

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：32104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11261

研究課題名（和文）重度変形性膝関節症における lateral thrust 発生メカニズムの解明

研究課題名（英文）Explication of the mechanism of lateral thrust generation in severe knee osteoarthritis

研究代表者

深谷 隆史（Fukaya, Takashi）

つくば国際大学・医療保健学部・教授（移行）

研究者番号：20515580

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000 円

研究成果の概要（和文）：歩行立脚期中の膝関節角度を筋骨格モデリングソフトを用いて任意に設定し、その違いによる筋発揮張力の変化を検証し、内反角度が大きくなるにつれ、筋発揮張力が小さくなることを示した。また、変形性膝関節症では立脚初期における床反力の側方成分の力が大きくなっていることを示した。筋発揮張力の低下と床反力の側方成分の増加が膝関節の横ぶれに影響すると考えられた。現在、これらの結果から、立脚初期における膝関節の横ぶれに対する関節面に対する剪断力を検証するために、床反力、筋発揮張力などのデータを利用し、症例のCT画像から有限要素解析を行っているところである。今後は本研究の結果を学会や論文等で公表していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

変形性膝関節症における歩行立脚期の筋発揮張力を算出し、膝関節の横ぶれが生じる筋発揮張力の特性を明らかにすることで内的な力の影響を検証し、さらに床反力の側方成分を検証することにより、膝関節の横ぶれに対する外的な力の影響を検証した。これらの結果は、変形性膝関節症の病期進行に伴う膝関節の横ぶれ発生メカニズムや病態解明により、変形性膝関節症の予防やリハビリテーション開発に貢献できると考えられる。さらに、CT画像により得られた有限要素解析と歩行解析の結果を融合させ、歩行立脚期に生じる膝関節の横ぶれに対する剪断応力分布を解析することで、膝関節の横ぶれ発生メカニズムの解明への一助になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The musculoskeletal modeling software was used to arbitrarily set the knee joint angle during the stance phase of walking, and the changes in muscle exerted tension due to these differences were examined, showing that as the varus angle increased, the muscle exerted tension decreased. In addition, the lateral component of the ground reaction force in the early phase of walking stance was greater in osteoarthritis of the knee. The decrease in muscle exertion tension and the increase in the lateral component of ground reaction force were thought to affect the lateral thrust of the knee joint. Based on these results, we are currently conducting a finite element analysis from CT images of knee osteoarthritis using data such as ground reaction force and muscle exertion tension to validate the shear force to the joint surface against lateral thrust of the knee joint in the early phase of walking stance.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：変形性膝関節症 有限要素解析 筋骨格モデル lateral thrust 歩行

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症は運動器不安定症の原因で、要介護要因の1つであり、本邦全人口の20%にみられる。本研究グループでは、歩行解析に動作解析装置・床反力計と筋発揮張力のデータをCT有限要素解析法に融合させた歩行解析方法を実施した(科研費基盤C2016-19)。本方法を用い、歩行立脚初期において、正常膝が膝内側関節面全体に応力を認めたのに対し、重度膝OAでは、内側辺縁に高い応力が集中していたことを明らかにした。本方法により、歩行中の膝角度、筋力、関節間力等のパラメーターを変化させ、変形性膝関節症の悪化の要因をシミュレーションすることが可能となった。

変形性膝関節症の悪化要因の一つとして、歩行立脚初期に膝関節の外側方向への剪断応力である横ぶれ(lateral thrust)がある。lateral thrustは膝内反角度と有意に相関し、膝伸展筋群の筋力低下と関連するので、関節構造破綻と筋力低下によるlateral thrustは変形性膝関節症の悪化要因の一つとして考えられている。

しかしながら、lateral thrust発生メカニズムは解明されておらず、歩行時の膝関節周囲の筋発揮張力の影響や膝関節の関節面に生じる剪断応力分布については不明である。

また、本研究グループは、本研究に先立ち、健常成人における歩行中の膝内反角度を変化させた際の筋発揮張力をシミュレーションした結果、内反角度を大きくすると歩行立脚期の膝伸展筋の活動が小さくなることを確認した。つまり、内反変形を伴う重度変形性膝関節症に生じるlateral thrustは、膝伸展筋の筋発揮張力が低下し、膝関節の外側方向への制動が困難となり、関節面に生じる剪断応力が増大すると仮説を立てた。

本研究ではlateral thrustを有する内反変形をきたした重度変形性膝関節症の筋骨格モデルから筋発揮張力を算出し、CT有限要素解析により構築した膝関節モデルを作成・シミュレーションすることにより、歩行立脚初期に生じる筋発揮張力や関節面への外側方向への引っ張り剪断応力分布を解析することでlateral thrust発生メカニズムを解明できると考えた。

2. 研究の目的

変形性膝関節症の悪化要因として歩行立脚初期に出現する膝関節の外側方向への剪断応力であるlateral thrustの発生メカニズムは解明されていない。

本研究は重度変形性膝関節症の症例を対象に歩行中の筋発揮張力を算出し、lateral thrustが生じる筋発揮の特性を明らかにするとともに、CT有限要素解析と歩行解析の結果を融合させ、歩行立脚期に生じるlateral thrustによる剪断応力分布を解析し、lateral thrust発生メカニズムを解明することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究グループでは、以前の方法に準じて(科研費基盤C2016-19)測定を行った。対象は健常者、変形性膝関節症の診断を受けKL分類Grade3もしくは4と判断された症例とした。測定機器には、動作解析装置(Vicon nexus、赤外線カメラ8台)と床反力計(Kistler社製)を用い、身体には赤外線反射マーカを貼付した。赤外線反射マーカの貼付はPlug in gaitの下肢モデルを利用した。本研究では、これら動作解析装置と床反力計から得られたデータをもとに、下肢関節の個々の筋発揮張力を算出した。筋発揮張力を算出する筋骨格モデルソフト(ANYBODY)を利用し、膝伸筋群として大腿直筋、内側広筋、外側広筋、中間広筋、膝屈筋群として大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋の計7筋の発揮張力を算出した。また、動作解析装置から得られたデータから歩行立脚初期におけるlateral thrustの出現を同定し、その時期における膝関節角度、床反力、筋発揮張力を抽出した。

その後、筋骨格モデルソフトに加え、CT画像による有限要素解析手法を利用し、lateral thrust発生時期における膝関節への剪断応力を計算した。

4. 研究成果

健常者を対象として、歩行立脚期の前額面上における膝関節角度について、膝内反角度を筋骨格モデルソフトにより内反5°、10°、15°と任意に設定し、その違いによる筋発揮張力の変化を検証した。その結果、内反角度が大きくなるにつれ、膝周囲筋の筋発揮張力が小さくなることを確認した。また、重度変形性膝関節症では立脚初期における床反力の側方成分の力が大きくなっていることを示し、膝関節の前額面におけるアライメント変化が歩行立脚初期における前額面の力学的負荷に影響を与えることが示唆された。これらの結果から、前額面における膝関節内反角度の増加は、筋発揮張力の低下と床反力の側方成分の増加を引き起こし、膝関節のlateral thrustに影響すると考えられた。現在、これらの結果から、立脚初期における膝関節のlateral thrustに対する関節面に対する剪断力を検証するために、床反力、筋発揮張力などのデータを利用し、症例のCT画像から有限要素解析を行っているところである。今後は本研究の結果を学会や論文等で公表していく予定である。

本研究では、重度変形性膝関節症における歩行立脚期の筋発揮張力を算出し、膝関節のlateral

thrust が生じる筋発揮張力の特性を明らかにすることで内的な力の影響を検証し、さらに床反力の側方成分を検証することにより、膝関節の lateral thrust に対する外的な力の影響を検証した。これらの結果は、変形性膝関節症の病期進行に伴う膝関節の lateral thrust 発生メカニズムや病態解明により、変形性膝関節症の予防やリハビリテーション開発に貢献できると考えられる。さらに、CT 画像により得られた有限要素解析と歩行解析の結果を融合させ、歩行立脚期に生じる膝関節の横ぶれに対する剪断応力分布を解析することで、膝関節の横ぶれ発生メカニズムの解明への一助になると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takashi Fukaya, Hirotaka Mutsuzaki, Toshiyuki Aoyama, Kunihiro Watanabe, Koichi Mori	4. 巻 57
2. 論文標題 A Simulation Case Study of Knee Joint Compressive Stress during the Stance Phase in Severe Knee Osteoarthritis Using Finite Element Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medicina	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/medicina57060550	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 深谷隆史、六崎裕高
2. 発表標題 重度変形性膝関節症患者に対するTKAの施行が歩行立脚期の膝関節力に与える影響
3. 学会等名 第13回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会(JOSKAS)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深谷隆史、六崎裕高、森浩一、渡邊城大
2. 発表標題 膝内反角度の違いが膝伸展発揮モーメントと筋発揮張力の推定に与える影響
3. 学会等名 第48回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深谷隆史、六崎裕高
2. 発表標題 TKA施行後の前額面における運動学的および力学的変数に着目した歩行解析
3. 学会等名 第12回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷隆史、六崎裕高
2. 発表標題 重症度の異なる変形性膝関節症患者の歩行立脚初期におけるJoint Stiffness
3. 学会等名 第31回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深谷隆史、六崎裕高
2. 発表標題 TKAによる下肢アライメントの変化が歩行立脚期の運動学的・運動力学的変数に与える影響
3. 学会等名 第1回膝関節学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中島 修一 (Nakajima Syuuichi) (00735061)	茨城県立医療大学・保健医療学部・助教 (22101)	
研究分担者	六崎 裕高 (Mutsuzaki Hirotaka) (50550927)	茨城県立医療大学・保健医療学部・教授 (22101)	
研究分担者	森 浩一 (koichi Mori) (90274977)	茨城県立医療大学・保健医療学部・教授 (22101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------