

論 文 内 容 要 旨

Biomechanical mechanism of lateral trunk lean
gait for knee osteoarthritis patients

(変形性膝関節症患者における体幹側方傾斜歩行
の生体力学的メカニズム)

Journal of Biomechanics, 2017, in press.

主指導教員：新小田 幸一 教授

(医歯薬保健学研究科 生体運動・動作解析学)

副指導教員：岡村 仁 教授

(医歯薬保健学研究科 精神機能制御科学)

副指導教員：車谷 洋 講師

(医歯薬保健学研究科 上肢機能解析制御科学)

徳田 一貫

(医歯薬保健学研究科 保健学専攻)

緒言

変形性膝関節症（以下、膝 OA）患者は、歩行時の膝関節内側コンパートメントへの過度な荷重によって膝 OA の進行のリスクが高まる。膝関節内側コンパートメントへの荷重を評価するための指標には、外部膝関節内転モーメント（以下、KAM）が用いられている。KAM を軽減するための方法の一つとして、歩行の立脚期中に罹患側へ体幹を傾斜する歩行（以下、体幹傾斜歩行）がある。体幹傾斜歩行による KAM 軽減には身体質量中心（以下、COM）の前額面の運動が関わっていると思われるが、KAM 軽減の機序は十分には明らかにされていない。

また、体幹傾斜歩行は KAM を軽減する利点があるが、立脚期に適切な体幹傾斜の獲得を目指す一方で、COM の挙動を制御するために身体の各関節の協調的な運動が困難となる可能性がある。本研究で用いている Uncontrolled manifold（以下、UCM）解析は、運動タスクの変動と運動制御を理解するための評価指標の一つとされている。UCM 解析は、運動システムによって構成される重要なタスク変数と、タスク変数を構成する運動要素の組み合わせである要素変数の関係性から、運動の協調性を定量的に評価できる解析方法である。この解析方法は、安定したタスクを達成するための変動である V_{UCM} と、タスク達成を不安定にする変動の V_{ORT} の関係から運動の協調性の程度を示すことができる。

そこで本研究は、膝 OA 患者における体幹傾斜歩行に関する KAM 軽減のメカニズムの解明とともに、身体の各関節運動の変動がどのように COM を制御しているかを、UCM 解析を用いて明らかにすることを目的として行った。

方法

対象は、整形外科医によって膝 OA と診断された患者 20 人であった。課題動作は、快適スピードでの歩行（通常条件）とリアルタイム視覚フィードバックを用いて、立脚期に体幹を立脚側へ 10° 傾斜させる歩行（体幹傾斜歩行条件）の 2 条件にて行った。運動学的データは赤外線カメラ 6 台からなる三次元動作解析システム（Vicon 社、UK）を用い、運動力学的データは床反力 8 基（テック技販社、日本）を用いて取得した。立脚期中の KAM のうち、立脚期の最初に出現するピーク値（以下、1st KAM）と立脚期全体の KAM の積分値（以下、KAM の力積）を求めた。また、KAM に関連するパラメータとして、1st KAM 出現時の床反力ベクトルの大きさ、KAM のレバーアーム長、足関節中心座標から膝関節中心座標までの距離、膝関節中心座標から足圧中心（以下、COP）座標と COM 座標間の距離を求めた。

UCM 解析では、タスク変数を前額面の足関節中心座標に対する COM 座標とし、要素変数を身体各体節角度とした。タスク変数に対する要素変数の全体の変動である V_{TOT} 、さらに V_{UCM} 、 V_{ORT} を求め、 V_{UCM} 、 V_{ORT} 、 V_{TOT} の関係から協調性の大きさを示す ΔV_z を算出した。また、タスク変数の分散を求めた。これらの変数は、立脚期時間の全体を 100% に正規化し、立脚期前半（0-50%）と立脚期後半（51-100%）に分けて解析を行った。

結果

体幹傾斜歩行条件の 1st KAM と KAM の力積は通常条件に比べて有意に低かった。体幹傾斜歩行条件の KAM のレバーアーム長、足関節中心座標から膝関節中心座標までの距離、膝関節中心座標から COP 座標までの距離は通常条件に比べて有意に短かった。膝関節中心座標から COM 座標までの距離、床反力ベクトルの大きさ、 V_{ORT} 、 ΔV_z は条件間で有意差を認めなかった。体幹傾斜歩行条件の立脚期前半と後半の V_{UCM} は、通常条件に比べて有意に大きかった。体幹傾斜歩行条件の立脚期前半と後半の V_{TOT} は、通常条件に比べて有意に大きかった。体幹傾斜条件の立脚期前半のタスク変数の分散は、通常条件と比べて有意に大きかった。

考察

膝関節中心座標から COM 座標までの距離は条件間で有意差を認めなかった。これは、立脚側への体幹傾斜とは反対方向の内側へと膝関節中心座標が移動する運動戦略をとるため、条件間で有意な差を認めなかったことが考えられる。そのため、KAM の大きさは、体幹傾斜歩行による COM 座標の変化ではなく、膝関節中心座標の内側移動に伴う COP 座標と KAM のレバーアームの垂直距離の短縮が、KAM 軽減に繋がることが示唆された。

体幹傾斜歩行条件の V_{UCM} と V_{TOT} が通常条件よりも有意に増加したが、 ΔV_z で有意差を認めなかった。先行研究では、 ΔV_z の変化は、 V_{ORT} の変化の影響を受けることが報告されているが、本研究では V_{ORT} が条件間で有意差を認めなかったため、 ΔV_z も条件間で有意な変化を認めなかったものと考えられる。膝 OA 患者の体幹傾斜歩行は、COM 座標を制御するための各関節運動の協調性を保ち、タスクの達成を不安定にする変動を増やすことなく、安定したタスクを達成するための変動を大きくすることによって動作が達成できていたことが示された。

本研究の結果は、膝 OA 患者の体幹傾斜歩行のもつ KAM 軽減のメカニズムの解明と、安定したタスクを達成するための COM の制御を、身体運動の協調性の観点から新たな知見を提示している。