

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K20956

研究課題名(和文)筋の協同発揮に基づくヒトの起立から歩行へ遷移する運動メカニズムの解明

研究課題名(英文)Clarification of Mechanism of Human Sit-to-Walk Movement using Muscle Coordination

研究代表者

安 ち (AN, QI)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任助教

研究者番号：70747873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：我が国は超高齢社会となり、高齢者の身体機能を改善することは喫緊の課題である。人は日常生活において、個々に動作を行うのではなく、自身の冗長な筋を巧みに制御して、複数の動作を遷移する。本研究では起立から歩行へ遷移する動作を対象に、人がいかに筋を制御しているのかのメカニズムを解明する。本研究では、筋シナジー仮説という筋の協同発揮現象に着目し、健常者と高齢者において運動計測実験を行い、解析を行った。その結果、健常者と高齢者ともに起立における4つの筋シナジーと歩行における5つの筋シナジーによって起立から歩行へと遷移する動作を説明することができ、高齢者ではそれらの重み付けが異なることが新たに分かった。

研究成果の概要(英文)：In the aging society, it is necessary to improve body function of the elderly people. In a daily life, humans do not perform individual movement, but they adaptively transit one motion to another. This research focused on human transit motion such as sit-to-walk motion and aimed to clarify how humans control their redundant muscles. In particular, this study performed a measurement experiment of the transit movement with young and elderly participants. As a result of analysis, it is found that four muscle synergies of standing-up motion and five muscle synergies of walking motion could explain sit-to-walk motion successfully. However, it is elucidated that the elderly people have different weight for muscle synergies.

研究分野：ロボティクス

キーワード：起立動作 歩行動作 筋シナジー

1. 研究開始当初の背景

我が国日本の高齢者人口は 25% を超え、高齢者の多くは運動機能が低下し、生活の質が著しく下がっている。これらの問題を解決するためには、人がいかに運動を達成しているかを理解し、運動機能を効果的に改善する必要がある。特に日常生活では、人は単一の動作を行うのみではなく、多くの場面で複数の動作を巧みに遷移することができる。特に人は運動を行う際には自身の関節の数よりも多い冗長な筋を制御しており、この冗長性のために多様な環境でも運動を行うことができるが、人がどのようにしてこの冗長な筋を制御しているのか分かっていない。

これに対して近年では人が運動をする際には個別の筋を制御しているのではなく、協同して活動する筋群（筋シナジー）を制御しているという筋シナジー仮説が提唱されている。研究代表者の先行研究において人の日常生活の起点となる起立動作を解析したものは、人の起立動作は 4 つの筋シナジーで説明できることを示した [1]。一方で歩行動作は 5 つの筋シナジーで説明されることが知られている [2]。これらの研究は起立や歩行という単一の動作を対象としたものであるが、図 1 で示すような起立から歩行へ遷移する動作において人がどのように運動を遷移させているのか分かっていない。特に起立動作では立ち上がるだけではなく、その後歩行などの動作を伴うため、起立から歩行動作に遷移するような運動のメカニズムを解明することは重要である。



図 2 起立から歩行へと遷移する動作

2. 研究の目的

本研究では起立から歩行へ遷移する動作を対象にその運動メカニズムを明らかにし、さらに若年者と高齢者における違いを解明する。

3. 研究の方法

実際の人を対象に運動計測実験を行う。特に筋活動、運動軌道、力を計測するために、表面筋電計、光学式モーションキャプチャ、床反力計を用いた。表面筋電計では、上体から下肢の主に腰関節、股関節、膝関節、足関節の伸展・屈曲に寄与する 16 筋を 2000 Hz で計測した(図 2)。計測した信号は 40-200 Hz

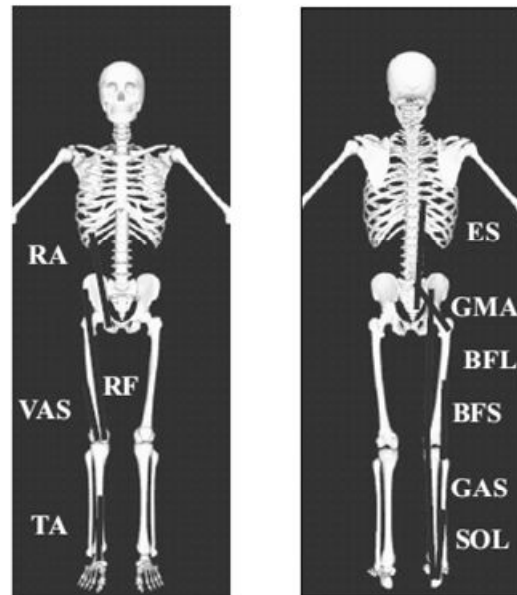


図 1 計測した筋群

のバンドパスフィルタをかけたのちに、整流化し、各試行での最大値が 100% となるように正規化を行った。モーションキャプチャでは HelenHayes のマーカセットに基づいて運動を 100 Hz にて計測し、20 Hz のローパスフィルタをかけたのちに筋骨格ソフトウェアである SIMM を用いて、各個人の体格に合わせて関節角度や重心位置の変化を調べた。また床反力計は足部と臀部に置き、反力を 2000 Hz で計測し、5 Hz のローパスフィルタをかけた。図 3 に計測環境を示す。床反力計は高さを変えられる座面の上に置き、足部の床反力計の前には床反力計と同じ高さの歩行路を設けた。

実験の被験者として健常若年者 4 名 (23.6 ± 1.2 歳) と健常高齢者 4 名 (66.0 ± 2.7 歳) に参加してもらい、それぞれ起立動作、歩行動作、起立から歩行へと遷移する動作を 10 回ずつ行ってもらい、各動作において非負値行列因子分解[3]を用いて、筋シナジーを抽出し、動作間における類似性と違いを調べた。なお本研究は東京大学工学系研究科倫理委員会によって承認され実施されており、各被験者からは実験前に同意を得られている。

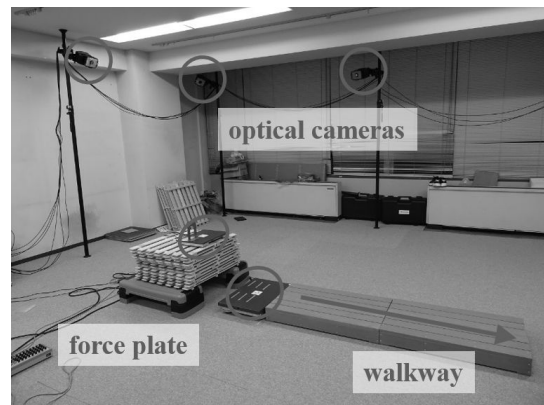


図 3 計測環境

4. 研究成果

健常若年者と健常高齢者において計測された起立動作，歩行動作からそれぞれ4つと5つの筋シナジーが抽出され，先行研究と同様の結果が得られた．また起立から歩行へと遷移する動作においては，起立と歩行から抽出された筋シナジーから十分に説明されることが分かった．これによって人は動作を遷移する時も個別の筋シナジーを活用するのではなく，単一動作時に形成された筋シナジーを利用していることが示唆された．しかしながら，筋シナジーの時間ごとの活動度は異なっており，特に起立から歩行へと遷移する際に脚を踏み出した時に，全身の伸展と姿勢の安定化を担う筋シナジーの活動度が消失していることが新たに分かった．

ただし，若年者と高齢者を比較した際には，それぞれのグループでも筋シナジーに含まれる協同発揮する筋のグループは高い類似性を示していた．しかしながら若年者では，起立時に生成された運動量を活かしながら歩行動作に遷移していることがわかった．それに対して高齢者の方が起立から歩行へと遷移する時に重心をより前方に移動させてから立つという安定性を考慮した起立動作になっており，離脱時の重心速度を比較した際に，高齢者に速度は若年者に比べて有意に低くなっていた．特に筋シナジーの時間方向の活動度を調整しており，高齢者では離床してからも水平方向の前進に寄与する筋シナジーを長く活動させることで，水平方向の重心移動を調整していることが新たに解明された．

<引用文献>

安琪，石川雄己，船戸徹郎，青井信也，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.

Y.P. Ivanenko, R.E. Poppele, and F. Acquariti: Five Basic Muscle Activation Patterns Account for Muscle Activity during Human Locomotion, *Journal of Physiology*, Vol. 556, No. 1, pp. 267-282 (2004).

M.W. Berry, M. Browne, A. N. Lagnville, V. P. Pauca, R. J. Plemmons, "Algorithms and applications for approximate nonnegative matrix factorization", *Computational Statistics and Data Analysis*, vol. 52, pp. 155-173, 2006.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Ningjia Yang, Qi An, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, "Muscle Synergy Structure using Different Strategies in Human Standing-up Motion", *Advanced Robotics*, Vol.31, No.1, January 2017, doi: 10.1080/01691864.2016.1238781 (査読有り).

〔学会発表〕(計5件)

Qi An, 山川博司, 山下淳, 浅間一, 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, 第29回自律分散システム・シンポジウム, 2017年1月30日, pp.95-97, クレストンホテル(東京都調布市).

Qi An, 山川博司, 山下淳, 浅間一, ヒトの起立から歩行への遷移動作における筋シナジーの適応的な構造の変化, 第31回生体・生理工学シンポジウム, 2016年11月3日, 大阪国際交流センター(大阪府大阪市天王寺区).

Qi An, Hiroshi Yamakawa, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, "Different Temporal Structure of Muscle Synergy Between Sit-to-Walk and Sit-to-Stand Motions in Human Standing Leg", *Proceedings of 3rd International Conference on Neurorehabilitation*, pp. 933-937, 2016年10月21日, Segovia (Spain).

Qi An, Hiroshi Yamakawa, Atsushi Yamashita and Hajime 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)*, 2016年7月5日, Shanghai (China) (Best Conference Paper Award Finalist).

Qi An, Hiroshi Yamakawa, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, "Muscle Synergies of Sit-to-Stand and Walking Account for Sit-to-Walk Motion", *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2015)*, pp.96-97, 2015年12月5日早稲田大学(東京都新宿区)(ICAM2015 Honorable Mention).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/~an/reresear.htm>

1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安 琪 (AN, Qi)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：70747873

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし