 ± 2.5 **	6.2 ± 3.8	9.6 ± 2.7	18.0 ± 6.3 **

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus,

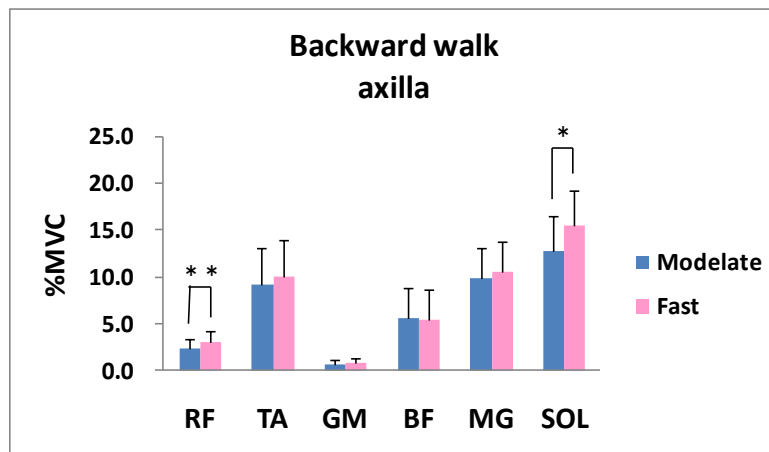
BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , Values are mean ± SD,

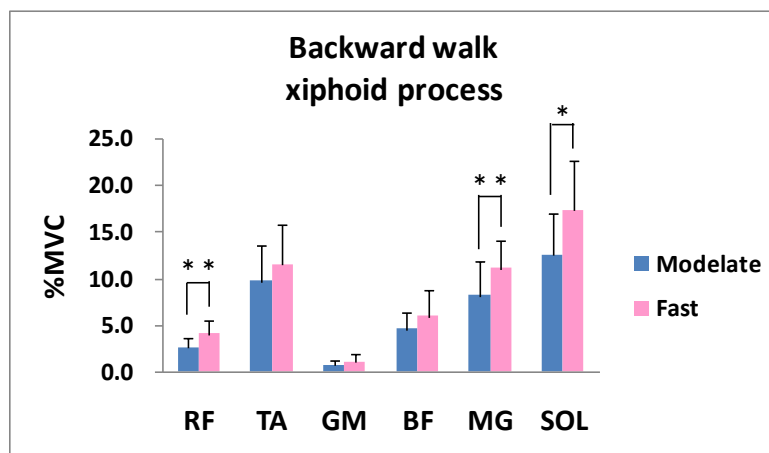
Velocity: Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

後進歩行において、水深が腋窩では RF, SOL で有意に (RF: $p<0.01$, SOL: $p<0.01$), 剣状突起では RF, MG, SOL で有意に (RF, MG: $p<0.01$, SOL: $p<0.05$), 臍部では RF, TA で有意に (各 $p<0.05$), 至適速度よりも速い速度が筋活動は大きかった (Fig. 3-13). また, 各筋の筋活動量の実数値を Table 3-10 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, Velocity: Comfortable, Fast,

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

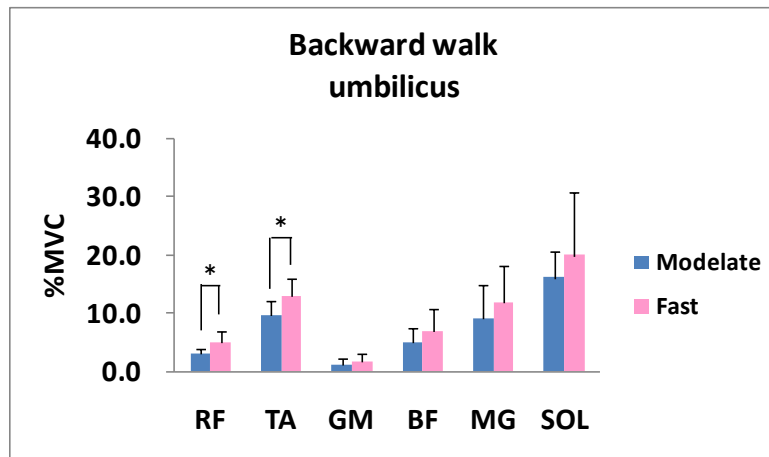


Fig. 3–13. Comparison of average EMG of different velocity

(A): Backward walk of axilla, (B): Backward walk of xiphoid process,

(C): Backward walk of umbilicus, RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior,

GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus,

Velocity: Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 3–10. Comparison of %MVC of different velocity

The depth of water	velocity	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
axilla	Comfortable	2.4 ± 1.0	9.2 ± 3.8	0.7 ± 0.5	5.6 ± 3.2	9.8 ± 3.3	12.7 ± 3.7
	Fast	3.1 ± 1.3 **	10.1 ± 2.0	0.9 ± 0.6	5.5 ± 3.9	10.5 ± 2.0	15.5 ± 4.5 *
xiphoid process	Comfortable	2.6 ± 1.1	9.7 ± 3.9	0.7 ± 0.6	4.6 ± 1.8	8.2 ± 3.7	12.5 ± 4.5
	Fast	4.1 ± 1.5 **	11.5 ± 4.4	1.0 ± 1.0	5.9 ± 2.9	11.1 ± 3.1 *	17.3 ± 5.4 **
umbilicus	Comfortable	2.9 ± 0.9	9.6 ± 2.6	1.2 ± 1.1	4.9 ± 2.6	9.0 ± 5.9	16.0 ± 4.7
	Fast	5.0 ± 2.0 *	12.9 ± 3.0 *	1.6 ± 1.6	6.9 ± 4.0	11.7 ± 6.5	19.9 ± 10.9

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

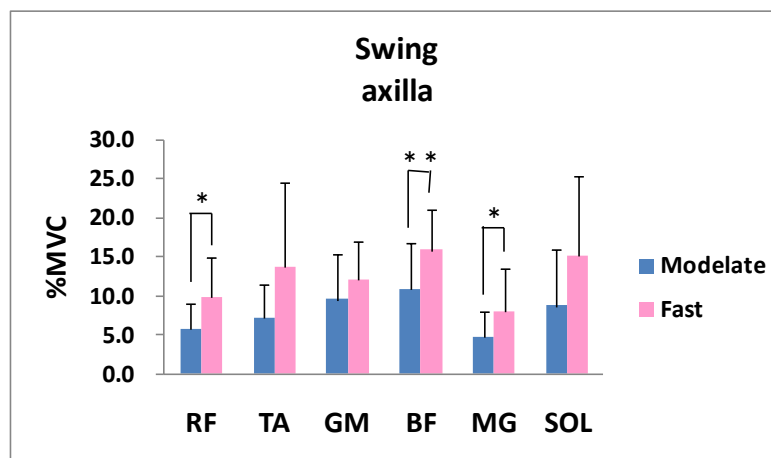
The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , Values are mean ± SD,

Velocity: Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

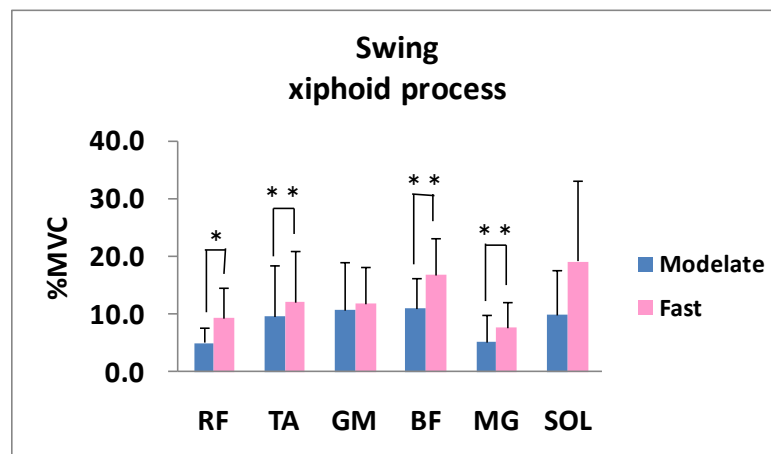
片足スイングにおいて、水深が腋窩では RF, BF, MG で有意に (RF, MG: $p<0.05$, BF: $p<0.01$), 剣状突起では RF, TA, BF, MG で有意に (RF: $p<0.05$, TA, BF, MG: $p<0.01$), 臍部では TA, BF, MG で有意に (TA, MG: $p<0.05$, BF: $p<0.01$), 至適速度よりも速い速度が筋活動は大きかった (Fig. 3-14).

また、各筋の筋活動量の実数値を Table 3-11 に示した.

(A)



(B)



RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus, Velocity: Comfortable, Fast,

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$

(C)

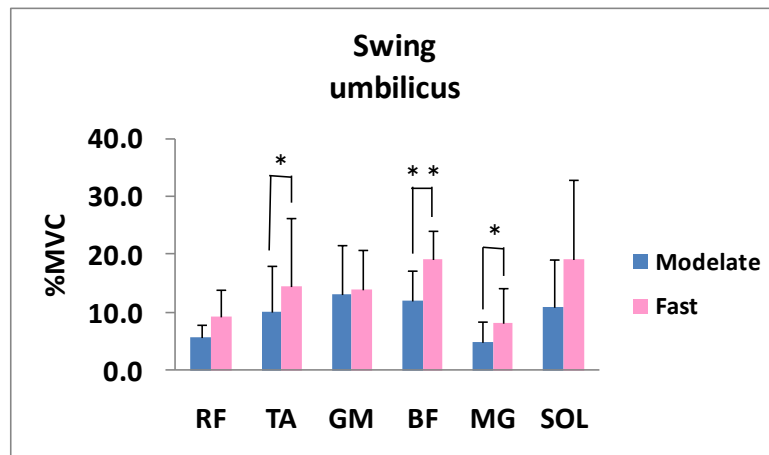


Fig. 3–14. Comparison of average EMG of different velocity

(A): Swing of axilla, (B): Swing of xiphoid process,

(C): Swing of umbilicus, RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior,

GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus,

Velocity: Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 3–11. Comparison of %MVC of different velocity

The depth of water	velocity	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
axilla	Comfortable	5.7 ± 3.2	7.2 ± 4.2	9.5 ± 5.9	10.9 ± 5.9	4.6 ± 3.4	8.7 ± 7.2
	Fast	9.8 ± 5.0 *	13.6 ± 11.0	12.1 ± 4.9	15.8 ± 5.2 **	7.9 ± 5.5 *	15.1 ± 10.2
xiphoid process	Comfortable	5.1 ± 2.5	9.6 ± 8.8	10.7 ± 8.4	11.0 ± 5.2	5.2 ± 4.8	9.9 ± 7.8
	Fast	9.4 ± 5.2 *	12.1 ± 9.0 **	11.9 ± 6.5	16.9 ± 6.3 **	7.6 ± 4.6 **	19.2 ± 13.9
umbilicus	Comfortable	5.8 ± 2.2	10.3 ± 7.8	13.3 ± 8.5	12.1 ± 5.1	5.0 ± 3.6	11.0 ± 8.3
	Fast	9.4 ± 4.6	14.6 ± 11.7 *	13.9 ± 7.0	19.2 ± 4.9 **	8.3 ± 5.9 *	19.1 ± 13.7

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, xiphoid process, umbilicus , Values are mean ± SD,

Velocity: Comfortable, Fast, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

水深が腋窩における前進歩行，後進歩行，片足スイングの至適速度と速い速度での各筋の筋活動量による差を Table 3-12 に示した.

Table 3-12. %MVC of the difference between comfortable and fast

The depth of water	Exercise	RF	TA	GM	BF	MG	SOL
axilla	FW	1.1 ± 0.5	2.5 ± 2.7	0.1 ± 0.3	0.8 ± 1.3	4.5 ± 3.0	4.0 ± 2.9
	BW	0.7 ± 0.3	0.9 ± 2.3	0.2 ± 0.2	-0.1 ± 1.4	0.7 ± 3.5	2.8 ± 2.2
	SW	4.1 ± 2.8	6.4 ± 7.0	2.6 ± 3.7	4.9 ± 2.4	3.3 ± 2.3	6.4 ± 7.0

FW: Forward Walk, BW: Backward Walk, JP: Jump, SW: Swing

RF: Rectus Femoris, TA: Tibialis Anterior, GM: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris,

MG: Medial Gastrocnemius, SOL: Soleus

The depth of water : axilla, Values are mean ± SD,

4. 考察

4-1. 同一水深における運動様式が筋活動に及ぼす影響

本研究は、水深が剣状突起において運動様式が筋活動に及ぼす影響を検討することを目的として、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイングの計4試技を行い、各試技の運動時間と右側のRF, TA, GM, BF, MG, SOLの筋電図を測定した。

ジャンプのRF, MG, SOLにおける筋活動は前進歩行、後進歩行、片足スイングと比較して有意に増加した。片足スイングのGMは前進歩行、後進歩行と比較して有意に増加した。TA, BFについては運動様式間で有意な差は認められなかった。

ジャンプは股関節・膝関節屈曲位、足関節背屈位から股関節・膝関節伸展位、足関節底屈位にしながら上方に跳び、着地する下肢の屈伸運動である。ジャンプは他の運動時間よりも短く、運動動作が速い分、抵抗を受ける量も大きくなり、筋活動が大きくなったと考えられる。また、膝関節を屈曲位から伸展する際に上から下に抵抗を受け、着地する際に股関節を屈曲し、他の運動に比べ下肢にかかる衝撃が大きくなるため、RFの筋活動が大きくなったと思われる。さらに、足関節を底屈して床面を蹴り出し、跳んで下りる際に足関節を底屈位にし、浮力が働く向きと反対方向に動作を行っているため、MG, SOLの筋活動が前進歩行、後進歩行、片足スイングよりも大きくなったと考えられる。

片足スイングは膝伸展位で股関節を最大屈曲、最大伸展する、大転子を支点として下肢の大きな動きに伴う水の抵抗を基盤とする運動である。そのため、運動方向に対し、水の抵抗が大きくなる。その結果、同じ前後方向の運動である前進歩行や後進歩行よりも大腿部に受ける粘性抵抗は大きくなるため、GMの筋活動は有意に大きくなったと思われる。また、大腿部とともに下腿部に受ける粘性抵抗も大きくなり、膝伸展位を保持するため、RF, BFの筋活動が大きくなったと考えられる。

前進歩行、後進歩行は下肢への荷重を基盤とする移動運動である。下腿への荷重負荷により下腿筋群の筋活動は高く維持されるが、大腿部以上の筋群への負荷は少ないと思われる。その結果、TA, MG, SOLにおいて水の抵抗のみを用いた運動である片足スイング

と同等の筋活動を示したと考えられる。

以上のことから、中高齢者におけるトレーニングやリハビリテーションには、ジャンプのような運動は跳ぶ高さにより負荷が大きくなると考えられ、注意が必要である。一方、前進歩行や後進歩行に加え、片足スイングのような抵抗を利用した運動を用いることは筋力向上の運動として望ましいと言える。

4-Ⅱ. 水深の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響

本研究は、水深が腋窩、剣状突起、臍部において水深の違いが筋活動に及ぼす影響を検討することを目的として、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイング、静止立位の計5試技を行い、各試技の運動時間と右側の RF, TA, GM, BF, MG, SOL の筋電図を測定した。

前進歩行、後進歩行の運動時間は、水深が浅くなるにつれて有意に減少した。これは、水深が浅くなるにつれて、浸水する身体の面積も小さくなるため、身体にかかる運動方向からの粘性抵抗が減少したためだと考えられる。

前進歩行では、水深が浅くなるにつれて RF と SOL の筋活動が有意に大きくなった。渡辺らは水中トレッドミルを用い、90m/min の歩行速度において RF, SOL の筋放電は水位の低下に伴い増加する傾向を示したと報告している[3]。このことは、本研究とも一致する。これは、水深が浅くなるにつれ、浮力が減少し、抗重力筋である SOL にかかる負荷が大きくなったことが一要因として考えられる。また、前進歩行では他の運動よりも水深が浅くなるにつれ有意に運動時間が減少した。運動時間が短くなることで粘性抵抗が大きくなり、床面の蹴り出しと足を前方に出す動作を速くするため、足関節底屈筋である SOL と股関節屈曲、膝関節伸展の二関節筋である RF の筋活動が大きくなったと思われる。

後進歩行では、前進歩行と同様の傾向を示したが、有意な差は得られなかった。また、前進歩行においても RF, SOL の筋以外に関しては水深の影響を受けなかった。これは、水中では浮力が影響し、水深が浅くなるほど下肢にかかる負荷は増加する。しかし、水深

が浅くなることで身体にかかる抵抗面積は減少するので、運動方向に対する粘性抵抗は減少する。つまり、水深が深ければ浮力により下肢にかかる負荷は少ない状態で運動が可能だが、身体にかかる粘性抵抗は大きくなるので、抵抗に抗する筋力が必要とされる。一方、水深が浅ければ浮力により下肢にかかる負荷は増加するが、身体にかかる粘性抵抗は小さくなるので抵抗に抗する筋力は少なく済む。これら浮力と運動方向に対する粘性抵抗の二つの要因が相殺されることにより、筋活動に有意な差が認められなかったと思われる。

ジャンプでは、水深が浅くなるにつれて RF, TA, GM の筋活動が有意に増加し、その他の筋も増加傾向を示した。前進歩行と同様、水深が浅くなるにつれ、浮力が減少し、下肢にかかる負荷は増加する。また、水深が浅くなるにつれて身体が浸る面積が減少し、上からの水の抵抗は減少する。そのため、跳び上る際に大きな筋力を必要とし、着地する際により大きな衝撃が下肢にかかる。その結果、RF, TA, GM の筋活動が大きくなったと考えられる。

片足スイングでは、いずれも有意な差は認められなかった。これは、どの水深においても下肢は水中下であり、水深の影響を受けずに、水の粘性抵抗を利用して高い筋活動が維持可能であったと推測される。

静止立位では、水深が浅くなるにつれて TA の筋活動が有意に減少し、SOL の筋活動は有意に増加した。水深が深い状態では浮力が増すため、下肢にかかる負荷は減少し、抗重力筋である SOL の筋活動は小さいと思われる。しかし、前後の動揺性が大きくなり、姿勢保持に必要とされる筋活動も大きくなるため、TA の筋活動が大きくなったと推測される。また、水深が浅くなるにつれ浮力は減少し、下肢にかかる負荷は増加する。そのため、抗重力筋である SOL の筋活動は大きくなるとともに姿勢保持を行う筋が SOL になったため、TA の筋活動が小さくなったと考えられる。

以上のことから、水深を変化しても浮力による下肢への負荷の増減や運動速度の増減があるにもかかわらず、筋活動量に変化が見られる運動とそうでない運動があった。前進歩行においては RF, SOL, ジャンプにおいては RF, TA, GM に有意な差が見られ、水深

が浅くなるにつれ筋活動は大きくなった。これは、水深が浅くなることで浮力が減少し、下肢にかかる負荷が増えたことで抗重力筋の筋活動が高まり、運動速度も速くなることで運動に伴う粘性抵抗が増加し、運動の主動作筋の筋活動が大きくなったと考えられる。また、同じ移動を基盤とする運動でも後進歩行の筋活動に有意な差は得られなかった。これは水深が浅くなるにつれ前進歩行ほど運動速度が上がらなかったことが一要因として考えられる。片足スイングについては移動を伴わず、下肢は3水深とも水中下にあったので水深の影響をほとんど受けず、粘性抵抗の大きさも変わらなかったと思われる。静止立位は水深に大きく影響され、深いほど姿勢制御としてTAが働き、浅くなるにつれ抗重力筋であるSOLが働くようになる。故に、水中において各個人が至適速度で運動を実施する際は、抗重力筋や大腿前面の筋を鍛える目的では水深を浅めに、肥満者や下肢の関節疾患を有する者や抗重力筋以外の筋を鍛える目的では水深を深めに、主に水中の粘性抵抗を基盤とした運動では各個人に合わせて水深を設定し、水中運動を実施することが望ましいと言える。

4-Ⅲ. 水中運動時の速度の違いが筋活動に及ぼす影響

本研究は、水深が腋窩、剣状突起、臍部において各被験者の至適速度と速い速度による速度の違いが筋活動に及ぼす影響を検討することを目的として、前進歩行、後進歩行、片足スイングの計3試技を行い、各試技の運動時間と右側のRF, TA, GM, BF, MG, SOLの筋電図を測定した。

運動時間において、水深が腋窩のところを着目すると前進歩行、後進歩行、片足スイングの至適速度の運動時間はほぼ同じであったが、速い速度になると片足スイング、前進歩行、後進歩行の順に運動時間は短くなることを示した。片足スイングは移動を伴わないため、自身で下肢を前後に動かしたときのみ抵抗が生じる。一方、前進歩行と後進歩行は移動を伴う運動であり、運動方向からの粘性抵抗と自身で下肢を動かしたときに抵抗が生じる。そのため、片足スイングは運動方向からの粘性抵抗がない分、前進歩行や後進歩行に

比べ速い動作が実施可能であったと考えられる。また、水深が腋窩の至適速度と速い速度での平均値の筋活動の差を見ると、いずれの筋においても前進歩行、後進歩行よりも片足スイングの筋活動は大きかった。粘性抵抗は速度の 2 乗に比例して大きくなり、筋活動が大きいことは速度が上がったことを示しており、同時に運動時間が短くなったことを示している。また、同じ移動を伴う前進歩行と後進歩行では後進歩行よりも前進歩行のほうが運動時間は短かった。これは、もともと日常的に下肢の後面よりも前面の筋のほうが使用されており、前面のほうが高い筋力発揮が可能であると考えられる。そのため、後面からの抵抗よりも前面からの抵抗に打ち勝つ力が高いと考えられる。さらに、同じ移動を伴う前進歩行と後進歩行の至適速度と速い速度での平均値の筋活動の差を見ると、GM を除いてすべて後進歩行よりも前進歩行のほうが筋活動は大きかった。これは、片足スイングの比較同様、抵抗は速度の 2 乗に比例して大きくなり、筋活動が大きいことは速度が上がったことを示しており、同時に運動時間が短くなったことを示している。

前進歩行、後進歩行、片足スイングにおいて、すべての水深で至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した。これは、運動速度の増加に依存して粘性抵抗が大きくなるため、筋活動が増加したと考えられる。前進歩行では、RF, MG, SOL の筋活動が至適速度よりも速い速度で有意に大きかった。先行研究において、至適速度よりも速度を上げた結果、MG, SOL の筋活動が増加したと報告している[17, 31]。このことは、本研究とも一致している。また、抗重力筋である SOL は姿勢を維持するのに寄与される筋であり、MG は歩行速度の増大や足関節に大きな力が必要となる場合に筋活動が増大することが報告されている[17, 18, 32]。速度を上げるに伴い、運動を行う下肢にかかる粘性抵抗も大きくなり、より速く足部を離地させる足関節底屈筋である MG, SOL の筋活動が大きくなったと考えられる。また、水中でより速く進むためには足部が離床してから股関節を屈曲し、遊脚期中期に膝関節伸展を行う動作を早く行う必要があり、その結果、動作速度に伴い粘性抵抗も大きくなり、RF の筋活動が大きくなったと考えられる。

後進歩行では、RF, SOL の筋活動が至適速度よりも速い速度で有意に大きかった。こ

れは、特に立脚期において膝関節を伸展し、床面を蹴り出すために足関節を底屈し、推進力を得る必要があると考えられる。

片足スイングでは、RF、BF、MG の筋活動が至適速度よりも速い速度で有意に大きかった。これは、片足スイングの運動動作に関与していると思われる。膝関節伸展位で股関節を最大屈曲、最大伸展する際に、主に作用する筋は RF、GM、BF であり、速く動かすためにはこれらの 3 筋の筋活動を高める必要があり、粘性抵抗でより、筋活動が大きくなったと考えられる。さらに、膝伸展位に保持し股関節を伸展する際に、足関節底屈方向に抵抗を受ける。その結果、MG の筋活動が大きくなったと推測される。

以上のことから、運動速度を変化させることにより筋活動がさらに高まることが明らかとなった。負荷を高めて筋力トレーニングを実施する際には、至適速度よりも速度を上げて実施するほうが適していると考えられる。しかし、運動速度を速くすることで過度の筋活動や関節に負荷がかかることも予想される。水中での運動療法を実施する上で、速度に関しては注意をしなければならず、速度を最大にしたときや速度をゆっくりした際に筋活動量がどのように変化するかを今後、検討する必要性がある。

5. 結論

実験Ⅰ．同一水深における運動様式が筋活動に及ぼす影響

水深が剣状突起において，運動様式が筋活動に及ぼす影響を検討したところ，以下の結果が得られた．

1) 前進歩行，後進歩行，片足スイングよりもジャンプのほうが RF, MG, SOL の筋活動が有意に大きかった．また，前進歩行，後進歩行よりも片足スイングのほうが GM の筋活動が有意に大きかった．

実験Ⅱ．水深の違いが水中運動時の筋活動に及ぼす影響

水深が腋窩，剣状突起，臍部における水深の違いが運動時の筋活動に及ぼす影響を検討したところ，以下の結果が得られた．

- 1) 水深が浅くなるにつれ，前進歩行と後進歩行の運動時間が有意に減少した．
- 2) 前進歩行では，水深が浅くなるにつれ，RF, SOL の筋活動が有意に増加した．
- 3) ジャンプでは，水深が浅くなるにつれ，RF, TA, GM の筋活動が有意に増加した．
- 4) 静止立位では，水深が浅くなるにつれ，TA の筋活動が有意に減少し，SOL の筋活動は有意に増加した．
- 5) 後進歩行，片足スイングに関しては，水深の変化に対して，筋活動に変化は見られなかった．

実験Ⅲ．水中運動時の速度の違いが筋活動に及ぼす影響

水深が腋窩，剣状突起，臍部において，それぞれ至適速度と速い速度で運動を行い，速度の違いが筋活動に及ぼす影響を検討したところ，以下の結果が得られた．

- 1) 水深が腋窩のところを着目すると前進歩行，後進歩行，片足スイングの至適速度の運動時間はほぼ同じであったが，速い速度になると片足スイング，前進歩行，後進歩行の順に運動時間は短くなった．
- 2) 前進歩行では，各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した．特に，RF，MG，SOL の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した．
- 3) 後進歩行では，各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した．特に，RF，SOL の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した．
- 4) 片足スイングでは，各水深において至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きい傾向を示した．特に，RF，BF，MG の筋活動は至適速度よりも速い速度のほうが有意に増加した．

以上のことから，中高齢者が運動療法として安全に水中で運動を実践するには，運動様式としてジャンプは筋活動量が大きくなるので注意が必要である．前進歩行や後進歩行などの移動を基盤とする運動に加え，片足スイングのような水中の粘性抵抗を利用した運動を取り入れることで筋力維持・向上を目的とした運動が実施可能であると考えられる．さらに，水深を考慮すると，肥満者や下肢に関節障害を有する者や抗重力筋以外の筋を鍛える場合は深い水深で，抗重力筋を鍛える目的で実施する場合は水深が浅いほうが望ましいと言える．運動速度の観点から考えると，運動速度を上げることで粘性抵抗も大きくなり，筋活動は大きくなる．そのため，負荷を高めて筋力トレーニングを実施する際には，至適速度よりも速度を上げて実施するほうが適していると考えられる．しかし，運動速度を速くすることで過度の筋活動や関節に負荷がかかることも予想される．水中での運動療法を実施する上で，速度に関しては注意をしなければならず，各個人の目的に合わせた運動速度で実施する必要がある．

第四章 総合考察ならびに結語

本研究は、前進歩行、後進歩行、ジャンプ、片足スイング、ランジ、スクワットの計 6 試技を水深が臍部における水中と陸上の環境の違いが筋活動に及ぼす影響を比較、検討した。その結果、前進歩行、後進歩行、片足スイング、スクワットにおいて、有意な差は認められなかったものの、一部の筋において陸上よりも水中のほうが大きな筋活動を示した。また、ジャンプ、ランジでは、すべての筋において陸上よりも水中のほうが小さな筋活動を示した。水中では、浮力により下肢にかかる負荷は減少した状態で運動が実施可能である。さらに、水中には粘性抵抗が存在するため、運動方向からの前面抵抗と自身が動かす際に生じる抵抗により、粘性抵抗を受ける筋の筋活動は陸上と同程度になると推測される。また、上下方向の運動では陸上では抗重力筋の筋活動が大きくなるのに対し、水中では浮力が存在するため抗重力筋を陸上よりも使用せずに運動が実施可能であり、抗重力筋以外の筋、特に TA が姿勢制御として大きな役割を果たしていると考えられる。これらのことから、水中における前進歩行、後進歩行、片足スイングのような運動は、水の抵抗を用いて水中下で抗重力筋以外の筋力トレーニングも実施可能なことを示唆している。また、中高齢者になると加齢によって、下肢の筋力は低下する。特に筋力低下を示す部位は大腿四頭筋である。大腿四頭筋は、股関節屈曲や膝関節伸展に作用し、歩行や階段昇降の際に働き、日常生活においても重要な機能を果たす筋である。筋力低下は、運動機能を低下させるとともに転倒リスク増加の一要因となる。運動機能の維持や転倒防止のために適切なトレーニングを実施し、筋力維持・向上を行うことは重要なことである。水中運動は、陸上と比較すると転倒の危険性が少なく、浮力により免荷されるので、中高齢者や肥満者が下肢の関節に負担をかけることなく、運動機能の維持や転倒予防のための筋力トレーニングとして実施可能な運動であると示唆される。一方、水中におけるジャンプ、ランジ、スクワットのような上下の動作を含む運動は、水の抵抗よりも浮力が大きく作用し、陸上と比べて大きな筋活動を必要とせず、関節の安定性向上や関節可動域訓練が実施可能な運動として有用であると考えられる。

さらに、本研究は水中においてさまざまな条件下で筋活動に及ぼす影響を比較、検討した。水中における運動様式として、粘性抵抗を用いた運動は抵抗に抗する筋活動を必要とするため、筋活動量が大きくなると考えられる。そのため、前進歩行や後進歩行などの移動を基盤とする運動に加え、片足スイングのような水中の粘性抵抗を利用した運動を取り入れることで筋力維持・向上を目的とした運動が実施可能であると考えられる。中高齢者が運動療法として安全に水中で運動を実践するには、ジャンプは跳ぶ高さにより大きく筋活動量が異なると考えられ、高さを考慮するとともに注意が必要であると思われる。

そして、水深間で筋活動の違いを検討したところ、水深を変化しても浮力による下肢への負荷の増減や運動速度の増減があるにもかかわらず、筋活動量に変化が見られる運動とそうでない運動があった。前進歩行やジャンプにおいては、水深が浅くなるにつれ筋活動は大きくなった。これは、水深が浅くなることで浮力が減少し、下肢にかかる負荷が増えたことで抗重力筋の筋活動が高まり、運動の主動作筋の筋活動が大きくなったと考えられる。片足スイングについては移動を伴わず、下肢は3水深とも水中下にあったため、水深の影響をほとんど受けなかったと思われる。静止立位は水深に大きく影響され、深いほど姿勢制御としてTAが働き、浅くなるにつれ抗重力筋であるSOLが働くようになる。故に、水中において各個人が至適速度で運動を実施する際は、抗重力筋や大腿前面の筋を鍛える目的では水深を浅めに、肥満者や下肢の関節疾患を有する者や抗重力筋以外の筋を鍛える目的では水深を深めに、主に水中の粘性抵抗を基盤とした運動では働く筋が水中にあれば十分であり、それぞれの目的に合わせた水中運動を実施することが望ましいと言える。

至適速度と速い速度の違いが筋活動に与える影響を検討したところ、至適速度よりも速い速度のほうが筋活動は大きかった。運動速度の観点から考えると、運動速度を上げることで粘性抵抗も大きくなり、筋活動は大きくなるが、筋や関節に過度の負荷がかかる恐れがあるため、注意が必要であると考えられる。そのため、無理せず各個人の目的に合わせた速度で運動を実施することが望ましいと言える。

参考文献

1. 沢井史穂, 健康スポーツのすすめ 8 健康スポーツの実際②水泳・水中運動. からの科学, 2005(No.241): p. 118-125.
2. 小野寺昇, 血圧から見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, 1996. 17: p. 53-61.
3. 渡辺一志, 宮側敏明, and 藤本繁夫, 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: p. 252-259.
4. 堀田昇, et al., 水中および陸上歩行時の生理学的応答に及ぼす性差の影響. J Health Sci, 1998. 20 p. 155-158.
5. 右田孝志, et al., 中等度強度, 長時間の水中歩行中のホルモンおよび代謝応答・陸上歩行との比較. J Health Sci, 1996. 18: p. 51-56.
6. 正野知基, 藤島和孝, and 堀田昇, 中高年女性の陸上および水中歩行時の呼吸循環応答と下肢筋活動. デサントスポーツ科学. 23: p. 142-149.
7. Masumoto, K., et al., *Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water*. J Electromyogr Kinesiol, 2007. 17(5): p. 596-604.
8. 小野寺昇 and 宮地元彦, 水中運動の臨床応用: フィットネス, 健康の維持・増進. 臨床スポーツ医学, 2003. 20(3): p. 281-288.
9. 金田晃一, et al., 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, 2004. 53: p. 141-148.
10. 山本紳一郎, 中澤公孝, and 矢野英雄, 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, 1995. 8: p. 69-75.
11. Chevutschi, A., et al., *An electromyographic study of human gait both in water and on dry ground*. J Physiol Anthropol, 2007. 26(4): p. 467-73.
12. 谷崎雅志, et al., 水中歩行の床反力特性・歩行速度の影響. 運動・物理療法, 2003.

- 14(2): p. 129-134.
13. Roesler, H., et al., *Dynamometric analysis of the maximum force applied in aquatic human gait at 1.3m of immersion*. Gait Posture, 2006. **24**(4): p. 412-7.
 14. Barela, A.M. and M. Duarte, *Biomechanical characteristics of elderly individuals walking on land and in water*. J Electromyogr Kinesiol, 2008. **18**(3): p. 446-54.
 15. Barela, A.M., S.F. Stolf, and M. Duarte, *Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land*. J Electromyogr Kinesiol, 2006. **16**(3): p. 250-6.
 16. 三好扶, 中澤公孝, and 赤居正美, *水中歩行時の下肢関節運動学・運動力学*. 運動・物理療法, 2003. **14**(3): p. 178-183.
 17. 三好扶, et al., *水中歩行時の下腿三頭筋活動特性*. 運動・物理療法, 2003. **14**(4): p. 307-312.
 18. Miyoshi, T., et al., *Selective activation of human soleus and medial gastrocnemius muscles during walking in water*. J Gravit Physiol, 2000. **7**(2): p. P107-8.
 19. Kaneda, K., et al., *Lower extremity muscle activity during different types and speeds of underwater movement*. J Physiol Anthropol, 2007. **26**(2): p. 197-200.
 20. Silva, L.E., et al., *Hydrotherapy versus conventional land-based exercise for the management of patients with osteoarthritis of the knee: a randomized clinical trial*. Phys Ther, 2008. **88**(1): p. 12-21.
 21. Giaquinto, S., E. Ciotola, and F. Margutti, *Gait during hydrokinesitherapy following total knee arthroplasty*. Disabil Rehabil, 2007. **29**(9): p. 737-42.
 22. Giaquinto, S., E. Ciotola, and F. Margutti, *Gait in the early days after total knee and hip arthroplasty: a comparison*. Disabil Rehabil, 2007. **29**(9): p. 731-6.

23. Wang, T.J., et al., *Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults with osteoarthritis of the hip or knee*. J Adv Nurs, 2007. **57**(2): p. 141-52.
24. Evcik, D. and B. Sonel, *Effectiveness of a home-based exercise therapy and walking program on osteoarthritis of the knee*. Rheumatol Int, 2002. **22**(3): p. 103-6.
25. Foley, A., et al., *Does hydrotherapy improve strength and physical function in patients with osteoarthritis--a randomised controlled trial comparing a gym based and a hydrotherapy based strengthening programme*. Ann Rheum Dis, 2003. **62**(12): p. 1162-7.
26. 村井恵美, et al., 変形性膝関節症に対する運動療法-水中運動療法の効果に関する一考察-. 日本臨床スポーツ医学会誌, 2002. **10**(1): p. 54-60.
27. Eversden, L., et al., *A pragmatic randomised controlled trial of hydrotherapy and land exercises on overall well being and quality of life in rheumatoid arthritis*. BMC Musculoskelet Disord, 2007. **8**: p. 23.
28. Takeshima, N., et al., *Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women*. Med Sci Sports Exerc, 2002. **34**(3): p. 544-51.
29. 佐藤大輔, et al., 異なる運動頻度の水中運動が要介護認定者の起居・移乗移動動作に及ぼす影響. 体力科学, 2007. **56**: p. 141-148.
30. Perotto, A.O. and 栢森良二, eds. 筋電図のための解剖ガイド. 1997, 西村書店.
31. 高石鉄雄, 石田浩司, and 小野隆, 水中歩行は運動処方にも有効か?. デサントスポーツ科学, 1994. **15**: p. 252-259.
32. 中澤公孝, アクアビック・エクササイズの特徴. Jpn J Sports Sci, 1995. **14**: p. 31-38.

謝辞

本研究論文作成に際しまして、ご多忙の中、熱心なご指導、ご鞭撻を賜りました福林徹教授には心より深くお礼申し上げます。また、快く副査を引き受けてくださり、ご指導を賜りました金岡恒治准教授、鳥居俊准教授に感謝申し上げます。

本研究は、国立障害者リハビリテーションセンター研究所にて行われました。実験を行うにあたり、国立障害者リハビリテーションセンター病院院長、赤居正美先生ならびに運動機能系障害研究部部長の中澤公孝先生には、多大なるご協力をいただきました。厚くお礼申しあげます。

また、ご多忙の中、お時間を割いていただき、ご指導を賜りました内藤健二氏、永野康治氏に心より感謝申し上げます。ならびに国立障害者リハビリテーションセンター研究所の流動研究員の皆様にお礼申し上げます。

最後になりましたが、実験にご協力してくださった被験者の皆様、福林研究室の皆様、共に修士課程2年間で過ごした同期の皆様、支えてくださった友人と家族に感謝いたします。ありがとうございました。