

令和元年6月18日現在

機関番号：22401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16437

研究課題名(和文)変形性膝関節症患者の関節運動連動性を向上させる理学療法プログラムの開発

研究課題名(英文)Physical therapy program to improve lower limb coordination for knee osteoarthritis patients

研究代表者

小栢 進也(Ogaya, Shinya)

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・准教授

研究者番号：90611426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では変形性膝関節症患者の多運動関節の連動性を調べた。膝関節を構成する大腿と下腿において、蹴り出し時に大腿から下腿へ運動が伝わるほど歩行速度が速いことがわかった。また、立脚初期での膝伸展筋および股伸展筋の機能不全で大腿が十分に後方に倒れないために、その後の立脚後期での蹴り出し時に効率的に体を前に進めることができないことがわかった。立脚初期での膝関節を固める硬い動きが、歩行速度低下の原因であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

変形性膝関節症患者の特徴である関節を固めた硬い動きが、歩行能力低下の原因であることを突き止めた。筋骨格シミュレーション解析を用いることで筋と関節運動の直接的な力学的関係性を明らかにした。また、股関節伸展筋による膝関節運動への作用が重要であることが明らかとなり、股関節から膝を動かす運動の連動性を重視したトレーニング実施の必要があると考える。

研究成果の概要(英文)：This study investigated how intersegmental coordination related to walking ability for knee osteoarthritis patients. We found that transmitted motion from a preceding thigh to a following shank related to gait speed. We also found that the patients could not get efficient forward body acceleration at the kicking-phase because the shank did not get forward acceleration by gluteus maximus or vastus muscles at the early-stance phase. These results implies stiffen knee at early stance phase in knee osteoarthritis patients causes to decrease walking ability. Our results can reveal a direct kinetic relationship between muscle force and joint acceleration at multiple lower limb joints using musculoskeletal simulation model. Knee motion forced by hip muscles contracture is important for knee osteoarthritis patients.

研究分野：理学療法

キーワード：変形性膝関節症 関節運動連動性 筋骨格シミュレーション 筋機能

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

### 1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症は高齢者に多く発症し、要疾患状態に陥る主要な疾患である。膝関節に痛みや筋力低下などの機能障害が生じると、歩行能力を低下させる。例えば、立脚後期で腓腹筋が生み出す下腿の運動エネルギーはヒラメ筋によって大腿へ伝えられる。このエネルギー移動により大腿は動くと考えられているが、膝関節で運動が阻害されると大腿へ運動が伝わらず、連動した運動が生じない。足が突っ張る・膝が折れるなどで連動性が低下すると全身がこわばった硬い動きとなり、歩行能力は著しく低下する。そこで、膝関節の円滑な運動を引き出すことで変形性膝関節症(膝OA)患者の「硬く」「こわばった」動きから、「滑らか」で「円滑」な動きへと変える新たな治療法を開発できると考えた。

運動の連動性および力学的関係性を調べることで、膝OA患者の動作能力を低下・向上させる筋を見つけ出すことを目的とした。過去に用いてきた筋骨格シミュレーションモデルを進展させ、膝OA患者の動作能力低下の原因を特定して、新たな治療法を検討した。

### 2. 研究の目的

本研究では筋骨格シミュレーション解析を用いて「運動の連動性」の力学的メカニズムを解明し、歩行能力を改善する方法を模索し、膝OA患者の動作能力を向上させる新たな理学療法プログラムを開発を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 運動連動性と歩行能力の検討

Yoshimuraらの報告によると70歳以上の女性高齢者の70%は膝OAを有していると報告されている(Yoshimura, Int J Epidemiol, 2010)。そこで重症の膝OA患者を対象とする予備研究として、早期の膝OA群である地域在住高齢女性を対象とし、関節の連動性と歩行能力の関連性を検討した。地域在住の女性高齢者(60歳以上)を対象とし、体表に13個の反射マーカを張り付けて、快適速度での歩行動作を計測した。Vicon動作解析装置を用いて、1歩行周期中の大腿、下腿、足部の傾斜角度の時間変化を調べ、隣接するセグメントの傾斜角度から関節運動の位相差を調べるCRP(Continuous Relative Phase)を算出した。このCRPは2つのセグメントにおける動きのタイミング差を表す指標であり、値が大きいと近位セグメントが遠位セグメントよりも先に動いていることを意味する。1歩行周期を立脚初期、中期、後期および遊脚期に分類し、各相での大腿 下腿および下腿 足部のCRPの平均値を算出した。このCRP値と歩行速度、歩幅、ケイデンスや年齢、身長、体重との関連性をPearsonの相関係数を用いて関連性を検討した。

#### (2) 重度膝OA患者の関節運動連動性

人工関節置換術待機中の重度膝OA患者を対象として歩行動作を計測した。また、コントロール群として健常高齢者を計測した。被験者の体表に9個の反射マーカを張り付けた。さらに、3つのマーカ距離が固定された下腿及び腰部パットを用いて4つの仮想マーカを計算式により求める手法を用いた。快適な速度で床反力計上を歩行した際の、マーカの位置及び床反力を計測した。筋骨格シミュレーション解析ソフトOpenSimを用いて計測したデータから、立脚初期及び立脚後期の多関節間の力学的関係性を調べた。まず、被験者のセグメント長および体重に合わせた筋骨格シミュレーションモデルを作成した。このモデルが計測したマーカ位置を追従するように関節を動かした。床反力データと一致させるためResidual Reduction Algorithm、筋によってモデルを動かすComputed Muscle Control解析を順に行うことで、歩行のシミュレーションを作成した。最後に各筋が発揮する力と運動の力学的関係性(歩行中の筋機能)を調べるためにInduced Acceleration Analysisを行った。立脚初期では膝伸展角加速度に関する筋の検討、立脚後期では推進力(重心前方加速度)に関する筋の検討を、t検定および共分散分析を用いて膝OA患者と健康高齢者で比較した。また、膝OA患者内で歩行速度と筋機能の関連性をPearsonの相関係数から検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 運動連動性と歩行能力の検討

対象者は女性高齢者91名(73.1±6.0歳)歩行速度1.26±0.17m/秒、歩幅1.26±0.10m、ケイデンス119.8±10.9歩/分であった。

図1に1歩行周期中のセグメント角度を示す。正の値はセグメントが後ろに倒れていることを示す。立脚初期で足を前に出すために後傾した大腿や下腿は立脚中期、後期にかけて前傾する。セグメントの最大前傾位のタイミングが最も早いのが大腿であり、次いで足部、下腿の順となる。よって下腿 大腿間のCRPは概ね正の値をとり、大腿が下腿より先行している。大腿 下腿間のCRPも立脚中は正の値であり、下腿が足部に先行する。

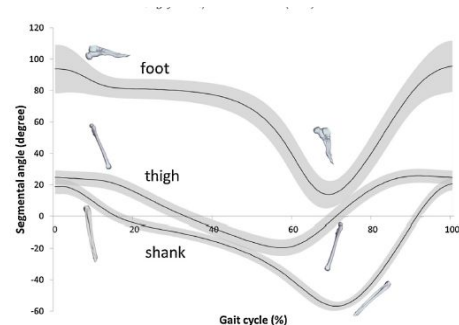


図1 歩行中のセグメント角度

このCRPと歩行パラメータで高い値を示したのは立脚後期であり、歩行速度およびケイデンスとCRP(足部 下腿)はそれぞれ  $r = -0.53, r = -0.54$ 、CRP(下腿 大腿)は  $r = 0.37, r = 0.56$  であった(表1)。この結果は大腿が下腿より、足部が下腿より早く動く高齢者ほど歩行速度が速いことを示している。立脚後期に足部で蹴り出して前に進む役割があるが、この際に効率的に、セグメントが動くことが重要であると思われた。下腿 - 大腿間では歩行速度と強く関連しており、膝関節でエネルギーが大腿から下腿に伝わることで速い歩行が可能になると考えられる。膝関節での運動の連動性がパフォーマンス能力に強く関与することがわかった。

表1 足部-下腿CRP、下腿-大腿CRPと歩行パラメータの関係性

	Foot-shank mCRP				Shank-thigh mCRP			
	Early St	Mid-St	Late St	Swing	Early St	Mid-St	Late St	Swing
Age	0.20*	0.25*	0.23*	0.13	-0.07	-0.13	-0.22*	-0.15
Gait speed	-0.04	-0.23*	<b>-0.53**</b>	-0.30**	-0.17	-0.01	0.37**	0.16
Cadence	-0.05	-0.29*	<b>-0.54**</b>	-0.07	0.07	0.21*	<b>0.56**</b>	0.35*

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.001$  St:Stance

### (2) 重度膝OA患者の関節運動連動性

膝OA患者15名、健常高齢者14名を対象として立脚初期の膝伸展角加速度を生み出す要素を比較した結果、膝OA患者では大腿広筋による膝伸展作用が低下していた。これは膝伸展筋の筋力低下、膝の疼痛による影響と考えられる。また、大殿筋によって大腿を前方傾斜させることで膝を伸展させる近位関節から作用も低下していた。これらの膝伸展作用を代償するために前脛骨筋の膝屈曲作用を弱めていることがわかった。さらに、歩行速度で結果を補正した共分散分析の場合、股関節内転筋作用のみ有意差が認められ、膝OA患者は股内転筋の活動に伴う大腿骨前傾、膝伸展作用を強めていることがわかった。これは膝の内反変形によって股関節が外転するため内転筋を使いやすい姿勢になっている影響と考えられる。

膝OA患者の被験者を追加して28名の解析を行い、歩行速度と筋機能の関連性を検討した。この結果、股関節伸展筋によって膝伸展角加速度および大腿骨前傾角加速度が強い被験者ほど歩幅が大きく、歩行速度が速いことがわかった。 $(r = 0.41)$  一方で、大腿広筋による作用は歩行速度と関連性を認めなかった(図2)。このことから、膝OA患者は膝伸展筋力が低下しても、股関節伸展筋によって機能を補うことができれば歩行速度は維持されることがわかった。膝OA患者における膝関節と股関節の力学的関連性を報告した初めての研究であり、関節間での連動性が重要であることが明らかとなった。

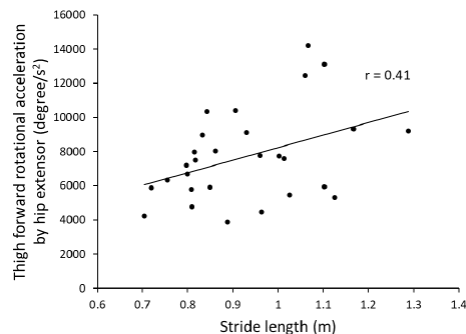


図2 股伸展筋による膝伸展作用と歩幅

さらに立脚後期における蹴り出し効率性を検討した。ヒラメ筋および腓腹筋の筋張力と筋発揮1Nで生じる重心の前方加速度を算出した。その結果、膝OA患者は健常者と同様の筋張力を発揮しているが、ヒラメ筋1Nが発揮する際の重心前方加速度は膝OA患者で低下していた(図3)。つまり、膝OA患者は力を十分に発揮しているにもかかわらず、推進力を得ることができていないと言える。膝OA患者は立脚後期に股伸展・膝屈曲が小さく、蹴り足が残らないため、非効率な蹴り出し姿勢が歩行速度を制限していると考えられる。筋機能だけでなく複数の関節運動を考慮した動作指導が必要であることが明らかとなった。

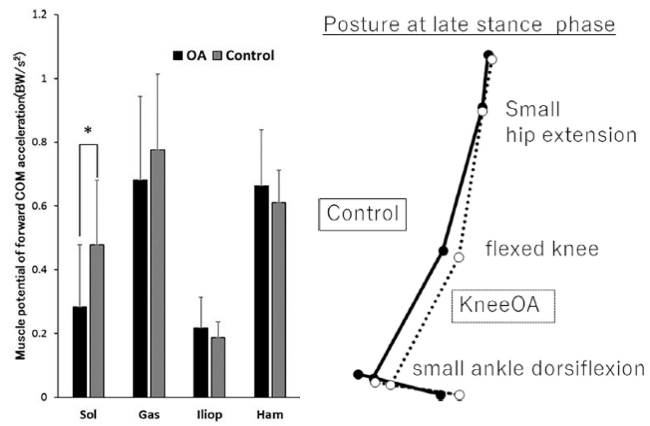


図3 重心前方加速度の効率性

立脚後期の姿勢(右図)により蹴り出し効率が低下(左図)

立脚初期での膝伸展筋および股関節伸展筋による膝伸展・大腿前傾加速度が十分に生み出されないため、その後の立脚後期で下肢を前方に倒すことができず、非効率的な蹴り出しになっていると考える。膝 OA 患者は立脚初期で膝を固める傾向があり、この作用が歩行速度低下の原因であると思われる。関節運動連動性を高めるには立脚初期の大殿筋が重要であると考えられた。

## 5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] ( 計 4 件 )

Shinya Ogaya, Ryo Kubota, Yuta Chujo, Eiko Hirooka, Kennichi Ito, Kim Kwang-ho, Hase Kimitaka. Potential of muscles to accelerate the body during late-stance forward progression in individuals with knee osteoarthritis. 査読有, Hum Mov Sci, 2018, 61, 109-116. DOI: 10.1016/j.humov.2018.07.012

Shinya Ogaya, Ryo Kubota, Yuta Chujo, Kim Kwang-ho, Hase Kimitaka. Muscle contributions to knee extension in the early stance phase in patients with knee osteoarthritis. 査読有, Gait Posture, 2017, 58, 88-93. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.09.036

Shinya Ogaya, Akira Iwata, Yumi Higuchi, Satoshi Fuchioka. The association between intersegmental coordination in the lower limb and gait speed in elderly females. 査読有, Gait Posture, 2016, 48, 1-5. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.04.018

Shinya Ogaya, Yusuke Okita, Satoshi Fuchioka. Muscle contributions to center of mass excursion in ankle and hip strategies during forward body tilting. J Biomech, 査読有, 2016, 49(14), 3381-3386. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2016.08.028

[ 学会発表 ] ( 計 2 件 )

Shinya Ogaya, et al. Greater knee flexion at push-off increases triceps surae muscle's potential of forward body progression in knee osteoarthritis patients. Orthopaedic Research Society 2018 Annual Meeting, 2018 年 3 月 10-13 日, New Orleans America.

Shinya Ogaya, et al. Muscle contributions to knee extension during early stance phase in knee osteoarthritis patients. 26<sup>th</sup> Congress of the International Society of Biomechanics, 2017 年 8 月 23-27 日, Brisbane Australia.

## 6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 小栢進也

ローマ字氏名 : Shinya Ogaya

所属研究機関名 : 埼玉県立大学

部局名 : 医療保険福祉学部 理学療法学科

職名 : 准教授

研究者番号 ( 8 桁 ) : 90611426