

磁気共鳴画像法 (MRI) を用いた閉鎖筋の筋活動分析

Analysis of the Obturatorius Muscle Activity Using Magnetic Resonance Imaging

平尾 利行^{1,2)} 竹井 仁²⁾ 佐久間 孝志¹⁾ 妹尾 賢和¹⁾ 近藤 貴揚³⁾

RICOH HIRAO, RPT^{1,2)}, HITOSHI TAKEI, RPT, PhD²⁾, TAKASHI SAKUMA, RPT¹⁾, YOSHIKAZU SENOO, RPT¹⁾, TAKAAKI KONDO, RT³⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Funabashi Orthopedic Hospital: 1-833 Hazama, Funabashi-shi, Chiba 274-0822, Japan
TEL+81 47-425-5585 E-mail: hirao@fff.or.jp

²⁾ Division of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

³⁾ Department of Radiology, Funabashi Orthopedic Hospital

Rigakuryoho Kagaku 31(2): 297-302, 2016. Submitted Oct. 14, 2015. Accepted Nov. 27, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to demonstrate the amount of load that best facilitates the measurement of obturatorius muscle activity by MRI. [Subjects] Eleven healthy males participated in this study. [Methods] The obturatorius internus, the obturatorius externus, the gluteus maximus, the gluteus medius and the sartorius muscles were examined using MRI. The MR signal intensity was compared before and after two different concentric isokinetic hip external rotation exercises: high load at 60°/sec and no load at 500°/sec. [Results] In the 60°/sec exercise, the signal intensities of the obturatorius internus, the obturatorius externus, the gluteus medius and the sartorius muscles were significantly higher after the exercise than before the exercise. In the 500°/sec exercise, the signal intensities of the obturatorius internus, the obturatorius externus and the sartorius muscles were significantly higher after the exercise than before the exercise. [Conclusion] Slow angular velocity isokinetic exercise with high load as well as no-load rapid angular velocity isokinetic exercise is effective at eliciting activity of the obturatorius muscle.

Key words: obturatorius muscles, magnetic resonance imaging (MRI), isokinetic exercise

要旨:〔目的〕閉鎖筋の筋活動を賦活するのに適した運動負荷を検討すること。〔対象〕腰部および下肢に器質的疾患を持たない成人男性 11 名とした。〔方法〕高負荷の課題 1 (60° / sec) と無負荷の課題 2 (500° / sec) における等速性股関節外旋運動前後で、MRI の T2 強調画像から内閉鎖筋、外閉鎖筋、大殿筋、中殿筋、縫工筋の MR 信号強度率を抽出し比較した。〔結果〕抽出された課題 1 において内閉鎖筋、外閉鎖筋、中殿筋、縫工筋で、課題 2 において内閉鎖筋、外閉鎖筋、縫工筋で、運動前に比べ運動後に MR 信号強度率が有意に上昇した。〔結語〕速筋線維を多く含む閉鎖筋に対しては、高負荷のみならず無負荷の運動も筋活動を得ることを可能にすると考ええる。

キーワード: 閉鎖筋, MRI, 等速性運動

¹⁾ 船橋整形外科病院 船橋理学診療部:千葉県船橋市飯山満 1-833 (〒274-0822) TEL 047-425-5585

²⁾ 首都大学東京大学院 人間健康科学研究科 人間健康科学専攻 理学療法科学域

³⁾ 船橋整形外科病院 放射線部

I. はじめに

股関節は肩関節と同様、運動の自由度が高い球関節であるが、大腿骨頭を臼蓋が大きく覆っており、肩関節と比べて脱臼しづらい安定した関節運動を有する。股関節は体幹と下肢をつなぐ関節であるため、股関節機能が破綻すると体幹や下肢へも影響が及び、日常生活やスポーツ活動に支障をきたす。

本邦における変形性股関節症の多くは、先天性股関節脱臼や臼蓋形成不全などの関節構造の力学的側面に起因する二次性のものである。臼蓋形成不全では大腿骨頭と臼蓋の適合不全により、関節接触面が狭小化し、接触分圧の不均衡が存在する¹⁾。さらに、臼蓋が急峻であると立位荷重時には大腿骨頭に外上方への滑りの力が働く²⁾。また、正常では大腿骨頭の回転中心は股関節外転運動時においてほとんど変化しないのに対し、変形性股関節症や臼蓋形成不全においては内下方へ移動することが報告されており^{3,4)}、臼蓋の被覆が不十分な股関節における運動は正常とは異なり股関節軸が不安定な状態となっている。

股関節軸の安定性は股関節周囲筋にも影響される。大腿骨頭部と平行に走行している小殿筋は、ベクトルとして考えると中殿筋後部線維とともに外転作用以外にも股関節を圧縮する作用があり、股関節軸の安定化に関与していることが推察される⁵⁾。また、大腰筋は前方から⁶⁻⁸⁾、逆に内閉鎖筋および外閉鎖筋は後方から⁸⁾大腿骨頭を圧迫し股関節軸の安定化を担っている。さらに内閉鎖筋と外閉鎖筋は股関節に対し自動車におけるサスペンションのように働き、地面から関節窩に掛かる衝撃負荷を分散させる役割を持つと考えられており⁸⁾、股関節疾患リハビリテーションにおける股関節可動域改善、疼痛改善、動作改善の側面で重要な意味をなす筋であると考えられる。

しかし、内閉鎖筋と外閉鎖筋は股関節深層にある筋であり、上述したような解剖学的見地から股関節深層筋機能を推察することは可能であるが、実際の筋活動を評価することは困難であった。骨格筋における深層筋の筋活動を評価する方法として、Fleckensteinら⁹⁾は磁気共鳴画像法(MRI: magnetic resonance imaging)を用いて運動負荷後のMR信号強度の上昇で判断する方法を報告している。MR信号強度の上昇は筋活動そのものにより起こった筋細胞内外への自由水の移動によるものだと考えられているが、Sjøgaardら¹⁰⁾は骨格筋運動後における細胞内外の水分量の増加を確認し、上昇の原因としては、毛細血管床、筋細胞の大きさ、乳酸、グルコース産生による浸透圧等の様々な因子が関与している可能性があるとして述べている。Adamsら¹¹⁾は上腕二頭筋の筋活動についてEMG(electromyography)とMRIを用いて評価したところ、EMGの活動電位とMR信号強度の変化

には強い相関を示したと報告しており、これはMR信号強度の変化により運動負荷の変化が骨格筋の活動性に与える影響について評価できることを示唆している。MRIは筋生検や針筋電でしか得られなかった深層筋の筋活動を非侵襲的に評価することのできる方法として着目され多くの研究が行われている¹²⁻¹⁷⁾。熊谷ら¹⁸⁾は股関節外転位では中殿筋よりも小殿筋のMR信号強度上昇率が有意に高かったことから、股関節外転位で評価される股関節外転筋力は深層外転筋である小殿筋の筋力を反映するものであると報告している。しかしながら、内閉鎖筋および外閉鎖筋に着目し、股関節深層筋に対するMR信号強度変化を用いた報告は渉猟する限り見つからない。

そこで本研究では、股関節軸安定化および股関節衝撃吸収作用を担っている可能性のある内閉鎖筋および外閉鎖筋に着目し、その筋活動を賦活するのに適した運動負荷についてMR信号強度を用いて明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

被験者は腰部および下肢に器質的疾患を持たない男性11名を対象とした平均年齢(範囲)は25.3(25-27)歳、身長と体重の平均(標準偏差)は、それぞれ62.3(4.6)kgと169.4(4.7)cmであった。なお、実験に際しては、ヘルシンキ宣言に基づき、参加希望者には実験の趣旨およびMRIに関する説明を行い、趣旨に同意した者を対象とした。また、一度同意した後でも不利益を受けることなくいつでも撤回することができる旨を説明した。データ管理にはID番号を使用し、個人の特定ができないように留意した(船橋整形外科病院倫理委員会審査承認番号2014040)。

2. 方法

運動課題は、運動療法室にある多用途筋機能評価運動装置Biodex System 3 dynamometer(Biodex Medical System Inc, New York, USA)を用い、60°/sec(課題1)、500°/sec(課題2)での等速性股関節外旋運動を行わせた。運動開始肢位は股関節90°屈曲位、内外転および内外旋0°の端座位とした。股関節屈曲90°は上前腸骨棘と恥骨結節を結んだ線が大腿長軸に対し90°となる位置と定義し、椅子の背もたれと体幹の間にクッションを置くことで調節した。両手は椅子の側部にある取手を把持させ、椅子と体幹、骨盤、右大腿部をベルトで十分に固定することで、運動時に体幹中間位および股関節90°屈曲位、内外転中間位を保つことができるように設定した。また、右股関節外旋運動時に左下肢が妨げとならないように左股関節は軽度外転位にさせた(図1)。

運動は全て右股関節とし、内外旋 0° から最大外旋位までの外旋運動を行わせ、最大外旋位から内外旋 0° までは力を抜くことで戻させた。課題 1 と 2 はともに最大努力で 30 秒 5 セット行うこととし、セット間インターバルは 10 秒とした。また、課題 1 と 2 は 1 週間空けて実施した。また、各被験者において課題 1 と 2 を行う順番は乱数表を用いランダムとした。

なお、本研究の運動負荷を決めるに先立ち、被験者とは別の 8 名 (平均年齢 (範囲) : 25.3 (22-32) 歳, 平均体重 (標準偏差) : 72.6 (9.5) kg, 平均身長 (標準偏差) : 176.6 (4.6) cm) に対し本研究と同肢位にて 60° , 150° , 210° , 300° , 400° , $500^{\circ}/\text{sec}$ の等速性股関節外旋運動を行わせた。それぞれの運動で得られた最大トルクを内外旋 0° における等尺性股関節外旋トルクの最大値で除したところ、それぞれ 83.8%, 68.1%, 54.4%, 29.5%, 3.1%, 0% であったことから、高負荷運動として $60^{\circ}/\text{sec}$ の、無負荷運動として $500^{\circ}/\text{sec}$ の等速性股関節外旋運動を選択した。

MRI 撮像は運動前後に MRI 室で行った。運動療法室から MRI 室までは測定足である右足を床に付かないよう車椅子で移動し運動終了時から 4 分後に MRI 撮像を開始することで統一した。被験者を撮像台に腹臥位にさせ、ポジショニングや磁場均一性による影響を補正する

ために殿部に円柱状の水ファントムボトル (1000 ml demi water + 770 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 2000 mg NaCl + 1 ml arquad (1% solution) + 0.15 ml H_2SO_4 - 0.1 N solution) を置き、これが一緒に入るように撮像した。分析対象の筋は、股関節深層筋である内閉鎖筋および外閉鎖筋と、股関節表在筋で外旋作用があるとされる大殿筋、中殿筋、縫工筋とした (図 2)。使用装置は 1.5T-MRI Intera (Philips 社製) で、撮像法は FSE (fast spin echo) 法 (TR1000 ms, TE70 ms, NSA2, スライス厚 7 mm, Scan Matrix 512) を用い、T2 強調横断像を撮像した。撮像中は、被験者が非常用連絡ボタンを押すことで不測の事態に対応できるようにした。分析には MR 装置内蔵の解析ツールを用いた。内閉鎖筋、外閉鎖筋の筋断面がもっとも広く映る画像の辺縁を囲い関心領域 (Region of Interest : 以下 ROI) を設定し、ROI 内の信号強度平均値を水ファントムの信号強度で正規化したものを MR 信号強度率とした。

統計処理では、運動前後における各筋の MR 信号強度率と運動課題間での各筋の MR 信号強度率の比較に Wilcoxon 符号順位検定を行った。すべての解析には IBM SPSS Statistics 22 (IBM 社製) を用い、有意水準は 5% とした。

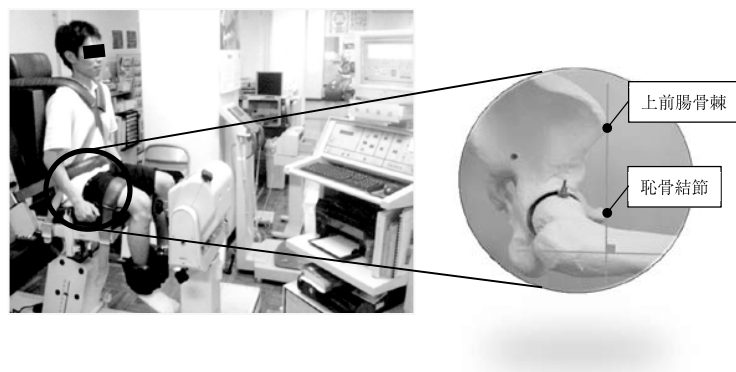


図 1 運動開始肢位

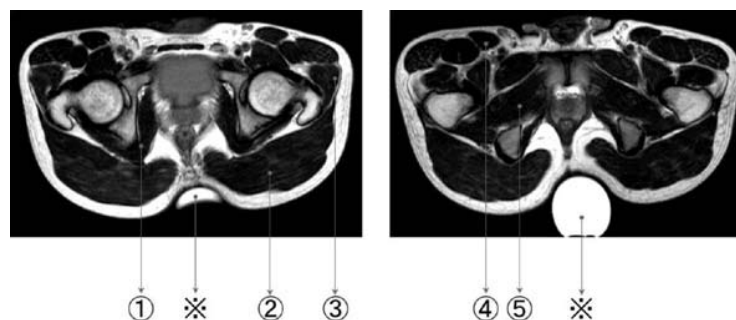


図 2 抽出筋

① 内閉鎖筋, ② 大殿筋, ③ 中殿筋, ④ 縫工筋, ⑤ 外閉鎖筋, ※ 水ファントム。

表 1 運動前後における MR 信号強度率

	内閉鎖筋		外閉鎖筋		大殿筋		中殿筋		縫工筋	
	運動前	運動後	運動前	運動後	運動前	運動後	運動前	運動後	運動前	運動後
課題 1	7.0 (0.4)	11.5 (1.6)	6.7 (0.6)	12.3 (0.9)	9.4 (0.9)	9.6 (1.3)	6.3 (0.6)	6.9 (0.7)	4.4 (0.5)	5.8 (0.9)
課題 2	6.5 (0.5)	10.9 (1.1)	6.3 (0.4)	11.5 (1.3)	9.1 (1.2)	9.2 (1.6)	6.3 (0.9)	6.4 (0.7)	4.4 (0.8)	5.3 (1.1)

課題 1：60°/sec 等速性股関節外旋運動，課題 2：500°/sec 等速性股関節外旋運動。*：p<0.05，平均値（標準偏差）。

III. 結 果

課題 1 における運動前後の内閉鎖筋，外閉鎖筋，大殿筋，中殿筋，縫工筋の MR 信号強度率平均値（標準偏差）はそれぞれ，運動前に 7.0 (0.4) %，6.7 (0.6) %，9.4 (0.9) %，6.3 (0.6) %，4.4 (0.5) %，60°/sec の等速性股関節外旋運動後に 11.5 (1.6) %，12.3 (0.9) %，9.6 (1.3) %，6.9 (0.7) %，5.8 (0.9) %であり，内閉鎖筋，外閉鎖筋，中殿筋，縫工筋の運動後 MR 信号強度率は運動前に比べ有意の高かった。課題 2 における運動前後の内閉鎖筋，外閉鎖筋，大殿筋，中殿筋，縫工筋の MR 信号強度率平均値（標準偏差）はそれぞれ，運動前は 6.5 (0.5) %，6.3 (0.4) %，9.1 (1.2) %，6.3 (0.9) %，4.4 (0.8) %，500°/sec の等速性股関節外旋運動後は 10.9 (1.1) %，11.5 (1.3) %，9.2 (1.6) %，6.4 (0.7) %，5.3 (1.1) %であり，内閉鎖筋，外閉鎖筋，縫工筋の運動後 MR 信号強度率は運動前に比べ有意に高かった（表 1）。

運動課題間の比較では，外閉鎖筋と中殿筋において，運動後の MR 信号強度率が課題 2 に比べ課題 1 で有意に高かった。

IV. 考 察

Sirca ら¹⁹⁾は，健康者における筋線維組成比率を調査し，速筋（type II）線維の割合は，大殿筋が約 32 %，中殿筋が約 42 %であったと報告している。縫工筋，内閉鎖筋および外閉鎖筋における筋線維比率をヒトと比較した報告は渉猟する限り見つからなかったが，Sullivan ら²⁰⁾はハムスターの解剖において，縫工筋の 98 %が速筋（Type II）線維であったことを報告している。また，Armstrong ら²¹⁾は犬の解剖により，内閉鎖筋には 37 %，外閉鎖筋には 50 %の遅筋（Type I）線維が含まれていたことを報告しており，Roy ら²²⁾は猫の解剖により，内閉鎖筋および外閉鎖筋ともに遅筋（Type I）線維の割合は 24 %であったことを報告している。これらの先行研究より，ヒトにおいても，大殿筋，中殿筋には遅筋（Type I）線維の割合が多く，縫工筋，内閉鎖筋および外閉鎖筋には速筋（type II）線維の割合が多いと推察さ

れる。

以上より，遅筋（Type I）線維の割合の多い大殿筋と中殿筋は，500°/sec よりも遅い収縮速度を要求される 60°/sec の等速性股関節外旋運動時に作用することが予測され，速筋（type II）線維の割合が多い縫工筋，内閉鎖筋および外閉鎖筋では，遅い収縮速度の 60°/sec だけでなく，速い収縮速度を要求される 500°/sec の等速性股関節外旋運動時においても作用することが予測される。

本研究において，中殿筋に関しては，60°/sec の等速性股関節外旋運動後には MR 信号強度率の有意な上昇を認めたが 500°/sec では有意な変化を認めなかったことから，中殿筋に対する仮説は立証されたと考える。中殿筋の作用について Delp ら²³⁾は，献体を用いた股関節屈曲における回旋モーメントアームの変化で検討している。この報告によると，股関節屈曲 0°では中殿筋の前部線維は内旋作用，後部線維は外旋作用を示すが，股関節屈曲 90°では中殿筋は前部線維，後部線維ともに内旋作用を示すとしている。しかし，本研究では股関節屈曲 90°における 60°/sec 等速性股関節外旋運動後に MR 信号強度率の有意な上昇が認められており，Delp ら²³⁾の報告とは異なる結果となった。事前の実験から 60°/sec 等速性股関節外旋運動は，股関節内外旋 0°における等尺性股関節外旋トルクの 83.8 %のトルクが掛かる高負荷運動である。大きなトルクを出すために股関節外転運動が共同運動として生じたが，測定時には椅子と体幹，骨盤，右大腿部をベルトで十分に固定していたことが股関節外転運動に対する抵抗因子となり，中殿筋には外転の等尺性収縮が生じ，結果として MR 信号強度率が上昇した可能性があると考えられる。

大殿筋においては，60°/sec と 500°/sec の等速性股関節外旋運動ともに MR 信号強度率は有意な変化を示さなかったことから大殿筋に対する仮説は棄却された。大殿筋の作用について Delp ら²³⁾は，大殿筋の下部線維は屈曲角度にかかわらず常に外旋作用を持つのに対し，上部線維は屈曲 0°では外旋作用だが屈曲 90°では筋の作用の変化がおこり内旋作用を示すとしている。また，鈴木ら²⁴⁾は，表面筋電図を用いて股関節屈曲 0°と 90°における大殿筋上部線維の筋活動を調べたところ，屈曲

90°では0°よりも有意に筋活動が少なかったことを報告している。本研究において抽出した大殿筋の部位は大腿骨頭より上位のレベルであったことより、大殿筋上部線維の抽出となっていたことが、股関節90°屈曲位における2つの等速性外旋運動においてMR信号強度率の有意な変化を示さなかった理由ではないかと考える。

縫工筋、内閉鎖筋および外閉鎖筋は60°/secと500°/secの等速性股関節外旋運動ともにMR信号強度率の有意な上昇を示しており、縫工筋、内閉鎖筋および外閉鎖筋に対する仮説は立証されたものと考えられる。ただし、外閉鎖筋においては60°/sec等速性股関節外旋運動の方が500°/secよりもMR信号強度率の有意に高い値を示したことから、Armstrongら²¹⁾による犬における外閉鎖筋のように、ヒトにおける外閉鎖筋は、遅筋(Type I)線維と速筋(type II)線維が同等の割合を示す中間線維を持っている可能性が示唆される。

本研究の限界は、股関節屈曲90°の測定肢位に限定した検討であり、股関節屈曲角度が変化したときの筋活動については検証していないこと、および運動負荷があがると股関節外旋運動時に股関節外転などの共同運動が生じ、純粋な股関節外旋運動だけの検討ではなくなる可能性があることである。さらに、MR信号強度に有意な変化が現れていなくても、筋電図解析では筋の働きが認められることがあるため、たとえMR信号強度が変化していなくても筋収縮が得られている可能性は否定できない。しかし、股関節90°屈曲位における60°/secと500°/secの等速性股関節外旋運動によって筋細胞内外への自由水の移動を引き起こすに足る十分な内閉鎖筋および外閉鎖筋の筋活動を得ることが可能となるという事実を確認することができた。

股関節軸安定化および股関節衝撃吸収作用を担っている可能性がある内閉鎖筋および外閉鎖筋の筋機能改善は、股関節疾患に対する理学療法アプローチとして重要なものと成り得る。本研究において、内閉鎖筋および外閉鎖筋は60°/secだけでなく500°/secの等速性股関節外旋運動時においても十分に働くということが証明された。60°/sec等速性股関節外旋運動は股関節内外旋0°における等尺性外旋運動の80%以上の運動負荷が掛かる高負荷運動であるのに対し、500°/sec等速性股関節外旋運動は0%の運動負荷という実際の運動時に抵抗を感じることもない無負荷運動である。股関節疾患の急性期や、関節鏡視下手術後、人工関節置換術後などのリハビリテーション導入期において、高負荷外旋運動は疼痛増悪や筋・腱縫合を伴う手術後の癒合不全のリスクを考慮すると用いることはできないが、無負荷外旋運動は禁忌肢位を考慮して行えば活用可能なトレーニングである。リハビリテーション導入期から無負荷外旋運動を用いることで、股関節軸安定化および股関節衝撃吸収作用を担っている内閉鎖筋および外閉鎖筋の筋収縮を促し、

股関節・人工股関節に掛かる負担を軽減させることができる可能性がある。

本研究では、腰部および下肢に器質的疾患を持たない対象者に対し、股関節90°屈曲位、内外転0°の肢位における外旋運動のみを検討したが、今後、股関節に疾患のある対象者や股関節肢位の変化による影響についても検討していく必要があると考える。

引用文献

- 1) 姫野信吉, 西尾篤人, 川井忠彦・他: 股関節の求心性と接触圧分布について—小児股関節を巡って。臨床整形外科, 1981, 16(9): 835-845.
- 2) 津村 弘, 姫野信吉, 森田秀穂: 関節圧力分布の解析可能な3次元股関節骨切りシミュレータ。Hip Joint, 1991, 17: 297-300.
- 3) 船山完一, 藤井玄二, 星 秀夫: 特集 初期変形性股関節症の治療 亜脱臼性股関節症に対する臼蓋棚形成術。整・災外, 1991, 34(10): 1281-1288.
- 4) 加藤 浩: 変形性股関節症の関節運動学—すべりを考慮した瞬時回転軸の測定。理学療法福岡, 1998, 11: 3-8.
- 5) Gottschalk F, Kourosh S, Leveau B: The functional anatomy of tensor fasciae latae and gluteus medius and minimus. J Anat, 1989, 166: 179-189.
- 6) 名倉武雄, 山崎信寿: 生体力学モデルによる大腰筋の機能解剖。バイオメカニズム学会誌, 2000, 24(3): 159-162.
- 7) Yoshio M, Murakami G, Sato T, et al.: The function of the psoas major muscle: passive kinetics and morphological studies using donated cadavers. J Orthop Sci, 2002, 7(2): 199-207.
- 8) Leplid B: L'Ingeniosite de la coxo- femorale. Kinesitherapie Scientifique, 1997, 370: 7-19 (In French).
- 9) Fleckenstein JL, Canby RC, Parkey RW, et al.: Acute effects of exercise on MR imaging of skeletal muscle in normal volunteers. Am J Radiol, 1988, 151(2): 231-237.
- 10) Sjøgaard G, Saltin B: Extra- and intracellular water spaces in muscle of man at rest and dynamic exercise. Am J Physiol, 1982, 243(3): 271-280.
- 11) Adams GR, Duvoisin MR, Dudley GA: Magnetic resonance imaging and electromyography as indexes of muscle function. J Appl Physiol, 1992, 73(4): 1578-1583.
- 12) Bendstrup P: Late edema after muscular exercise. Arch Phys Med Rehabil, 1962, 43: 401-405.
- 13) Polak JF, Jolesz FA, Adams DF, et al.: NMR of skeletal muscle differences in relaxation parameters related to extracellular/intracellular fluid spaces. Invest Radiol, 1988, 23(2): 107-112.
- 14) Sjøgaard G: Electrolytes in slow and fast muscle fibers of human at rest with dynamic exercise. Am J Physiol, 1983, 245(1): 25-31.
- 15) Sjøgaard G, Adams RP, Saltin B: Water and ion shifts in skeletal muscle of humans with intense dynamic knee extension. Am J Physiol, 1985, 248: 190-196.
- 16) Ogino T, Ikehira H, Arimizu N, et al.: Serial water changes in human skeletal muscles on exercise studied with proton magnetic resonance spectroscopy and imaging. Ann Nucl

- Med, 1994, 8(4): 219-224.
- 17) 萩野 透, 池平博夫, 守屋秀繁・他: MRIで評価したテニス肘用バンドの有用性. 理学療法科学, 1996, 23(8): 507-511.
- 18) 熊谷 優, 志波直人, 樋口富士男・他: MRIにおける股関節外転筋の機能評価. Hip Joint, 1995, 20: 514-519.
- 19) Sirca A, Susec-Michieli M: Selective type II fiber muscular atrophy in patients with osteoarthritis of the hip. J Neurol Sci, 1980, 44(2-3): 149-159.
- 20) Sullivan SM, Pittman RN: In vitro O₂ uptake and histochemical fiber type of resting hamster muscles. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1989, 57(1): 246-253.
- 21) Armstrong RB, Saubert CW 4th, Seeherman HJ, et al.: Distribution of fiber types in locomotory muscles of dogs. Am J Anat, 1982, 163(1): 87-98.
- 22) Roy RR, Kim JA, Monti RJ, et al.: Architectural and histochemical properties of cat hip 'cuff' muscles. Acta Anat (Basel), 1997, 159(2-3): 136-146.
- 23) Delp SL, Hess WE, Hungerford DS, et al.: Variation of rotation moment arms with hip flexion. J Biomech, 1999, 32(5): 493-501.
- 24) 鈴木淑実, 平尾利行, 佐久間孝志・他: 股関節屈曲角度の違いが股関節回旋筋に及ぼす影響. 専門リハビリテーション誌, 2010, 9: 60-62.