■ 症例研究

変形性股関節症術後患者における中殿筋の筋特性と 歩行パラメーターとの関連

——寛骨臼回転骨切り術後9ヵ月で跛行が残存していた一症例——

Relationships between Skeletal Muscle Characteristics of the Gluteus Medius and Gait Parameters in a Patient after Surgery for Osteoarthritis of Hip with Limp Remaining at 9 Months after Rotational Acetabular Osteotomy

井上 純爾¹⁾ 澳 昂佑²⁾ 森 拓也³⁾ 田中 貴広⁴⁾ 加藤 丈博⁵⁾
中野 英樹⁶⁾ 松木 明好²⁾ 木村 大輔⁷⁾ 川原 勲³⁾

JUNJI INOUE, RPT, MS¹⁾, KOSUKE OKU, RPT, MS²⁾, TAKUYA MORI, RPT, MS³⁾, TAKAHIRO TANAKA, RPT, MS⁴⁾,
TAKEHIRO KATO⁵⁾, HIDEKI NAKANO, RPT, PhD⁶⁾, AKIYOSHI MATSUGI, RPT, PhD²⁾, DAISUKE KIMURA, RPT, PhD⁷⁾,
ISAO KAWAHARA, RPT, PhD³⁾

¹⁾ High Performance Center, Japan Cycling Federation: 1826 Ono, Izu-shi, Shizuoka 410-2402, Japan TEL +81 558-79-1065
E-mail: greg718peatry@yahoo.co.jp

²⁾ Faculty of Rehabilitation, Shijonawate Gakuen University

³⁾ Department of Rehabilitation, Hanna Central Hospital

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Hanna Central College of Rehabilitation

⁵⁾ Human Health Sciences, Graduate School of Medicine, Kyoto University

⁶⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Kyoto Tachibana University

⁷⁾ Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

Rigakuryoho Kagaku 34(2): 265-270, 2019. Submitted Nov. 7, 2018. Accepted Dec. 27, 2018.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate the effect of an intervention to improve electromechanical delay (EMD) of the gluteus medius (GM) for Duchenne gait. [Participant] A woman in her 40s participated in this study 9 months after rotational acetabular osteotomy. This patient exhibited Duchenne gait, despite a grade of more than 4 in manual muscle testing (MMT) of abduction of the affected hip, and EMD of the affected GM was prolonged compared with the unaffected side. [Intervention] The patient performed maximal isometric contractions many times a day for 5 days. [Results] The EMD, rate of force development, and median power frequency of the affected GM improved and with that, the patient showed improvement in pelvic and trunk tilt during gait. [Conclusion] These results suggest that the intervention to improve EMD of the affected GM was effective for this patient with Duchenne gait, despite a grade of more than 4 in MMT of the affected side after surgery for hip osteoarthritis.

Key words: electromechanical delay, limp, hip osteoarthritis

要旨:〔目的〕中殿筋の電気力学的遅延（EMD）を改善させる介入が Duchenne 徴候に及ぼす効果について検証すること。〔対象〕寛骨臼回転骨切り術後9ヵ月経過した40歳代女性。本症例は患側の股関節外転筋力が徒手筋力検査にて4以上あるにもかかわらず歩行時に Duchenne 徴候を呈していた。さらに患側中殿筋の EMD が健側と比較して延長していた。〔介入〕最大等尺性収縮運動を複数回実施させ、介入期間は5日間とした。〔結果〕介入後、患側中殿筋の EMD、立ち上がり速度、中間周波数が改善し、それに伴い歩行時の骨盤傾斜角および体幹傾斜角に改善を認めた。〔結語〕Duchenne 徴候を呈する変形性股関節症術後患者に対して、等尺性収縮運動が中殿筋の EMD を改善させ、中殿筋の EMD 改善と骨盤傾斜角の減少に関連を認めた。

キーワード: 電気力学的遅延, 跛行, 変形性股関節症

¹⁾ 日本自転車競技連盟 選手強化部 ハイパフォーマンスセンター：静岡県伊豆市大野1826（〒410-2402）TEL 0558-79-1065

²⁾ 四條畷学園大学 リハビリテーション学部, ³⁾ 医療法人和幸会 阪奈中央病院 リハビリテーション科, ⁴⁾ 阪奈中央リハビリテーション専門学校 理学療法学科, ⁵⁾ 京都大学大学院 医学研究科 人間健康科学系専攻, ⁶⁾ 京都橘大学 健康科学部 理学療法学科, ⁷⁾ 川崎医療福祉大学 医療技術学部 リハビリテーション学科 理学療法専攻

I. はじめに

変形性股関節症 (osteoarthritis of the hip : 以下, 股 OA) 患者は, Duchenne 徴候や Trendelenburg 徴候などの異常歩行を示すことが報告されている¹⁾. その異常歩行は歩行能力の低下²⁾や腰痛などの二次障害³⁾, さらには生活の質 (quality of life) の低下を招く⁴⁾. Duchenne 徴候および Trendelenburg 徴候を呈する異常歩行の主な要因としては, 中殿筋の機能障害が明らかとなっている⁵⁾. 対馬ら⁶⁾は, 股 OA 患者において MMT 等の筋力測定で十分な筋力が認められても跛行を呈し, その原因は筋の質的な問題であるとしている. ここで, 筋機能における質的要素としては Type II 線維の減少やトルク値立ち上がり時間の延長などによる反応時間の遅延が挙げられ, 一方で量的要素としては最大筋力が上げられる⁶⁾. 股 OA 患者における中殿筋の筋生検では, Type II 線維の選択的萎縮を認め, 筋線維タイプの割合を推定できる周波数解析においても中殿筋の Type II 発火率は健常群と比較して低値を示したという報告がある^{7,8)}. すなわち, 股 OA 患者の中殿筋では, 反応時間の延長あるいは筋力の立ち上がり速度の低下を示す可能性が考えられる.

反応時間の一つの要素として, 随意的筋活動の発現から筋力が発現するまでの時間 (electromechanical delay : 以下, EMD) がある⁹⁾. EMD とは筋の直列弾性要素の緩みの程度 (stiffness) を主とする末梢過程を反映する. すなわち, 筋自体の stiffness が低ければ随意的筋活動が生じてから筋力が発現するまでに多くの時間を要する. そのため, EMD の延長は, 動作や運動中に発生する力学的要求に対し適切なタイミングで力を発揮できないことを意味する⁹⁾. さらに, 廃用や手術侵襲を認める場合においては, EMD が延長することが報告されている^{10,11)}. つまり, 中殿筋の反応時間が延長する可能性がある股 OA 患者の特徴に加えて, 寛骨臼回転骨切り術などの手術や術後の廃用によって, EMD がさらに延長することが考えられる. これらの知見より, 股 OA 術後患者における跛行には反応時間の一つである EMD といった筋機能の質的要素が大きく影響する可能性が高い.

本研究の目的は, 中殿筋の EMD を改善させる介入が股 OA 術後患者の Duchenne 徴候に及ぼす効果を検証することとし, 一症例において検討したので報告する.

II. 対象と方法

1. 対象と方法

対象は, 右股 OA に対して寛骨臼回転骨切り術を施行された術後 9 ヶ月の 40 歳代女性とした. 本手術の 2 年前より右股関節痛が出現し, 変形性股関節症の病期分類

は初期であったため寛骨臼回転骨切り術が施行された. なお, 白蓋形成不全の指標である CE 角は術前で患側 23.0°, 健側 34.6° であり, 術後患側は 41.5° であった. 寛骨臼回転骨切り術後の一般的な経過, つまり, 術後 1 週までは完全免荷で, その後 1/3 荷重開始, 術後 1 ヶ月で 1/2 荷重開始, 術後 2 ヶ月で 2/3 荷重開始, 術後 3 ヶ月で全荷重開始を遅延することなく遂行した. その後, 回復期病棟を経て術後 4 ヶ月時点で自宅に退院した. しかし, 跛行が改善しなかったため, その改善を目的に外来での理学療法が処方された. 入院前の日常生活動作 (activities of daily living : 以下, ADL) はすべて自立で, ニードは「まっすぐきれいに歩きたい」であった. 以下, 術側である右側は患側, 非術側である左側は健側と定義する.

介入前である術後 9 ヶ月における運動機能を表 1 に示した. 10 m 最大歩行速度や Functional Balance Scale (以下, FBS), 6 分間歩行テストの結果から歩行能力やバランス能力は十分であり, ADL はすべて自立レベルであった. しかし, 患側股関節外転筋の MMT が 4 以上を認めるにもかかわらず, 歩行時に Duchenne 徴候が生じていた. そこで, 中殿筋の EMD などの質的な要因を検証するために, 表面筋電計および徒手筋力計, 超音波画像診断装置を用いて評価を行った.

記録電極は十分な皮膚処理をした後に, SENIAM の方法に準じて電極間距離を 2 cm に保って中殿筋の筋腹中央に貼付した¹²⁾. また, 徒手筋力計 (モービィ, 酒井医療社製) のフォースセンサーを非測定下肢の下を通して測定下肢の大腿遠位部に設置した (図 1). 運動課題として, 股関節内外転中間位にて 5 秒間の最大随意等尺性収縮における外転運動を行わせ, 表面筋電計 (Myoresearch1400, Noraxon 社製) および徒手筋力計で記録した. 得られたデータから中殿筋の筋機能として, 末梢過程の反応時間である EMD, 筋力の立ち上がり速度の指標となる筋力発生率 (rate of force development : 以下, RFD), そして筋線維タイプの割合を推測できる中間周波数 (median power frequency : 以下, MPF) を測定した. EMD は筋活動の発現から筋力の発現までの

表 1 介入前における運動機能

FIM (点)	126
10 m 最大歩行速度 (m/s)	1.6
FBS (点)	56
6 分間歩行テスト (m)	600
ROM 股関節内転 (°)	患側 5, 健側 10
MMT 中殿筋	患側 4, 健側 5

FIM : functional independence measure, FBS : functional balance scale, ROM : range of motion, MMT : manual muscle testing.

時間、RFDは最大筋力を最大筋力発揮に要した時間で除した値として算出した¹³⁾(図2)。なお、筋活動の発現ならびに筋力の発現は、筋活動波形および筋力波形の各安静時における平均値+2標準偏差を境界として設定した。また、MPFは得られた筋活動の波形が安定している3秒間を採用し、高速フーリエ変換により周波数解析を行い算出した²⁾。

次に、中殿筋収縮時における中殿筋と周囲の軟部組織との滑走性を評価するために、超音波画像診断装置(LOGIQ P6, GEヘルスケアジャパン社製:以下、超音

図1 中殿筋の筋機能の測定肢位

対象者はリラックスした姿勢でベッド上に背臥位にさせ、左下肢は20センチ台に乗せて体幹および左下肢を固定した。また右下肢は内外転中間位で固定した。左下肢の下からフォースセンサーをくぐらせ、右大腿遠位部に設置した。EMGは右中殿筋に設置した。

波エコー)のBモードにて羽状角と筋膜移動量を計測した。測定肢位は、図1と同様とし、ジェルを十分につけたプローブを腸骨稜と大転子中間の部位に筋線維に沿って体表に垂直となるように当てた¹⁴⁾。安静時および最大収縮時において、羽状角は深部腱膜と筋束の角度を計測し¹⁵⁾、筋膜移動量は特定した筋膜と筋束の接点から大転子上端の垂線までの距離を計測した¹⁶⁾(図3)。筋膜移動量の解析にはImageJ(米国国立衛生研究所)を用いて、各々の最大収縮時の値から安静時の値を減じた値を算出した。

また、歩行中のDuchenne徴候の程度を数値化するために、骨盤傾斜角および体幹傾斜角を測定した。Duchenne徴候は前額面上における骨盤傾斜角および体幹傾斜角で表すことが可能である。対馬ら⁶⁾の方法を参考に、歩行中の前額面上をビデオカメラにて撮影し、得られた動画から立脚中期の中間地点にあたる遊脚側の足関節が立脚下肢と交差する時点の画像を抽出して、ImageJにて解析を行った。骨盤傾斜角は両側の上前腸

図2 EMDおよびRFDの概略図

音の合図にあわせて最大収縮をさせた。筋活動発現からトルク発現までの時間をEMDとして記録した。またトルク発現から最大トルクまでの立ち上がりにおける速度をRFDとして記録した。筋活動発現とトルク発現はそれぞれ平均値+2標準偏差を境界とした。

図3 筋膜移動量の計測方法

安静時および最大収縮時において、筋膜と筋束の特定した接点から大転子上端の垂線までの距離を計測した。

骨棘（anterior superior iliac spine：以下、ASIS）を結んだ線と片側の ASIS と膝蓋骨を結んだ線からなる角度を、体幹傾斜角は両側の肩峰の midpoint と両側の ASIS の midpoint を結んだ線と空間の垂直線からなる角度を測定し、立脚期と同側への傾斜を正の値として算出した⁹⁾。例えば、遊脚側の骨盤が挙上して立脚側の骨盤傾斜角が正の値になれば Duchenne 徴候を表し、負の値であれば Trendelenburg 徴候を表すことになる。

介入前での患側は、健側に対して、筋機能として EMD の延長、RFD と MPF の低下、組織滑走性として羽状角および筋膜移動量の低下、また、歩行中の骨盤傾斜角と体幹傾斜角の増大を認めた（表 2）。EMD の延長は筋の stiffness 低下を反映しており、筋力の発現までに時間を多く要することを意味する⁹⁾。また、RFD の低下は筋力の立ち上がり速度の低下を⁹⁾、MPF の低下は筋線維の Type II 線維割合が減少していることを示唆しており⁸⁾、筋力を瞬間的に発揮する能力が低下していることが推察された。このような患側中殿筋の質的要素の低下が歩行中の片脚支持期に骨盤を支えるという力学的要求に対応できない要因となっており、それが Duchenne 徴候という代償動作を招いていることが考えられた。さらに、超音波エコーの結果から、中殿筋の収縮時に周囲組織との滑走性が低下しており、それも筋機能の低下の一因として考えられた。

そこで、患側中殿筋の EMD 延長が、歩行時の Duchenne 徴候の原因であるという仮説の元、患側中殿筋の EMD を短縮させるために介入を試みた。

なお、本症例研究は、治療方法や個人情報の保護に関して書面を用いて十分に説明を行ったうえで、患者本人から同意を得て実施された。

2. 介入

EMD を短縮させるための治療方法として、Kubo ら¹⁷⁾ は等尺性収縮運動が有効であったと報告している。その理由として、筋腱複合体内のコラーゲン線維などの内部構造が等尺性収縮運動を行うことで変化し、筋 stiffness の剛性が高まることで EMD が短縮すると述べ

られている。そこで、本研究では延長した EMD の治療方法として等尺性収縮を用いることとした。

対象者には、中殿筋の収縮時に股関節屈筋で代償が生じないように腹臥位をとらせ、伸張率が低いベルトを股関節内外転中間位となるように大腿遠位部に設置した。患側中殿筋において、3 秒間の最大等尺性収縮運動を 10 回 1 セットとし、それを 1 日 2 セット、5 日間毎日実施させた。セット間など休憩は十分にとるように指導した。なお、対象者には、自身で確実に実施できるようになるまで事前に綿密なトレーニング指導を行った。

III. 結 果

介入前後の各評価結果と変化率に関して表 2 に示した。筋機能は、EMD が 90.7 ms から 71.3 ms に、RFD が 171.3 N/s から 294.4 N/s に、MPF が 49.2 Hz から 68.8 Hz に改善した。組織間の滑走性は、羽状角が 2.3° から 5.8° に、筋膜移動量が 3.0 mm から 7.8 mm に改善した。また、歩行は、患側立脚中期の骨盤傾斜角が 5.3° から 3.1° に、体幹傾斜角が 5.2° から 4.9° に改善した。

IV. 考 察

本症例は、患側股関節外転筋の MMT が 4 以上を認めるにもかかわらず、歩行時に Duchenne 徴候を呈していた症例であり、その要因として患側中殿筋の EMD の延長が考えられた。この症例に対し、患側中殿筋の等尺性収縮運動を実施した結果、EMD が短縮し Duchenne 徴候の改善を認めた。ホームプログラムとしては、外来開始時より股関節の関節可動域練習、等張性筋力トレーニング、バランス練習を実施しており、本症例の中殿筋に対して等尺性収縮運動を用いるのは本介入が初回であった。

寛骨臼回転骨切り術は臼蓋形成不全に対する治療法の一つであり、寛骨臼を含む骨片を前外側に移動させる術式である。しかし、中殿筋への手術侵襲は大きく、術後 3 ヶ月で全荷重許可と免荷期間も長期であった。先行研

表 2 健側および患側の介入前後の各評価結果と変化率

		健側	患側（介入前）	患側（介入後）	患側（変化率：%）
筋機能	EMD (ms)	46.0	90.7	71.3	-21.4
	RFD (N/s)	221.1	171.3	294.4	71.9
	MPF (Hz)	61.4	49.2	68.8	39.8
滑走性	羽状角 (°)	7.6	2.3	5.8	152.2
	筋膜移動量 (mm)	13.4	3.0	7.8	160.0
歩行	骨盤傾斜角 (°)	-3.8	5.3	3.1	-41.5
	体幹傾斜角 (°)	-1.5	5.2	4.9	-5.8

EMD：electromechanical delay, RFD：rate of force development, MPF：median power frequency.

究にて EMD は手術侵襲や廃用で延長するとのことから^{10,11)}、本症例における患側中殿筋の EMD 延長の原因は手術侵襲および術後免荷期間による廃用であると考えられた。田中ら¹⁸⁾は、高齢者の中殿筋の EMD は 39.3 ± 26.0 ms と報告している。本症例の患側中殿筋の EMD はそれよりも延長しており、それが Duchenne 徴候の要因であると考えられた。また、RFD や MPF も健側より低下していることを認め、筋の Type II 線維の減少や運動単位の発火頻度および動員数の減少が推察された。そもそも、股 OA 患者の中殿筋は特異的に萎縮が生じることや¹⁹⁾、Type II 線維の選択的萎縮や割合の減少が報告されており⁵⁾、このことから術前からの筋機能低下も術後の筋機能低下に影響を与えていることが考えられた。

さらに、患側中殿筋の EMD においては健側の約 2 倍延長しており、時系列を考慮すると RFD の一段階早期に位置する EMD が Duchenne 徴候の要因として重要な因子の一つであることが考えられた。Lyons ら²⁰⁾は、健常女性における歩行中の中殿筋の筋活動を針筋電計にて検証しており、踵接地の約 50 ms 前から筋活動が発現し、踵接地の約 50 ms 後には筋活動がピークを迎えると報告している。田中ら¹⁸⁾の報告にある高齢者の中殿筋の EMD が約 40 ms であることを考慮すると、踵接地の約 50 ms 前から中殿筋の筋活動が発現してその約 40 ms 後、すなわち踵接地の時点ですでに筋力を発揮できる状態であることが推察される。つまり、EMD が延長すればするほど踵接地による床反力に拮抗するための中殿筋の筋力発揮が遅延し、それが Duchenne 徴候などの跛行の要因となり得ることが考えられる。そのため、Duchenne 徴候の原因を考える際は、RFD や MPF といった Type II 線維の萎縮や発火率の低下だけではなく、時系列上 RFD の一段階早期であり筋の stiffness を表す EMD にも着目する必要があると考える。

介入により、患側中殿筋の EMD は 90.7 ms から 71.3 ms に短縮し、それに伴い歩行時の骨盤傾斜角は 5.3° から 3.1° に改善した。この結果から、仮説として挙げられた患側中殿筋の EMD 延長と Duchenne 徴候には関係性があると考えられた。しかし、本症例では EMD よりも RFD や MPF の改善が大きく、その要因としては、EMD を構成する要素は運動単位の発火頻度などの神経学的要因よりも直接弾性要素としての stiffness が大きく占めており、5 日間という短期間の介入では stiffness 改善の見込みは少ないことが要因として考えられた。先行研究を参考にすると、EMD を短縮するための期間は 3 ヶ月程度必要であると考えられる¹⁷⁾。さらに、介入前後の変化率は、羽状角や筋膜移動量が最も大きかったことから、筋の周囲組織との滑走性も質的な筋機能の低下に影響を及ぼしていたことが推察された。本症例は中殿筋自体の stiffness の低下、いわゆる「緩さ」と、中殿筋と

周囲軟部組織との滑走性低下、いわゆる「かたさ」といった相反する要因が混在しているという特徴を有している。等尺性収縮という介入は関節運動を伴わずに筋のみが収縮するため、前述の効果に加えて筋と周囲軟部組織との滑走性を向上させる効果があることが考えられた。組織間の滑走性に関しては、臨床において術後創部の癒着化など組織間の滑走性低下が筋力や関節可動域に悪影響を与えている印象をもつことは少なくない。先行研究において滑走性に関する報告は少なく評価方法も確立していないが、今後、組織間の滑走性も新たな評価指標として着目する必要性が示唆された。

本症例研究における理学療法目的は、「まっすぐきれいに歩きたい」というニーズに対して Duchenne 徴候という跛行を軽減させることであった。評価結果と文献的考察から、Duchenne 徴候の原因として患側中殿筋の質的要因が抽出され、目的を達成するための機能障害が明確となった。そして、抽出された機能障害を改善するための介入を行い、機能障害の改善、歩容の改善を認めた。具体的には、介入前後において歩行時の骨盤傾斜角は改善し、姿勢は正中に近づいた。そのため、対象者本人のニーズを解決するまでは至らなかったが、少なからず貢献できたと考えられた。

本症例研究の限界として、今回の EMD は実際の歩行中に計測を行っていないため歩行中の EMD と異なる可能性があること、本症例研究はシングルケースであるため通常理学療法の効果を除外できたとはいえ切れないこと、また、介入期間が短く長期的な効果は不明確であることが挙げられる。今後は、ABA デザインなどを用いて介入効果を検討する必要がある。

本研究は、中殿筋の EMD を改善させる介入が股 OA 術後患者の Duchenne 徴候に及ぼす効果について検証した。症例は、患側の股関節外転筋力が MMT にて 4 以上あるにもかかわらず歩行時に Duchenne 徴候を呈しており、患側中殿筋の EMD が健側と比較して延長していた。介入の結果、患側中殿筋の EMD ならびに Duchenne 徴候の改善を認めた。本研究により、中殿筋に対する等尺性筋力強化は、患側の股関節外転筋力が MMT にて 4 以上あるにもかかわらず歩行時に Duchenne 徴候を呈する股 OA 術後患者に対して効果的である可能性が示唆された。

利益相反 開示すべき利益相反はない。

謝辞 稿を終えるにあたり、本研究に御協力いただいた対象者様に心より感謝いたします。

引用文献

- 1) Watelain E, Dujardin F, Babier F, et al.: Pelvic and lower limb

- compensatory actions of subjects in an early stage of hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82: 1705-1711.
- 2) 加藤 浩, 藤野英次郎, 上島隆秀・他: 歩行解析における股関節中殿筋の質的評価の試み—wavelet変換による動的周波数解析—. *理学療法学*, 1999, 26: 179-186.
 - 3) Hsieh PH, Chang Y, Chen DW, et al.: Pain distribution and response to total hip arthroplasty: a prospective observational study in 113 patients with end-stage hip disease. *J Orthop Sci*, 2012, 17: 213-218.
 - 4) Rosenlund S, Holsgaard-Larsen A, Overgaard S, et al.: The gait deviation index is associated with hip muscle strength and patient-reported outcome in patients with severe hip osteoarthritis—a cross-sectional study. *PLoS One*, 2016, 11: e0153177.
 - 5) 加藤 浩, 神宮司誠也, 岩本幸英・他: 股関節疾患患者の三次元歩行解析—骨盤傾斜角・回旋角・側方移動距離に対する中殿筋の動的EMG周波数特性の意義—. *理学療法学*, 2004, 31: 426-432.
 - 6) 対馬栄輝, 尾田 敦: 変形性股関節症患者における跛行と歩行時下肢の筋活動時期との関係. *理学療法学*, 1996, 23: 218-225.
 - 7) Sîrca A, Susec-Michieli M: Selective type II fibre muscular atrophy in patients with osteoarthritis of the hip. *J Neurol Sci*, 1980, 44: 149-159.
 - 8) 加藤 浩, 神宮司誠也, 高杉紳一郎・他: 股関節疾患患者における股関節中殿筋の組織学的・筋電図学的特徴—筋線維タイプと筋電図パワースペクトルとの関係—. *理学療法学*, 2002, 29: 178-184.
 - 9) Costa PB, Ryan ED, Herda TJ, et al.: Acute effects of passive stretching on the electromechanical delay and evoked twitch properties. *Eur J Appl Physiol*, 2010, 108: 301-310.
 - 10) Koryak YA: Influence of simulated microgravity on mechanical properties in the human triceps surae muscle in vivo. I: effect of 120 days of bed-rest without physical training on human muscle musculo-tendinous stiffness and contractile properties in young women. *Eur J Appl Physiol*, 2014, 114: 1025-1036.
 - 11) Ristanis S, Tsepis E, Giotis D, et al.: Electromechanical delay of the knee flexor muscles is impaired after harvesting hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 2009, 37: 2179-2186.
 - 12) Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscle: Recommendations for sEMG Sensors, Sensor Placement and Location. <http://www.seniam.org> (閲覧日 2016年5月20日).
 - 13) Zhou S, Lawson DL, Morrison WE, et al.: Electromechanical delay in isometric muscle contractions evoked by voluntary, reflex and electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1995, 70: 138-145.
 - 14) 見供 翔, 市川和奈, 宇佐英幸・他: 超音波画像を用いた異なる方向への静止性股関節外転収縮時の中殿筋前・中・後部線維における筋形状測定の検者内・間の信頼性. *日本保健科学学会誌*, 2014, 17: 5-13.
 - 15) 角田直也, 蒔野 豊, 須藤明治: 外側広筋の等尺性随意収縮に伴う形状の変化と等速性筋力及び最大無酸素性パワー. *国士舘大学体育研究所報*, 2000, 19: 79-85.
 - 16) 乙戸崇寛, 澤田 豊, 竹井 仁・他: 超音波診断用プローブの手把持固定法及び器具固定法による検者間測定信頼性の相違—腓腹筋中心腱膜移動距離の測定. *日本保健科学学会誌*, 2011, 13: 193-200.
 - 17) Kubo K, Kanehisa H, Ito M, et al.: Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol* 1985, 2001, 91: 26-32.
 - 18) 田中貴広, 木村 保, 奥 昂佑・他: 股関節術後早期の股関節外転・伸展反応時間, 関節トルクの特性と動作能力との関連性. *理学療法学*, 2015, 42: 186-187.
 - 19) Grimaldi A, Richardson C, Stanton W, et al.: The association between degenerative hip joint pathology and size of the gluteus medius, gluteus minimus and piriformis muscles. *Man Ther*, 2009, 14: 605-610.
 - 20) Lyons K, Perry J, Gronley JK, et al.: Timing and relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation. An EMG study. *Phys Ther*, 1983, 63: 1597-1605.