歩行動作における膝の動きと筋活動の関係について

The Influence on Human Gait due to the Difference in the Shape of the Knee

○学 中西 康貴 (関西学院大) 非 入江 佐江子 (関西学院大)
正 嵯峨 宣彦 (関西学院大)

Yasutaka Nakanishi, Kwansei Gakuin University
Saeko Irie, Kwansei Gakuin University
Norihiro SAGA, Kwansei Gakuin University

This study was conducted to measure human gait locomotion according to different lower extremity alignments, and to assess the alignment effects on knees and leg muscles. Subjects were separated into three groups by knee arrangement as normal knee, genu varum, genu valgum. We conducted a synchronization experiment using motion capture, tactile sensor and muscle potential in order to investigate the effect on the muscle activity due to differences in the alignment of the knee, and we were considered to compare the difference in the motion analysis during walking, ground reaction and EMG. The results, there were differences in the EMG and walking motion by knee types.

Key Words: Walk measurement, Surface EMG signals, Biomechanics

1. 緒言

近年、膝に障害を抱えている障害者や高齢者のための歩行支援機器の開発が盛んに行われている。そのために必要な、人の運動時における関節モーメントや膝に作用する荷重の推定は、力学モデルを作成し床反力と動作解析の計測から計算し求められる。また、解析結果を考慮した歩行モデルを製作することができれば、高齢者の膝への負荷の少ない歩行動作の検討や歩行支援機器を装着させシミュレーションにより効果を評価することができる。しかし、標準脚・O脚・X脚の膝のアライメントの違いにより、筋活動や筋量が異なることが報告されている^[1]。しかし、それぞれのアライメントに合った膝関節や筋への負担を軽減する歩行動作に関する研究はあまりなされていない。そこで、本研究では標準脚・O脚・X脚の膝のアライメント別の歩行モデルの構築を目的とし、トレッドミル上の歩行動作について、3つの膝のタイプ別に床反力、筋電位、4台のCCDカメラによる撮影を同期して計測し、膝関節に作用する荷重と関節モーメントを計測し、その違いを調べ考察する。

2 実験概要

2.1 対象

歩行時における動作解析と筋電位および床反力の計測を行った。被験者は下肢に障害のない20代の成人男性18人とした。また図1に示すように、それぞれ標準脚・O脚・X脚に分類した。

Fig. 1 Three different types of knee alignment

2.2 実験装置および方法

歩行はトレッドミル上で行った。動作解析はモーションキャプチャシステム、床反力成分はタクトイルセンサシステム、筋電位は筋電系を用いてそれぞれの計測を行った。また、これらの計測はトリガ送信機およびトリガ受信機によりワイヤレスな形で同期した。本研究では約40秒間の歩行データの解析を行い、そのうち任意の歩行一周期(右足踵接地〜左足つま先離地)を取りだし考察を行う。また図2に示す、右足踵接地、両足支持期、左足つま先離地、左足踵接地、右足つま先離地の場面に注目しデータの取り出しを行った。

Fig. 2 Walking cycle

3 動作解析

3.1 解析方法

歩行動作の計測をモーションキャプチャシステムを用いて行った。被験者にはマーカを頭部、両肩峰、肘関節部、手関節部、骨盤、大転子、膝関節、足関節、つま先の位置に取り付けた状態で歩行させ、歩調は4.8km/h^[2]となるように設定した。歩行はトレッドミル上で行い、これを覆うようにキャリブレーション範囲を設定した。進路はライトに照らされ反射マーカからの光の反射をカメラによって捉えられるようになっている。カメラは同期信号発生器により同期し、撮影した映像はカメラアダプタを介して汎用コンピュータにサンパ

リング周期 30Hz で記録する。次に、解析はかい動作解析ソフトにより撮影した映像を一定の明るさで 2 値化し、マーカからの反射光を認識して 3 次元の座標を計測する。

Normal knee	Genu varum	Genu valgum

Fig. 3 Trace of the knee marker from the

3.2 解析結果

図 3 に被験者全員の正面から見た膝関節マーカの軌跡を示す。X 脚の被験者は正面から見た軌跡が円を描くようになる傾向があるなどの特徴が見られた。また、標準脚と O 脚は似たような軌跡を示したが、O 脚はより左右の動きが少なく、ほぼ上下方向のみの動きをしていることがわかった。

4 床反力の計測

4.1 計測方法

歩行時の立脚期における床反力の計測をタクトイルセンサによって行った。タクトイルセンサによる計測システムは、センサシート、センサからの圧力情報を中継するカフユニット、カフユニットから送られてくる信号を処理しデータを蓄えるレシーバ、コンピュータから構成され、コンピュータとレシーバ間はワイヤレスおよび有線でも対応できる。計測は鉛直方向荷重、荷重中心位置の情報をサンプリング周波数 40Hz でコンピュータに取り込み、解析ソフト(F スキャンモバイル, ニッタ)により処理した。

計測は、センサシートを靴の中敷に取り付け、それを被験者に履いてもらい行った。靴の機能による筋肉や関節への影響を無くすため、靴はシンプルで底が平らなものを使用し、歩行は動作解析と同期して行った。

4.2 結果と考察

計測した床反力では違いが見られなかったが、図 4 に示す足圧分布図では違いが見られた。

足裏の圧力分布では、立脚期に終わりに第一中足骨と母指に荷重がかかるのが一般的だが、X 脚においては両脚支持期に親指に圧力を大きく加える傾向が見受けられた。それに対して標準脚・O 脚では圧力集中を生じず比較的均等に分布が見受けられた。

5 筋電位の計測

5.1 計測方法

歩行動作時における下肢 6 ヶ所(内側広筋、外側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、腓腹筋内側、腓腹筋外側)の筋電図を、筋電計を用いて計測した。また、各筋における最も筋力を発揮する動作において筋電位の最大値の計測も行った。対象となる筋のできるだけ近くの皮膚に電極をはり、アナログアンプにより体に装着可能な送信機と接続する。送信機は収録用の

Fig. 4 Foot pressure distribution chart

パソコンとワイヤレスでつながっており筋電図の収録が行えるようになっている。

5.2 結果と考察

筋電位の計測結果から歩行周期のポイントとなる 6 場面において算出した%MVC(筋力最大時に対する出力値)の値で、

Fig. 5 Ratio of muscle activity during walking and the maximum muscle potential in each type

特に違いが見られた右脚踵接地時の外側広筋および長内転筋、左脚離地時の外側広筋、左脚踵接地時の前脛骨筋、右脚つま先離地時の前脛骨筋の分布を表す箱ひげ図を図5に示す。まず、右脚踵接地時の外側広筋、左脚離地時の外側広筋、左脚踵接地時の前脛骨筋、右脚つま先離地時の前脛骨筋において、X脚の出力が標準脚・O脚よりも大きい値であった。また、右脚踵接地時の長内転筋においては標準脚・O脚の出力がX脚よりも大きいという結果となった。

6 まとめ

本研究では、被験者を標準脚・O脚・X脚といった膝のアライメント別に分類し、動作解析を行い床反力、筋電位を計測した。計測結果は、筋活動および歩行動作においてアライメントによる違いが見られた。これらの結果の歩行支援機器への応用として制御の目標となる軌道への反映、さらに、動作の各特徴や筋電位のパターンを見つけることができれば支援機器の設計の簡易化に繋がる。また、同様の実験を高齢者や障害者で行う場合では、違いの見られた部位、項目に絞って実験が行えるようになり、計測を行う際に被験者への負担を減らすことに繋がる。しかし、すべての被験者に一つのパターンが見られたというわけではなく、アライメントのタイプを超えて同じ特徴を示すものもあったことから、すぐに前述のような応用を行える段階ではないと言える。そこで、今後は解析結果を踏まえた新たな歩行動作タイプの分類も念頭に置き、歩行支援機器への応用につなげる必要がある。

文献

- [1] Akitoshi Sogabe., Naoki Mukai., Shunpei Miyakawa., Noboru Mesaki., Kazuaki Maeda., Tadashi Yamamoto., Philip M. Gallagher., Matt Schrage., Andrew C. Fry., "Influence of knee alignment on quadriceps cross-sectional area", *Journal of Biomechanics*, Vol. 42, Issue 14, pp.2313-2317, 2009
- [2] 安藤正志ら, "異なる歩行速度が快適歩行に及ぼす影響", 理学療法, Vol.22, No1, pp.10-13, 1995.