

若年者と高齢者の起立から歩行へ遷移する動作における運動学的解析

○ Qi An, 山川 博司, 山下 淳, 浅間一 (東京大学)

Kinematic Analysis of Sit-to-Walk Motion between the Young and the Elderly

○ Qi AN, Hiroshi YAMAKAWA, Atsushi YAMASHITA, and Hajime ASAMA
(The University of Tokyo)

Abstract: In daily life, humans do not perform single motion individually, but they adaptively transit motions. Timed Up and Go test is often used in medical area to evaluate the physical function of the elderly people, but it is still unclear how the young and the elderly people have different motion strategies. This study aims to clarify how the kinematics differs between sit-to-stand and sit-to-walk movement for the young and the elderly people. In our study, a measurement experiment was performed to measure two motions from the young and the elderly. The results of kinematic analysis showed that the young participants tended to bend their trunk faster at the beginning of the motion in sit-to-walk movement than sit-to-stand movement. Furthermore, the elderly people stood up significantly slower than the younger people in both movement and they moved their center of mass closer to the feet location in sit-to-walk motion. These results implied that the elderly participants preferred more static movement than the young in sit-to-walk motion.

Keywords: Sit-to-Walk Motion, Sit-to-Stand Motion, Kinematic Analysis

1 序論

近年わが国の高齢者人口は 25%を超え、超高齢社会となっており、高齢者の身体機能の低下やそれに伴う社会保障費の増大は大きな問題となっている。ヒトは日常生活において、個別に動作を行うのではなく、個々の動作から次の動作へと巧みに遷移し、運動を達成する。しかし高齢者などは、加齢によって関節の稼動域が制限され、日常生活動作は徐々に制限されてしまう。様々な研究グループが歩行動作、リーチング動作などを解析し、その結果をリハビリテーションやトレーニングに生かす研究が多くなされているが [1, 2], ヒトが実際に日常生活で行っているような遷移する動作がどのように達成されているか調べたものは少ない。我々の研究グループも従来からヒトの日常動作の起点となる起立動作の研究を行っているが [3], ヒトの起立動作は日常生活において単一の動作として行われることは少なく、図 1 に示すように、歩行動作などを伴うことが多い。

実際に臨床現場でも Timed Up and Go テスト (TUG テスト) と呼ばれる、椅子から立ち上がって 3 m 歩いた後にまたもとの椅子に戻ってくるまでの時間を計測することで、運動機能を評価している [4]。我々の先行研究では、起立から歩行へと遷移する動作に対して、ヒトが運動時に個別に筋を制御しているのではなく、筋シナジーと呼ばれる協調して活動する筋群を制御しているという Bernstein によって提唱された筋シナジー仮説に基づいて解析した [5]。その結果、ヒトが起立から歩行へと動作を遷移させている時にも起立動作時に観測される 4 つの筋シナジーの時系列活動度を調整することで筋活動を生成できることが示唆された。しかしながら、これらの解析は若年者の運動計測に基づくもので、TUG テストが対象とする高齢者において、どのように起立から

歩行へと動作を遷移させているかは明らかとなっていない。そのため本研究では、若年者と高齢者における起立から歩行に遷移する運動を解析し、若年者と高齢者において、運動学的な違いを明らかにすることを目的とする。

2 手法

2.1 起立から歩行へと遷移する動作における運動学的解析

本研究では、起立から歩行へと遷移する動作において、通常の起立動作と比べた時に、若年者と高齢者がどのように動作を遷移させていて、またその動作にどのような違いがあるかを調べる。起立動作に関する先行研究では、若年者が起立前半に上体を前屈させて生成する運動量を生かして起立を行うのに対して、高齢者は立ち上がる時は身体重心を一度支持基底面である足裏に乗せてから重心を上へ上げて立ち上がることが報告されている [6]。これは Stabilization 戦略と呼ばれており、支持基底面に重心を維持するような安定性を重視した立ち上がり方である。一方で起立動作から歩行へ遷移するような動作で



Fig. 1 Sit-to-walk movement.

は、後に歩行動作が続くため、重心は支持基底面に維持しておく必要は無い。これらの知見から本研究も、重心軌道に着目し、動作を遷移するフェーズの解析を行う。

また通常の起立動作と起立から歩行動作に遷移する動作では、上体を前屈させて運動量を生成するという事は共通しているものの、離床後の運動は異なる。前述の通り、通常の起立動作では重心を足裏に維持しながら、各関節を伸展させるのに対して、起立から歩行へと遷移する動作では、重心を足裏に維持せずに、そのまま前方に運ぶ必要がある。このため、本研究では遷移動作においては、後に続く歩行動作を達成するために、より多くの運動量を活用して動作を達成していると考え、特に離床時の重心速度に着目して、通常の起立動作と起立から歩行へと遷移する動作の違いを調べる。以上のことから、本研究では、起立から歩行へ遷移するフェーズに着目して、通常の起立動作と遷移動作間に見られる違いと、若年者と高齢者の間に見られる違いを重心軌道と重心の速度の観点から解析する。

2.2 運動計測実験

本研究では、若年者と高齢者において、起立から歩行へと遷移する動作を比較するために、通常の起立動作と遷移動作の計測実験を行った。計測実験には、身体軌道を計測するために、光学式モーションキャプチャシステム（Motion Analysis 社, Raptor-H カメラと Kestrel カメラ）を用いた。身体軌道は Helen Hayes のマーカーセットに基づいて、20 点にマーカーを付着した。計測後のデータは 10 Hz のローパスフィルタをかけた。重心位置の算出には、筋骨格モデルのソフトウェアである Musculographics 社の SIMM を使用した。

実験参加者には、動作中には腕を使わないように指示し、腕は胸の前で交差してもらった。実験には健康若年者 3 名（男性、 22.7 ± 0.58 歳）と健康高齢者 3 名（男性、 65.7 ± 3.21 歳）に参加してもらった。若年者の通常の起立動作は 10 回計測し、起立から歩行への遷移動作は 15 回計測した。高齢者の動作は起立動作、遷移動作それぞれ 15 回ずつ計測した。本実験は東京大学大学院工学系研究科の倫理委員会の承認を受けて実施された。

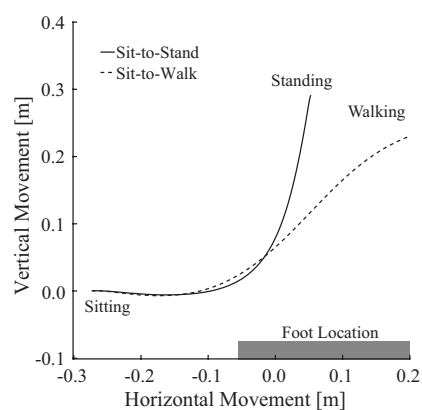
3 結果と考察

図 2 に高齢者と若年者が通常の立ち上がり動作と起立から歩行への遷移動作を行っている際の矢状面での重心軌道を示す。縦軸と横軸は、重心の垂直方向と水平方向を表している。直線が通常の起立動作、点線が起立から歩行への遷移動作を表しており、図 2(a) は若年者の軌道、図 2(b) は高齢者の軌道を示している。本結果における重心位置の垂直成分は被験者の初期姿勢における重

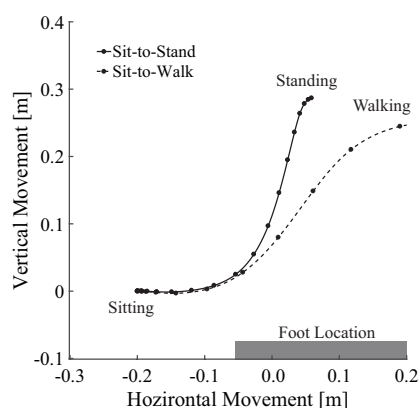
心からの変化を算出している。水平成分では、足首に付着したマーカの水平方向からの変異を取っており、軸中の 0.0 は足首マーカの位置を示している。それを含む図中右下の灰色部分は被験者の足位置を表しており、支持基底面となる。

図 3 に離床時の重心の速度の結果を示す。健康若年者の通常の起立は 0.42 ± 0.05 m/s であるのに対して、起立から歩行へと遷移する動作では 0.47 ± 0.10 m/s であった。高齢者では、通常の起立は 0.32 ± 0.04 m/s であるのに対して、起立から歩行へと遷移する動作では、 0.33 ± 0.04 m/s であった。統計検定の結果、通常の起立動作時でも起立から歩行に遷移する動作でも離床時の重心速度では、健康若年者は高齢者よりも有意に速く立ち上がっていることがわかった。また若年者の通常の起立動作と遷移動作を比べた時に、遷移動作の方が離床時の重心速度は有意に速かった。一方で、高齢者では起立動作と遷移動作を比べても、重心速度に有意差はなかった。

以上の結果から、若年者においては通常の起立動作と比べて、起立から歩行へ遷移する動作では重心の上方向の移動が早く開始されている。それに対して、高齢者における重心軌道は通常の起立と遷移する動作において差



(a) The Young



(b) The Elderly

Fig. 2 Center of mass trajectories for both (a) the young and (b) the elderly participants.

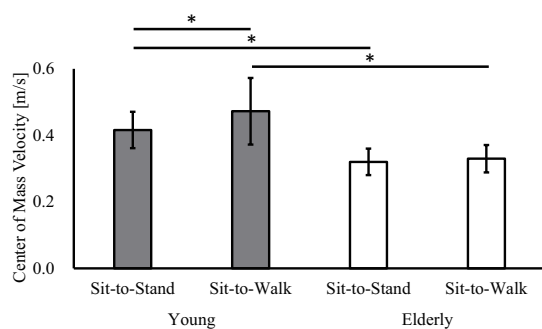


Fig. 3 Comparison of CoM velocity at the time of hip rise between different conditions.

が少なかった。ただ3名中2名の被験者では遷移動作においては、重心をより前方に移動させて支持面に重心を乗せてから立ち上がるということがみられた。このことから起立から歩行へと遷移するような動作において高齢者はより Static な運動となることが示唆される。そのため日常生活において、Dynamic な運動が必要となった時には、高齢者が本実験で行ったような Static な運動とは異なったものとなり、転倒の可能性などが高まってしまうことが考えられる。

起立動作を開始する時にヒトは上体を前屈させて運動量を生成し、それを活用して姿勢を立位へと変化させているが、運動量が大きすぎると起立後の立位姿勢を維持するのが困難となる。しかし一方で、図3からもわかるとおり、若年者では起立から歩行へ遷移する動作において、重心速度がより速くなっており、起立後の歩行動作を意識して、動作を開始する時から大きな運動量を生成していることが示唆される。

以上の結果は若年者と高齢者ともに3名ずつから得られたもので、今後は被験者数を増やしての解析が望まれる。さらに、運動学的に基づく解析だけではなく、これらの動きがどのような筋活動から生成されていることを調べることも重要である。本研究での解析は起立から歩行へと遷移するフェーズに着目したものであるが、若年者と高齢者の重心の軌道や速度の違いがその後の歩行動作にどのような影響を与えているかを解析することも興味深い。

4 結論

ヒトは日常生活において単一の動作を行うだけでなく、巧みに複数の動作を遷移する。本研究では起立から歩行へと遷移する動作を対象に、通常の起立動作とどのように違うのかを若年者と高齢者において調査した。その結果、遷移する動作においては若年者は離床時の重心速度が大きく、起立開始時の前屈によってより多くの運動量を生成していることが示唆された。重心軌道を調べた結果からは、若年者では遷移動作においては離床のタイミ

ングが早くなっており、運動量を活用して動作を巧みに遷移していた。一方で、高齢者においては重心速度に変化はないが、通常の起立動作と比べて重心をより前方に移動させ、足裏に乗せてから立ち上がっており、若年者と比べて static な運動となっていることが分かった。

謝辞

本研究の一部は、科研費 15K20956, 26120005, 16H04293, 15J07655 の助成を受けた。また実験を補助していただいた楊濤嘉氏と吉田和憲氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] Y.P. Ivanenko, R.E. Poppele, and F. Lacquaniti: Five Basic Muscle Activation Patterns Account for Muscle Activity during Human Locomotion, *Journal of Physiology*, Vol. 556, No. 1, pp. 267-282 (2004).
- [2] A. d'Avella, L. Fernandez, A. Portone, and F. Lacquaniti: Modulation of Phasic and Tonic Muscle Synergies With Reaching Direction and Speed, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 100, pp. 1433-1454 (2008).
- [3] Qi An, 石川雄己, 船戸徹郎, 青井伸也, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 浅間一: 座面高と速度の異なるヒト起立動作における筋シナジー解析, 計測自動制御学会論文集, Vol. 50, No. 8, pp. 560-568 (2014).
- [4] D. Podsiadlo, and S. Richardson: The Timed Up & Go: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons, *Journal of The American Geriatrics Society*, Vol. 39, pp. 142-148 (1991).
- [5] Q. An, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama: Temporal Structure of Muscle Synergy of Human Stepping Leg During Sit-to-Walk Motion, *Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Intelligent Systems (IAS-14)*, Shanghai (China) (2016).
- [6] M.A. Hughes, D.K. Weiner, M.L. Schenkman, R.M. Long, and S.A. Studenski: Chair Rise Strategies in the Elderly, *Clinical Biomechanics*, Vol. 9, pp. 187-192 (1994).