

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】 健常成人男性 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。