

加齢に伴う歩行特性の変化

Age-related changes of the characteristics of gait

○細田貴治(芝浦工業大) 渡邊翔(芝浦工業大) 井原壽一(芝浦工業大)

山本紳一郎(芝浦工業大) 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)

Takaharu HOSODA, Shibaura Institute of Technology
 Sho WATANABE, Shibaura Institute of Technology
 Hisakazu IHARA, Shibaura Institute of Technology
 Shinitirou YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology
 Notitaka KAWASHIMA, National Rehab Center for Persons with Disabilities

Abstract: While there are many attempts to examine age-related alteration of the bipedal gait, it is difficult to characterize it because of larger extent of inter-individual variability in elderly persons. The purpose of this study was to characterize the age-related alteration walking. %Recovery was calculated as the efficiency of energy transportation. 28 elderly adults (69±7.3y) and 21 young adults (24±3.9y) participated in this study. Participants walked on the force plates at comfortable speed. As the results, gait speed and propulsive force decreased in elderly than those in young. The reduction of gait speed might be due to reduction of step length. Moreover, it was demonstrated that %Recovery in elderly was smaller than that in young at similar speed. These results suggest that elderly yield inefficient gait.

Key Words: Age, Gait, Efficiency, Elderly, Center of mass

1. 背景/目的

歩行は身体重心(Center of Mass; CoM)を前方に推進させる移動運動であり、四肢の協調的制御と周期的なリズム生成によってスムーズな歩行運動を実現している。加齢に伴って、歩行速度の停滞やバランス低下が生じることは良く知られており、先行研究では筋力などの身体機能の低下が影響することが報告されている。高齢者の歩行特性を検討した先行研究には、歩行速度や時空間的特性などの一般的特性を記述したもの、動作解析や筋活動計測の結果から詳細を検討したものなど数多くの報告があるが、歩行の加齢変化について体系的に記述している研究は少ない。本研究では、高齢者を対象とした歩行中の三次元動作解析、床反力計測、下肢筋活動計測を実施し、これらの結果と先行研究の知見をもとに加齢に伴う歩行の動作力学的特性を改めて捉えなおすことを目的とした。

2. 方法

2-1 動作解析実験

被検者を高齢者26名(69±7.3歳)、若年者群20名(24±3.9歳)とし、床反力計の上を快適歩行速度で歩行するように指示した(Fig1)。計測項目は、被験者の身体標点29ヶ所(Helen Hayes Marker Set)の空間座標を3次元動作解析システム(MAC3D System, Motion Analysis社製)を用いてサンプリング周波数100[Hz]で取得した。さらに、6枚のフォースプレート(Kistler社製)を用いて床反力をサンプリング周波数1000[Hz]で取得した。下肢の筋活動電位については、前頸骨筋(TA)、ヒラメ筋(Sol)、内側腓腹筋(mGas)、外側腓腹筋(lGas)、大腿直近(RF)、大腿二頭筋(BF)をワイヤレス筋電計測システム(Trigno, Delsys社製)サンプリング周波数1000[Hz]で取得した。

2-2 解析方法

動作解析結果より得られたデータからCoMの動揺を算出し、高齢者を特徴付けるための変数としてCoMのエネルギー変換効率に着目した。人は立脚中期に蓄えたCoMの

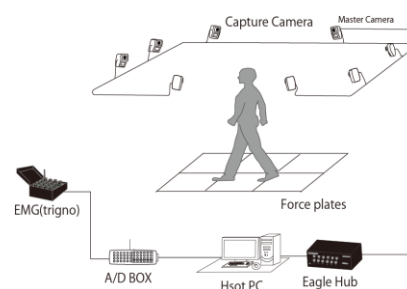


Fig1 Experimental set-up

鉛直方向のエネルギーを立脚後期までに前方方向のエネルギーへと変換する事で効率の良い歩行を実現している。そのため、CoMのエネルギー、仕事量を算出することでエネルギー変換効率を求めた。CoMのエネルギーについては、鉛直方向と前方方向の動揺に着目し、力学的エネルギーの算出方法にならって算出した(Eq.1)。仕事量は、各エネルギーにおける単位時間あたりの増加区間の面積として求めた(Eq.2)。また、前方方向のエネルギーを鉛直方向のエネルギーに変換し、再び鉛直方向のエネルギーを貯蓄する。その際には、外的仕事を必要とする。そのため、鉛直方向のエネルギーと前方方向のエネルギーの和をCoMの総エネルギーとして算出し、その仕事量を外的仕事量として求めた。以上の値を用いて、エネルギー変換効率を示す指標%Recovery⁽¹⁾を、先行研究にならって算出した(Eq.3)。以下に用いた式を示す。

$$\text{Energy} = mgh + \frac{mV^2}{2} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{Work} = \int \Delta \text{Energy} dt \quad (\Delta \text{Energy} > 0) \quad (\text{Eq.2})$$

$$\% \text{Recovery} = 100 \times \left(1 - \frac{W_{\text{external}}}{W_{\text{anterior}} + W_{\text{vertical}}} \right) \quad (\text{Eq.3})$$

m; 質量 g; 重力加速度 h; 高さ V; 速度 t; 時間
 W_{external}; 外的仕事量
 W_{vertical}; 鉛直方向のエネルギーから求めた仕事量
 W_{anterior}; 前方方向のエネルギーから求めた仕事量

3. 結果

Fig2Aに高齢者と若年者の歩行速度、ケイデンス、ステップ長の結果を示す。ケイデンスでは高齢者と若年者で差がない一方で、高齢者は若年者よりも歩行速度とステップ長において有意に減少した。また、ステップ長をケイデンスで割ることによって、歩行時のステップ長とケイデンスの相対的な貢献度を検討する指標である歩行比を算出した(Fig2B)。その結果、高齢者は若年者よりも全体的に歩行比の値が小さくなる傾向にあり、先行研究と一致する結果が得られた⁽²⁾。

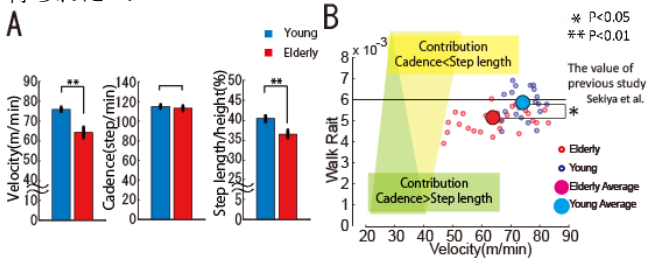


Fig2 Gait velocity, cadence, step length (A), and walk ratio (B) during walking with comfortable speed in young and elderly adults.

次に CoM に着目した結果を示す。Fig3Aには、1歩行周期中におけるスティックピクチャを示した。この結果から、高齢者は若年者と違い、CoMが立脚中期に停滞していることがわかる。そのため、効率的にCoMを移動できていない可能性が示唆された。そこで、Cavagnaの先行研究よりCoMの挙動から仕事量、エネルギー変換効率を示す指標である%Recovery値を算出した。Fig3Bには、鉛直方向と前方方向の仕事量を示した。鉛直方向と前方方向の仕事量が、若年者ではほぼ等分になるのに対し、高齢者では鉛直方向の仕事量が少なくなる結果となった。そのため、高齢者は鉛直方向のエネルギーをうまく前方方向のエネルギーに変換できていない可能性が考えられた。そこで、エネルギー変換効率を示す指標である%Recovery値と歩行速度との関係を検討した。Fig3Cには、%Recovery値と歩行速度の関係を示す。ここから、同程度の歩行速度では、高齢者は若年者よりも%Recovery値が低くなる一方で、若年者と同程度の%Recovery値となる高齢者は歩行速度が遅い傾向がみられた。加えて、高齢者では歩行速度と%Recovery値で有意な相関関係がみられた。

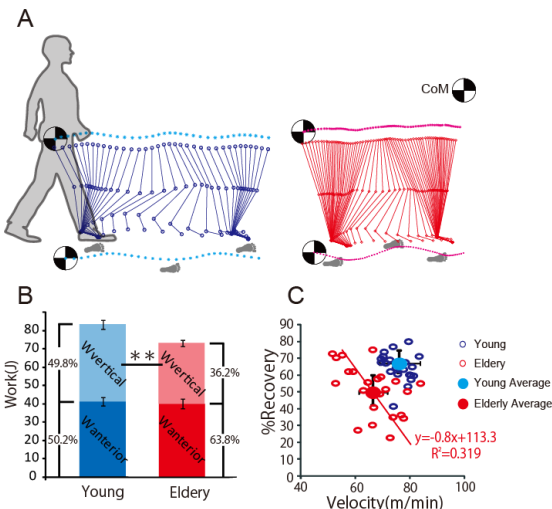


Fig3 Stick diagram and CoM motion of a young subject (left) and an elderly subject (right)(A). Vertical energy and anterior energy(B). Relationship between %Recovery and gait velocity(C).

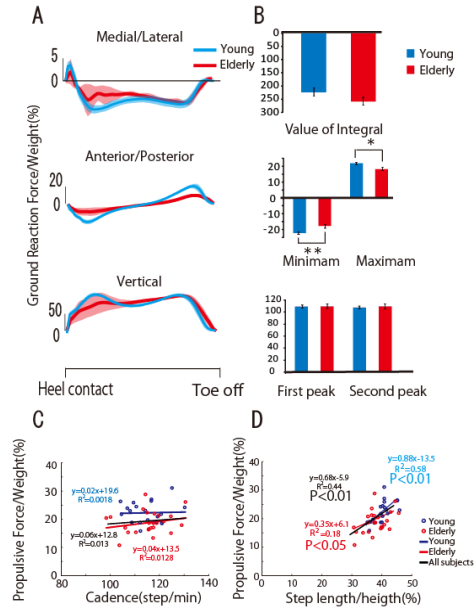


Fig4 Ground reaction force of medio-lateral, anterior-posterior, and vertical direction during stance phase(A) and, quantify of each forces in young and elderly groups(B). Scatter plots of propulsive force as a function of cadence(C) and step length(D) during walking.

高齢者が効率の悪い歩行をする要因を検討するために床反力に着目した。Fig4Aには、高齢者と若年者の床反力の平均波形、Fig4Bには、鉛直方向と前後方向では各ピーク値、左右方向では積分値の定量的結果を示した。前後方向の床反力における最大値(推進力)と最小値(制動力)を比較してみると、高齢者は若年者よりも有意に減少する結果となった。そこで、%Recovery値と有意な相関のある歩行速度への推進力の影響を検討するために、歩行速度を構成しているステップ長、ケイデンスと推進力との関係を検討した(Fig4C,D)。この結果から、推進力とケイデンスでは有意な相関関係が見られない一方で、推進力とステップ長とは有意な相関関係がみられ、推進力が大きくなることによってステップ長が大きくなる事が認められた。

4. 考察

高齢者は若年者よりも歩行比の値が小さいことから、相対的にケイデンスの貢献度が高い歩行を実現している事が確認できた。そのため、ステップ長の減少により歩行速度が低下する事が考えられる。加えて、推進力とケイデンスで相関関係がみられない一方で、ステップ長では、有意な相関関係が確認できた。この結果から、高齢者のステップ長が減少する要因は推進力の減少であることが示唆され、それに伴い歩行速度が減少したと考えられる。また、若年者と同程度の歩行速度である高齢者は、効率の悪い歩行をする傾向にあったことから、高齢者は若年者より推進力が小さいにも関わらず、若年者と同程度の歩行速度を維持したと考えられる。この要因によって、CoMの挙動が変化し、効率が悪い歩行になったと示唆された。

参考文献

- (1) Cavagna GA and Kaneko M. The sources of external work in level walking and running. J Physiol, 268; 467-481, 1977
- (2) Sekiya N, et al. Optimal walking in terms of variability in step length. J Orthop Sports Phys Ther. 26; 266-72, 1997