

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：14301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22700534
 研究課題名（和文） 股関節疾患患者の関節および筋への負荷軽減に向けた筋骨格シミュレーション解析
 研究課題名（英文） Simulation analysis of muscle tension and joint force in patients with hip dysfunction
 研究代表者
 建内 宏重（TATEUCHI HIROSHIGE）
 京都大学・医学研究科・助教
 研究者番号：60432316

研究成果の概要（和文）：

筋骨格モデルを用いたシミュレーション解析により、従来の動作解析研究では明らかにされてこなかった、動作時の筋腱複合体の動態、筋張力、関節間力、および筋張力を任意に変化させたモデルにおける他筋および関節間力の変化を分析した。股関節疾患患者で認められた腸腰筋の筋張力低下は、シミュレーションを用いた解析により大腿直筋や腓腹筋の筋張力増大を引き起こし膝関節負荷の増大につながることを示された。本研究課題は、股関節疾患患者のリハビリテーションにおいて、重要な知見を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：

This study investigated change of muscle-tendon unit, muscle tension, and joint force during locomotion by simulation analysis using musculoskeletal model. Decrease of the iliopsoas muscle tension was revealed in patients with hip dysfunction. Furthermore, decreased iliopsoas tension produced increased muscle tension of the rectus femoris and gastrocnemius and increased knee joint force. This study would add important knowledge for rehabilitation for patients with hip dysfunction.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 1,750,000 | 750,000 | 2,500,000 |
| 2011 年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,350,000 | 930,000 | 3,280,000 |

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学

キーワード：筋骨格モデルシミュレーション・股関節・障害・リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

変形性股関節症に代表される股関節疾患患者においては、股関節周囲の疼痛が主症状であり、運動機能を大きく阻害する要因となっている。疼痛については、関節の変形や炎症に加えて、関節への力学的負荷が大きく影響している。また、疼痛は関節周囲筋から生

じていることも多く、筋由来の疼痛は筋収縮を伴う運動時に増悪するため、特に日常生活に支障をきたす原因となっている（Barr KP, 2007）。特に注目すべきは、股関節の病態に対して人工股関節全置換術を施行された患者においても股関節周囲の疼痛が持続する症例があることである（Di Lorenzo L, et al,

2009)。このことは疼痛が関節から生じるだけでなく、周囲筋から生じることを明示している。筋の過剰な緊張は関節への圧迫力を増大させ、関節への負荷ともなり得る。

リハビリテーションにおいては、可動域や筋力の回復とともに疼痛の軽減が目的となる。しかし、患者の関節や筋の機能は全般的に低下していることが多く、疼痛を軽減し運動機能を改善するためには、関節のどの方向へ可動域を拡大し、どの筋の機能を改善することが最も効率的であるか判断は非常に難しく、効率的ではない全般的な治療が施されることも少なくない。例えば、筋の機能改善を図る場合にも、全般的に筋力が低下している中で、どの筋の出力を増加させることが最も疼痛や運動機能の改善に直結するのか、そのことが確かな方法で確認できれば効率的にリハビリテーションを進めることが可能になる。

股関節疾患患者を対象とした動作分析は現在まで多く行われ (Murray MP, et al, 1971, Hurwitz DE, et al, 1997, Watelain E, et al, 2001)、関節にかかるモーメントやパワー、関節間力により、関節への負荷を同定することはできる。しかし、筋個々が発揮している張力やそれらに影響される関節間力に関しては、十分に調査されていない。

近年、計算による作成した筋骨格モデルを用いた生体運動のシミュレーション研究が可能となってきた (Lewis CL, et al, 2009)。そこで本研究課題では、筋骨格モデルを用いたシミュレーション解析により、逆動力学・順動力学解析を行い、運動時の筋腱複合体の動態や筋張力、関節間力を推定するとともに、実際の患者における解析を試みた。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、筋骨格モデルを用いたシミュレーション解析により、動作時の筋腱複合体 (MTU) の動態、筋張力、関節間力を推定する方法を確立し、実際の股関節疾患患者において応用すること、また、順動力学解析により、特定の筋の筋張力低下が他の筋や関節間力に及ぼす影響を検討することとした。

本研究課題の実施により、股関節疾患患者のリハビリテーションにおける治療戦略の立案に向けた重要な情報を提供することができると思われる。

3. 研究の方法

(1) 健常者におけるシミュレーション解析

①筋骨格モデル作成のための動作測定

健常若年男性 1 名 (年齢 20 歳) を対象と

して、歩行動作 (通常歩幅 (下肢長の 75%)、短い歩幅 (65%)、長い歩幅 (85%)、段差 (230 mm) 昇降動作を記録した。測定機器は、3 次元動作解析装置 (Vicon Motion System 社製)、床反力計 (Kistler 社製)、表面筋電計

(Noraxon 社製) を用いた。動作時に

Plug-in-gait モデルに準じて全身に反射マーカーを貼付し、マーカーの動作時の座標を記録した。また、筋骨格モデルの妥当性を検証するために、下肢筋 (大殿筋、大腿直筋、半腱様筋、外側広筋、腓腹筋、ヒラメ筋) の筋電図を記録した。各動作とともに、安定した試行 3 試行を記録し、歩行動作では、規定した歩幅に最も近い動作をモデル作成に用いた。筋張力および関節間力の解析には、3 試行の平均値を用いた。

②筋骨格モデルの作成と解析

シミュレーションソフト LifeMOD

(Lifemoduler 社製) を用い、記録したマーカー座標データを基に、各動作について筋骨格モデルを作成した。本研究課題で用いたモデルは、片側下肢につき 45 筋を装備したモデルである。

まず、MTU の長さ解析においては、逆動力学解析により、歩行時の両下肢筋 (大殿筋、半腱様筋、腸骨筋、大腿筋膜張筋、大腿直筋、長内転筋、大内転筋、外側広筋、腓腹筋、ヒラメ筋) の MTU の長さを算出し、そのピーク時点を求めた。下肢各関節の角度変化と MTU 変化との関係、左右下肢の各 MTU の長さ変化の関係、歩幅の変化と MTU 長さ変化の関係、をそれぞれ分析した。

さらに、順動力学解析において、特定の筋の筋張力を低下させた場合の影響を分析した。対象は、大殿筋、腸腰筋、広筋群、ヒラメ筋とし、それぞれの筋張力を ON とした場合の他筋の筋張力変化と股・膝・足関節間力の変化を分析した。

(2) 股関節疾患患者におけるシミュレーション解析

対象は、術後 6 ヶ月以上が経過した THA 術後患者 24 名 (患者群) および年齢をマッチさせた健常者 12 名 (健常群) とした。まず、3 次元動作解析システムを用いて、両群の自然歩行における速度と股・膝・足関節の矢状面の関節角度・モーメントの平均値を求めた。次に、上記変数が各群の平均値に最も近い被験者 (代表的健常者および患者) を各 1 名選択し、動作解析データよりシミュレーションソフトを用いて各々の筋骨格モデルを作成した。さらに筋骨格モデルを用いた順動力学的解析を行い、歩行時の筋張力を算出した。立脚中期以降の下肢関節角度、内的関節モーメント、および大腿直筋、腸腰筋、腓腹筋の筋張力の最大値を求め、健常者と股関節疾患患者との比較分析を行った。

4. 研究成果

歩行、段差昇降ともに筋骨格モデルの筋張力変化パターンと筋電図による筋活動パターンとは、ほぼ同様のパターンを示し、妥当性が確認された (図 1)。

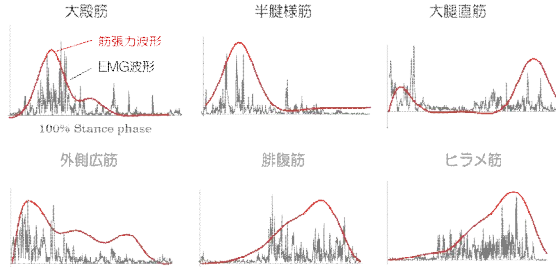


図 1 実測の筋電図波形と推定された筋張力波形の比較

(1) 健常者におけるシミュレーション解析

① 歩行時の MTU の長さ変化について

大殿筋、腸骨筋、外側広筋は、それぞれ股屈曲、伸展、膝屈曲の最大時点で最長となったが、半腱様筋は踵接地直前の膝最大伸展時に、長内転筋は足趾離地時に、大腿直筋は足趾離地直後に最長となった。腓腹筋、ヒラメ筋はどちらも足最大背屈付近で最長となった。また、半腱様筋と反対側大腿筋膜張筋の最長時点が同期する傾向にあり、一方の筋短縮が骨盤を介し他方の MTU の伸張を強いる関係性が示唆された。歩幅の増加に対しては、長内転筋と大内転筋の長さの増加率が大きい傾向にあった。

② 歩行・段差昇降時の下肢筋筋張力および関節間力

歩行では、通常条件と比較して大殿筋 0 条件でハムストリングスと広筋群に、広筋群 0 条件では大殿筋とヒラメ筋に、ヒラメ筋 0 条件では広筋群と腓腹筋に筋張力増加を認めたが関節間力の明らかな変化はなかった。一方、腸腰筋 0 条件では、大腿直筋と腓腹筋の張力が増加し、膝関節間力が 15.5% 増加した (図 2)。昇段動作では、大殿筋 0 条件ではハムストリングス、大腿直筋、腸腰筋に、ヒラメ筋 0 条件では大腿直筋に筋張力増加を認めたが、関節間力の明らかな増減はなかった。一方、広筋群 0 条件では大殿筋、大腿直筋、腓腹筋、ヒラメ筋の張力が増加し、股関節と足関節の関節間力がそれぞれ 117.0%、63.0% 増大した。降段動作では、大殿筋 0 条件ではハムストリングス、腓腹筋に、腸腰筋 0 条件では広筋群と腓腹筋に、ヒラメ筋 0 条件では腓腹筋に筋張力増加を認めたが、関節間力の増減はなかった。しかし、広筋群 0 条件では大殿筋とヒラメ筋に筋張力増加を認め、股関節と足関節の関節間力がそれぞれ 179.0%、16.6% 増大した。

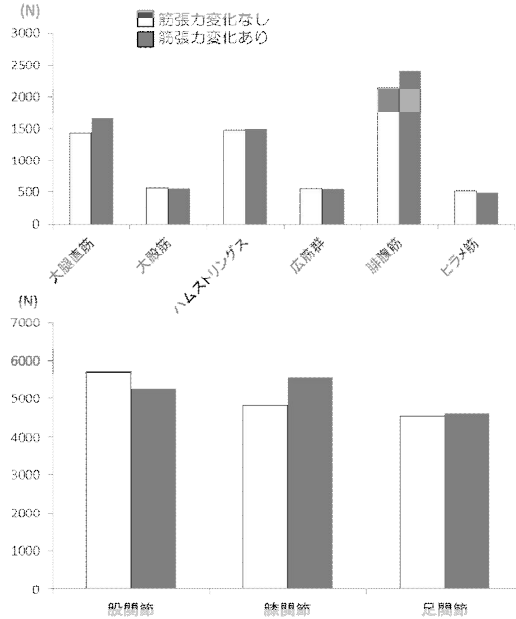


図 2 腸腰筋の筋張力低下にともなう他筋と関節間力の変化

歩行動作においては、腸腰筋の筋張力が低下することで、腓腹筋と大腿直筋の筋張力が代償的に増加し、その結果、両筋が関与する膝関節において膝関節の負荷が増大しやすい傾向が示された。また、段差昇降では、広筋群の張力低下の影響が最も重大であり、股・足関節への負荷増大につながりやすいことが示唆された。

(2) 股関節疾患患者におけるシミュレーション解析

代表的健常者 (68 歳女性) の歩行は、速度 (m/s) ; 1.18、股伸展角度 (°) ; 14.0、関節モーメント (Nm/kgm) は股屈曲; 6.4、膝伸展 (立脚終期) ; 1.4、足底屈; 7.8、シミュレーション解析による筋張力推定値 (N/kg) は大腿直筋; 19.8、腸腰筋; 5.7、腓腹筋; 5.8 であった。それに対して、代表的患者 (人工股関節全置換術後、61 歳女性) の歩行は、速度 1.12、術側の股伸展角度; 7.7、関節モーメントは股屈曲; 5.5、膝伸展; 1.8、足底屈; 8.7、筋張力推定値は大腿直筋; 11.8、腸腰筋; 1.8、腓腹筋; 7.3 であった (図 3)。

健常者に対して患者では、股屈曲モーメントは 86% に低下した状態であったが、筋張力は大腿直筋で 60%、腸腰筋で 32% まで低下していた。本研究課題を行うことにより、従来の関節モーメントの比較だけでは窺い知れない、筋個々の機能低下が明らかとなり、関節や筋に障害を有する患者の動作障害の解明やその改善方法に関して、重要な示唆を与えることができた。

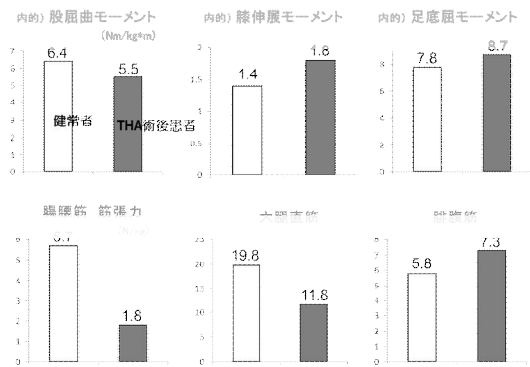


図3 歩行時（立脚中期以降）の関節モーメントと筋張力

本研究課題では、健康者におけるシミュレーション解析により筋骨格モデルの作成や租の解析方法を確立し、実際の患者における評価にまで発展させることができた。本方法を用いることにより、実際の患者の身体内部で生じている個々の筋の発揮張力の変化やそれに伴う関節負荷を推定することが可能であり、筋張力や関節負荷の軽減に向けた治療戦略立案において、有用な評価方法であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

建内宏重：下肢人工関節置換術周術期の歩行分析の有用性、MB Medical Rehabilitation、査読なし(依頼原稿)、No.156、2013、31-39

〔学会発表〕(計3件)

建内宏重、他：動作時の下肢筋張力低下による筋張力バランスと関節負荷の変化、第48回日本理学療法学会、2013年5月24-26日、愛知

建内宏重、他：筋骨格モデルを用いた歩行時の下肢筋筋腱複合体の動態解析、第39回日本臨床バイオメカニクス学会、2012年11月9-10日、千葉

建内宏重、他：人工股関節全置換術後患者における歩行時の下肢筋張力の推定、第38回日本股関節学会、2011年10月7-8日、鹿児島

〔図書〕(計1件)

建内宏重：医学書院、標準理学療法、2013年、110-128(変形性股関節症の理学療法)

6. 研究組織

(1)研究代表者

建内 宏重 (TATEUCHI HIROSHIGE)

京都大学・医学研究科・助教

研究者番号：60432316