

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750186

研究課題名(和文)変形性膝関節症患者の歩行はいかなる関節運動と筋活動の協調性により成り立っているか

研究課題名(英文)How do patients with knee osteoarthritis affect joint coordination during gait?

研究代表者

阿南 雅也 (Anan, Masaya)

広島大学・医歯薬保健学研究院・助教

研究者番号：10517080

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、変形性膝関節症患者における歩行時の関節運動の協調性の違いを検討することを目的として行った。その結果、変形性膝関節症患者は歩行時において、左右方向身体重心の安定性の確保よりも遊脚下肢のトゥクリアランスの確保に対するタスク達成により注意を向けていた。このことは罹患側下肢の試行間の変動がより大きいことが原因であることが示唆された。以上のことから、変形性膝関節症患者の新たな理学療法として、片脚立位での左右方向身体重心の制御の再獲得、ならびに罹患側股関節周囲筋の筋機能向上による罹患側下肢の協調性改善が重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to elucidate how the patients with knee osteoarthritis affect joint coordination during gait. The results of this study reveal that the patients with knee osteoarthritis paid more attention to task achievement of toe clearance for swing leg than the stability of the center of mass in the lateral direction. This suggested that it can be caused by large inter-trial variations of the affected lower extremity. The implication is that it is important to reacquire the control of the center of mass in the lateral direction and to enhance the coordination of the affected lower extremity by improving the muscle function around the hip joint.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：協調性 歩行 変形性膝関節症 UCM解析

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症 (knee osteoarthritis : 以下、膝 OA) は生物学的要因と力学的要因により関節構成体の変化や膝関節痛が起こり、機能障害として膝関節可動域制限や膝伸展筋力低下が生じ¹⁾、日常生活を送るうえで多くの動作能力が障害される。また、膝 OA 患者は下肢筋のスティフネス²⁾や共同収縮³⁾が増大するとの報告もあり、歩行時に共同収縮によって膝関節安定性を高めているが、正常な膝関節運動が阻害され、関節面への圧縮力を高めている⁴⁾とも言われている。これらのことから、膝 OA 患者は動作時に共同収縮によって膝関節の安定性を保ち、さらに関節の自由度を拘束した動作を行うため、その結果スティフネスが増大することが予測される。

元々、生体は冗長な自由度を駆使してタスクを達成する一方で、タスク達成において重要でない点にはあまり注意を払っていないとされている⁵⁾。ある特定のタスクを実現するための各関節角度や各筋活動量の組み合わせは無数にあり、さらにタスクは全身運動であるので多くの自由度を制御しなければならない。よってこのタスクを達成するためにはシナジーの利用、すなわち関節の自由度の冗長性を基にした協調性が重要である。Uncontrolled Manifold (UCM) 解析は、生体が冗長な自由度を駆使して、運動の安定化に寄与する関節運動の協調性を定量化する解析法である。そこで UCM 解析により、歩行動作におけるタスク達成に影響を及ぼす悪い変動とタスク達成に影響を及ぼさない各関節運動の協調した変動を定量的に求めることができる。しかし、UCM 解析にて膝 OA 患者の関節運動の協調性を検討した研究はこれまでのところ存在しない。

以上のことから、膝 OA 患者の歩行時の関節運動の協調性を定量化する研究展開により、膝 OA 患者の関節運動の協調性の変化と疼痛・進行度との関連、協調性の低下の原因となる機能障害が解明され、個々の症例に応じた適切なテーラーメイドの理学療法を行うことにつながることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2つである。

- (1) UCM 解析を用いて、健常若年者を対象に異なるスピードの歩行が運動協調性に及ぼす影響を明らかにする
- (2) 膝 OA 患者における歩行時の関節運動の協調性の違いを検討し、膝 OA 患者の協調性と膝 OA の進行度、疼痛との関連、協調性低下の原因となる機能障害を明らかにする

以上の結果を導き出すことで膝 OA 患者の関節運動の協調性低下の過程の原因解明に寄与することが期待される。

3. 研究の方法

(1) 研究 1

被験者は両下肢および腰部に整形外科的既往歴および現病歴を有さない健常若年者 10 人 (身長: 1.67 ± 0.09 [m], 体重: 59.1 ± 7.5 [kg], 年齢: 22.7 ± 1.3 [yr]) であった。実験に先立ち、被験者に本研究の目的と趣旨を十分に説明し、口頭および文書による同意を得て行った。なお、本研究は広島大学院医歯薬保健学研究科心身機能制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った。

運動学データは赤外線カメラ 6 台と赤外線反射マーカからなる 3 次元動作解析システム VICON MX (Vicon Motion Systems, Oxford, UK) を使用してサンプリングレート 100 [frame/s] にて取得した。身体 41 箇所に赤外線反射マーカを貼付した。運動力学データは 8 基の床反力計 (Tec Gihan, Uji, Japan) を使用してサンプリングレート 100 [Hz] にて取得した。

課題動作には平地歩行を採用した。被験者は検者の口頭での合図の後に、床反力計の約 5 [m] 手前から歩行を開始し、床反力計上を通過した後もそのまま数歩歩行し続けた。被験者が快適と感じるスピード Normal, Normal の 80% のスピード Slow, 120% のスピード Fast の 3 条件での平地歩行を採用し、それぞれ 10 回試行した。計測に先立ち被験者は課題動作の練習を十分に行った。

データ解析はデータ演算ソフトウェア BodyBuilder (Vicon Motion Systems, Oxford, UK) を用いた。得られたマーカ座標から、頭部、胸部、骨盤、両大腿部、両下腿部、両足部の 9 剛体リンクモデルを作成し、絶対座標系および局所座標系を定義した。さらに身体部分慣性特性を基に、身体重心座標を算出した。セグメント角度は、定義した座標系をもとに、各セグメントがそれぞれ絶対座標系となす角度をセグメント角度とし算出した。また、各歩行パラメータの算出に関して、歩行スピード、身長で正規化した (% body height: %BH) ストライド長、ステップ時間を求めた。

UCM 解析は、数値解析ソフトウェア MatLab R2014a (MathWorks, Tokyo, Japan) を用いて、パフォーマンス変数を進行方向身体重心座標と歩行スピードとし、進行方向身体重心座標に対する要素変数であるセグメント角度の影響、歩行スピードに対する要素変数であるストライド長およびステップ時間の影響をそれぞれ評価するために行われた。解析区間を右下肢の単脚支持期とし、3 つのサブフェーズ (左下肢の遊脚前期 0~33%, 遊脚中期 34~67%, 遊脚後期 68~100%) において適用し、それぞれの区間でタスク達成に影響を及ぼさない良い変動 (以下、 V_{UCM}) と影響を及ぼす悪い変動 (以下、 V_{ORT}) をそれぞれ算出した。

統計学的解析には SPSS Ver.23.0 (SPSS Japan, Tokyo, Japan) を用い、 2×3 の反復測定分析 (UCM パラメータ: V_{UCM} , V_{ORT} ; スピード条件: Normal, Slow, Fast) を行った。さらにスピード条件間で各歩行パラメータの分散の比較を行った。なお、有意水準は 5% 未満とした。

(2) 研究 2

膝 OA の診断を受けた 10 人の女性を被験者とした(以下, 膝 OA 群)(身長: 1.51 ± 0.06 [m], 体重: 52.6 ± 5.9 [kg], 年齢: 72.7 ± 4.6 [yr]). 膝 OA の重症度の判定は両脚立位時の膝関節の前後 X 線写真撮影により, Kellgren-Lawrence 分類を用いて行った. その結果, grade I が 5 人, grade III が 3 人, grade IV が 2 人であった. また, 比較のために年齢等の属性が膝 OA 群と同じである女性 11 人を対照群の被験者とした(以下, 対照群)(身長: 1.57 ± 0.09 [m], 体重: 56.2 ± 9.5 [kg], 年齢: 68.1 ± 6.6 [yr]). 実験に先立ち, 被験者に本研究の目的と趣旨を十分に説明し, 口頭および文書による同意を得て行った. なお, 本研究は広島大学院医歯薬保健学研究科心身機能制御科学講座倫理委員会の承認を得て行った.

計測方法は研究 1 と同じであった.

課題動作には平地歩行を採用した. 被験者は検者の口頭での合図の後に, 床反力計の約 5 [m]手前から歩行を開始し, 床反力計上を通過した後もそのまま数歩歩行し続けた. 被験者が快適と感じるスピードでの平地歩行(以下, 通常歩行)を採用し, それぞれ 10 回試行した. 計測に先立ち被験者は課題動作の練習を十分にを行った.

データ解析は研究 1 と同じであった.

UCM 解析は研究 1 と同様に行い, パフォーマンス変数を左右方向の身体重心座標と遊脚足部座標とし, パフォーマンス変数に対する要素変数であるセグメント角度の影響をそれぞれ評価するために行われた. また, 各セグメント角度の試行間の分散を算出した. 解析区間を罹患側下肢(以下, 立脚側: 両膝 OA 患者はより重度な側の下肢, 対照群は右下肢)の単脚支持期とし, 3 つのサブフェーズ(遊脚側の遊脚前期 0~33%, 遊脚中期 34~67%, 遊脚後期 68~100%)において適用し, それぞれの区間でタスク達成に影響を及ぼさない良い変動(以下, V_{UCM})と影響を及ぼす悪い変動(以下, V_{ORT})をそれぞれ算出した.

統計学的解析には SPSS Ver.23.0 (SPSS Japan, Tokyo, Japan) を用い, 混合モデルの 2 元配置分散分析 (UCM パラメータ: V_{UCM} , V_{ORT} ; 被験者: 膝 OA 群, 対照群) を行った. さらに膝 OA 群と対照群との間で各歩行パラメータの分散の比較を行った. なお, 有意水準は 5%未満とした.

4. 研究成果

(1) 研究 1

歩行スピードは全てにおいて有意差が認められ, Slow, Normal, Fast の順により速くなった. また, ストライド長は全てにおいて有意差が認められ, Slow, Normal, Fast の順により大きくなった. ステップ時間は全てにおいて有意差が認められ, Fast, Normal, Slow の順により長くなった. また, 歩行スピードとストライド長の分散には 3 条件間に有意な差が認められなかったが, ステップ時間の試行

間の分散は 3 条件間に有意な差が認められ, 多重比較により Fast が Slow よりも有意な低値を示した.

図 1 にパフォーマンス変数を歩行スピードにした際の UCM 解析の結果を示す. 歩行スピードに対する V_{UCM} は 3 条件間に有意差を認めなかった. また, 歩行スピードに対する V_{ORT} は, 3 条件間で有意差が認められ, Slow が Fast と比較して有意に高値を示した.

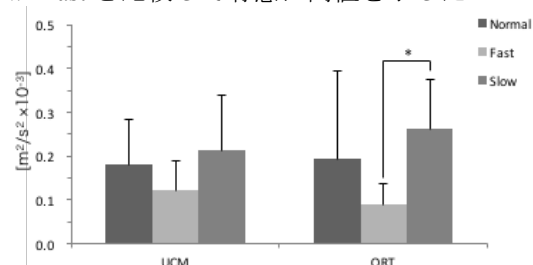


図 1 UCM 解析の結果(パフォーマンス変数: 歩行スピード)

図 2 にパフォーマンス変数が進行方向身体重心座標にした際の UCM 解析の結果を示す. 遊脚前期の V_{UCM} , V_{ORT} において 3 条件間に有意差を認めなかった. しかし V_{UCM} は, 遊脚中期にて Slow が Normal と比較して有意に低値, V_{ORT} は, 遊脚後期にて Slow が Normal と比較して有意に高値を示した.

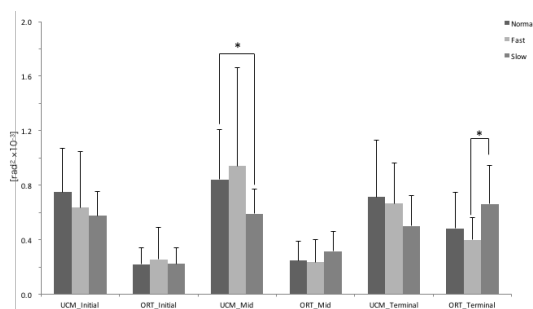


図 2 UCM 解析の結果(パフォーマンス変数: 進行方向身体重心座標)

これらのことから, 遊脚中期から後期にかけては, より遅いスピードの歩行では, セグメント角度の分散が身体重心を安定化させることができない状態となっており, 受動的安定化である重力を利用した姿勢の動的バランスを保持した歩行が困難となり, その結果, 歩行スピードを不安定化させる変動の幅が増大していることが示唆された.

(2) 研究 2

パフォーマンス変数を左右方向遊脚足部座標にした際, 遊脚前期および中期, 後期の V_{UCM} , V_{ORT} において両群間に有意差を認めなかった.

パフォーマンス変数を左右方向身体重心座標にした際, 遊脚前期の V_{UCM} , V_{ORT} において間に有意差を認めなかった. しかし V_{ORT} は, 遊脚中期にて膝 OA 群が対照群と比較して有意に高値, V_{ORT} は, 遊脚中期にて膝 OA 群が

対照群と比較して有意に高値を示した。

図3および4に下肢のセグメント角度の試行間の分散を示す。立脚側の大腿セグメント角度の試行間の分散が、遊脚中期と後期にて膝OA群が対照群と比較して有意に高値を示した。しかし、遊脚側の大腿および下腿セグメント角度の試行間の分散は、遊脚中期と後期にて膝OA群が対照群と比較して有意に低値を示した。

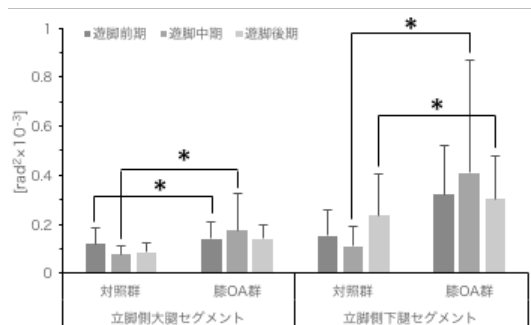


図3 セグメント角度分散 (立脚側下肢)

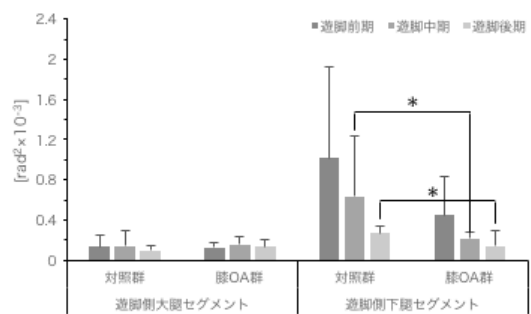


図4 セグメント角度分散 (遊脚側下肢)

これらのことから、膝OA患者の歩行において罹患側の立脚期では、左右方向の身体重心の制御に影響を及ぼす悪い変動が大きく、このことは罹患側の大腿および下腿セグメントの試行間の分散が大きいことが影響していることが明らかになった。また、遊脚側下腿セグメントの試行間の分散が小さくなっていることにより、遊脚側の自由度を減らすことで遊脚足部のトゥクリアランスの制御を行っていることが明らかになった。

(3) まとめ

膝OA患者は歩行時において、左右方向身体重心の安定性の確保よりも遊脚下肢のトゥクリアランスの確保に対するタスク達成により注意を向けていた。このことは罹患側下肢の試行間の変動がより大きいことが原因であることが示唆された。以上のことから、膝OA患者の新たな理学療法として、片脚立位での左右方向身体重心の制御の再獲得、ならびに罹患側股関節周囲筋の筋機能向上による罹患側下肢の協調性改善が重要であることが示唆された。

(4) 得られた成果の位置づけとインパクト

本研究にて得られた成果により、膝OA患者の新たな理学療法の確立につながり、従来

の筋力改善エクササイズだけでなく、患者が動作時にどのタスクに注意を向けているのかに着目して、動作指導および筋機能向上による協調性改善が重要であることが期待出来る。

(5) 今後の展望

膝OA患者の関節運動の協調性の変化と疼痛・進行度との関連までを本研究実施期間で明らかにすることができなかった。今後は更なるデータ解析を行う予定である。

<引用文献>

- 1) Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Karvonen-Gutierrez C, Sowers MF: Isometric quadriceps strength in women with mild, moderate, and severe knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil* 89: 541-548, 2010
- 2) Hubley-Kozey C, Deluzio K, Dunbar M: Muscle co-activation patterns during walking in those with severe knee osteoarthritis. *Clin Biomech* 23: 71-80, 2008
- 3) Schmitt LC, Rudolph KS: Influences on knee movement strategies during walking in persons with medial knee osteoarthritis *Arthritis Rheum* 57: 1018-1026, 2007
- 4) Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L: Control of frontal plane knee laxity during gait in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 12: 745-751, 2004
- 5) Bernstein NA: The co-ordination and regulation of movements. Pergamon, New York, 1967

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4件)

- ① Tanimoto K, Anan M, Sawada T, Takahashi M, Shinkoda K: The effects of altering attentional demands of gait control on the variability of temporal and kinematic parameters. *Gait Posture* 47: 57-61, 2016, 査読有
- ② 阿南雅也: 変形性膝関節症のバイオメカニクス. *理学療法京都* 46: 45-50, 2016, 査読無
- ③ 阿南雅也, 木藤伸宏, 新小田幸一: 膝関節内転モーメントに着目した変形性膝関節症の運動療法—筋力トレーニングを中心に—. *理学療法* 32(12): 1097-1108, 2015, 査読無
- ④ 阿南雅也, 木藤伸宏, 新小田幸一: 立ち上がり・着座動作障害のバイオメカニクス. *理学療法* 31(11): 1084-1095, 2014, 査読無

[学会発表] (計10件)

- ① 阿南雅也: 椅子からの立ち上がり動作における運動協調性の成り立ち. 「基礎理学療

- 法学 夏の学校」キックオフミーティング，大分市，2016年1月30-31日
- ② 谷本研二，阿南雅也，高橋真，新小田幸一：二重課題が歩行中のストライド時間および下肢関節の変動性に及ぼす影響—時間的変化の構造の観点から—。第37回臨床歩行分析研究会定例会，玉名市，2015年10月18日
- ③ 井原拓哉，中野達也，羽田清貴，高橋真，阿南雅也，新小田幸一，川島真人：付加的課題による立ち上がり動作時の身体協調性の変化。第37回臨床歩行分析研究会定例会，玉名市，2015年10月18日
- ④ 徳田一貫，新小田幸一，澤田智紀，谷本研二，緒方悠太，武田拓也，高橋真，木藤伸宏，阿南雅也：足部外転位の歩行修正が身体の協調性に及ぼす影響。第50回日本理学療法学会大会，東京都，2015年6月5-7日
- ⑤ 武田拓也，新小田幸一，緒方悠太，谷本研二，徳田一貫，阿南雅也，高橋真：加齢が歩行時の運動の冗長性の利用に与える影響。第50回日本理学療法学会大会，東京都，2015年6月5-7日
- ⑥ 緒方悠太，新小田幸一，武田拓也，徳田一貫，澤田智紀，谷本研二，阿南雅也，高橋真：腰椎後方靭帯系がLifting動作時の協調性に及ぼす影響。第50回日本理学療法学会大会，東京都，2015年6月5-7日
- ⑦ Anan M, Shinkoda K, Takahashi M, Tanimoto K, Hattori H, Wakimoto Y, Ibara T, Kito N: Does aging affect the coordination of joint movements during sit-to-stand motion? The 17th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy (WCPT '15), Singapore, May 1-4, 2015
- ⑧ Takeda T, Shinkoda K, Ogata Y, Tanimoto K, Tokuda K, Anan M, Takahashi M: Influences of aging on utilization of motor redundancy during gait. The 17th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy (WCPT '15), Singapore, May 1-4, 2015
- ⑨ 谷本研二，緒方悠太，武田拓也，岩本義隆，石島ゆり野，井原拓哉，高橋真，阿南雅也，新小田幸一：フラクタル解析による足踏み動作中の床反力データの時間変動解析。第49回日本理学療法学会大会，横浜市，2014年5月30-6月1日
- ⑩ 阿南雅也，新小田幸一，高橋真，谷本研二，服部宏香，脇本祥夫，井原拓哉，木藤伸宏，野中哲士：椅子からの立ち上がり動作における関節運動の協調性は加齢の影響を受けるか。第49回日本理学療法学会大会，横浜市，2014年5月30-6月1日

〔図書〕(計0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/biomec/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

阿南 雅也 (ANAN, Masaya)

広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・助教
研究者番号：10517080

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

新小田 幸一 (SHINKODA Koichi)

木藤 伸宏 (KITO Nobuhiro)

谷本 研二 (TANIMOTO Kenji)

徳田 一貫 (TOKUDA Kazuki)

澤田 智紀 (SAWADA Tomonori)

武田 拓也 (TAKEDA Takuya)

緒方 悠太 (OGATA Yuta)