

令和元年6月17日現在

機関番号：22701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K10912

研究課題名(和文)リアルタイム個別筋活動評価による変形性股関節症の病態把握と治療評価

研究課題名(英文) Evaluation on pathology and treatment effect for patients with hip osteoarthritis using subject-specific musculoskeletal simulation

研究代表者

稲葉 裕 (Inaba, Yutaka)

横浜市立大学・医学研究科・教授

研究者番号：40336574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、個別別の歩行動作と最大等尺性筋力を考慮した筋力推定手法を開発し、この個別筋活動評価を用いて変形性股関節症患者の術前の状態を評価した。また、治療後の変化を評価するために人工股関節全置換術後3カ月、1年の時点でも同様の評価を行い、術前からの変化を分析した。その結果、股関節周囲筋の作用不全に伴い、各筋が筋力を代償することで姿勢の変化を維持することが示唆され、患者特有の筋力推定のために、筋断面積を反映する必要性が示された。また、股関節疾患患者の歩行動作における筋力推定に本個別筋力推定手法が有用であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、股関節症患者の股関節周囲筋活動の特徴が明らかとなった。股関節周囲筋力が股関節症の進行や手術後の成績に及ぼす影響を調査することにより、股関節症の進行予防に対する筋力強化の効果や、治療効果を客観的に判定することが可能となると考える。

股関節症患者数は現在、国内で120～420万人と推定され、高齢化社会に伴って増加することを考えると、本研究で得られる成果の社会還元が大きく期待され、社会貢献度が高い。

研究成果の概要(英文)：To predict muscle forces, a motion capture technique of gait and musculoskeletal simulation are useful. In this study, we obtained gait motion of patients having hip osteoarthritis. Then, we reflected muscle strength by measurement of muscle volume based on CT images of the patient to the model and demonstrated patient-specific prediction of muscle forces during the gait motion. As results, muscle force decreased due to the decrease of muscle strength around hip joint. Simultaneously, change in walking posture due to the change in muscle strength was suppressed by the increase of the lower extremity muscle forces. The results suggested potency of the patient-specific prediction of muscle forces by reflecting muscle strength of each muscle in a gait motion and to understand mechanism of change in distribution of acting forces in hip osteoarthritis.

研究分野：関節病学

キーワード：筋活動解析 変形性股関節症

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

わが国における変形性股関節症(股関節症)は、寛骨臼形成不全を伴う二次性の股関節症が大多数であり、寛骨臼形成不全による股関節の不安定性と、荷重部における力学的ストレスの集中が発症・進行の原因となる。股関節周囲筋力の低下は股関節の不安定性を助長し、さらに股関節症が進行すると股関節が亜脱臼位を呈することで股関節周囲筋肉のモーメントアームが変化して股関節周囲筋の機能が低下する。従来から股関節周囲筋力の強化訓練は股関節症の保存的治療として重要であり、股関節症の進行予防にもつながる可能性が考えられている。また股関節症に対する手術治療として最も頻繁に施行される人工股関節全置換術 (THA)や股関節骨切り術では、股関節周囲筋力の回復は術後成績に影響を与える重要な因子であり、股関節中心やオフセットをどのように再建すれば最良の筋力回復が得られるかについての議論もなされている。

筋活動評価は、股関節症以外の運動器疾患の病勢把握、リハビリテーションや手術療法の効果を評価する上で非常に重要である。また近年、注目されているロコモティブシンドロームやサルコペニア(筋肉減少)の評価には欠かせないツールであり、正確な筋活動評価を行うことにより適切な治療介入の時期判定や治療法の決定が可能となる。筋力評価では徒手筋力テストや筋力計を用いた筋力計測が行われるが、客観性に欠けることが指摘されており、また個々の筋肉の個別評価は不可能である。しかし、近年のコンピュータソフトウェアの開発により詳細な筋肉の体積計測や筋活動評価が可能となってきた。CT や MRI を用いた最近の研究では、股関節症患者において中殿筋よりも腸腰筋の筋萎縮が著明であり、術後では中殿筋よりも腸腰筋の体積の増加が顕著であるとの報告もみられる。このような研究結果から、股関節周囲の各筋肉に関する個別評価が病態把握・術後評価に重要と考えるが、現状では画像による面積もしくは体積の計測のみで、個別の筋肉の活動性評価を行った研究はない。

2. 研究の目的

近年開発された AnyBodyTM Modeling System (ANYBODY Technology 社)は個々の筋・腱の弾性エネルギー・拮抗筋力・その他動作中の人体における様々な部分に作用する力を計算できるソフトウェアであり、歩行・動作解析により得られたデータを読み込むことで、歩行・動作時のリアルタイムな個々の筋活動を計測できる(図 1)。VICON による歩行・動作解析より得られたデータを AnyBodyTM Modeling System に同期させる手法は、現在までに工学系共同研究者と開発を行い、現在、股関節症患者で中殿筋の筋力を低下させたシミュレーションで代償的に小殿筋の筋活動が上昇することを確認している。

本研究では、股関節症患者に対して詳細な筋個別活動解析が施行できるソフトウェア (AnyBodyTM Modeling System)を用いて、客観的なリアルタイム個別筋活動評価を行う。その際に CT データから患者個別の骨形態、筋肉形態、筋肉量を再現したモデル(図 2)を用いることにより patient-specific な評価を行い、筋活動の観点から股関節症患者の病態・病勢の把握を行うとともに THA における理想的な股関節再建状態について評価することを目的とする。

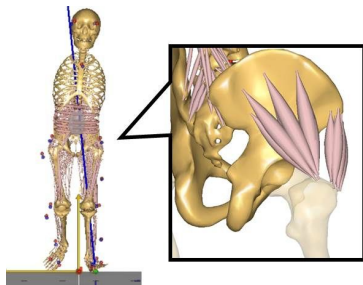


図 1 AnyBody による個別筋活動評価

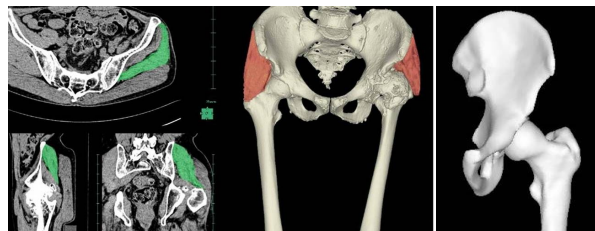


図 2 筋肉形態、筋肉量、筋脂肪変性の計測と骨形態モデル

3. 研究の方法

3.1. 症例ごとの筋強度さを考慮した評価法の開発

本研究では、歩行動作のみを反映したモデルと、歩行動作に加え患者の筋強度を反映した 2 つのモデルを構築しそれぞれについて解析を行うことで、患者固有の筋強度を反映した解析の有用性を評価した。評価する筋として、下双子筋、上双子筋、外側広筋、内側広筋、小臀筋、中臀筋、大臀筋、大腿直筋、大腿方形筋、大腿筋膜張筋、大内転筋、長内転筋、短内転筋、腸骨筋、梨状筋、半膜様筋の 17 の筋を対象とした。また、各筋の筋力の値は、歩行 1 サイクル中に最大となる瞬間の値としている。歩行動作はどちらも術前の患者 B のものとし、筋強度以外の値についてはすべて同一とした。

3.2. 症例ごとの筋強度さを考慮した評価法を用いた THA 術後刑事的評価

術後患者の CT 画像を基に筋をモデル化し、筋骨格シミュレーションに反映を行い、術後の患者の筋力を推定して術前の結果と比較を行った。THA を施行した 2 症例(患者 A、患者 B)について術前から術後経過を経時的に評価した。患者 A では術前と術後 3 カ月での筋活動評価結果を比較した。患者 B では術前と術後 3 カ月、1 年で筋活動評価を行い、その術後経時的変化について検討を行った。

4. 研究成果

4.1. 症例ごとの筋強度さを考慮した評価法

歩行動作のみを反映したモデルの筋力と、歩行動作に加え筋強度の値を反映させたモデルの筋力をそれぞれ図 3、図 4 に示す。両者を比較すると、筋断面積を反映したモデルにおいて、中臀筋、大臀筋の筋力が低下し、大腿直筋、外側広筋、梨状筋、大腿二頭筋、半膜様筋の筋力が上昇していることが確認できた。中臀筋は、股関節を外転、屈曲、伸展、内旋、外旋させる働きを持ち、大臀筋は、股関節を外転、伸展、外旋させる働きを持っている。これらの役割を担う他の筋として大腿直筋、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋、大内転筋が一般的に知られており、これらの筋と図 4 で筋力が上昇した筋が対応していることが確認できた。また、小殿筋、大腿筋膜張筋に関しては筋強度を低下させたにも関わらず、小臀筋筋力は保持、大腿筋膜張筋筋力は上昇する結果となった。これは、筋強度が低下し筋力が発揮できない状況にも関わらず、筋活動度を上昇させ、代償していることを意味している。

筋力の大きさに注目してみると、中臀筋筋力が 200 N から 300 N、大臀筋は 100 N 前後低下しているのに対し、外側広筋が 100 N 前後、大腿直筋が 500 N 前後、梨状筋が 300 N 前後、大腿二頭筋が 400 N 前後、半膜様筋が 600 N 前後上昇している。筋力の低下した値に対し、上昇した値が著しく大きいことが確認できた。これは、中臀筋や大臀筋の機能不全を代償するには、より各筋に負荷を作用する必要があることを意味していると考えられる。しかし、筋肉には速筋と呼ばれる瞬発的に筋力が発生する筋と遅筋と呼ばれる長く筋力を発揮する筋、その中間的な働きを持つ中間筋の 3 つが存在している。また、中臀筋、大臀筋は遅筋であり、筋の代償関係の評価するためには、任意の瞬間の筋力だけでなく、筋肉の仕事量を評価する必要があると考えられる。

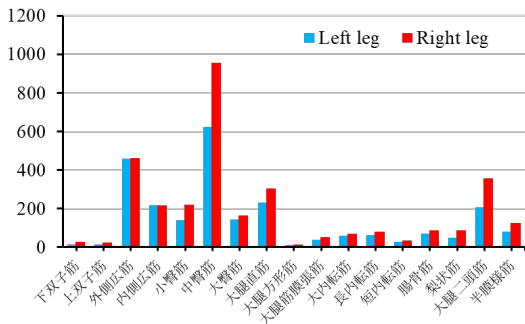


図3 歩行動作のみ反映時の股関節周囲筋力

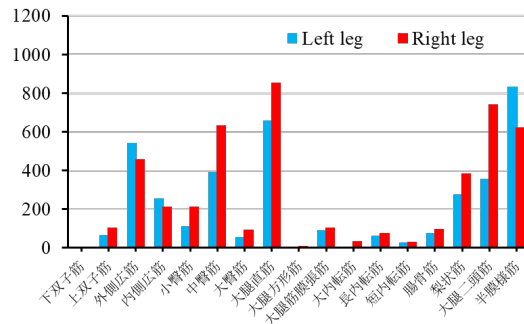


図4 歩行動作に加え筋断面積を反映時の股関節周囲

4.2.1 .患者 A に対する経時的解析

変形性股関節症患者 A(年齢 71 歳、身長 145 cm、体重 49 kg)に対し、術前、術後 3 ヶ月の歩行動作を測定し、それぞれの解析を行った。歩行の様子と筋力の結果を図 5 に示す。なお、術前の患者 A は、上体が左に傾いていることに加え、破行と呼ばれる足を引きずる動作が見られた。それに対し、術後は術前と比較すると上体の傾きが軽減され、破行などの異常な歩行は見られなかった。

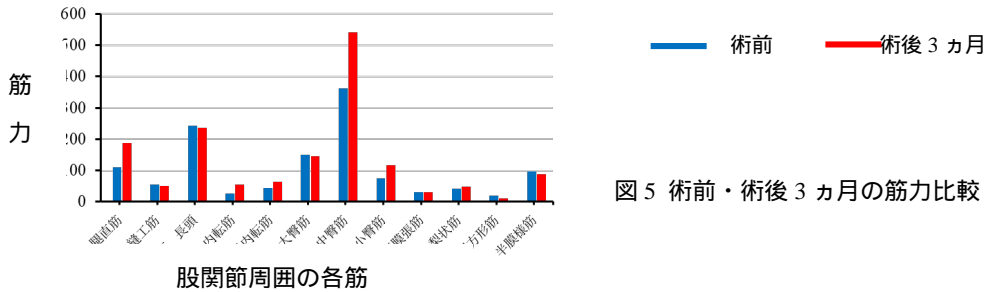


図5 術前・術後 3 ヶ月の筋力比較

図 5 では、屈曲、伸展、内旋、外転、内転などの股関節の各動作を担う筋を抜粋し、その筋力を計算した。術後は大殿筋、中臀筋、小殿筋で顕著な上昇が見られたが、他の筋は変化が見られなかった。特に、中臀筋・小臀筋は股関節の外転を主に担う筋肉であり、この筋力の低下によりトレンデブルグ歩行が発生することが知られている。そのため、術前では中臀筋・小臀筋の筋力が低下し、術後においては筋力が上昇することで、トレンデブルグ歩行が改善したと考えられる。

ここで、特に筋力変化が顕著であり、かつ、歩行に重要となる中臀筋の左右の脚の歩行 1 cycle までの時間を 0% から 100% とし、その筋力の変化を図 6 に示す。図より、術前において歩行時間が左右で異なることを確認した。これは、跛行の代表的な特徴であり、脚を引きずるような歩行により起こるものと考えられる。また、歩行時間が左右で均等になっており、破行が回復し正常な歩行に近づいたためと考えられる。

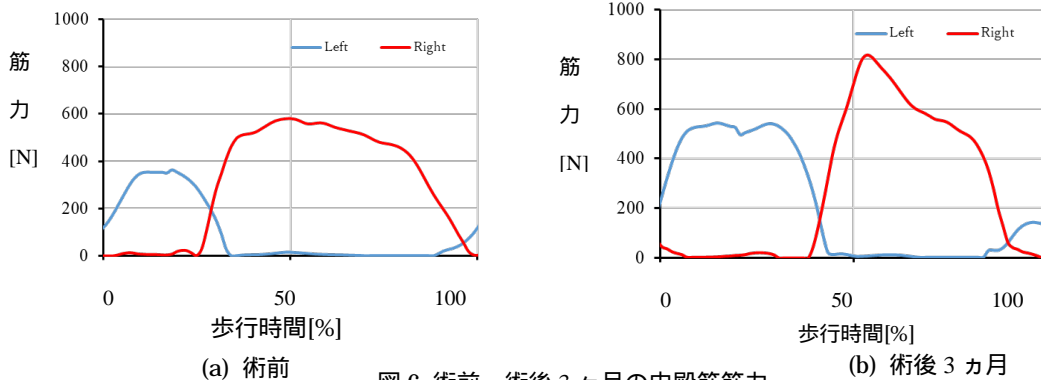


図6 術前・術後 3 ヶ月の中殿筋筋力

4.2.2. 患者 B に対する経時的解析

患者 A よりさらに長期間での経時的解析や、別の患者の経時的解析によるさらなる検討が必要であるため、別の患者に対し、術前、術後 3 ヶ月、術後 1 年の経時的な解析を行った。

変形性股関節症患者 B (年齢 68 歳、身長 155 cm、体重 56 kg) に対し、術前、術後 3 ヶ月および術後 1 年の歩行動作を測定し、それぞれの解析を行った。

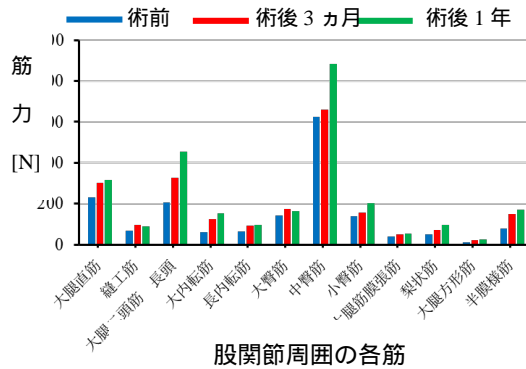


図 7 術前・術後 3 ヶ月・1 年の筋力比較

図 7 では、図 5 と同様に、屈曲、伸展、内旋、外転、内転などの股関節の各動作を担う筋を抜粋し、その筋力を計算した。図より、大腿直筋、大腿二頭筋、中臀筋、小臀筋、半膜様筋の筋力が顕著に上昇した。特に、その多くが、1 年経過時に顕著な変化が見られた。一方で、多くの筋で術後 3 ヶ月までは変化が見られなかった。これは、患者の回復過程を評価するにあたり 3 ヶ月では不十分なケースも多く

存在するため、より長期間の過程を行う必要があると考えられる。また、図より、大腿二頭筋の筋力が上昇していることが確認できた。この筋は主に股関節を伸展させる筋であり、より股関節を進展させることで、前に体を蹴り出す働きを持つ。しかし、疾患により筋力低下または可動域の制限が発生すると、それが不十分となり、歩行が困難となる可能性がある。その筋の筋力が上昇することは、歩行が安定していることを示していると考えられる。

顕著な変化が見られた中臀筋の左右の足の歩行 1 cycle までの時間を 0% から 100% とし、その筋力の変化を図 8 に示す。術前と術後 3 ヶ月を比較すると、左右の筋力差はあるが、歩行時間 20% 前後のところまで左脚の筋力がピークとなっている。これは、手術により左脚の症状が改善し、歩行時にある程度負荷をかけられるようになるまで患者の状態が良くなったためと考えられる。また、歩行時間に関しても、おおそ左右が均等であることから、跛行による影響は小さいことが確認できた。また、術後 1 年で中臀筋筋力は、左脚右脚共に筋力が著しく上昇していることが確認できた。また、筋力のバランスも均等にまで改善しており、時間経過により健常人とほぼ同等までに変化したことが確認できた。これらの結果より、歩行動作のみ反映した場合においても、術前、術後 3 ヶ月、術後 1 年までの経時的解析において患者の筋力変化による症状の変化が推定できるものと考えられる。

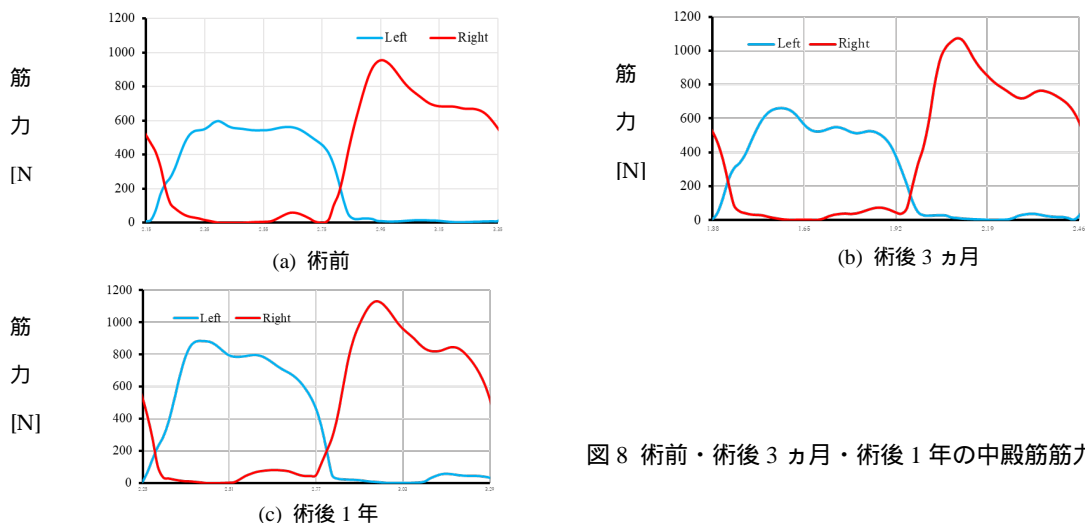


図 8 術前・術後 3 ヶ月・術後 1 年の中臀筋筋力

4.3. 患者の経時的解析結果の考察

本研究において、以前までは患者 A のように重度の破行や上体の傾きを持つ患者に対して経時的解析を行い、その有用性について評価を行ったが、比較的軽度な患者における検討は行われていなかった。したがって、患者 B のように重篤度が比較的軽い被験者を対象として解析を行った結果、患者 A に比べ筋力の変化は小さかったが、どちらの患者においても術後の患側の著しい筋力上昇や、健側わずかな筋力上昇が確認できた。このことより、患者の歩行動作のみ反映したモデルによる筋力推定は患者の症状の変化を推定するのに有用であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. Momose T, **Inaba Y (corresponding author)**, Choe H, Kobayashi N, Tezuka T, Saito T: CT-based analysis of muscle volume and degeneration of gluteus medius in patients with unilateral hip osteoarthritis. BMC Musculoskelet Disord. 2017 Nov 15; 18(1):457. doi: 10.1186/s12891-017-1828-2. (査読有)

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 澤弘樹、田原大輔、辻上哲也、百瀬たか子、大庭真俊、稲葉 裕: 変形性股関節症患者の筋断面積と歩行動作を反映した個別別筋骨格シミュレーション. 日本機械学会 2016 年度年次大会, No. 16-1, (2016), J0220106. 九州大学伊都キャンパス(福岡県福岡市), 2016 年 9 月 12 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 田原 大輔

ローマ字氏名: TAHARA, Daisuke

所属研究機関名: 龍谷大学

部局名: 理工学部

職名: 准教授

研究者番号(8 桁): 20447907

(2) 研究協力者

なし

※ 科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。