

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300198

研究課題名(和文) 感覚器へのフィードバックを用いた起立不全の予防システムの構築

研究課題名(英文) Development of Assistive Device of Human Standing-up Motion using biofeedback

研究代表者

浅間 一 (Asama, Hajime)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50184156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者の身体機能を向上するためには、日常生活動作の起点となる起立動作が、異なる座面高や運動速度において、いかに達成されているかを理解する必要がある。本研究は筋シナジーという概念を用いて、動作中の下肢8筋に着目し、実際にヒト被験者を対象とした運動計測実験から、筋シナジーの抽出を行った。その結果、起立動作では条件の違いに関わらず、3つの筋シナジーが抽出された。またそれらの筋シナジーの空間パターンは共通しており、時間パターンの振幅と継続時間を変化することで巧みに異なる座面高や運動速度に適応していることが解明された。

研究成果の概要(英文)：In order to improve body function of the elderly, it is necessary to understand how humans could achieve adaptive motion even from different chair heights or motion speeds. This research employs the idea of muscle synergy to identify muscle coordination structure from eight muscles measured from lower legs during measurement experiment. As a result, three muscle synergies were extracted from human standing-up motion regardless of environmental change. Moreover, it was shown that spatial patterns of muscle synergies were similar among different environments. On the other hand, it was clarified that humans could change amplitude and duration of muscle synergies' temporal patterns to generate adaptive standing-up motion.

研究分野：ロボティクス

キーワード：起立動作 筋シナジー 運動計測 バイオメカニクス リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

我が国日本は高齢社会に突入しており、高齢者の身体機能の改善は喫緊の課題である。ヒトの起立動作は日常動作の起点となる動作で、これを改善することは非常に意義深い。特にヒトは、関節の自由度以上の冗長な筋を適切に制御し、異なる座面高や運動速度で立ち上がることができるが、この運動生成メカニズムは十分に分かっていない。

これに対して、ベルンシュタインは筋シナジー仮説を提唱し、運動の達成には個別に筋を制御するのではなく、筋シナジーと呼ばれる少数のモジュール(複数筋の協調発揮)を組み合わせることで適応的に行動を生成しているとした。図1に筋シナジーモデルの概念図を示す。筋シナジーは時空間パターンから構成されており、空間パターンは筋の相対的な活動度、時間パターンはその時系列重み変化を示している。筋活動は時空間パターンの線形和によって生成される。実際に先行研究からヒトの歩行やリーチング動作では筋シナジーの存在が報告されているが、起立動作における筋シナジーの構造は不明である。

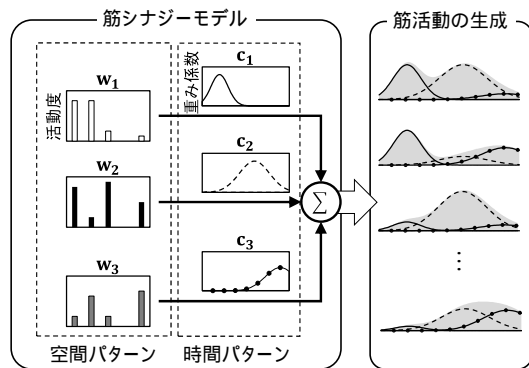


図 1. 筋シナジーモデル

2. 研究の目的

ヒトが異なる座面高や運動速度に対しても全身の筋を協調して適応的に動作を達成できることに着目し、その筋協調メカニズムの解明を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では計測によって、実際にヒトの運動を計測し、そのばらついた運動から共通項を抽出する。まず、身体軌道・床反力(臀部と足部)・筋活動の同時計測システムを構築し、実際のヒト起立動作の運動計測を行う。

身体軌道の計測には光学式モーションキャプチャシステム [Motion Analysis]を用いて 100 Hz にて、Helen Hayes マーカーセットに基づいたマーカー位置を計測した。実際に関節角度に関しては、運動中の矢状面に着目し、足・膝・股関節の伸展と屈曲の角度を算出する。床反力計 [Nitta Corp.]は臀部と足部にそれぞれ配置し、64 Hz にて計測を行う。筋活動は下肢 8 筋(前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋長頭、大腿

二頭筋短頭、大殿筋)から 1,000 Hz にて計測を行い、基線合わせ、整流化、ローパス・ハイパスフィルタを施し、最大随意収縮筋力にて正規化を行う。

筋シナジーの抽出には、得られた筋活動に対して非負値行列因子分解を用いて、時空間パターンを同定する。実際に起立動作を説明するのに何個の筋シナジーが必要かを調べるため、本研究では決定係数を用い、筋活動の分散を説明できる割合を算出する。さらに 1 因子分散分析を用いて筋シナジーの数に応じて、説明できる割合が有意に増加するかを調査し、増加した場合は多重比較を行う。

座面高を変化する際には、膝の高さに座面高を合わせ、それよりも 10 cm 高い場合と低い場合の 3 種類を使用し、被験者本人が快適に思う速度にて立ち上がってもらった。運動速度を変化する際には、自然に立ち上げられる速度、出来る限り速く、もしくは出来る限り遅く立ち上がる 3 種類を設定する。

起立の際には腕を胸の前で交差し、腕の力を使わないように、立ち上がってもらった。また足位置は下腿が地面に対して 90 度になるようにする。

起立動作に関する先行研究では 4 つのフェーズ(フェーズ 1: Flexion Momentum, フェーズ 2: Momentum Transfer, フェーズ 3: Extension, フェーズ 4: Posture Stabilization)が存在することが知られており、筋シナジーの時間パターンとの対応関係を比較する。フェーズの同定には、身体軌道と床反力を用い、フェーズ 1 は水平方向の肩位置の動き出し、フェーズ 2 は臀部床反力が閾値以下になった時、フェーズ 3 は膝が最前に出た時、フェーズ 4 の開始は垂直方向の肩位置の停止とする。

4. 研究成果

本実験では 10 名の健常な男性(年齢: 23.8±2.2 歳, 身長: 1.75±0.05 m, 体重: 77.1±8.5 kg)が実験に参加し、Normal 条件では 140 試行, Low では 80 試行, High で 90 試行, Fast で 80 試行, Slow で 60 試行の動作データを取得した。

それぞれの条件において、筋シナジーの数を 1~7 と変化させた時の決定係数を算出した結果、各条件において筋シナジーの数の変化に対して、有意差は存在した。さらに多重比較の結果、筋シナジーの数を 1~2, 2~3 と増加させた際には、筋活動を説明できる割合が有意に増加したが、3~4 と増やした場合は増加せず、起立動作を説明するのに必要な筋シナジーの数は 3 であることがわかった。

実際に異なる座面高や運動速度において 3 つの筋シナジーの時空間パターンを算出した結果、各空間パターンはそれぞれ非常に類似していることがわかった。筋シナジー 1 の空間パターンでは主に前脛骨筋の活動が大きく、足関節の背屈を担っている。筋シナジー 2 では外側広筋の活動が大きく、膝関節を伸展させる。筋シナジー 3 では主にヒラメ筋

が活動し、足関節を底屈する。また時間パターンはそれぞれ起立動作のフェーズに対応して活動しており、筋シナジー1はフェーズ1(上体の前屈)と同時に活動し、フェーズ2(臀部離床)にピークを持つ。一方で筋シナジー2はフェーズ3(全身の伸展)にピークを持ち、シナジー3はフェーズ4(姿勢制御)に対応している。一方で、異なる座面高や運動速の変化に対して、時間パターンには顕著な変化がみられ、座面高の違いに関しては、時間パターンの振幅を調整しており、座面高が高くなるにつれて、その振幅が小さくなっている。一方で、異なる運動速度に対しては、時間パターンの継続時間を変化させ、速度が遅くなるにつれて、継続時間は長くなっていることがわかった。

以上の結果から、条件が異なるヒトの起立動作においても、個別に8つの筋を制御する必要はなく、3つの筋シナジーを利用していることがわかった。また異なる座面高に対しては時間パターンの振幅、異なる運動速度に対しては継続時間を変化させていることが初めて解明された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

辻琢真, 濱崎峻資, 前田貴記, 加藤元一郎, 岡敬之, 山川博司, 高草木薫, 山下淳, 淺間一: ラバーハンド錯覚における筋電位及び皮膚電位反応の解析, 計測自動制御学会論文集, Vol. 51, 2015 (採録決定)。

J. Nakagawa, Q. An, Y. Ishikawa, H. Oka, K. Takakusaki, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama: “Analysis of Human Motor Skill in Dart Throwing Motion at Different Distance”, SICE Journal of Control Measurement, and System Integration, Vol. 8, pp.79-85, 2015.
DOI: <http://doi.org/10.9746/jcmsi.8.79>

花谷耕平, 山川博司, 石川雄己, Qi An, 山下淳, 淺間一: 膝関節実形状モデルを用いたヒトの起立動作時の負荷計測システムの開発, 精密工学会誌, Vol. 81, pp. 99-104, 2014.
DOI: <http://doi.org/10.2493/jjspe.81.99>

安琪, 石川雄己, 船戸徹郎, 青井伸也, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 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(8), pp. 560-568, 2015.
DOI: 10.9746/sicetr.50.560

Q. An, Y. Ishikawa, J. Nakagawa, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita, and H. Asama: “Measurement of Just Noticeable Difference of Hip Joint for Implementation of Self-efficacy: In

Active and Passive Sensation and in Different Speed”, Advanced Robotics, Vol. 28(7), pp. 505-511, 2014
DOI: 10.1080/01691864.2013.876938

Q. An, Y. Ikemoto, and H. Asama: “Synergy Analysis of Sit-to-Stand in Young and Elderly People”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 25 (8), pp. 1038-1049, 2013

以上全て査読あり

[学会発表](計31件)

Q. An, Y. Ishikawa, S. Aoi, T. Funato, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama, “Analysis of Muscle Synergy Contribution on Human Standing-up Motion Using Human Neuro-Musculoskeletal Model”, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2015), 2015年5月26日~5月30日, Seattle (USA).

中川純希, An Qi, 石川雄己, 柳井香史朗, 保田淳子, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: シートを使ったベッド上介助動作における技能教示サービスシステムの提案, サービス学会第3回国内大会, 2015年04月08日~04月09日, 金沢歌舞伎座, 金沢。

中村祐基, 柳井香史朗, 中川純希, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 重畳映像を用いた動作学習支援システムにおける映像提示視点の自動決定, サービス学会第3回国内大会, 2015年04月08日~04月09日, 金沢歌舞伎座, 金沢。

柳井香史朗, 中川純希, Qi An, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 筋活動可視化によるローイング動作教育サービスシステムの開発, サービス学会第3回国内大会, 2015年04月08日~04月09日, 金沢歌舞伎座, 金沢。

Qi An, 石川雄己, 青井伸也, 船戸徹郎, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 筋シナジーの時間パターンがヒト起立動作に与える影響の神経筋骨格モデルを用いた解明, 2015年03月15日~03月16日, 第20回ロボティクスシンポジウム, 軽井沢プリンスホテルウエスト, 北佐久郡。

柳井香史朗, Qi An, 中川純希, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: ローイング動作におけるスキルの抽出と教示, 2015年03月15日~03月16日, 第20回ロボティクスシンポジウム, 軽井沢プリンスホテルウエスト, 北佐久郡。

石川雄己, Qi An, 中川純希, 戸島美智生, 安井哲郎, 岡敬之, 井口はるひ, 真野浩志, 芳賀信彦, 山下淳, 淺間一: 平面法則と主成

分分析を用いた変形性膝関節症患者の歩行解析, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 2014 年 11 月 21 日~11 月 23 日, 岡山大学津島キャンパス, 岡山.

山川博司, Le Quoc Dung, 山下淳, 淺間一: 生理計測に基づくカーレーサーのストレス推定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (SSI2014), 2014 年 11 月 21 日~2014 年 11 月 23 日, 岡山大学津島キャンパス, 岡山.

K. Yanai, Q. An, Y. Ishikawa, J. Nakagawa, W. Wen, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama: “Visualization of Muscle Activity during Squat Motion for Skill Education”, 2nd International Conference on Serviceology (ICServ2014), 2014 年 09 月 14 日~09 月 16 日, 慶應大学, 横浜.

J. Nakagawa, Q. An, Y. Ishikawa, K. Yanai, W. Wen, H. Yamakawa, J. Yasuda, A. Yamashita and H. Asama: “Extraction and Evaluation of Proficiency in Bed Care Motion for Education Service of Nursing Skill”, 2nd International Conference on Serviceology (ICServ2014), 2014 年 09 月 14 日~2014 年 09 月 16 日, 慶應大学, 横浜.

石川雄己, 安琪, 中川純希, 戸島美智生, 安井哲郎, 岡敬之, 芳賀信彦, 山下淳, 淺間一: Elevation angle の近似平面を用いた変形性膝関節症患者の歩容解析 (平面法則の有無と近似平面の角度差を用いた検討), 日本機械学会 2014 年度年次大会, 2014 年 09 月 07 日~2014 年 09 月 10 日, 東京電機大学東京千住キャンパス, 東京.

中川純希, Qi An, 石川雄己, 柳井香史朗, 保田淳子, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: シートを使ったベッド上介助動作における技能間従属関係の解明, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014), 2014 年 09 月 04 日~09 月 06 日, 九州産業大学, 福岡.

Q. An, Y. Ishikawa, T. Funato, S. Aoi, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama: “Generation of Human Standing-up Motion with Muscle Synergies Using Forward Dynamic Simulation”, 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), 2014 年 05 月 31 日~2014 年 06 月 07 日, Hong Kong (China).

中川純希, Qi An, 石川雄己, 柳井香史朗, 山川博司, 保田淳子, 山下淳, 淺間一: シートを使ったベッド上介助動作の熟練度合いが股関節モーメントに与える影響の解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講

演会'14 (ROBOMECH2014), 2014 年 05 月 25 日~2014 年 05 月 29 日, 富山国際会議場, 富山.

中川純希, Qi An, 石川雄己, 柳井香史朗, 山川博司, 保田淳子, 山下淳, 淺間一: シートを使ったベッド上介助動作におけるインタビュと映像による技能の抽出, サービス学会第 2 回国内大会, 2014 年 04 月 28 日~2014 年 04 月 29 日, 公立ほこだて未来大学, 函館.

Y. Ishikawa, Q. An, J. Nakagawa, H. Oka, A. Yamashita and H. Asama: “Effect of Varus Gait on Anterior Cruciate Ligament: To Clarify Mechanism of Pathogenesis of Knee Osteoarthritis”, Osteoarthritis and Cartilage, 2014 年 04 月 24 日~04 月 27 日, Paris (France).

花谷耕平, 山川博司, 石川雄己, Qi An, 山下淳, 淺間一: 膝関節実形状模型を用いたヒトの起立動作時の負荷計測, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2014 年 03 月 18 日~03 月 20 日, 東京大学, 東京.

石川雄己, Qi An, 中川純希, 戸島美智生, 岡敬之, 安井哲郎, 山下淳, 淺間一: Elevation angle を用いた膝疾患患者術前後歩容の解析, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2014 年 03 月 18 日~03 月 20 日, 東京大学, 東京.

松本倫実, 濱崎峻資, 前田貴記, 加藤元一郎, 山川博司, 高草木薫, 山下淳, 淺間一: 聴覚刺激及びリズムの周期性が運動主体感に与える影響の評価, 第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2014 年 02 月 28 日~2014 年 03 月 01 日, 東京理科大学, 東京.

濱崎峻資, 村林正堂, 前田貴記, 加藤元一郎, 山川博司, 高草木薫, 山下淳, 淺間一: 回転物体の停止動作において先行刺激が Sense of Agency に与える影響の計測, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム, 2014 年 01 月 21 日~01 月 24 日, 東京大学, 東京.

②1 辻琢真, 山川博司, 山下淳, 高草木薫, 前田貴記, 加藤元一郎, 岡敬之, 淺間一: 手姿勢の変化に基づく体性感覚がラバーハンド錯覚に与える影響, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2013), 2013 年 12 月 18 日~12 月 20 日, 神戸国際会議場, 兵庫県.

②2 中川純希, Qi An, 石川雄己, 岡敬之, 高草木薫, 山川博司, 山下淳, 淺間一: UCM 解析を用いたダーツ投擲動作における関節間協調の解明, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2013 (SSI2013), 2013 年 11 月 18 日~11 月 20 日, ピアザ淡海, 滋賀.

⑳ Q. An, Y. Ishikawa, J. Nakagawa, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama: "Analysis of Contribution of Muscle Synergies on Sit-to-Stand Motion Using Musculoskeletal Model", 2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2013), 2013年11月07日~11月09日, 芝浦工業大学, 東京.

㉑ T. Tsuji, H. Yamakawa, A. Yamashita, K. Takakusaki, T. Maeda, M. Kato, H. Oka and H. Asama: "Analysis of Electromyography and Skin Conductance Response During Rubber Hand Illusion", 2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2013), 2013年11月07日~11月09日, 芝浦工業大学, 東京.

㉒ J. Nakagawa, Q. An, Y. Ishikawa, H. Oka, K. Takakusaki, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama: "Analysis of Joint Correlation between Arm and Lower Body in Dart Throwing Motion", 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2013), 2013年10月13日~10月16日, Manchester (UK).

㉓ Q. An, Y. Ishikawa, J. Nakagawa, H. Oka, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama: "Muscle Synergy Analysis of Human Standing-up Motion with Different Chair Heights and Different Motion Speeds", 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2013), 2013年10月13日~10月16日, Manchester (UK).

㉔ Qi An, 石川雄己, 船戸徹郎, 青井伸也, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 順動力学計算を用いた筋シナジーによるヒトの起立動作の生成, 第31回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2013), 2013年09月04日~09月06日, 首都大学東京南大沢キャンパス, 東京.

㉕ 松本倫実, 濱崎峻資, 前田貴記, 加藤元一郎, 山川博司, 高草木薫, 山下淳, 淺間一: 身体運動に同期した単純聴覚刺激が運動主体感に与える影響の評価, 第31回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2013), 2013年09月04日~09月06日, 首都大学東京南大沢キャンパス, 東京.

㉖ レクオクズン, 山川博司, 岡敬之, 魚住光成, 高草木薫, 山下淳, 淺間一: レーザーのレース中のストレス推定するための生体指標計測, 第19回創発システム・シンポジウム, 2013年08月31日~09月02日, 大阪アカデミア, 大阪.

㉗ 中川純希, Qi An, 石川雄己, 岡敬之, 山川博司, 山下淳, 淺間一: 健常者におけるダー

ツ投擲動作の UCM 解析による関節間協調の解明, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13 講演論文集 (ROBOMECH2013), 2013年5月22日~5月25日, つくば国際会議場, 茨城.

㉘ 辻琢真, 山川博司, 山下淳, 高草木薫, 前田貴記, 加藤元一郎, 岡敬之, 淺間一: ラバーハンド錯覚における錯覚生起時間測定手法の提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '13 (ROBOMECH2013), 2013年05月22日~2013年05月25日, つくば国際会議場, 茨城.

〔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〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

淺間 一 (ASAMA Hajime)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 50184156

(2)研究分担者

山下 淳 (YAMASHITA Atsushi)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号: 30334957

高草木 薫 (TAKAKUSAKI Kaoru)
旭川医科大学・医学部・教授
研究者番号: 10206732

岡 敬之 (OKA Hiroyuki)
東京大学・医学部附属病院・助教
研究者番号: 60401064

新井 民夫 (ARAI Tamio)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号: 40111463

(3)連携研究者

安琪 (AN Qi)
東京大学・工学系研究科・助教
研究者番号: 70747873