

# 磁気共鳴画像法（MRI 法）の T2 強調画像を用いた大腰筋筋活動水準における

## トレーニング種目間差の検討

吉本隆哉<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>国立スポーツ科学センター

### I. 緒言

体幹の筋群は、四肢の筋群が力を発揮しようとする際に、上半身と下半身の連動を強固なものとし、身体全体としての力発揮を適正かつ高水準のものにするとされる (Behm and Anderson, 2006; Kibler et al., 2006; Butcher et al., 2007). その中でも、大腰筋は、体幹部と下肢をつなぐ唯一の筋であり、日常生活活動や腰痛をはじめとする障害の予防に本質的な役割を果たし (Masuda et al., 2002; Anderson and Behm, 2005), 競技・スポーツ現場では、身体のバランス能力に強く関与すると考えられている。また、大腰筋は、さまざまなスポーツパフォーマンスで重要となる疾走動作において脚を後方から引き戻す際の主働筋の役割を果たす (Copaver et al., 2013).

発育期男子および成人男性を対象に、疾走能力と大腰筋の筋横断面積および股関節屈曲筋群による等速性筋力との関係を明らかにした報告では、両者の間には有意な相関関係が認められており、短距離疾走能力に大腰筋が強く影響することが示唆されている (Hoshikawa et al., 2006; Copaver et al., 2013). 以上のことから、競技・スポーツ現場では、大腰筋の強化を目的としたトレーニングが数多く行われている。

大腰筋は体幹深部に存在し、表面筋電図法などの手法では筋活動水準を定量することが困難であるため、現在競技現場で採用されているトレーニング法によって大腰筋の十分な筋活動が得られているのかは明らかにされていない。近年表面筋電図法では評価できない深層の筋活動水準を求める手法として、MRI 法による T2 強調画像が用いられている (Ploutz et al., 1994). T2 強調画像から算出される T2 値は、筋収縮に伴う代謝物を反映しているとされ、筋の動員度と比例関係にあることが知られている (Prior et al., 2001). この手法を用いることで、筋電図法では測ることのできない各トレーニング種目における大腰筋の筋活動水準を明らかにすることができれば、競技・スポーツ現場のトレーニング処方に役立つ有用な知見を提供できると考えられる。

そこで本研究では、競技・スポーツ現場で用いられている大腰筋の筋形態および筋機能の強化を目的としたトレーニングについて、T2 強調画像を用いて大腰筋の筋活動水準を定量・比較することにより、適切な筋活動水準を得ることのできる効果的なトレーニング法を明らかにすることを目的とする。

### II. 方法

#### 1. 被検者

被検者は、日常的に運動習慣のある一般成人男性 10 名 (年齢:  $31.1 \pm 3.8$  歳, 身長:  $170.3 \pm 4.8$  cm, 体重:  $68.1 \pm 8.2$  kg) であった。いずれの被検者も上肢あるいは下肢に障害を有しておらず、筋機能に影響を与えるような薬を服用していなかった。本実験は、事前に国立スポーツ科学センター

倫理委員会の承認を得たうえで行った。測定の実施に先立ち、被検者には、本研究の目的および実験への参加に伴う危険性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面で得た。

## 2. 大腰筋の筋活動水準

大腰筋の T2 値の測定には、MRI 法を用いた。3.0T の MRI 装置 (Magnetom Verio, SIEMENS) により、被検者の脊椎が撮像されるように体幹部の前額面、矢状面および水平面画像を取得し、その後大腰筋筋横断面積がほぼ最大になる (Marram et al., 2001) 第 4 腰椎と第 5 腰椎の中央部水平横断面のマルチエコーを取得した。エコータイムは、10~70 までの 10ms 毎に 7 エコー取得し、ファーストエコーを除いた 6 エコーの画像を使用して T2 画像を作成した。取得した T2 画像を解析用パソコンに転送し、装置付属の解析ソフト (Magnetom Verio 3.0 T, SIEMENS) を用いて、各トレーニング前およびトレーニング後の T2 画像から大腰筋の T2 値を算出した。なお、撮像はスパインマトリクスコイルとボディマトリクスコイルで被検者を挟んで実施した。撮像シーケンスはスピンエコー法とし、撮像条件は繰り返し時間 2000ms、撮像領域は 380×380、マトリクスはインターポーレーションし、256×256 を 512×512 に変換した。フィリップ角 (FA) は 180deg、積算 1 回、スライス厚は 10mm とした。被検者は仰臥位安静状態を維持させ、呼吸によるアーチファクトをできる限り除去するため、腹部をコルセットで固定した。

## 3. トレーニング種目

本研究では、指導書 (Contreras, 2013) および運動指導現場で用いられている大腰筋のトレーニングを 8 種類抽出し、そのトレーニング前後の大腰筋の T2 値を算出することで、それぞれのトレーニング種目の筋活動水準を求めた。すべてのトレーニング種目は 10 回を 1 セットとし、5 セット実施した。1 回の運動時間は 2×2 秒、セット間の休息 1 分とした。各トレーニング間の休息は 72 時間以上設けることとし、被検者に筋痛が残っている場合は消失するまで間隔をあけた。

トレーニング種目は以下に示すとおりである。

### A スリングスクワット

スリングスクワットを図 1 に示す。スリングスクワットは、被検者の足部を専用のベルト (Red code, インターリハ) で固定し、身体が逆さ吊りとなった状態で、膝関節と股関節を屈曲させることで体肢を持ち上げ、膝関節横を掌でタッチし、その後股関節および膝関節を完全伸展位に戻すことで 1 回と定義した。

### B スリングトランクアップ

スリングトランクアップを図 2 に示す。スリングスクワットと同様に、被検者の足部を専用のベルト (Red code, インターリハ) で固定し、身体が逆さ吊りとなった状態で、体幹を屈曲させ体肢を持ち上げ、膝蓋骨前側を掌でタッチし、その後体幹を地面と垂直に戻すことで 1 回と定義した。

### C アームフィックスバーティカルレッグレイズ

アームフィックスバーティカルレッグレイズを図 3 に示す。アームフィックスバーティカルレッグ

レイズは、専用の腹筋・懸垂マシン（ぶら下がり健康器，WASAI）で、バーを保持し、背部と上腕部を固定した状態で、膝関節を伸展位に保ったまま、股関節から脚を屈曲することで運動を遂行した。脚が地面と水平になるまで持ち上げ、その後股関節を完全伸展位に戻すことで1回と定義した。

#### D アームスリングバーティカルレッグレイズ

スリングバーティカルレッグレイズを図4に示す。スリングバーティカルレッグレイズは、専用の腹筋・懸垂マシン（ぶら下がり健康器，WASAI）の上部バーに腹筋運動補助器具（アブストラップ，ワイルドフィット社製）で身体を吊るし、股関節から脚を屈曲することで運動を遂行した。脚が地面と水平になるまで持ち上げ、その後股関節を完全伸展位に戻すことで1回と定義した。

#### E ホリゾンタルレッグレイズ

ホリゾンタルレッグレイズを図5に示す。ホリゾンタルレッグレイズは、専用の腹筋台に伏臥位となり、下肢が腹筋台の外側に出るようにした状態で股関節から脚を屈曲することで運動を遂行した。脚が地面と垂直になるまで持ち上げ、その後股関節を完全伸展位に戻すことで1回と定義した。

#### F ホリゾンタルレッグスライド（スパイン）

ホリゾンタルレッグスライド（スパイン）を図6に示す。ホリゾンタルレッグスライド（スパイン）は、専用の腹筋台に伏臥位となり、下肢が腹筋台の外側に出るようにした状態で股関節および膝関節を屈曲することで運動を遂行した。股関節および膝関節角度が90度になるまで屈曲し、その後両関節を完全伸展位に戻すことで1回と定義した。

#### G ホリゾンタルレッグスライド（プローン）

ホリゾンタルレッグスライド（プローン）を図7に示す。ホリゾンタルレッグスライド（プローン）は、専用の腹筋・懸垂マシン（ぶら下がり健康器，WASAI）の上部バーにトレーニングサスペンション（TRX サスペンション，TRX トレーニングジャパン）を設置し、プッシュアップのスタート姿勢で足部をトレーニングサスペンションで固定し、股関節および膝関節を屈曲することで運動を遂行した。股関節および膝関節を完全屈曲させ、その後両関節を完全伸展位に戻すことで1回と定義した。

#### H シットアップ

シットアップを図8に示す。シットアップは、マットに仰臥位になり、膝関節を90度に屈曲した状態から、運動を遂行した。被検者には、両手を逆側の肩に置いた状態で、体幹を屈曲させずに股関節の屈曲のみで上体を起こすよう指示した。股関節を屈曲し、両肘が大腿部に触れ、その後仰臥位に戻ることで1回と定義した。



Figure 1. Sling squat

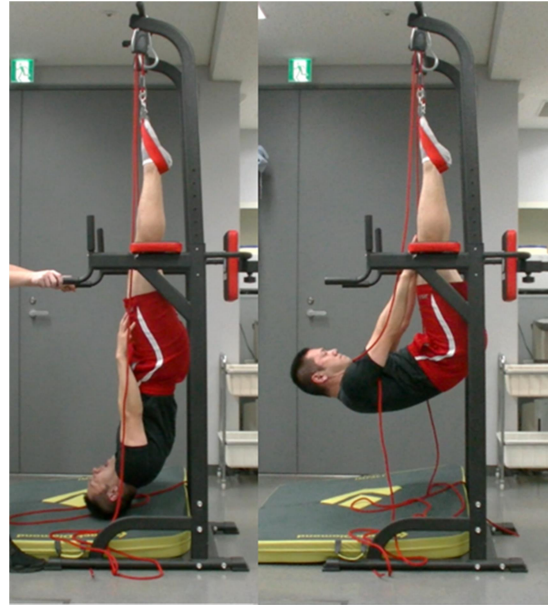


Figure 2. Sling trunk up

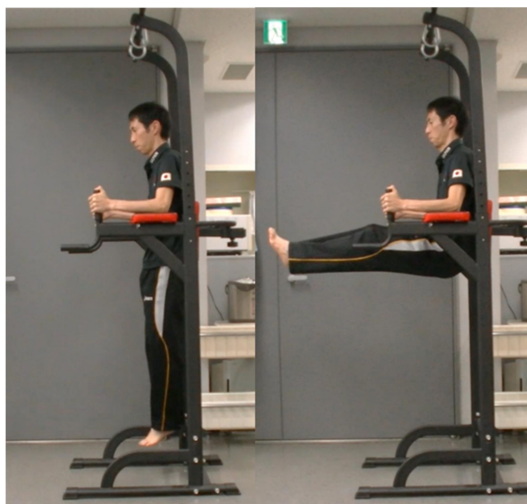


Figure 3. Vertical leg raise of fixed arm

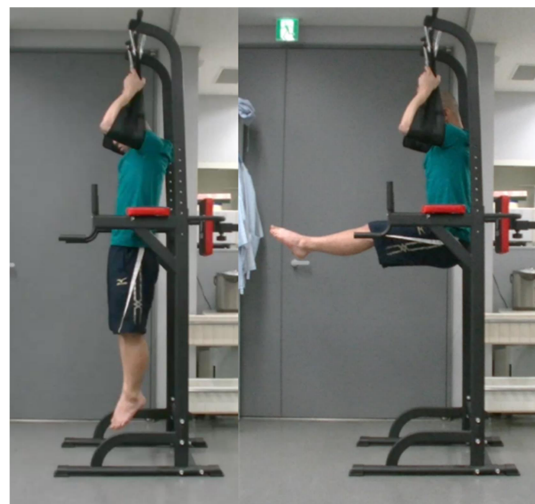


Figure 4. Vertical leg raise of arm sling



Figure 5. Horizontal leg raise

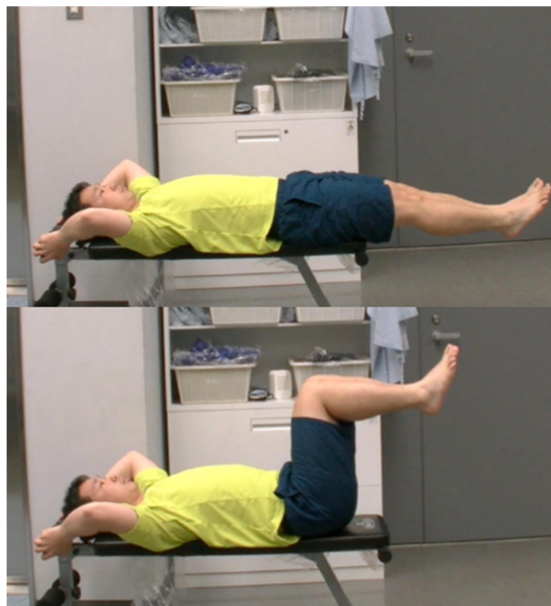


Figure 6. Horizontal leg slide of spine



Figure 7. Horizontal leg slide of prone



Figure 8. Sit up

#### 4. 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差で示した。各トレーニング種目におけるトレーニング前の T2 値およびトレーニング前後の T2 値の変化量の群間比較には 1 要因の分散分析（対応あり）を用いて、主効果を確認した。主効果が確認された場合には、Tukey の多重比較を行った。

すべての統計処理は、統計処理ソフト（IBM SPSS Statistics 20, IBM Japan 製）を用いて行った。いずれの場合も危険率 5%未満をもって有意とした。

### III. 結果

測定前および測定後の大腰筋の T2 値を図 9 に示す。トレーニング前の大腰筋の T2 値は群間で有意な差が認められなかった。すべてのトレーニング種目における前後で、大腰筋の T2 値は有意に増大した ( $P < 0.05$ )。

トレーニング前後の大腰筋における T2 値の変化量を図 10 に示す。トレーニング前後の大腰筋における T2 値の変化量は、スリングスクワットが、アームフィックスバーティカルレッグレイズを除くすべてのトレーニングと、アームフィックスバーティカルレッグレイズが水平レグスライド（スパイン）と比較して有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。

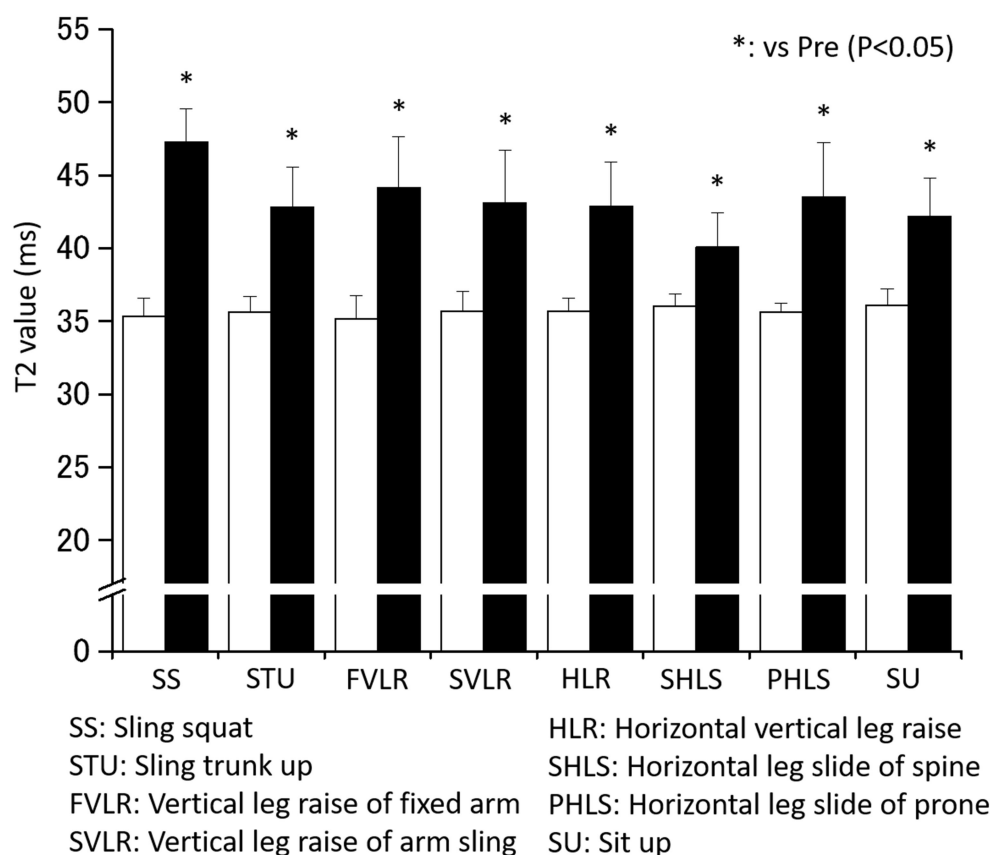


Figure 9. Comparison between Pre and Post in T2 value

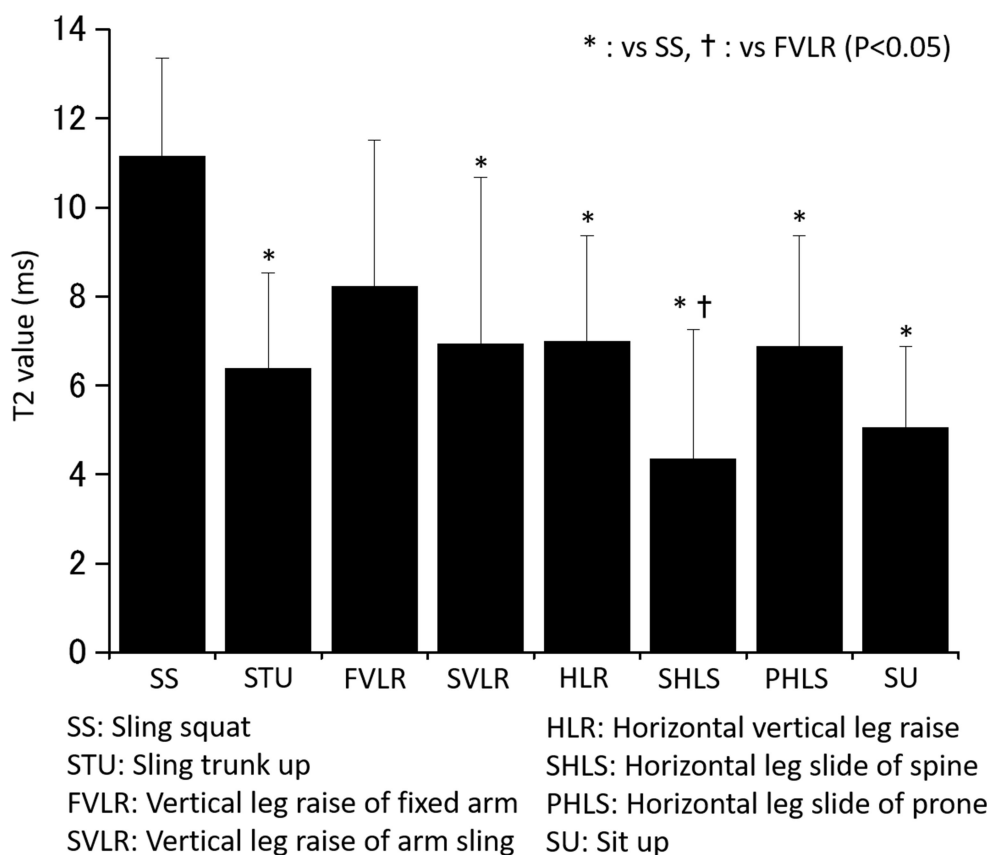


Figure 10. Change of T2 value between Pre and Post

#### IV. 考察

本研究は、競技・スポーツ現場で用いられている大腰筋の筋形態および筋機能の強化を目的としたトレーニングについて、T2 強調画像を用いて大腰筋の筋活動水準を定量・比較することにより、適切な筋活動水準を得ることのできる効果的なトレーニング法を明らかにすることを目的とした。これまで、運動後の T2 値の変化は、30 分程度残存することが報告されている (Fisher et al., 1990) が、本研究では、各トレーニングの終了後、4 分以内に T2 強調画像の撮像を開始し、10 分以内に撮像を終了した。このことから、本研究では各トレーニングにおける大腰筋の T2 値の変化を正確に検証できたといえる。

すべてのトレーニング種目の前後で、大腰筋の T2 値は有意に増加した。これまで、筋収縮によって筋体積は増大し、その主要因は細胞内液の増加によるものであると示されている (Ward et al., 1996)。また、細胞内液の増加は、筋中のリン酸や乳酸などの代謝産物の増大によるものである (Ward et al., 1996 ; Watson et al., 1993)。T2 強調画像における T2 値は、水分に近いものほど高信号で、実質組織ほど低信号で描出され (柳澤, 2012)、リン酸や乳酸などの代謝産物は、筋に比べて高信号で描出される。つまり、各トレーニングによって大腰筋の T2 値に増大がみられたことは、大腰筋において筋収縮が起こり、筋中のリン酸や乳酸は増加したことを示すものといえ、本研究で採用したトレーニング種目は適切に大腰筋を活動させるものであったと考えられる。

各トレーニング種目間で大腰筋の T2 値には違いが認められた。これまで先行研究 (Adams et al., 1992) によって、MRI 法により算出した T2 値と、筋電図法による筋活動水準との間には有意な相関関係があったことが報告されている。また、筋電図法による筋活動水準の高い運動ほど、筋の発揮張力が高い (猪飼, 1973)。本研究の結果、スリングスクワットにおける大腰筋の T2 値の変化量がスリングトランクアップ、水平レグスライド (スパイン) およびシットアップのそれと比較して有意に高値を示し、すべてのトレーニング種目で最も高い値を示した。このことは、スリングスクワットによる股関節屈曲・伸展運動が、他の種目と比較して大腰筋の筋活動水準が高く、筋の発揮張力が高いといえ、本研究で採用したトレーニング種目の中でもスリングスクワットが特に大腰筋の筋機能改善に役立つトレーニング手段になりうると推察される。

スリングスクワットは、足部を専用のベルトで固定し、バランスが不安定な状態で運動を遂行するものであった。これまでの足部を固定し、身体を吊るした状態でのトレーニングに関する研究は見当たらないが、地面に固定されたバー (プッシュアップバー) の保持と、吊るされたロープ (スリングバー) の保持によるプッシュアップを比較した研究が存在する (Maeo et al., 2014)。その中で、Maeo et al. (2014) は、プッシュアップバーと比較してスリングバーの方が上肢の筋活動水準が高く、その要因として不安定な状態でプッシュアップを行うことで、バランスを取るための力発揮が必要となることを示唆している。本研究で用いたスリングスクワットも、不安定な状態で股関節および膝関節の屈曲・伸展運動を行うものであったことから、バランスを取るための制御を遂行するために、筋活動水準が高まったものと考えられる。

一方で、同じ足部を固定するスリングエクササイズでも、スリングトランクアップでは、スリングスクワットと比較して高い筋活動水準が得られなかった。Norris (1993) は、シットアップを実施する際、体幹を前屈させて上体を起こす場合には腹直筋を、背筋を伸ばした状態で股関節を屈曲させる場合には大腰筋を動員させる運動となると述べている。本研究におけるスリングスクワットは股関節の屈曲・伸展を中心として上体を持ち上げる運動であり、スリングトランクアップは体幹の前後屈を中心として上体を持ち上げる運動であった。先行研究と本研究では、地面での運動か宙吊りでの運動かという違いはあるものの、力発揮をする筋群には大きな違いはないと考えられ、このことが結果的にスリングスクワットと比較してスリングトランクアップでは高い筋活動水準が得られなかったものと推察される。

## V. 引用文献

1. Adams GR, Duvoisin MR and Dudley GA. Magnetic resonance imaging and electromyography as indexes of muscle function. *Journal of Applied Physiology*, 73(4), 1578-1583, 1992.
2. Anderson K and Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol*, 30(1): 33-45, 2005.
3. Behm DG and Anderson KG. The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res*, 20(3): 716-722, 2006.
4. Butcher SJ, Craven BR, Chilibeck PD, Spink KS, Grona SL and Sprigings EJ. The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *J Orthop Sports Phys Ther*, 37(5): 223-231, 2007.
5. Copaver K, Hertogh C and Hue O. The effect of psoas major and lumbar lordosis on hip flexion



- and sprint performance. *Res Q Exerc Sport*. 83: 160-167, 2012.
6. Fisher MJ, Meyer RA, Adams GR, Foley JM and Potchen EJ. Direct relationship between proton T2 and exercise intensity in skeletal muscle MR images. *Investigative Radiology*, 25(5), 480-485, 1990.
  7. Hoshikawa Y, Muramatsu M, Iida T, Uchiyama A, Nakajima Y and Kanehisa H, Fukunaga T. Influence of the psoas major and thigh muscularity on 100-m times in junior sprinters. *Med Sci Sports Exerc*, 38(12): 2138-2143, 2006.
  8. 猪飼道夫. 身体運動の生理学, 初版, 東京: 杏林書院, 334-337, 1973.
  9. Kibler WB, Press J and Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med*, 36(3): 189-198, 2006.
  10. Maeo S, Chou T, Yamamoto M and Kanehisa H. Muscular activities during sling- and ground-based push-up exercise. *BMC Res Notes*, 28: 192, 2014.
  11. Marras WS, Jorgensen MJ, Granata KP, Wiand B. Female and male trunk geometry: size and prediction of the spine loading trunk muscles derived from MRI. *Clin Biomech*, 16: 38-46, 2001.
  12. Masuda K, Kim J, Kinugasa R, Tanabe K and Kuno SY. Determinants for stair climbing by elderly from muscle morphology. *Percept Mot Skills*, 94(3): 814-816, 2002.
  13. Norris CM. Abdominal muscle training in sport. *Br J Sports Med*, 27(1): 19-27, 1993.
  14. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL and Dudley GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol*, 76(4): 1675-1681, 1994.
  15. Prior BM, Ploutz-Snyder LL, Cooper TG and Meyer RA. Fiber type and metabolic dependence of T2 increases in stimulated rat muscles. *Journal of Applied Physiology*, 90(2), 615-623, 2001.
  16. Ward DS, Hamilton MT and Watson PD. Measurement of tissue volume during non-steady state high-intensity muscle contraction. *American Journal of Physiology*, 271(6 Pt 2), R1682-1690, 1996.
  17. Watson PD, Garner RP and Ward DS. Water uptake in stimulated cat skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 264(4 Pt 2), R790-796, 1993.
  18. 柳澤修. T2 強調像がもたらす情報 - 機能評価を中心に, 月刊インナービジョン, 27 (3) : 11, 2012.