

令和元年5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04293

研究課題名(和文)片麻痺患者の起立動作における筋シナジー構造の同定とリハビリテーション手法の構築

研究課題名(英文) Identification of Muscle Synergy during Sit-to-stand Motion of Post Stroke Patients and Development of Rehabilitation Methodology

研究代表者

浅間 一 (Asama, Hajime)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：50184156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は起立動作を対象に筋シナジーを抽出した結果、片麻痺患者は離床に寄与する筋シナジーの活動の調整が困難になり、健常者と比べてピーク時間が遅れたり、活動時間が長くなった。また健常者の感覚情報が阻害された際の筋シナジーを計測した結果、視覚が阻害されると姿勢制御に寄与する筋シナジーの振幅が大きくなり、前庭感覚が阻害されると全身の伸展と姿勢制御を担う筋シナジーの活動時間が長くなった。これらの結果から、片麻痺患者へのリハビリテーションにおいて感覚情報を補助し、筋シナジーの活動タイミングを調整することが重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高齢社会において脳卒中になり、運動障害が残る片麻痺患者の人数が増えている。これに対して効果的なリハビリテーションを行うためには、感覚情報を補助し、筋の活動タイミングを教示することが重要である。本研究では日常動作における起点となる起立動作を対象に、片麻痺患者における筋肉の活動の特徴を明らかにし、また健常者において感覚情報が筋活動にどのような影響を与えるかを調べた。今後これらの結果を用いることで感覚情報の強化に着目したリハビリテーション手法への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Rehabilitation for motor impaired post stroke patient is important issue. This study focused on human standing-up motion and extracted muscle synergies from post stroke patients. As a result, it is shown that the patients could not appropriately control activation of muscle synergy responsible for hip rising; activation peak timing was delayed or activation duration became longer. On the other hand, we investigated muscle synergy of healthy participants whose sensory input is disturbed. When visual input is disturbed, amplitude of the muscle synergy corresponding to posture stabilization became larger. When vestibular input is disturbed, duration time of muscle synergies corresponding to whole body extension and body stabilization became longer. These results imply that in rehabilitation program, it is important to reinforce sensory input of the stroke patient and improve activation timing of muscle synergies.

研究分野：ロボティクス

キーワード：リハビリテーション 片麻痺患者 起立動作 筋シナジー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

起立動作は日常生活の起点となる動作であり、ヒトは自身の身体や座面、床面を適切に認識し、関節自由度よりも多くの冗長な筋を巧みに制御して起立動作を達成する。一方で、片麻痺患者は、感覚入力への障害、運動とその結果得られる感覚情報の統合の不整合などから、筋活動を適切に制御できず、起立動作が困難になる。実際の臨床現場では、片麻痺患者の症状は多岐に渡り、また筋の冗長性から、見た目の運動からだけでは、それを引き起こす筋活動の様子を特定できないため、適切なリハビリテーションが行えない。これらの問題を解決するためには、第一に、ヒトが起立動作時にどの感覚情報に基づいて、冗長な筋を制御しているかの運動メカニズムを知り、片麻痺患者の運動障害の原因を解明する必要がある。その上で実際の患者を診断し、適切なリハビリテーションを行うことが求められている。

前述の通り、ヒトの運動メカニズムの解明には、運動時の関節自由度よりも多くの冗長な筋をヒトがいかにかに制御しているかを知る必要がある。これに対して Bernstein は筋シナジーモデルを提唱し、ヒトは筋シナジーと呼ばれる少数のモジュール(協同発揮する筋群)を組み合わせて適応的に運動を生成しているとした。従来研究では歩行動作には5つの筋シナジーが存在し、ヒトは接地時の床反力情報から筋シナジーが制御されることが示されている。また申請者の先行研究では、ヒトの起立動作の運動計測とモデル化から、起立動作には異なる役割を持つ4つの筋シナジーが存在し、それらを巧みに活動させることで適応的に動作を生成していることを世界で初めて示した。しかし、ヒトがどのような情報に基づいて筋シナジーを制御しているか明らかになっておらず、起立動作が困難になる原因もわかっていない。

### 2. 研究の目的

ヒトは4つの同時活動する筋群(筋シナジー)から筋活動を生成して、起立動作を達成する。一方で、片麻痺患者は起立動作が困難となるが、運動改善のためには、運動メカニズムを理解した上で、運動障害の原因を診断し、適切にリハビリテーションを行う必要がある。ヒトは感覚情報をもとにして筋シナジーを制御しており、片麻痺患者などの運動障害が筋シナジーの時間パターンを適切に活動させられないことから生じるとの作業仮説を立て、実際の臨床現場において適切なリハビリテーションを行うために、片麻痺患者の筋シナジーの変性構造の同定と筋シナジーを制御する感覚情報の解明を行う。

### 3. 研究の方法

片麻痺患者における起立動作の運動機能を向上させるため、本研究では以下に取り組む。

片麻痺患者での起立動作の計測実験を行い、筋シナジーを抽出し、健常者のものと比べることで、片麻痺患者における筋シナジーの変化したパラメータの同定を行う。

健常者において前庭感覚と体性感覚に介入を行い、筋シナジーの変化を調べることで、各筋シナジーを制御している感覚情報の解明を行う。

### 4. 研究成果

40名以上の片麻痺患者における起立動作の計測実験を行い、身体軌道や床反力、筋活動の計測を行った。体幹および下肢15筋の活動データから筋シナジーを抽出し、健常な人と比較することで、筋シナジーにおいて変化した部分の同定を行った。その結果、筋協調の度合いを示す空間パターンの変化は少なかったのに対して、時間パターンに変化が見られた。起立動作における4つの時間パターンを図1に示す。上段は健常者、中段と下段は片麻痺患者のデータを示す。中段の患者の時間パターンを健常高齢者のものと比較すると、離床に寄与する筋シナジー2の活動が遅れていることが分かった。また下段の片麻痺患者においては筋シナジー2や3の活動が長くなってしまい、個々の筋シナジーを活動させるのが困難になっていることが分かった。これらの結果は、片麻痺患者において空間パターンは残存しており、筋協調は存在するものの、脳からの下降性の運動指令や感覚情報の統合が困難になることで、活動のパターンが変化していることが示唆された。またその影響は特に離床時の動作に影響を与えることが示された。

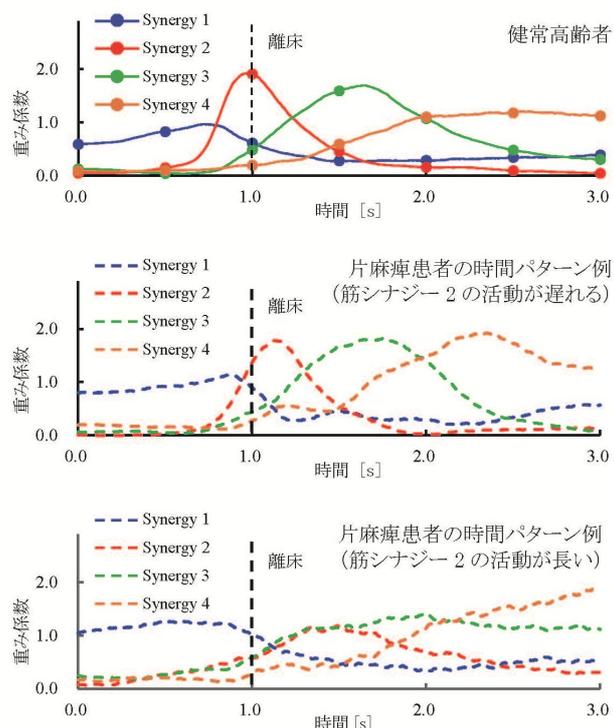


図1 片麻痺患者の筋シナジーの例

次に感覚情報が起立動作中の筋シナジー与える影響を調べた。感覚情報の中でも本研究では視覚と前庭感覚に着目した。視覚情報を阻害するためには実験参加者に凸レンズを装着してもらい、さらに部屋を暗室にした。また前庭感覚を阻害するためには、カロリックテストと呼ばれる検査方法を用いた。健常者を対象に上記の感覚阻害を行った状態で起立動作の計測実験を行い、体幹と下肢の筋活動から筋シナジーの抽出を行った。その結果から視覚と前庭感覚を阻害しても、筋シナジーの空間パターンに変化は少なかったことから、片麻痺患者の例と同じように、筋協調の構造は維持されることが分かった。ただし、視覚を阻害すると姿勢制御に寄与する筋シナジー4の活動が大きくなることが分かった。また前庭感覚を阻害すると全身の伸展に寄与する筋シナジー3と姿勢制御を担う筋シナジー4の活動が長くなることが分かった。

以上の結果から、片麻痺患者において筋シナジーが調整できなくなることや、また感覚情報を阻害した時に筋シナジーの時間パターンの振幅や活動時間に変化が生じることが分かった。これらの結果から、片麻痺患者へのリハビリテーションにおいて感覚情報を補助し、筋シナジーの活動タイミングを調整することが重要であることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

K. Yoshida, Q. An, A. Yozu, R. Chiba, K. Takakusaki, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, "Visual and Vestibular Inputs Affect Muscle Synergies Responsible for Body Extension and Stabilization in Sit-to-Stand Motion", *Frontiers in Neuroscience*, vol. 12, Article 1042, 2019, doi: 10.3389/fnins.2018.01042 (査読あり)。

Q. An, Y. Ishikawa, S. Ishiguro, K. Ohata, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, and H. Asama, "Skill Abstraction of Physical Therapist in Hemiplegia Patients Rehabilitation Using A Walking Assist Robot", *International Journal of Automation Technology*, vol.13, no.2, pp. 271-278, 2019, DOI: 10.20965/ijat.2019.p0271 (査読あり)。

Q. An, J. Nakagawa, J. Yasuda, W. Wen, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. Asama, "Skill Extraction from Nursing Care Service using Sliding Sheet", *International Journal of Automation Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 533-541, 2018, DOI: 10.20965/ijat.2018.p0533 (査読あり)。

H. Kogami, Q. An, N. Yang, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, H. Asama, S. Shimoda, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. Alnajjar, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune and I. Miyai, "Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure during Standing-up Motion of Hemiplegic Patients", *IEEE Robotics Automation Letter*, vol. 3, no. 3, pp. 2229-2236, 2018, DOI: 10.1109/LRA.2018.2811050 (査読あり)。

N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita and H. Asama, "Muscle Synergy Structure using Different Strategies in Human Standing-up Motion", *Advanced Robotics*, vol.31, no.1, pp. 40-54, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2016.1238781> (査読あり)。

Y. Ishikawa, Q. An, J. Nakagawa, H. Oka, T. Yasui, M. Tojima, H. Inokuchi, N. Haga, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita and H. Asama, "Gait Analysis of Patients with Knee Osteoarthritis by Using Elevation Angle: Confirmation of the Planar Law and Analysis of Angular Difference in the Approximate Plane", *Advanced Robotics*, vol. 31, no. 1, pp. 69-78, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1080/01691864.2016.1229217> (査読あり)。

〔学会発表〕(計 19 件)

Q. An, H. Kogami, N. Yang, H. Yamakawa, Y. Tamura, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, S. Shimoda, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune, I. Miyai, A. Yamashita, and H. Asama, "Rehabilitation Intervention of Physical Therapists Improves Muscle Synergy during Standing-up Motion of Stroke Patients", *Proceedings of the 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)*, Osaka (Japan), 2018/Dec.

N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, K. Takahashi, M. Kinomoto, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, S. Shimoda, N. Hattori, T. Fujii, H. Otomune, I. Miyai, A. Yamashita, and H. Asama, "Clarification of Altered Muscle Synergies during Sit-to-stand Motion in Stroke Patients", *Proceedings of the 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)*, Osaka (Japan), 2018/Dec.

H. Kogami, Q. An, N. Yang, H. Yamakawa, Y. Tamura, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, S. Shimoda, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune, I. Miyai, A. Yamashita, and H. Asama, "Effect of Physical Therapy on Joint Angle of Hemiplegic Patients during Standing-up Motion", *Proceedings of the 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018)*, Osaka (Japan), 2018/Dec.

Qi An, 湖上碩樹, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎, 山下淳, 淺間一, 片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能と筋シナジーに与える影響の調査, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 講演論文集, 富山, 2018年11月。

湖上碩樹, Qi An, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar,

下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎, 山下淳, 淺間一, 片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能と筋シナジーに与える影響の調査, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 講演論文集, 富山, 2018 年 11 月.

H. Kogami, Q. An, N. Yang, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, H. Asama, S. Shimoda, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune and I. Miyai, “Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure during Standing-up Motion of Hemiplegic Patients”, Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2018), Brisbane (Australia), 2018/May.

N. Yang, Q. An, H. Kogami, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, H. Asama, S. Shimoda, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, N. Hattori, M. Kinomoto, K. Takahashi, T. Fujii, H. Otomune and I. Miyai, “Clarification of Muscle Synergy Structure During Standing-up Motion of Healthy Young, Elderly and Post-Stroke Patients”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 講演論文集 (SSI2017), 浜松, 2017 年 11 月.

湖上碩樹, Q. An, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 淺間一, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, F. S. Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎: 片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 講演論文集 (SSI2017), 浜松, 2017 年 11 月.

湖上碩樹, Q. An, 楊澤嘉, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 淺間一, 山崎弘嗣, Matti Itkonen, F. S. Alnajjar, 下田真吾, 服部憲明, 木野本誠, 高橋幸治, 藤井崇典, 乙宗宏範, 宮井一郎, “片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析”, 第 23 回創発システムシンポジウム講演資料, 諏訪, 2017 年 9 月.

N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, S. Shimoda, H. Asama, N. Hattori and I. Miyai, “Clarification of Muscle Synergy Structure During Standing-Up Motion of Healthy Young, Elderly and Post-Stroke Patients”, Proceedings of the 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), London (UK), 2017/Jul.

吉田和憲, Qi An, 四津有人, 千葉龍介, 高草木薫, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 淺間一, カロリックテストを用いた前庭感覚が起立動作の筋シナジーに与える影響の解明, 第 22 回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, 群馬, 2017 年 03 月.

吉田和憲, 安琪, 四津有人, 千葉龍介, 高草木薫, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 淺間一, 前庭感覚と視覚が起立動作の筋シナジーに与える影響の解析, 第 26 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集, 東京, 2017 年 3 月 (ライフサポート学会奨励賞受賞).

Q. An, 山川博司, 山下淳, 淺間一, 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・シンポジウム講演論文集, 調布, 2017 年 1 月.

Q. An, 山川博司, 山下淳, 淺間一, 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 ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2016 (オーガナイズドセッション), 大阪, 2016 年 11 月.

Q. An, H. Yamakawa, A. Yamashita and H. 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, Segovia (Spain), 2016/Oct.

Y. Ishikawa, Q. An, W. Wen, S. Ishiguro, K. Ohata, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita and H. Asama, “Auxiliary System to Identify Patterns of Patients with Hemiplegia for Transferring Skill of Rehabilitation with Walking Assist Robot”, Proceedings of the 4th International Conference on Serviceology (ICServ2016), Tokyo (Japan), 2016/Sep.

吉田和憲, Q. An, 石川雄己, 山川博司, 田村雄介, 山下淳, 淺間一, 起立動作において視覚情報の有無が 下肢の筋シナジーに与える影響の解析, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (RSJ2016), 1A3-05, 山形, 2016 年 9 月.

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/Jul. (Best Conference Paper Award Finalist).

N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita and H. Asama, “Muscle Synergy Analysis in Human Standing-up Motion Using Different Strategies”, Proceedings of the 1st International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2016), Tokyo (Japan), 2016/May.

〔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)研究分担者

研究分担者氏名：安 琪

ローマ字氏名：Qi An

所属機関名：東京大学

部局名：工学系研究科

職名：助教

研究者番号：70747873

研究分担者氏名：山下 淳

ローマ字氏名：Atsushi Yamashita

所属機関名：東京大学

部局名：工学系研究科

職名：准教授

研究者番号：30334957

#### (2)研究協力者

研究協力者氏名：石川雄己，楊 寧嘉，湖上 碩樹，吉田和憲

ローマ字氏名：Yuki Ishikawa, Ningjia Yang, Hiroki Kogami, Kazunori, Yoshida

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。