

## 高齢・低筋力者における水中運動の効果

### Effects of the underwater exercise on elderly with low-muscle strength

須藤 明治\*, 角田 直也\*\*, 井尻 幸成\*\*\*, 八木 良訓\*\*\*\*

Akiharu SUDO \*, Naoya TSUNODA \*\*, Kousei IJIRI \*\*\* and Yoshinori YAGI \*\*\*\*

#### ABSTRACT

In this study effects of the underwater exercise on elderly with low-muscle strength was examined. We think that underwater exercise provides optimum exercise conditions in which elderly with lowered muscle strength or arthropathy patients suffering from sports injury or pain can move their joints more under lower-load conditions than on land. However, there is no report that the effectiveness of underwater exercise on elderly, i.e. how effective is underwater exercise for muscle strength weakened at various levels. The subjects were 10 females having a value of peak torque (Pt) of muscle strength less than the body weight during isokinetic knee extension at 60 deg/sec (LM-group, aged 58.5±8.8), and two females with a Pt value exceeding the body weight (HM-group, aged 49.0±2.8). All the measurements in this study were taken three times: pre before exercise, three months after starting exercise and six months after starting exercise. Water in the pool was 1.2-m deep at a temperature of 34 °C. The subjects did 40 -minutes of exercise twice a week for six months. The exercise schedule included: pendulum exercises of each leg with the hip joint being the fulcrum wearing a 14.7-N (1.5 Kg) floats and taking a stroke of 50-60 cm (the breadth of the shoulders) in one reciprocation motion/2 sec, and 20 times each of stepping exercise and knee-bending/stretching exercise. The measurement of peak torque was taken on the right leg in a sitting position at the rate of 60, 120,240 deg/sec by BIODEX SYSTEM. Ultrasonic imaging of the transverse section of the femoral muscle was conducted by the ultrasonic B-mode method (Echo Camera SSD-650CL from ALOKA) at 5 MHz. The measurements were taken at a site 50% distal on the femoral length of the anterior sides. These results showed that the muscle strength in the LM-group improved three months after starting underwater exercise. Because there was no increase in the muscle thickness in the measurements of the muscle transverse section, the increase in muscle strength was thought to be attributed to the improvement of muscle functions, not to muscle enlargement. This is, in other words, an improvement in trainability.

*Key words; Underwater exercise, Elderly, Peak torque, Trainability*

\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学体育学部身体運動学教室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\* 鹿児島大学医学部整形外科教室 (Department of Orthopedic Surgery Faculty of Medicine, Kagoshima University)

\*\*\*\* 株式会社ミクプランニング (MIK Planning INC.)

はじめに

水中では浮力の影響により、20歳代5名の日本人女性において、体重は腰部水位で約28%、鎖骨下部水位で約87%減少するとされている<sup>16)</sup>。また、水中で6秒間に1回の速さで行うアームカム運動では、陸上の主働筋群である上腕二頭筋の活動において水中では陸上の約47%の筋活動に相当し、サイドレイズ運動では、陸上の主働筋群である三角筋の活動において水中では陸上の44%の筋活動に相当することが水中および陸上の筋電図測定などから判明している<sup>17)</sup>。つまり、水中での運動は、加齢により筋力が低下した者やスポーツ障害や疼痛を伴うような者にとって、陸上より少ない負荷で関節を動かすことができる運動環境ではないかと考えることができる。また、水圧の影響により、静脈の還流が増大し、1回心拍出量が増加することにより、圧・伸展受容器がこれを感じ、心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、腎の輸入細動脈からはレニン分泌が抑制、中枢神経系からはバゾプレッシンの分泌が抑制され、腎臓では循環血漿量の低下を促すため尿量の増加及び尿中Na排泄の増加をもたらすことも明らかにされている<sup>4,8,12,20)</sup>。これらのことから、特に30~36℃の温度領域におけるの浸水では安静時心拍数が陸上立位時より減少することが解っている<sup>8,9,10,20)</sup>。そして、水温30℃で剣状突起部水位において、直立姿勢で入水した場合、陸上で仰向けに寝ている時の心拍数とほぼ同じであり、筋組織の血液酸素動態においてもほぼ同程度であることが確認されている<sup>24)</sup>。つまり、水中での運動は、リラックスした状態でストレッチングや低負荷の運動ができる環境であることが推察される。また、筋量の加齢変化のデータ<sup>6)</sup>より、70歳代では20歳代に比べて特に大腿四頭筋が約39%、下腿三頭筋が約33%と減少していることがわ

かり、近年、「転倒防止」や「自立歩行」のために高齢者へのレジスタンストレーニングの重要性が確認されている<sup>5)</sup>。しかし、高齢者を対象とした水中運動を実施した場合、どの程度筋力が低下している者にとって、どの程度の効果があるのかを検討した報告がない。そこで、我々は、運動習慣がなく初期の筋力レベルが低いと思われる者と運動習慣があり初期の筋力レベルが高いと思われる者において、その水中運動の効果を検討した。

研究方法

1. 被検者

被検者には、日常的な運動習慣がなく、水中運動実施前の等速性活動による毎秒60度の速度での膝関節伸展動作時の最大筋力 (Pt) が体重値を下まわる女性10名 (平均年齢; 58.5±8.8歳) を初期の筋力レベルが低い者と定義しLM-groupとした。また、水泳を週2回1時間程度行い日常的な運動習慣があり、等速性活動による毎秒60度の速度での膝関節伸展動作時の最大筋力 (Pt) が体重を上まわる女性2名 (平均年齢; 49.0±2.8歳) を初期の体力レベルが高い者と定義しHM-groupとした (Fig. 1)。また、各被検者の身長、体重、および皮脂厚の計測を実施した。体脂肪率は、上腕背骨と肩胛骨下部の皮脂厚の合計から長嶺らの式を用

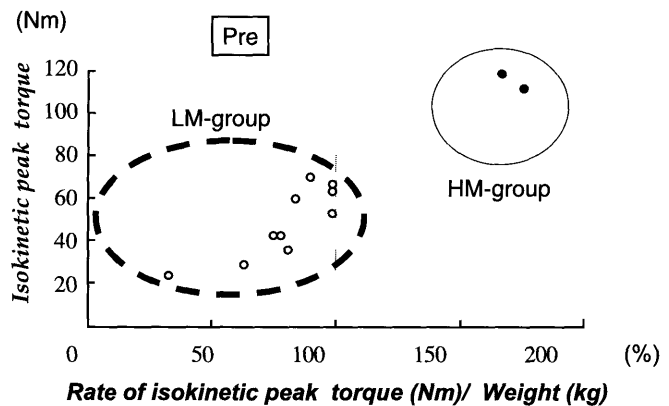


Fig. 1 Relationship between a rate of peak torque/body weight and peak torque at the pre.

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Females	(n)	Age(yr)	High(cm)	Weight(kg)	%Fat(%)
LM-group	10	58.5±8.8	154.8±4.7	61.5±14.4	32.7±9.4
HM-group	2	59.0±2.8	156.5±6.4	57.0± 8.5	25.8±7.0

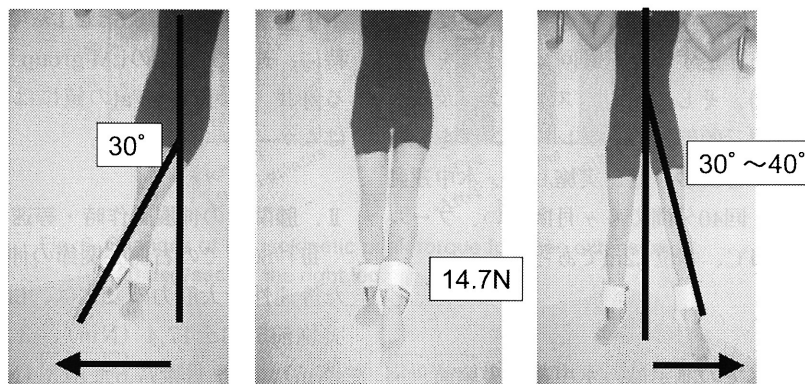


Fig. 2 Underwater exercise for leg muscles ①  
Pendulum exercise for hip joint; A stroke of the breadth of the shoulders in one reciprocation motion/2 sec,20times.

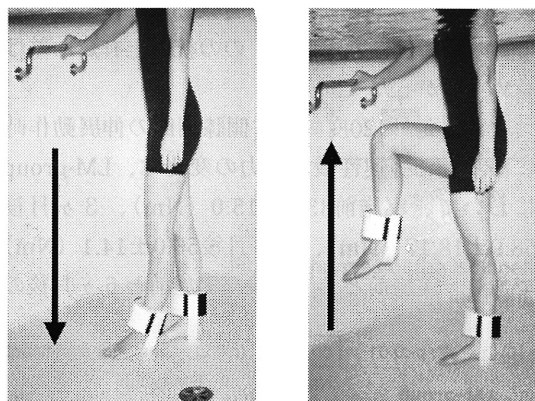


Fig. 3 Underwater exercise for leg muscles ②  
Stamping exercise for muscles of thigh both anterior and posterior ;one motion/1 sec, 20times.

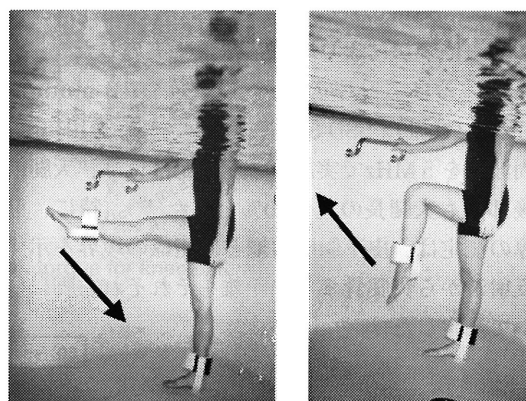


Fig. 4 Underwater exercise for leg muscles ③  
Knee lift extension & flexion exercise for muscles of thigh both anterior and posterior; put one hand on the bar, and kick each leg in turn, bending the hip and knee joints at 90 degrees, one motion / 2sec, 20 times.

いて身体密度を算出し、Brozekの式に当てはめ推定した<sup>10)</sup> (Table 1)。尚、各被験者には、十分なインフォームドコンセントを実施し、実験の意義、内容、危険性を十分に説明した上で、書面にて実験参加の承諾を得た。

## II. 水中運動の内容と環境

運動の内容は、片足ずつ浮力14.7N (1.5kg) の浮き具を装着し、以下の3つの脚筋力運動を水中にて行った。股関節を支点とした振り子運動(移動幅は、肩幅程度50cm~60cm、速度は2秒間で

1 往復) を片足ずつ左右20回1セット。その場足踏み運動(股関節及び膝関節が90度になるまで屈曲し、その後足をそろえ、速度は1秒間に1回)を片足ずつ左右20回1セット。膝関節の伸展・屈曲運動(股関節及び膝関節が90度になるように膝を曲げ、その状態から膝の伸展を行い、速度は2秒間に1回)を片足ずつ左右20回1セットを実施した(Fig.2.3.4)。そして、ハムストリング及び大腿四頭筋、下腿三頭筋群のストレッチングを左右の下肢において各10秒程度、実施した。水中運動は、週2回、1回40分間で6ヶ月間行い、プール環境は、水温34℃、水位1.2mであった。

### Ⅲ. 測定方法

本研究のすべての測定は、水中運動実施前、実施3ヵ月後、実施6ヵ月後の3回実施した。膝関節の伸展動作での等速性最大筋力は、BIODEX SYSTEM IIを用いて測定した。全被検者とも測定速度は、60 deg/sec、120 deg/sec、240deg/secであり座位姿勢により右脚について実施した<sup>26)</sup>。大腿部における筋厚の撮影は、超音波B-mode法(Echo Camera SSD-650CL, ALOKA製)を用いて、周波数を5 MHzで実施した。測定部位は、大腿前後部とも大腿長の遠位50%とした<sup>2,3,26)</sup>。特に、筋厚の測定は、皮下脂肪組織と筋組織の境界を示す反射波から大腿骨までの距離をそれぞれ右脚について測定した<sup>2,3)</sup>。

### Ⅳ. 結果の処理

得られた各変数の値は特に記載のない場合を除き、平均値±標準偏差で示した。縦断研究では対応のあるt検定によって有意差の検定を行った。統計処理の結果は危険率5%未満をもって有意とした。また、3ヶ月後のピークトルク(Pt)の増加率と運動実施前のPt/体重との相関関係を単純相関によって求め、有意水準を1%以下とした。

## 結 果

### Ⅰ. 被検者の特徴

LM-groupは、水中運動実施前のPt (60deg/sec) / Body weightの値が82.9±16.2%、HM-groupは、水中実施前値が178.8±2.1%であった(Fig. 1)。特に、運動実施前のLM-groupとHM-groupにおける身長・体重・%Fatの値には、統計上有意味な差はなかった(Table 1)。

### Ⅱ. 膝関節の伸展動作時・等速性最大筋力の変化

毎秒60度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前50.3±17.4 (Nm)、3ヶ月後78.2±12.7 (Nm)、6ヶ月後77.5±18.3 (Nm)であり、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意味な差が認められた(p<0.01)(Fig. 5)。一方、HM-groupは、実施前102.0±16.4 (Nm)、3ヶ月後122.4±9.1 (Nm)、6ヶ月後131.4±9.6 (Nm)であり、増加傾向にあるものの統計上有意味な差は認められなかった(Fig. 5)。

次に、毎秒120度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前33.6±15.0 (Nm)、3ヶ月後58.9±18.17 (Nm)、6ヶ月後56.0±14.1 (Nm)であり、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の

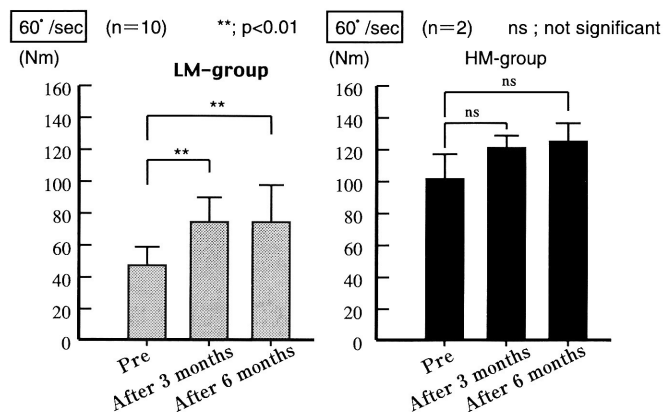


Fig. 5 Changes of the isokinetic peak torque for knee extension at 60 deg/sec on the right leg.

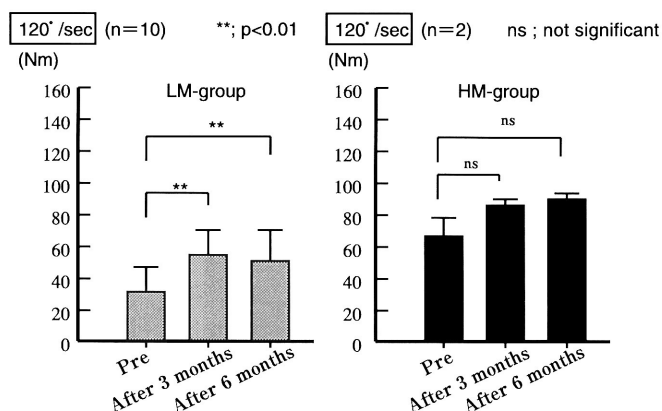


Fig. 6 Changes of the isokinetic peak torque for knee extension at 120 deg/sec on the right leg.

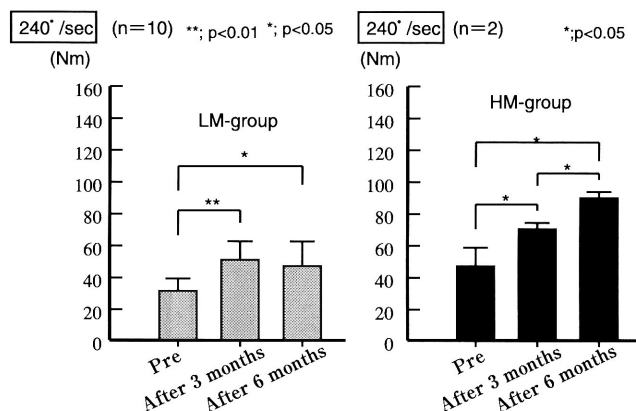


Fig. 7 Changes of the isokinetic peak torque for knee extension at 240 deg/sec on the right leg.

間には統計上有意な差が認められた ( $p < 0.01$ ) (Fig. 6)。一方、HM-groupは、実施前  $67.1 \pm 9.6$  (Nm)、3ヶ月後  $89.7 \pm 1.31$  (Nm)、6ヶ月後  $93.2 \pm 1.5$  (Nm) であり、増加傾向にあるものの統計上有意な差は認められなかった (Fig. 6)。

そして、毎秒240度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前  $31.0 \pm 9.6$  (Nm)、3ヶ月後  $47.8 \pm 13.2$  (Nm)、6ヶ月後  $44.8 \pm 14.8$  (Nm) であり、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた ( $p < 0.01$ ,

$p < 0.05$ ) (Fig. 7)。一方、HM-groupは、実施前  $46.3 \pm 16.5$  (Nm)、3ヶ月後  $70.3 \pm 1.2$  (Nm)、6ヶ月後  $71.2 \pm 0$  (Nm) であり、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後、3ヶ月後と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた ( $p < 0.05$ ) (Fig. 7)。

### Ⅲ. 筋横断面厚の変化

大腿前部の筋厚値において、LM-groupは、実施前  $40.7 \pm 6.7$  mm、3ヶ月後  $40.7 \pm 6.7$  mm、6ヶ月後  $39.7 \pm 7.3$  mmであった (Fig. 8)。特に、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の値の間には統

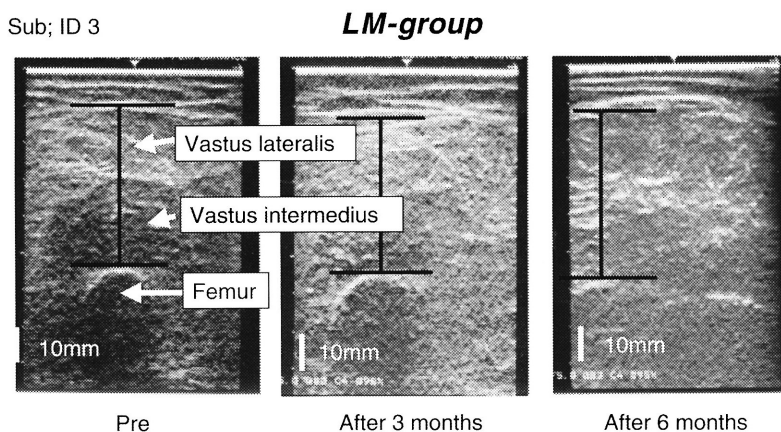


Fig. 8 Ultrasonic imaging of the transverse section of the femoral muscle was conducted by the ultrasonic B-mode method (Echo Camera SSD-650CL from ALOKA) at 5 MHz.  
The measurements were taken at a site 50% distal on the femoral length of the anterior sides.

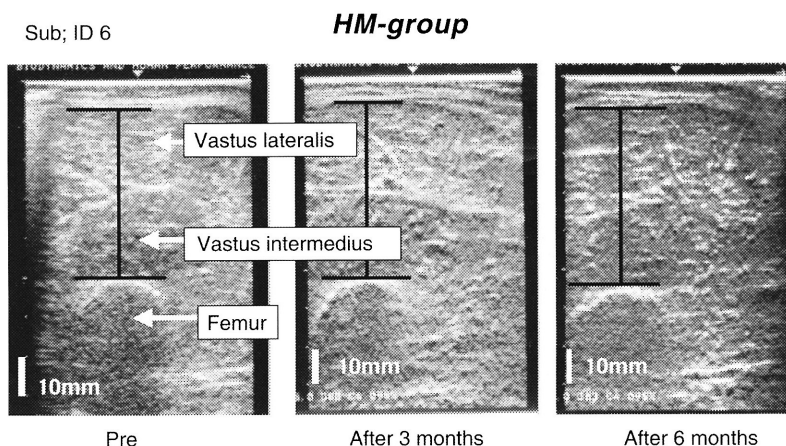


Fig. 9 Ultrasonic imaging of the transverse section of the femoral muscle was conducted by the ultrasonic B-mode method (Echo Camera SSD-650CL from ALOKA) at 5 MHz.  
The measurements were taken at a site 50% distal on the femoral length of the anterior sides.

計上有意な差が認められなかった (Fig. 10)。一方、HM-groupは実施前 $45.8 \pm 0.9$ mm、3ヵ月後 $46.4 \pm 0.9$ mm、6ヵ月後 $47.4 \pm 2.3$ mmであった (Fig. 9)。これもまた、実施前と3ヵ月後、実施前と6ヵ月後の値の間には統計上有意な差が認められなかった (Fig. 10)。

## 考 察

Pt (60deg/sec) / Body weightの値が100%未満であったLM-groupと100%以上であったHM-group間において、身体的特徴、特に身長・%Fatなどが統計上有意な差が無かったことから、水中

運動を実施した際の物理的な環境負荷、特に浮力を原因とするトレーニング効果の差は少なかったのではないかと推察された。そして、毎秒60度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められ、HM-groupにおいては、統計上有意な差は認められなかった。このことは、運動実施前の脚筋力レベルが低い者ほど3ヶ月後の水中運動の効果が得られるのではないかと推察された。また、毎秒120度での右側膝関節の伸展動作時に得

られた等速性最大筋力の変化においても同様な結果であった。この結果から、運動実施前の体重あたりのPt (60deg/sec) と運動3ヶ月後のPt (60deg/sec) の増加率との相関関係を比較検討した (Fig. 11)。その結果、体重あたりのPtが運動実施前の値で低い者ほど、3ヶ月後の増加率が高く、運動実施前のレベルが高い者ほどその伸び率は少ない傾向にあった。そして、それらの関係から、運動実施前の体重あたりのPt (60deg/sec) 値が自分自身の体重を超えることができなかつた者達では、運動実施前の値 (pt) が低い者ほど脚筋力が向上しやすく、自分自身の体重を超えた者達では、その効果は緩やかな傾向となっていた。しかし、比較的速度の速い動きである毎秒240度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められ、更に、HM-groupにおいても、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後、3ヶ月後と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた。次に、筋横断面厚の変化においては、両群ともに実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の値の間には統計上有意な差が認められなかった。これらの結果から、LM-groupのPt (60deg/sec) の有意な増加は、筋肥大によるものではないのではないかと推察された。これらの結果は、本研究における水中運動の負荷が被検者にとって比較的低い負荷であり、更に被検者の陸上での歩くテンポより速いテンポの運動形態であったと推察することができることから、比較的速度の速い動きである毎秒240度での右側膝関節の伸張力が向上したのではないかと推

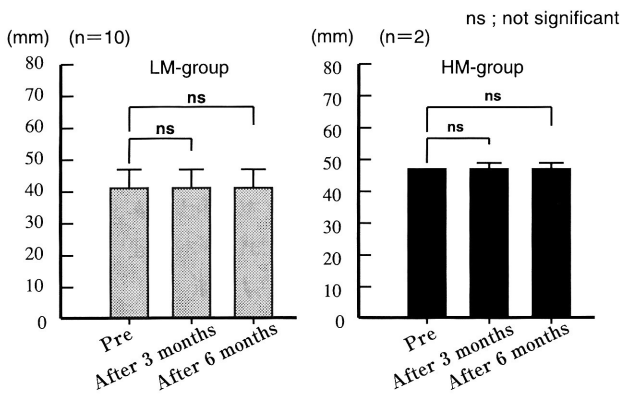


Fig. 10 Changes of the muscle thickness on the anterior of thigh.

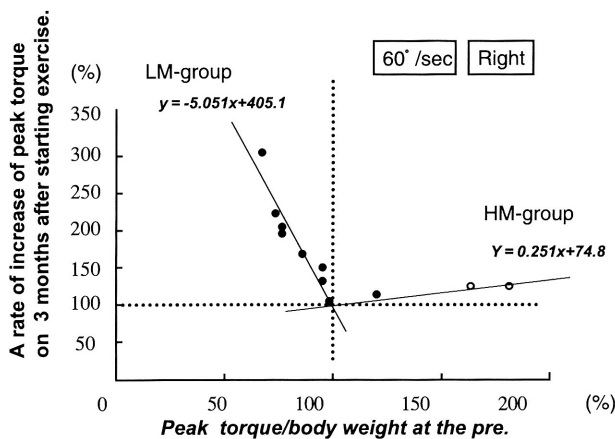


Fig. 11 Relationship between peak torque/body weight at the pre and A rate of increase of peak torque on 3 months after starting exercise.

筋力が向上しやすく、自分自身の体重を超えた者達では、その効果は緩やかな傾向となっていた。しかし、比較的速度の速い動きである毎秒240度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められ、更に、HM-groupにおいても、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後、3ヶ月後と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた。次に、筋横断面厚の変化においては、両群ともに実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の値の間には統計上有意な差が認められなかった。これらの結果から、LM-groupのPt (60deg/sec) の有意な増加は、筋肥大によるものではないのではないかと推察された。これらの結果は、本研究における水中運動の負荷が被検者にとって比較的低い負荷であり、更に被検者の陸上での歩くテンポより速いテンポの運動形態であったと推察することができることから、比較的速度の速い動きである毎秒240度での右側膝関節の伸張力が向上したのではないかと推

察された。しかし、この結果の要因を解析するためには、今後の更なる詳細な研究が必要である。特に、森谷<sup>16)</sup>らは、平均70歳の高齢者を対象とした肘屈曲運動において、最大筋力の1/3程度の負荷で10回、1日2回、週3日を8週間行ったところ、筋力は23%増加したが、筋の横断面積は2%の増加であり、その筋力の増加は、筋肉の単位面積あたりの興奮度を示す筋放電量（運動単位）の増加によるものと報告している<sup>16)</sup>。これらのことから、本研究における水中での脚筋力トレーニングによる筋力の増加は、筋肥大による向上ではなく、むしろ筋の機能（Trainability）の向上によるものではないかと考えられた。

## ま と め

高齢者を対象に水中運動を実施した場合、どの程度、筋力が低下している者にとって、どの程度の効果があるのかを検討した。特に、等速性活動による毎秒60度の速度での膝関節伸展動作時の最大筋力（Pt）が体重を下まわる女性10名（LM-group）と、体重を上まわる女性2名（HM-group）とを分類し、6ヶ月間における水中運動の効果を比較検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

1. 毎秒60度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた（ $p<0.01$ ）。一方、HM-groupは、増加傾向にあるものの統計上有意な差は認めらなかった。
2. 毎秒120度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた（ $p<0.01$ ）。一方、HM-groupは、増加傾向にあるものの統計上有意な差は認めなかった。

3. 毎秒240度での右側膝関節の伸展動作時に得られた等速性最大筋力の変化は、LM-groupにおいて、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた（ $p<0.01, p<0.05$ ）。また、HM-groupも、実施前と3ヶ月後、実施前と6ヶ月後、3ヶ月後と6ヶ月後の間には統計上有意な差が認められた（ $p<0.05$ ）。
4. 大腿前部の筋厚値の変化は、両群において、実施前と3ヵ月後、実施前と6ヵ月後の値の間には統計上有意な差が認められなかった。

以上の結果より、LM-groupは、本研究の水中運動を実施し、3ヶ月後に筋力が向上した。しかし、筋横断面の測定から筋厚値は増加してなかった。以上の結果より、その筋力の向上は、筋肉の肥大によるものではなく、むしろ筋の機能が向上したものであるのではないかと推察された。また、脚筋力（60deg/sec）が自己の体重を下まわる者にとって、本研究における水中運動は、開始3ヶ月後に約1.5倍の脚筋力が向上する効果であった。

## 謝 辞

被検者として協力いただいた「サンウェイ横浜スポーツセンター」の会員の皆様、ならびに同センターのスタッフの皆様、そして、代表取締役社長・前田忠昭氏に感謝いたします。本研究は、国士舘大学体育学部附属体育学研究所の2002年度研究助成によって実施した。

## 引用・参考文献

- 1) 赤嶺卓哉, 田口信教, 須藤明治, 酒匂 崇, 松永俊二:「腰痛者水泳教室」における最近の知見と成績. 臨床スポーツ医学, 8, (4): 437-441, 1991.
- 2) 秋間 広, 久野譜也, 渡辺 登, 中嶋英彦, 板井悠二, 勝田 茂: 中強度 (60%Vo2max) の持久性トレーニングにともなうヒトの大腿部における筋の形態的特性及び脚筋力の変化, 体力科学, 44, 365-374, 1995.
- 3) 秋間 広, 久野譜也, 福永哲夫, 勝田 茂: MRIに



- よるヒトの膝伸筋・屈曲筋における形態的特性および生理学的断面積当たりの筋張力, 体力科学, **44**, 267-278, 1995.
- 4) Anders Schermacher Larsen, Lars Bo Johansen, Carsten Stadeager, Jorgen Warberg, Niels Juel Christensen and Peter Norsk.: Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion, *The American Physiological Society*, **77**, 2832-2839, 1994.
  - 5) 石井直方: レジスタンストレーニング, ブックハウスHD, 1999.
  - 6) 福永哲夫, 金久博昭: 日本人の体組成, 筋量との関連でみた日本人の筋出力, 朝倉書店, 1989.
  - 7) 樋口 満, 田畑 泉, 吉武 裕, 西牟田 守, 太田 壽城: 水泳運動が閉経後女性の有酸素性能力と中性脂質・リポ蛋白プロフィールに及ぼす影響, **50**, 175-184, 2001.
  - 8) J. V. Anderson, N. D. Millar, J. P. O'hare, J. C. Mackenzie, R. J. M. Corral, and S. R. Bloom: Atrial natriuretic peptide: physiological release associated with natruirsis during water immersion in man. *Clinical Science*, **71**, 319-322, 1986.
  - 9) 木村真規, 鈴木政登, 矢澤 誠, 岡村 功: 腕クラッキング運動時の心拍応答に及ぼす浸水の影響, 日本運動生理学会誌, **8**, **4**, 41-48, 2001.
  - 10) 加藤 尊, 福沢昌平, 菅島康浩, 北川 薫: 流水装置を用いた水中歩行の特徴—スイミングプールでの水中歩行と陸上トレッドミル歩行との比較から—, 体力科学, **51**, 119-128, 2002.
  - 11) 長嶺晋吉: 皮下脂肪厚からの肥満の判定, 日本医師会雑誌, **68**, 919-924, 1974.
  - 12) 松井 健, 宮地元彦, 星島葉子, 高橋康輝, 山元健太, 吉岡 哲, 小野寺 昇: 陸上定常負荷運動後の水中浸漬が全身循環の回復過程に及ぼす影響, **51**, 265-274, 2002.
  - 13) 松永俊二, 酒匂 崇, 赤嶺卓哉, 田口信教, 須藤明治: 腰痛患者に対する水泳運動療法の有効性について. *リハビリテーション医学*, **29**, **2**: 115-121, 1992.
  - 14) 宮下充正: トレーニングの科学的基礎, ブックハウスHD, 1998.
  - 15) Moritani, T.: Time course of adaptations during strength and power training, *Strength and power in sport.* (ed) Komi, PV., Blackwell scientific publications, 266-278, 1991.
  - 16) 小野寺昇: 水中運動と健康増進, *体育の科学*, **50**, **7**, 510-516, 2000.
  - 17) 須藤明治: 水中環境下における上肢筋運動の筋電図学的検討. 鹿屋体育大学, 学士論文, 1989.
  - 18) 須藤明治, 赤嶺卓哉, 田口信教, 酒匂 崇: 腰痛に対し水中運動療法の及ぼす効果「一般腰痛者とスポーツ選手腰痛者における調査より」. 体力科学, **41**: 386-392, 1992.
  - 19) 須藤明治, 赤嶺卓哉, 田口信教: 腰痛者のための水泳教室テキスト. 環境工学社, 東京, 1992.
  - 20) 須藤明治: 水中運動処方 I, 文化書房博文社, 東京, 1999.
  - 21) 須藤明治, 角田直也: 立位体前屈と大腿屈曲群の筋硬度の関係, *国士舘大学体育研究所報*, **19**: 13-18, 2000.
  - 22) 須藤明治, 角田直也, 八木良訓: 高齢の腰痛患者に対する水中運動の効果. *柔道整復・接骨医学*, **9**, **(1)**: 13-18, 2000.
  - 23) 須藤明治, 角田直也, 小林寛道: 上肢の筋形態及び筋機能特性とアームストローク泳との関係, *トレーニング科学*, **12**, **3**, 161-170, 2001.
  - 24) 須藤明治, 角田直也, 田口信教: 水中環境下での脚筋力トレーニングは筋血流制限下のトレーニングと言えるのか, *デサントスポーツ科学*, **22**, 193-203, 2001.
  - 25) Sudo, A., and Tsunoda. N.: Effect of muscle blood flow in water immersion, *6th European College of Sport Science*, 925, 2001.
  - 26) 角田直也, 須藤明治: 下肢の筋形態及び筋機能特性とキック泳との関係, *トレーニング科学*, **12**, **3**, 171-180, 2001.