

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 29 日現在

機関番号：37407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350655

研究課題名(和文) 歩行時における股関節疾患患者の下肢力学的エネルギー連鎖と筋の質的機能に関する研究

研究課題名(英文) Characteristics of the lower limb intersegmental mechanical energy flow and the quality of muscle activity of patient with hip disease during gait

研究代表者

加藤 浩 (Kato, Hiroshi)

九州看護福祉大学・看護福祉学部・教授

研究者番号：90368712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：変形性股関節疾患(OA)患者の歩行に関する研究として、骨盤帯と大腿のセグメントトルクパワー(パワー)を算出し、両パワー値の極性を見る事で力学的エネルギーの流れについて検討した。結果、健常者とOA患者の大腿パワーを比較すると、OA患者の方が、パワー値が大きい結果となった。これは、健常者に比べ大腿部の回転運動が大きい(不安定性)ことを示すものであり、股関節不安定性は大腿部に起因する可能性が示唆された。また同時に表面筋電図(EMG)を用いた周波数解析からは、立脚初期時の中殿筋の平均周波数(MPF)の上昇が認められず、大腿部の不安定性が、type2線維の活動性低下にも影響している可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Characteristics of the lower limb intersegmental mechanical energy flow and the quality of muscle activity of patient with hip disease during gait were examined by the 3-D motion analysis system and an EMG frequency analysis using wavelet transform. As a result, the segment torque power of thigh in patient with hip OA was higher than healthy person. This shows that the movement of thigh was large in patient with hip OA, it was suggested that the instability of hip joint was due to the movement of thigh. Also, the mean power frequency (MPF) in the gluteus medius muscle of healthy person was increased in the initial contact of the gait. however, in patient it wasn't observed. From the above, it was suggested that the instability of thigh may be associated with decrease of the gluteus medius muscle activity.

研究分野：理学療法学

キーワード：力学的エネルギー セグメントトルクパワー 表面筋電図 wavelet 変形性股関節症 歩行

1. 研究開始当初の背景

近年、リハビリテーション(理学療法)においては、主要な治療の1つである筋力増強訓練のあり方が見直されている。これまでのような単純に力を強くする(筋の量的向上)だけではなく、日常生活の中で如何に有効に活用しうる筋力(筋の質的向上)を獲得するかが重要視されている。しかし、日常生活動作レベルの中で客観的に筋の質的活動を定量化する評価法はこの半世紀、確立されていなかった。そこで我々の研究グループでは、筋の質的活動を客観的に定量化する方法として、世界に先駆け wavelet 変換(以下 WT)とよばれる最新の工学技術を表面筋電図(以下 EMG)周波数解析に導入し、その評価系(動的 EMG 周波数特性)の確立を目指した研究を行ってきた。その結果、WT 周波数解析は type II 線維を支配する運動単位の活動状態を捉えるのに優れ、特に type II 線維(中殿筋)の筋線維径と深く関連しており、非侵襲的廃用性筋萎縮評価に有効である結論を得た。そして本研究成果及び技術(シーズ)の臨床普及化を目指し、科学研究費基盤研究 C(平成 19-24 年度)の採択により、その研究の一部として世界で初めてリアルタイム処理・表示を可能とした無線式の臨床普及型 EMG 評価システムの開発に成功した(図 1)。

2. 研究の目的

これまでの研究において股関節疾患患者の筋の質的機能向上には、①単関節運動よりも多関節運動、②直線的運動よりも回旋運動、さらには③抵抗の大きさではなく、床反力ベクトル(擬似的抵抗)の方向を考慮した筋力トレーニングが重要であることが示された。しかし、実際に歩行時の下肢関節モーメント、関節パワー特性を健常ベースと比較すると、股関節疾患患者では明らかに負の関節パワーが欠如(即ち、筋の遠心性収縮が欠如)していることが示された。このことは、歩行動作獲得を目指した筋の質的機能には、上記の①~③に加え、④遠心性収縮から求心性収縮への

切り返し(stretch shortening cycle)機能が重要であることを示している。

また、正常ベースにおける歩行時下肢運動連鎖は、立脚初期に踵接地後、後足部の回内運動が誘導され、その後下腿・大腿骨の内旋の運動連鎖が起きる。この運動連鎖に伴い足部から膝、そして、股関節への力学的エネルギーの上行性の流れこみが発生すると予測される。しかし、股関節疾患患者の場合、痛みから逃避するため踵接地を避けるような歩様戦略がしばしば見られ、下肢運動連鎖に伴う下肢体節間の力学的エネルギーの流れが十分でないと考えられる。そこで本研究では、まず、歩行時の下肢体節間の力学的エネルギーの流れを詳細に定量化し下肢運動連鎖との関連性について解明する。そして、次に力学的エネルギーを作り出す元となる筋張力についても wavelet 周波数解析を用いて筋の質的側面から同特性の意義について検討する。

3. 研究の方法

3.1 力学的エネルギー計算

計測システムは赤外線カメラ 10 台を用いた三次元動作解析装置 Vicon MX-T40S(Vicon Motion Systems 社製)と 6 枚の床反力計(AMTI 社製)を用いた。マーカは直径 14mm の赤外線反射マーカを使用し、左右の肩峰、上腕骨外側上顆、尺骨茎状突起、腸骨稜最上部、上前腸骨棘、上後腸骨棘、股関節(大転子中央と上前腸骨棘を結ぶ線上で大転子から 1/3 の点)、膝関節外側と内側(膝関節裂隙の高さで膝蓋骨を除く前後径の中心)、足関節外果と内果、第 1、5 中足骨頭、踵の 28 カ所に貼付。また、左右を区別するため右肩甲骨、腓骨(右は膝関節近位部、左は外果近位部)、大腿骨(右は大転子近位部、左は膝関節近位部)の 5 カ所の合計 33 カ所に貼付した。得られたマーカ座標から 10 剛体リンクモデルを作成し、各セグメント間の連結部を関節中心点と定義した。次に解析側は右下肢とし歩行周期が 100%となるよう正規化した。

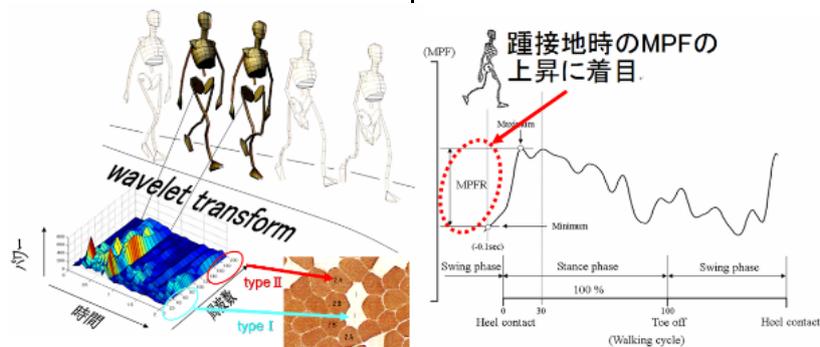


図 1 wavelet 周波数解析を用いた歩行時の筋の質的機能評価

我々は世界に先駆けて WT とよばれる新しい工学技術を EMG 周波数解析に応用し、股関節疾患患者を対象に歩行時立脚期の時々刻々と変化する中殿筋の動的 EMG 周波数特性の評価(筋の質的評価)を行った。その結果、跛行の顕著な患者ほど、立脚期初期(踵接地時)の平均周波数(MPF)の上昇が認められず、その原因として主に type II 線維を支配する運動単位の動員数と発火頻度の減少の可能性が示唆された。註:過去の先行研究から、高周波帯成分(80Hz 以上)は、type II 線維の筋活動を反映し、低周波帯成分(80Hz 以下)は、type I 線維の筋活動を主に反映するとされている。

そして、歩行時初期接地(IC)から荷重応答期(LR)における各関節モーメント、各セグメントトルク、各関節パワー、各セグメントトルクパワーを算出した。力学的エネルギーは、上記のセグメントトルクパワーによるエネルギー変化と定義した(図2)。

3.2 wavelet 周波数解析

EMG 計測においては TeleMyo DTS (Noraxon 社製) を使用し、被検筋は中殿筋とした。電極貼付部位は腸骨稜と大転子を結んだ中点とし、十分な前処理後に電極間中心距離 3.0cm で貼付した。また、フットスイッチを用いて 1 歩行周期を同定しながら計測を行った。得られたデータは、MATLAB R2015 (Mathworks 社製) を用いて連続 wavelet 変換 (Gabor 関数使用) を用いた時間周波数解析を行った。得られたデータは、MATLAB R2015 (Mathworks 社製) を用いて連続 wavelet 変換 (Gabor 関数使用) を用いた時間周波数解析を行った。解析の周波数帯域は 12.5~200Hz とした。解析の時間幅は 0.05 秒間隔で平均周波数 (Mean power frequency: MPF) を算出した。そして、踵接地直後からの MPF の変化量を算出した。

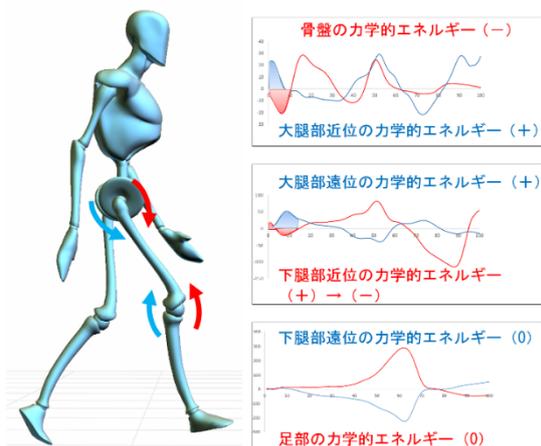


図2 セグメントトルクパワー

エネルギー (+) は、隣接セグメントからのエネルギー流入を意味する。逆にエネルギー (-) は、隣接セグメントへのエネルギー放出を意味する。立脚初期時の股関節で言えば、骨盤のエネルギーは (-) であり、大腿近位部のエネルギーは (+) となっている。よって、立脚初期時の股関節では骨盤から大腿近位部へ向けてのエネルギーの流れが生じている事になる。立脚初期の足部のエネルギーは、ほぼ 0 である。股関節パワーはこの骨盤及び、大腿近位部のセグメントパワーの合計値と一致する。

3.3 対象

対象は健康成人 (健康者) 1 名 (女性, 年齢: 45 歳, 身長: 162.0 cm, 体重: 58 kg) 及び、両側 OA 患者 1 名 (女性, 年齢: 49 歳, 身長: 157.0 cm, 体重: 59 kg)。日整会点数は、疼痛 20 点, 可動域 (屈曲: 11 点, 外転: 4 点), 歩行能力 15 点, 日常生活動作 18 点であった。病期分類は両側進行期レベルであった。

4. 研究成果

4.1 歩行時立脚初期時の下肢セグメント間のエネルギーフロー特性 (図3)

歩行時初期接地 (IC) ~ 荷重応答期 (LR) の股関節パワーは、OA 患者が負のパワー (-0.19w/kg)、健康者が正のパワー (0.07w/kg) を示した。そのため OA 患者では股関節伸展モーメントを発揮している筋は遠心性収縮 (骨盤前傾運動) であることが分かる。さらに、この時のセグメントトルクパワーをみると OA 患者の場合、骨盤は負のパワー (-0.09w/kg)、大腿近位も負のパワー (-0.11w/kg) であることから、大腿近位と骨盤との間の力学的エネルギーの流れは生じていないと考えられる。

これに対して健康者の場合、骨盤遠位は負のパワー (-0.22w/kg)、大腿近位は正のパワー (0.29w/kg) であることから、骨盤から大腿近位への力学的エネルギーの流れが生じていると考えられる。同様に膝関節においても、健康者では下腿近位から大腿遠位への力学的エネルギーの流れが生じているのに対し、OA 患者では生じていないと考えられる。そして、足関節においては、健康者の場合、足部近位と下腿遠位の間で力学的エネルギーの流れが認められなかったのに対し、OA 患者では下腿遠位から足部近位へのエネルギーの流れが認められた。研究の予測としては、健康ベースでは、足部から膝、そして股関節へと上行性にエネルギーの流れが生じると思われたが、実際は、骨盤-大腿近位では下行性、大腿遠位-下腿近位では上行性のエネルギーの流れが生じていた。つまり、このことは大腿セグメントにエネルギーが集約することを意味している。一方、OA 患者では骨盤では下行性、大腿近位では上行性のエネルギーの流れが生じており、エネルギーが大腿に集約される特徴は認められなかった。

4.2 3軸方向で分解した骨盤・大腿セグメントパワーと筋活動特性 (図4)

次に骨盤セグメントと大腿セグメントのトルクパワーをさらに 3 軸上で分解し、詳細に検討を行った。その結果、前額面 (内外転方向)、矢状面 (屈曲伸展方向) の特性としては、健康者と比較し、OA 患者の方が、パワーピーク値は大きい傾向を示した。特に前額面でその傾向が強く認められた。また、水平面 (内外旋方向) のセグメントトルクパワーは、ほとんど 0 に近い値を示した。次に wavelet 周波数解析の結果、健康者の場合、踵接地直後から歩行周期 10% の間に MPF は 15Hz の上昇が認められた。OA 患者の場合、逆に 16Hz の減少が認められた。

以上の結果から、健康者と OA 患者の骨盤、大腿セグメントパワー (トータル) を比較すると、OA 患者の方が、パワーピーク値が大きい結果となった。これは、健康者に比べ大腿部の回転運動が大きい (不安定性) を示すものであり、特に股関節不安定性は前額面上における骨盤、大腿部の動きに起因する可能性

が示唆された。また MPF の上昇は、tye2 線維の活動増加が報告されており、大腿部の不安定性が、type2 線維の活動性低下にも影響して

いる可能性が示唆された。

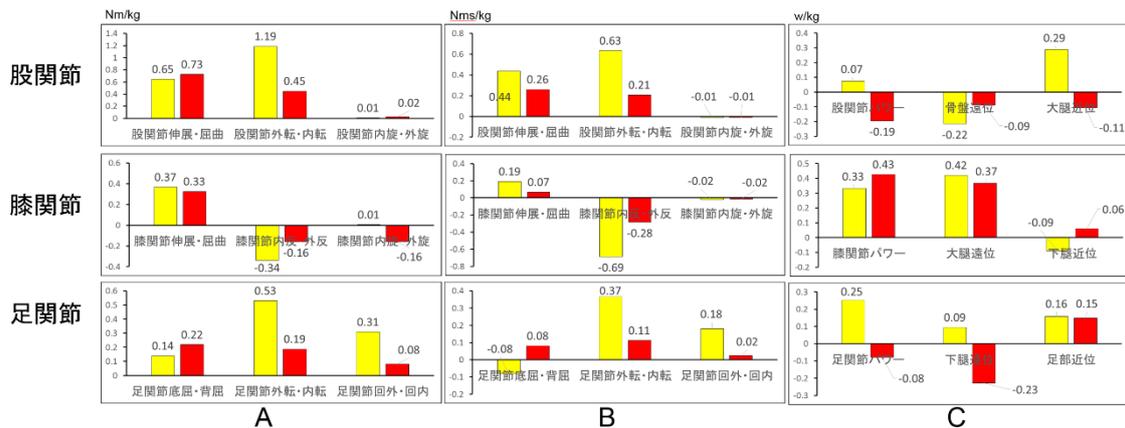


図3 最大関節モーメント・力積モーメント・セグメントトルクパワー

A:IC~LR 時の最大関節モーメント, B:力積モーメント, C:セグメントトルクパワーを示す。股関節伸展(+), 外転(+), 内旋(+), 膝関節伸展(+), 内反(+), 内旋(+), 足関節底屈(+), 外転(+), 内反(+))を示す。黄色は健常者, 赤は OA 患者を示す。

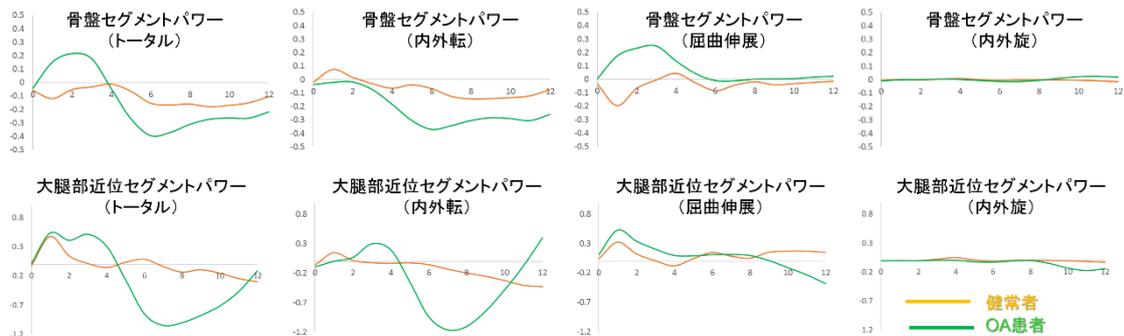


図4 立脚初期時の骨盤及び大腿部近位のセグメントトルクパワー

横軸は歩行周期(%)を示す。縦軸は体重で補正したセグメントトルクパワー(w/kg)を示す。トータルとは、内外転, 屈曲伸展, 内外旋の3方向のパワーの合計

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14件)

1. 加藤浩・他:内側型変形性膝関節症患者に対するインソール治療が歩き始め動作の足圧中心軌跡に及ぼす影響. 臨床歩行分析研究会誌 3: 29-33, 2016.
2. 加藤浩, 奥村晃司:骨盤帯との関係で生じる股関節疾患の機能解剖学的病態把握と理学療法. 理学療法 32:1000-1014, 2015.
3. 山崎博喜, 加藤浩・他:健常高齢者を対象とした異なる2種類の腹筋運動が端座位側方移動動作に及ぼす影響—座圧中心軌跡と体幹・下肢筋活動からの検討—. 理学療法科学 30: 109-114, 2015.
4. 奥村晃司, 加藤浩:アライメントからみた股関節のスポーツ傷害と理学療法. 理学療法 32: 415-422, 2015.
5. 加藤浩, 奥村晃司:変形性股関節症患者

の身体活動の意義およびその取り組みの実際と効果. 理学療法 32: 113-121, 2015.

6. 加藤浩・他:運動連鎖からみた変形性股関節症と理学療法. 理学療法 31: 816-828, 2014. 理学療法 31: 816-828, 2014.
7. 羽田清貴, 加藤浩・他:変形性膝関節症患者の椅子からの立ち上がり動作における量的および質的筋活動分析. 日整会誌 39: 345-359, 2014.
8. 加藤浩:エビデンスにつなげるための臨床場面で身近に使える測定法—筋活動の測定法II. 理学療法 31: 107-112, 2014.
9. 永崎孝之, 加藤浩・他:松葉杖歩行における手掌部疼痛に関する基礎研究. リハビリテーション・エンジニアリング 29: 100-106, 2014.
10. T Nagasaki, H Katoh, et al.: Analysis of crutch position in the horizontal plane to estimate the stability of the

axillary pad in the axilla during single-crutch waling. J Phys Ther Sci 26: 1753-1756, 2014.

11. **加藤浩**：股関節疾患に対する理学療法表面筋電図を使った筋の量的・質的機能評価と理学療法治療戦略. 理学療法学 40: 273-275, 2013.
12. **加藤浩**：エビデンスにつなげるための臨床場面で身近に使える測定法—筋活動の測定法 I—. 理学療法 30: 1351-1356, 2013.
13. 宮崎茂明, **加藤浩** (9 番目)・他：投球動作における体幹回旋運動と肩甲帯周囲の筋活動の関連性—. 理学療法科学 28: 703-708, 2013.
14. 永崎孝之, **加藤浩**・他：基本軸設定を自動化した新型角度計の測定精度の検討—. 理学療法科学 28: 357-360, 2013.

〔学会発表〕(計 4 件)

1. **加藤浩**・他：第 49 回日本理学療法学会大会 (2014.5.30-6.1.神奈川)「小型三軸加速度センサを用いた歩行分析の有用性—床反力計・三次元動作解析装置との比較検討—」
2. **加藤浩**・他：第 50 回日本理学療法学会大会 (2015.6.5-7.東京)「歩行時における股関節疾患患者の下肢力学的エネルギーの流れの定量的解析—」
3. **加藤浩**・他：第 42 回日本股関節学会 (2015.10.30-31.大阪)「歩行時初期接地時における股関節疾患患者の下肢力学的エネルギーの解析—」
4. **加藤浩**・他：第 37 回九州 PT・OT 合同学会 (2015.11.14-15.大分)「内側型変形性膝関節症患者に対するインソール治療が歩き始め動作に及ぼす影響—足圧中心と下肢筋活動の関連性—」

〔招待講演〕(計 7 件)

1. **加藤浩**：第 50 回日本理学療法学会大会 (2015.6.5-7.東京)シンポジウム講演「理学療法 50 年のあゆみと展望～新たな可能性への挑戦～」医・工学との連携
2. **加藤浩**：第 41 回日本股関節学会 (2014.10.31-11.1.東京)シンポジウム講演「股関節症の運動療法を支える理論と実際」筋力トレーニングのあり方を見直す
3. **加藤浩**：第 43 回四国理学療法士学会 (2014.11.29-30.高知)教育講演「表面筋電図を用いた股関節疾患理学療法戦略—経験重視から科学性重視の理学療法へ向けて—」
4. **加藤浩**：第 19 回香川県理学療法士学会 (2014.2.16.香川)特別講演「21 世紀に求められる研究と科学—臨床と研究の接点を求めて—」
5. **加藤浩**：第 21 回佐賀県理学療法士学会 (2013.2.17.佐賀)教育講演「多関節運動

連鎖からみた身体姿勢制御と筋機能評価—表面筋電図を使った新たな治療戦略を目指して—」

6. **加藤浩**：日本私立医科大学理学療法学会 (2013.11.10.徳島)シンポジウム講演「表面筋電図解析を用いた理学療法評価技術の進化・進展」
7. **加藤浩**：第 27 回中国ブロック理学療法士学会 (2013.9.1.鳥取)特別講演「運動制御からみた股関節疾患への理学療法アプローチ」

〔図書〕(計 6 件)

1. **加藤浩**：感覚入力. 下肢運動器疾患, 齋藤秀之・他 (編)：感覚入力で挑む, 文光堂, pp53-64, 2016.
2. **加藤浩**：股関節～大腿骨の骨折, 内山靖・他 (編)：今日の理学療法指針, 医学書院, pp17-32, 2015.
3. **加藤浩**：動作レベルでの筋緊張の診かた, 齋藤秀之・他 (編)：筋緊張に挑む, 文光堂, pp 32-47, 2015.
4. **加藤浩**：鼠径部損傷の予防, 陶山哲夫・他 (編)：スポーツ外傷・障害ハンドブック (発生機序とその予防), 医学書院, pp 90-111, 2015.
5. **加藤浩**：歩行分析のポイント, 齋藤秀之・他 (編)：極める変形性股関節症の理学療法—病期別評価とそのアプローチ—, 文光堂, pp104-106, 2013.
6. **加藤浩**：検査・評価・診断技術の進化と発展, 嶋田智明・他 (編)：筋・骨格系理学療法, 文光堂, pp12-20, 2013.

〔その他〕

ホームページ等

<http://plaza.umin.ac.jp/~hkato/>

6. 研究組織

研究代表者

加藤 浩 (KATOHI HIROSHI)

九州看護福祉大学大学院・看護福祉学
研究科・健康支援科学専攻・教授

研究者番号：90368712