

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01405

研究課題名(和文)片麻痺患者への理学療法士の介入の解明とリハビリテーションシステムへの応用

研究課題名(英文)Clarification of Physical Therapists' Intervention for Hemiplegic Patients and Application to Rehabilitation Systems

研究代表者

安 ち (An, Qi)

九州大学・システム情報科学研究院・准教授

研究者番号：70747873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では脳損傷後に運動障害を抱えた片麻痺患者が行う起立動作を対象とした理学療法士の介入を定量的に調べ、それをリハビリテーションシステムへ応用した。その結果として理学療法士は片麻痺患者の麻痺側の膝と臀部に介入することで、関節の不足した力を補うのではなく、動作タイミングを教示することで運動機能の改善を促していることが分かった。さらにこの技能を活用した椅子型のリハビリ支援システムを製作しており、使用者の離殿タイミングに合わせて臀部や膝部に介入することで運動機能を改善させる機器の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のリハビリテーションでは理学療法士によって様々な介入がなされているが、それらは個人の暗黙的な経験に依存していたのに対して、本研究では理学療法士および片麻痺患者から生体信号を計測するためのセンサを取り付けることで、それらの定量化を行った。その結果として、新たに関節に対して力を支援するのではなく動作のタイミングを教示していることが分かった。本研究ではこれをさらに応用することで、新たに動作タイミングの教示を行うためのリハビリシステムの開発に取り組んでいる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we quantitatively investigated the interventions of physical therapists for sit-to-stand movements performed by hemiplegic patients with motor disabilities after brain injury, and applied them to a rehabilitation system. The results showed that the physical therapist intervened on the paralyzed side of the knee and hip of the hemiplegic patient, not to compensate for the lack of strength in the joint, but to teach the timing of the movement to improve the motor function. Furthermore, we have developed a chair-type rehabilitation support system that utilizes this intervention skill, and a device that improves motor functions by intervening on the hips and knees according to the user's release timing.

研究分野：ロボティクス

キーワード：片麻痺患者 起立動作 筋シナジー リハビリシステム

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の調査では、脳血管疾患の患者数は118万人に上り、その半数は片麻痺を発症し、様々な運動障害が残ってしまう。本研究において我々は日常生活動作の起点となる起立動作に着目し、「効果的なリハビリテーションシステムの開発において、片麻痺患者に対してどのように介入すれば機能が回復するか？」という問いを立てた。これに対して、実際の臨床現場に注目し、「理学療法士は患者の運動に適切なタイミングで介入し、共同発揮する筋群（筋シナジー）の活動を促進させ、運動機能を改善させているのではないか」という作業仮説を立て、これを検証し、その知見をリハビリテーションシステムに活用する。

実際のリハビリテーション（以下リハビリ）でも、ロボティクス技術を活用し、体重の一部を支えて運動を練習させ、患者に対して一定な軌道を教示するが、患者の状態、重症度は異なるため、必ずしも筋シナジーの活動を促進できない。しかし理学療法士は、患者を観察し、上体の前屈、離臀、身体伸展、姿勢制御のどこに難点があり、その原因が麻痺側にあるのか非麻痺側なのか、症状や原因を判断する。そして麻痺や回復の程度に応じて、実際の患者の運動に合わせて、徒手による運動の補助や誘導を行い、感覚入力を増強させ、運動の再学習を促進させる。このような患者に対する介入例を図1に示す。理学療法士は麻痺側の膝と臀部を把持し、運動に合わせて、膝や臀部に介入し運動を教示する。我々はこの介入は患者の症状に合わせて適切な筋シナジーの活動を促進させるのではないかと考え、理学療法士の介入を定量的に評価し、解明する。またこの介入動作をもとに、患者に応じた介入と運動教示を行うことができるリハビリシステムを構築する。



図1 理学療法士の介入例

2. 研究の目的

本研究では、以下の2点を達成すべき目的とする。

筋シナジーを適切に調整できない片麻痺患者に、理学療法士がどのように介入するかを定量的に調べ、患者の運動と筋シナジーがどのように変化するのか調査。

従来研究では、介入のない患者の運動のみが計測され、介入による動作の変化は調査されていない。また介入動作の計測と評価が困難なことから、症状や回復度合いが異なる患者に対して、理学療法士がどのように介入を変えているのか客観的に調べた研究はほとんどない。これに対して、我々の研究から片麻痺患者は筋シナジーの制御が難しいことが分かっており、重症度と回復度合いによって前屈、離臀、伸展、姿勢制御のどの筋シナジーの活動が難しいのかを調べる。そして重症度の異なる患者に対して、理学療法士がどの部位に、どのタイミングで、いかに介入しているのかを評価し、効果的な介入と患者における運動と筋シナジーの変化を調査する。これらは日本有数のリハビリ病院である森之宮病院と連携し、症状の異なる患者や同一患者の経時変化を網羅的に調べ、理学療法士が持つ、患者の状態に応じた介入を定量的に評価する。

患者の筋シナジーの状態に応じて、適切な介入をするリハビリシステムを実現。

従来のリハビリシステムでは、体重の一部を支えて、反復練習をさせるものや座位から立位へゆっくりと姿勢変換するものが多い。また異なる症状の患者に対して、画一的な運動の教示をしても、個人の症状に合わせた訓練にならず、自立につながる運動学習は成立しない。

本研究では1で得られた理学療法士の介入に関する知見をもとに、患者の状態に応じて介入が変化するリハビリシステムを構築する。また介入中には患者の運動に合わせて、支援が必要な身体部位（膝、臀部、腰もしくは麻痺側か非麻痺側か）や必要なタイミングにだけ介入することで、感覚入力を増強し、運動の方向性を教示する。これにより力による補助だけでなく、個々の患者の症状や回復の程度に合わせて、苦手とする筋シナジーの活動を促進するリハビリシステムを実現する。

3. 研究の方法

理学療法士と患者の計測および理学療法士の介入評価と患者に与える影響の解析

本研究では、理学療法士が患者の運動中に、どの身体部位に、どのタイミングで、どのように介入しているかを調べる。具体的にはモーションキャプチャによる上肢姿勢の計測、また筋電計によって上肢の伸筋・屈筋を計測し、介入中の力の方向や量、理学療法士の上肢の関節ステイフネスなどを調査する。一方で介入が患者に与える影響を調べるために、モーションキャプチャ、反力計、無線筋電計によって、身体軌道、力、筋活動を計測し、介入前と比べて、理学療法士の介入が重心や床反力、筋活動（筋シナジー）に与える影響を調べ、機能改善に寄与する介入を同

定する。これでは起立動作の各シナジーが弱った患者や、また同一被験者を経時的に計測し、症状や回復度の度合いが異なる患者に、理学療法士がどのように介入し、患者の運動がどう変化するのかを明らかにする。

リハビリシステムへの応用

本研究では1で明らかとなった理学療法士の介入(どの部位に、どのタイミングで、どのように力を加えるか)をリハビリシステムに応用する。ここでは日常生活空間においても活用ができるように、椅子型のリハビリ装置として設計し、臀部や膝部に異なる方向の力を伝えるようにする。理学療法士の介入を実現するために、圧センサによる患者の動作推定、推定した動作タイミングに合わせた座面による押し上げ量などを変更する。これらのパラメータや制御を設計することで、理学療法士の介入と同じように運動や筋シナジーの活動が改善するか検証する。

4. 研究成果

理学療法士の介入評価に関する研究成果

熟練した理学療法士の上肢のうちの7つの筋から筋活動を計測することで、片麻痺患者の立ち上がり動作中に臀部や膝部に対してどのように介入をしているかを調べた。肩関節や肘関節、手首関節の伸展と屈曲に寄与する筋と母指の把持に寄与する筋活動を計測したところ、熟練した片麻痺患者は片麻痺患者が離殿する前には膝を前方に引っ張っており、離殿タイミングに合わせて臀部を伸展させていることが分かった。ここでは特に関節の不足した力を補うのではなく、筋を刺激することで動作に介入している。

またこれらの介入が筋シナジーに与える影響を調査したところ、患者の重症度によって変化が異なることが分かった。特に運動障害が中等度な場合、筋シナジー2の活動が早くなったり、活動時間が短くなることが分かった。一方で運動障害が重度な群では、筋シナジー2の活動が短くなる被験者とそうならない被験者が存在することが分かった。さらにこの2群を比較した結果筋シナジー3の活動が大きく異なることが分かり、特に筋シナジー2の活動が短くならない被験者群では筋シナジー3の活動が長くなることが分かった。筋シナジー3は全身の伸展に寄与する筋シナジーで、これを適切に調節できる被験者はバランスを取りながら伸展が行えるため、理学療法士が介入した際にも身体を伸展する前段階の離殿動作が改善したものと考えられる。一方で、バランスがうまく取れない群では末梢などからの感覚刺激が十分でないために、筋シナジー3の活動が長くなっていると考えられ、このような群に対しては離殿動作に対する介入ではなく伸展動作の訓練が重要となる。

以上のことをまとめると、本研究の結果として、理学療法士が片麻痺患者の起立動作に介入するには離殿前に膝を引っ張り、離殿時には臀部を刺激して伸展を促すことが重要となる。また理学療法士が動作に介入をした結果、筋シナジーの活動が改善することが分かった。運動障害が中等度な群では、このような理学療法士の介入の結果では離殿に寄与する筋シナジー2の活動が改善する。一方で運動障害が中等度な群では同様に筋シナジー2が改善する被験者もいたものの、全身の伸展を行う筋シナジー3を適切に調節できない患者においては、筋シナジー2の活動は改善しないことが分かり、このような患者には全身の伸展を改善することが重要である。本研究ではこのように筋シナジーの活動からその患者に対して適切なリハビリテーション介入が提案できる可能性を示唆することができた。

リハビリシステムへの応用

本研究ではこれをさらに発展させ、片麻痺患者の立ち上がり動作の練習を行うためのリハビリシステムの開発を行った。ここでは、理学療法士が関節の不足した力を補うのではなく、動作のタイミングを教示することで筋シナジーの活動タイミングを改善する。これを参考に、本研究では椅子型の支援装置を開発し、被験者の離殿タイミングに合わせて臀部を押し上げることで離床動作を教示することとした。

実際に開発した機器を図2に示す。使用者が腰かける座面には圧センサが実装されており、着座時の圧中心を算出する。これによって使用者の動作を判別し、今立ち上がろうとする意図を検知する。それに対して、刺激部では使用者の臀部の一部を押し上げることで動作のタイミングを教示する。刺激部にはロードセルがついており、これによって刺激力を調節することができ、実際に理学療法士が患者の臀部を刺激する際の力を再現することができる。本研究では健常な若年者において機器の検証実験を行っており、理学療法士と同様の力で支援をすることが確認できた。

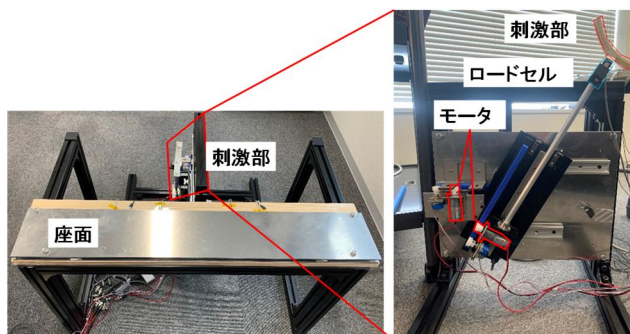


図2 開発したリハビリシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yang Ningjia, Shibata-Alnajjar Fady, Shimoda Shingo, Hattori Noriaki, Fujii Takanori, Otomune Hironori, Miyai Ichiro, Yamashita Atsushi, Asama Hajime, An Qi, Kogami Hiroki, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Takahashi Kouji, Kinomoto Makoto, Yamasaki Hiroshi, Itkonen Matti	4. 巻 27
2. 論文標題 Temporal Features of Muscle Synergies in Sit-to-Stand Motion Reflect the Motor Impairment of Post-Stroke Patients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering	6. 最初と最後の頁 2118 ~ 2127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNSRE.2019.2939193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yang Ningjia, Itkonen Matti, Shibata-Alnajjar Fady, Hattori Noriaki, Kinomoto Makoto, Takahashi Kouji, Fujii Takanori, Otomune Hironori, Miyai Ichiro, Yamashita Atsushi, Asama Hajime, An Qi, Kogami Hiroki, Yoshida Kazunori, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Shimoda Shingo, Yamasaki Hiroshi, Sonoo Moeka	4. 巻 5
2. 論文標題 Temporal Muscle Synergy Features Estimate Effects of Short-Term Rehabilitation in Sit-to-Stand of Post-Stroke Patients	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1796 ~ 1802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2969942	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamasaki Hiroshi R., An Qi, Kinomoto Makoto, Takahashi Kouji, Fujii Takanori, Kogami Hiroki, Yang Ningjia, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Itkonen Matti, Sonoo Moeka, Alnajjar Fady S.K., Yamashita Atsushi, Otomune Hironori, Hattori Noriaki, Asama Hajime, Miyai Ichiro, Shimoda Shingo	4. 巻 67
2. 論文標題 Organization of functional modularity in sitting balance response and gait performance after stroke	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical Biomechanics	6. 最初と最後の頁 61 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clinbiomech.2019.04.022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Kazunori, An Qi, Yozu Arito, Chiba Ryosuke, Takakusaki Kaoru, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Yamashita Atsushi, Asama Hajime	4. 巻 12
2. 論文標題 Visual and Vestibular Inputs Affect Muscle Synergies Responsible for Body Extension and Stabilization in Sit-to-Stand Motion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2018.01042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kogami Hiroki, An Qi, Yang Ningjia, Yamakawa Hiroshi, Tamura Yusuke, Yamashita Atsushi, Asama Hajime, Shimoda Shingo, Yamasaki Hiroshi, Itkonen Matti, Shibata-Alnajjar Fady, Hattori Noriaki, Kinomoto Makoto, Takahashi Kouji, Fujii Takanori, Otomune Hironori, Miyai Ichiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure During Standing-Up Motion of Hemiplegic Patients	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2229 ~ 2236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2018.2811050	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harry Eberle, Yoshikatsu Hayashi, Ryo Kurazume, Tomohiko Takei, Qi An	4. 巻 35
2. 論文標題 Modelling of Hyper-adaptability: from Motor Coordination to Rehabilitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Kogami, Qi An, Ningjia Yang, Ruoxi Wang, Kazunori Yoshida, Hiroyuki Hamada, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Shingo Shimoda, Hiroshi Yamasaki, Moeka Yokoyama, Fady Alnajjar, Noriaki Hattori, Kouji Takahashi, Takanori Fujii, Hironori Otomune, Ichiro Miyai, Atsushi Yamashita, Hajime Asama	4. 巻 35
2. 論文標題 Analysis of Muscle Synergy and Kinematics in Sit-to-stand Motion of Hemiplegic Patients in Subacute Period	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kazunori Yoshida, Qi An, Hiroyuki Hamada, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita, Hajime Asama	4. 巻 35
2. 論文標題 Artificial Neural Network that Modifies Muscle Activity in Sit-to-Stand Motion Using Sensory Input	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Hiroki Kogami
2. 発表標題 Assistive Chair to Support Hip Rising of Elderly People Improves Body Movement of Sit-to-Stand Motion
3. 学会等名 Workshop on Robot Control (WROCC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fady Alnajjar
2. 発表標題 The Effect of Visual, Auditory, Tactile and Cognitive Feedback in Motor Skill Training: A Pilot Study based on VR Gaming
3. 学会等名 Workshop on Robot Control (WROCC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qi An
2. 発表標題 Muscle Synergy Analysis of Human Sit-to-stand Motion for Understanding, Diagnosis and Assist
3. 学会等名 5th Joint UAE Symposium on Social Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Yamasaki
2. 発表標題 Analysis of Physiotherapy Effect on Sit-to-Stand Movement Dynamics after Stroke
3. 学会等名 Congress of the International Society of Biomechanics (ISB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qi An
2. 発表標題 Rehabilitation Intervention of Physical Therapists Improves Muscle Synergy during Standing-up Motion of Stroke Patients
3. 学会等名 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ningjia Yang
2. 発表標題 Clarification of Altered Muscle Synergies during Sit-to-stand Motion in Stroke Patients
3. 学会等名 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Kogami
2. 発表標題 Effect of Physical Therapy on Joint Angle of Hemiplegic Patients during Standing-up Motion
3. 学会等名 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Kogami
2. 発表標題 Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure during Standing-up Motion of Hemiplegic Patients
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qi An
2. 発表標題 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
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 湖上碩樹
2. 発表標題 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
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ruoxi Wang
2. 発表標題 Muscle Tension Analysis in Stroke Patient Sit-to-Stand Motion by Joint Torque-Based Normalization
3. 学会等名 International Conference on Neurorehabilitation (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	下田 真吾 (Shimoda Shingo) (20415186)	国立研究開発法人理化学研究所・脳神経科学研究センター・ ユニットリーダー (82401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	浅間 一 (Asama Hajime) (50184156)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	宮井 一郎 (Miyai Ichiro) (60510477)	社会医療法人大道会(神経リハビリテーション研究部)・神経リハビリテーション研究部・部長 (94407)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関