

加齢や障害による歩行運動の特徴抽出

Characterization of the gait motion due to aging and disability

○渡邊 翔, 山本 紳一郎 (芝浦工業大学)

河島 則天 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)

Sho WATANABE, Shibaura Institute of Technology

Shin-ichiroh YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

Noritaka KAWASHIMA, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: Gait disorder after injury or disease directly affect patient's quality of life. We here aimed to characterize gait performance based on our previously recorded motion capture data obtained from young (n=13) and elderly healthy (n=28), stroke (n=13) and spinal cord injured patients (n=10) All data was captured when the subjects walk on the force plates at their comfortable speed. During walking, three-dimensional motion analysis was recorded in 200Hz sampling. The results demonstrated that spatiotemporal parameters showed different characteristics among subject group, and the extent of asymmetry and total work of center of body mass (CoM) showed specific pattern depending on the type of injury and course of aging. These results indicated that gait behavior can be characterized by comparing different population, and the database regarding the pathological gait would effectively help to understand a basic characteristics of each population and to prescribe an rehabilitation strategy based on gait analysis.

Key Words: Elderly, Stroke, Spinal cord injury, Gait, Three-dimensional motion analysis

1. 背景・目的

何らかの身体機能障害を負うと円滑な歩行動作が損なわれ、QOLに著しい低下が生じる。臨床場面における歩行リハビリテーションの役割は非常に大きく、効果的な歩行リハビリテーション指針を立案する上で歩行解析・評価が重要な位置づけを占める。

歩行に関する研究は膨大な数にのぼり、先行研究では、歩行中における身体重心(Center of Mass: CoM)の挙動に着目したもの¹⁾や脳卒中片麻痺患者などにみられる歩行の左右非対称性を評価したもの²⁾など、その手法は多く散見される。しかし、歩行運動の評価の視点は多様であり、かつ障害の種類によって評価変数が変化することなども手伝って、歩行障害を疾患横断的に特徴化した研究は数少ない。本研究では、健常者から高齢者、脳卒中片麻痺患者および脊髄損傷患者を対象とした歩行解析を実施し、一般的歩行評価変数からキネマティクスなど歩行を評価する変数により、各障害や疫由来の歩行障害の特徴抽出することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 実験システム

本実験では健常成人13名、高齢者28名、脳卒中片麻痺患者13名、脊髄損傷患者10名を対象に歩行計測を実施した。被験者の身体29ヶ所(Helen Hayes Marker Set)に反射マーカーを貼り付け、三次元動作解析システム(Motion Analysis社製, MAC3D)を用いて、サンプリング周波数200[Hz]にて、歩行中におけるマーカーの空間座標を取得した(Fig. 1)。同時に6枚の床反力計(Kistler社製, Forceplate)から得られる床反力データと歩行中の筋活動電位を、左右の前脛骨筋(TA)、ヒラメ筋(Sol)、内側腓腹筋(mGas)、外側腓腹筋(iGas)、大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)からワイヤレス式筋電計測システム(Trigno, Delsys社製)を用いてサンプリング周波数1000[Hz]で記録した。

被験者は三次元動作解析装置内の歩行路で快適歩行速度での歩行を4試行行ってもらった。独立歩行が困難な被験者については、平行棒あるいは杖を使つての歩行を行ってもらった。

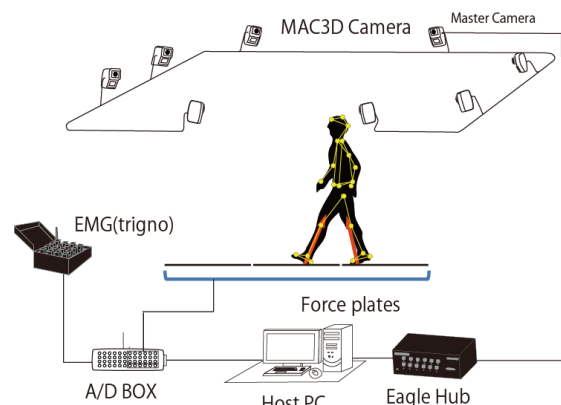


Fig. 1 Experimental set-up

2.2 解析方法

歩行周期の同定には両足の踵骨、第1中足骨頭に付けたマーカーの座標データを元に、両足の踵接地とつま先立地を算出し、各変数について歩行周期ごとにそれぞれの4周期分の平均値を得た。また、歩行中における重心のエネルギーを算出するために(1)、(2)の式を用いた¹⁾。

$$E_{\text{vertical}} = mgh + mV_{\text{vertical}}^2 / 2 \quad \dots (1)$$

$$E_{\text{front}} = mV_{\text{front}}^2 / 2 \quad \dots (2)$$

m; 身体質量(kg) g; 重力加速度(9.8m/s²) h; CoMの高さ(m)
V_{vertical}; 鉛直方向の速度(m/s) V_{front}; 前後方向の速度(m/s)

3. 実験結果

Fig2Aは上から健常者、高齢者、脳卒中患者、脊損患者の歩行中のCoMと頭部の推移とその足跡を水平面でプロットしたものを示す。健常者では歩行中のCoMと頭部の推移はほぼ同様の推移であるが、高齢者、脳卒中患者および脊損患者ではCoMと頭部がそれぞれ別々の挙動を示していることが分かる。Fig2Bでは各被験者群の歩行速度、ステップ長・時間の平均値を示したものである。歩行速度は

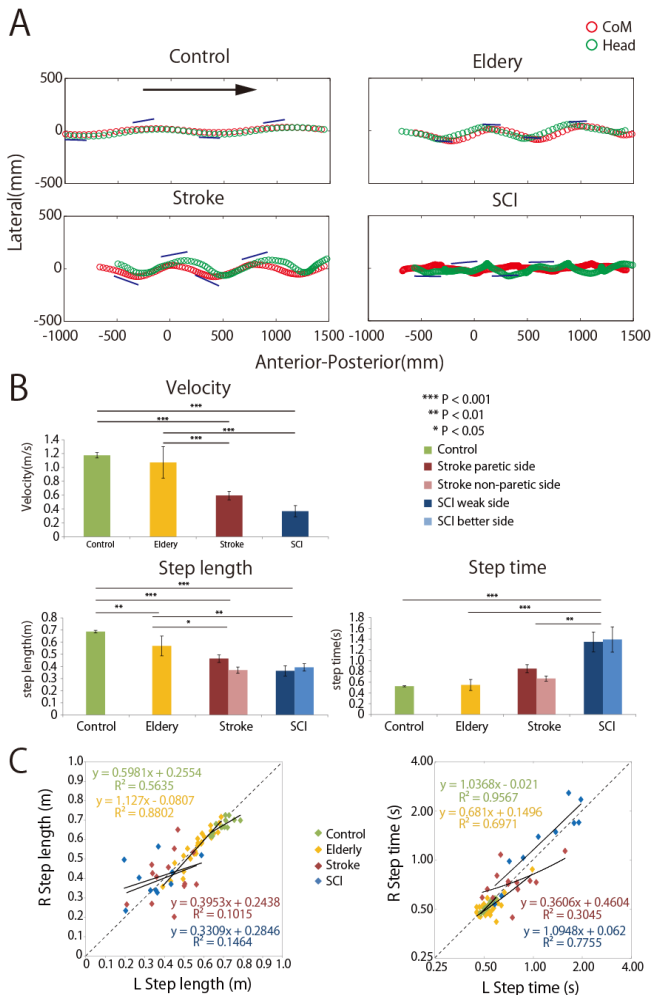


Fig 2 A : Typical example of CoM and Head trajectory and footprint each subject, B : velocity, step length and step time, C : Scatterplots of L step length/time and R step length/time.

健常者と高齢者と比べて脳卒中患者が遅く、脊損患者はそれよりもさらに遅い結果となった。ステップ長では健常者と比べて高齢者、脳卒中、脊損患者が低く、ステップ時間では脊損患者の方が他よりも大きい結果となった。このステップ長・時間を全体プロット図でみると(Fig3C)、高齢者は個人間のステップ長・時間のばらつきが大きく、脳卒中患者と脊損患者では左右のパラメータでの非対称性がみられ、点線上のシンメトリラインから逸脱する傾向にあった。

Fig3Aには上から健常者、高齢者、脳卒中患者、脊損患者の歩行中における CoM のエネルギー波形の典型例を示す。まず、健常者と比べて高齢者、脳卒中患者そして脊損患者は歩行中における前方、鉛直、全エネルギー量が極端に低いことが分かる。Fig3Bには前方方向と鉛直方向の仕事量(エネルギー変化量)の割合をとったエネルギー変換効率と歩行速度との関係性を示す。先行研究¹⁾では歩行速度とエネルギー変換効率は比例関係にあり、健常者ではエネルギー変換効率がほとんどの被験者で 100%以上の値となった。高齢者では 100%以上・以下の被験者がいるなど値のばらつきが大きく、脳卒中患者と脊損患者ではほとんどの被験者が 100%以下の値を示した。

4. 考察・まとめ

ステップ長・時間のパラメータでは、高齢者は被験者間のばらつきが大きく、脳卒中患者では左右の非対称性が見

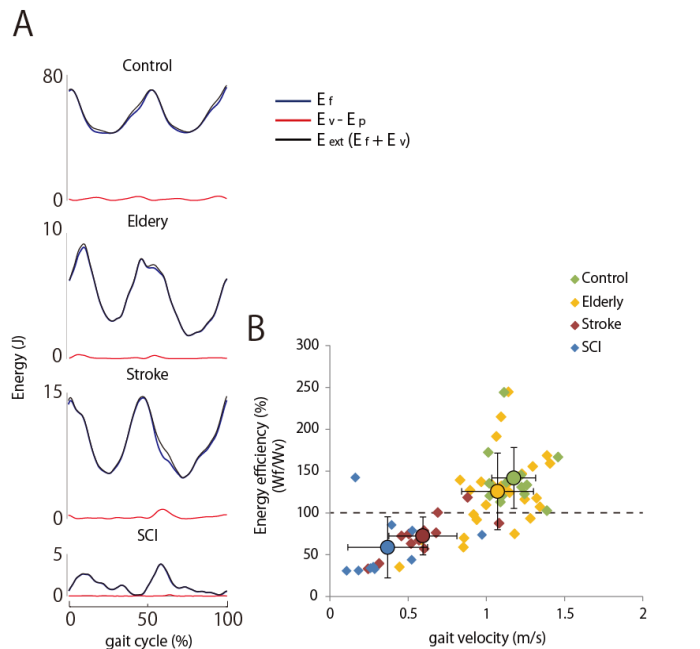


Fig 3 A : Typical example of front, vertical and external energy during 1 gait cycle, B : Scatterplots of gait velocity and energy efficiency.

られ、これは片側性の運動麻痺による影響であると考えられる。それに対し、脊損患者の左右差はステップ長のみであり、ステップ時間ではそれほど左右差はなかった。脊損患者の歩行速度やステップ長・時間は健常者や他群と比べて大きく異なり、加えて被験者間にかんがりのばらつきがあった。これは損傷のレベル、残存運動機能などと関連を持つものと考えられる。

CoM に対するエネルギー変換効率の結果では、脳卒中患者と脊損患者ではほとんど 100%を下回った。脳卒中患者では歩行の非対称性による代償動作を伴うため、鉛直方向のエネルギーの割合が前方方向のエネルギーの割合よりも低いことを示しており、結果的に非効率な歩行になっていることが示された。高齢者では、健常者と同様の値を示す被験者はいるものの、被験者によっては 100%以下の値を示す結果となった。高齢者の中には、膝や腰などに痛みを抱える被験者も含まれ、歩行運動が Fig2A の被験者のように健常者と異なる挙動をみせる人もいた。これは筋の衰弱や関節痛など加齢による変化が影響していると考えられるが、個人によってその程度や痛みの箇所等が異なるため、今後これらのさらなる群分けによる検証が必要である。

今後、他の病理歩行の患者計測や力学変数や筋活動などの定量化による特徴抽出をすることで、歩行リハビリテーションの評価につながる変数の抽出を目指していく。

5. 参考文献

- (1) Cavagna et al., The determinants of the step frequency in walking in humans, J Physiol 373 235 - 242, 1985
- (2) Patterson et al., Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization, Gait & Posture 31 241-246, 2010