

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750214

研究課題名(和文)筋骨格シミュレーション解析を用いた変形性膝関節症予防の新たなトレーニング法開発

研究課題名(英文)The investigation of therapy for prevention knee osteoarthritis using musculo-skeletal simulation analysis

研究代表者

小栢 進也(Ogaya, Shinya)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学部・助教

研究者番号：90611426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では筋骨格シミュレーションモデルを作成して、歩行時の脛骨大腿関節内側部に生じる圧迫力(内側膝圧迫力)を調べた。初めに、作製したモデルを用いて解析妥当性を検証した。その結果シミュレーション上での筋活動と、表面筋電図による筋活動は一致し、妥当性を確認できた。次に、内側膝圧迫力と高齢者の身体機能の関係性を検討し、内側膝圧迫力の増加は高齢者の身体機能の悪化に関連することが分かった。さらに、足部を外側に向けた足部外旋歩行を通常歩行と比較し、足部外旋歩行で内側膝圧迫力が減少することが明らかとなった。足部外旋歩行は高齢者の機能障害予防に有効である可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated contact force at medial compartment of tibio-femoral joint (medial knee contact force) during gait based on musculo-skeletal model. The muscle activation patterns recorded by surface electromyography (EMG) were compared to those analyzed by the simulation. The result showed that the muscle activation in the model-based simulation analysis had similar patterns to the EMG activation. It is confirmed that the simulation model had validity to analyze gait motion. Next, using the validated model, we investigated the relationship between the medial knee contact force and the physical function in elderly. An increased medial knee contact force was correlated to the physical dysfunction. Next, the effect of toe-out gait on the medial knee contact force was investigated. The result revealed that medial knee contact force had a significant decrease in the toe-out gait compared to the normal gait. Toe-out gait may be useful to reduce the risk of dysfunction in elderly.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：内側膝圧迫力 歩行 高齢者 身体機能 筋骨格シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症は膝関節内の軟骨摩耗や骨棘形成により、荷重時に膝の痛みが発生する疾患であり、本邦の運動器疾患の中で最も発生率が高い疾患の一つである。変形性膝関節症による痛みは歩行・動作障害を介して運動を制限することから、高齢者の要介護予防の観点より疾患の発症や進行の予防が重要である。

立位では関節が体重を支えるために荷重がかかる。膝関節では脛骨と大腿骨の間で圧迫力が生じ、間に挟まれた関節軟骨は圧縮ストレスを受ける。強い圧迫力は関節軟骨の摩耗を引き起こす原因と考えられている。本邦では脛骨大腿関節内側部が障害される内側型変形性膝関節症が多く、同部位の圧迫力(内側膝圧迫力)が組織変形を発症、助長させると考えられている。このため内側膝圧迫力の減少が疾患予防に重要である。

内側膝圧迫力は非侵襲な方法では計測ができないため、これまで外部内反モーメントが内側膝圧迫力の指標として用いられてきた。しかし、外部内反モーメントでは筋収縮の要素を含んでおらず、適切に内側膝圧迫力を表すことができない。動作中の内側膝圧迫力を求めることが変形性膝関節症予防法の検討につながると考えられている。

2. 研究の目的

筋骨格シミュレーションモデルは動作計測から計算式によって筋の張力を推定することができる。よって、筋骨格シミュレーションモデルを用いると、筋収縮を考慮した膝関節の圧迫力を調べることが可能となる。

そこで本研究では筋骨格シミュレーションモデルを用いて膝関節圧迫力を調べ、変形性膝関節症患者に対する進行予防法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) シミュレーションモデルの作製

始めに、筋骨格シミュレーションモデルを作成した。モデル作成に必要な筋骨格パラメータは先行研究を参考にした。モデルは4セグメント(骨盤、大腿、下腿、足部)3関節(股、膝、足)42筋腱複合体で構成した。筋は収縮要素、並列弾性要素、直列弾性要素で構成されるHillモデルを用い、筋腱のパラメータは先行研究のデータを参考にした。また筋断面積は高齢者の解剖学データを用いた。このモデルは被験者の体格および関節角度、関節モーメントから筋活動および筋張力を計算式によって求めることができる。筋活動はすべての筋の活動の三乗和が最小となるように設定した。次に膝関節の内外側コンパートメントを有する2次元の関節モデルを想定し、内反モーメント、垂直成分膝関節圧迫力から内側膝圧迫力を求めるモデルを作成した。以上より、歩行の計測データから計算式を用いることで内側膝圧迫力を推測

できる自作プログラムをC言語を用いて作成した。

(2) シミュレーションモデル解析妥当性の検討

次に通常速度および最速での歩行において、床反力計と赤外線カメラの三次元動作解析装置を用いて運動力学測定を実施した。被験者には体表に反射マーカを張り付け、床反力計を踏んでいる間のデータを取得した。また、膝関節を跨ぐ下肢筋(外側広筋、半膜様筋、腓腹筋)に電極を張り付け、表面筋電図を同時に測定した。運動力学データは作成したモデルを用いて筋活動量および内側膝圧迫力を計算した。シミュレーションモデル解析から算出された筋活動と、表面筋電図で計測した筋活動を比較し、シミュレーションモデル解析の妥当性を検討した。

(3) 内側膝圧迫力と身体機能の関連性

日常生活が自立している122名の地域在住高齢者(平均年齢73.8歳)を対象として、通常速度での歩行測定を行った。運動力学データからシミュレーション解析を用いて立脚期の内側膝圧迫力を求めた。また膝関節痛の有無およびJapanese Knee Osteoarthritis Measurement (JKOM)を用いて膝関節機能障害の程度を評価した。内側膝圧迫力と疼痛および身体機能の関連性をSpearmanの順位相関係数を用いて検討した。

(4) 足部外旋歩行における内側膝圧迫力

足部外旋歩行は内反モーメントを減少させる歩行と言われている。そこで、足部外旋歩行で内側膝圧迫力が減少するかを検討するため、通常歩行、足部外旋歩行における運動力学解析を行った。測定した歩行データからシミュレーションモデル解析により内側膝圧迫力を求めた。足の向きによる歩行中の内側膝圧迫力が変化するかを対応のないt検定を用いて調べた。

4. 研究成果

シミュレーションモデル解析の妥当性検討の結果、通常歩行において、半膜様筋を除いて筋活動は同様の变化を示した。内側膝圧迫力は立脚初期と立脚後期に大きくなる二峰性が認められ、体重の2.0倍(2.0BW)程度に達した(図1)。これは圧力計を膝関節に埋めこんで測定した過去の研究とほぼ同等の値である¹⁾。また、立脚初期には大腿四頭筋、立脚後期には腓腹筋が内側膝圧迫力に強く関与し、半膜様筋を含むハムストリングの影響はごくわずかであることがわかった(図1)。半膜様筋は内側膝圧迫力への関与が少ないことから、シミュレーションモデルを用いて通常歩行の内側膝圧迫力を求める解析方法は妥当性があると言える。一方で、速歩では立脚初期の同時収縮が強まるため、シミュレーション解析による筋電活動とは一致

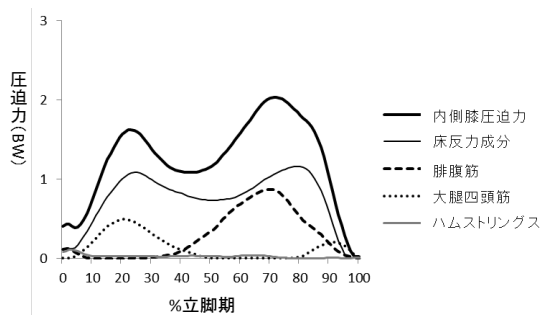


図1 要素ごとの内側膝圧迫力(通常歩行)

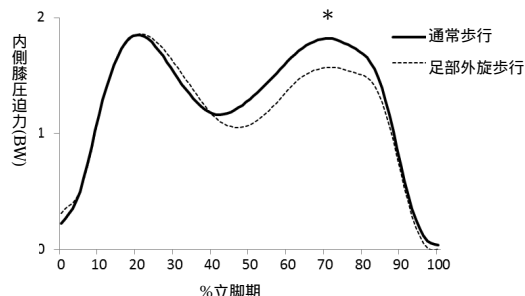
しない筋が多かった。同時収縮が強くなる場合、本研究で作り上げたシミュレーションモデルで解析するには限界があると言える。

次に、身体機能との関連性では、内側膝圧迫力の第一ピークは JKOM スコアと有意な正の相関を認めた。JKOM サブスケールでは、内側膝圧迫力の第一第二ピークとも「日常生活の状態」と正の相関を示した。一方で、内側膝圧迫力は「痛みとこわばり」との関連性を認めなかった(表1)。JKOM は点数が高いほど機能が低下していることを表すため、内側膝圧迫力の増加が膝関節機能の悪化と関連していることを意味している。特に JKOM サブスケールの日常生活の状態は身体機能動作の困難さを調べる項目から成り立っており、内側膝圧迫力の増加が身体機能の悪化と関連することを示している。この結果から内側膝圧迫力を低下させることで高齢者の身体機能を維持できる可能性が示唆された。

表1 内側膝圧迫力と JKOM の相関係数

| | 内側膝圧迫力ピーク | |
|---------|-----------------|-----------------|
| | 1 st | 2 nd |
| JKOM | 0.32* | 0.17 |
| サブスケール | | |
| 痛みとこわばり | 0.28 | 0.21 |
| 日常生活の状態 | 0.36* | 0.31* |

*p<0.05



*p<0.05

図2 通常歩行と足外旋歩行における内側膝圧迫力

最後に足部外旋歩行における内側膝圧迫力では、立脚中期から立脚後期にかけて内側膝圧迫力が減少し(図2)、内側膝圧迫力第二ピークが有意に低下した(通常歩行 1.97BW, 足部外旋歩行 1.74BW)。なお、第二ピークの減少には床反力成分及び腓腹筋の張力減少が関与していた。一方、第一ピークでは床反力成分が減少したものの、大腿四頭筋の張力が増加し、結果として変化は見られなかった。以上より足部外旋歩行は内側膝圧迫力の第二ピークの内側膝圧迫力を減少させる効果的な歩行であることが明らかとなった。

内側膝圧迫力は高齢者の身体機能障害、特に日常動作における困難さに関連した。日常動作の困難さは高齢者の身体活動量の減少につながるため、過剰な内側膝圧迫力は身体機能障害を誘発する危険因子と考える。内側膝圧迫力は、大腿四頭筋や腓腹筋の過剰な活動によって内側膝圧迫力が増加することがわかった。本研究では足部外旋歩行で腓腹筋の張力が減少して、第二ピークの内側膝圧迫力が減少することがわかった。腓腹筋は主に矢状面の運動を制御する筋であり、これまでの研究で用いられてきた内反モーメントだけでなく、屈曲や伸展方向の関節モーメントを減少させることで内側膝圧迫力の減少及び、変形性膝関節症の予防につながると考えられる。本研究の結果はリハビリテーション、予防医療の現場での歩行指導に重要な意味を持つものである。

<引用文献>

Walter J.P et al. Decreased knee adduction moment does not guarantee decreased medial contact force during gait. J Orthop Res, 28(10), 2010.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計4件)

Shinya Ogaya, Hisashi Naito, Akira Iwata, Yumi Higuchi, Satoshi Fuchioka, Masao Tanaka. Toe-out gait decreases the second peak of the medial knee contact force, J Appl Biomech, 査読有, Epub ahead of print, 2015

<http://journals.humankinetics.com/jab-inpress/jab-inpress/toe-out-gait-decreases-the-second-peak-of-the-medial-knee-contact-force>

Shinya Ogaya, Hisashi Naito, Yusuke Okita, Akira Iwata, Yumi Higuchi, Satoshi Fuchioka, Masao Tanaka. Contribution of muscle tension force to medial knee contact force at fast walking speed. J Mech Med Biol, 査読有, 15(1), 2015, 1550002.

DOI: 10.1142/S0219519415500025

Shinya Ogaya, Hisashi Naito, Akira Iwata, Yumi Higuchi, Satoshi Fuchioka, Masao Tanaka. Knee adduction moment

and medial knee contact force during gait in older people. *Gait Posture*, 査読有, 2014, 40(3) 341-345.
DOI:10.1016/j.gaitpost.2014.04.205

[学会発表](計5件)

Shinya Ogaya, et al. Joint contact force at medial compartment of tibio-femoral joint decreases in toe-out gait. World congress on osteoarthritis, 2014年4月26日, Paris France.

Shinya Ogaya, et al. Investigation of the correlation between standing alignment of knee adduction angle and contact force at the medial compartment of the tibio-femoral joint during gait. 2nd World Congress on Controversies, Debates & Consensus in Bone, Muscle & Joint Diseases, 2013年11月23日, Brussel Belgium

Shinya Ogaya, et al. Contact force on the medial knee joint and knee function in the elderly: An inverse simulation analysis of gait. 2nd Joint World Congress of ISPGR and Gait and Mental Function, 2013年6月24日, 秋田ビューホテル

小栢進也, 他. 二関節筋機能を考慮した筋骨格シミュレーションモデルによる歩行解析. 第48回日本理学療法学会大会 2013年5月25日, 名古屋国際会議場(大会奨励賞受賞)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小栢 進也(Ogaya Shinya)

大阪府立大学 総合リハビリテーション
学部・助教

研究者番号: 90611426