

令和 4 年 4 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19594

研究課題名（和文）運動器総合強化のための空気圧式全身運動トレーニング装置の開発

研究課題名（英文）Development of pneumatic whole-body training devices for comprehensive strengthening of motor system

研究代表者

宮崎 哲郎（Miyazaki, Tetsuro）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：60734481

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人の運動機能を筋力系（力の強さ）と神経系（反応の速さ）の観点から総合的に強化するための空気圧式全身運動トレーニング装置を開発した。駆動には空気圧ゴム人工筋を用い、柔軟で安全かつ予測困難な負荷を与えることで筋力系と神経系を強化する。本研究期間で、ロボットスーツ型装置と没入型装置を開発した。

スーツ型装置の効果検証実験では、走行時の脚部負荷を低減させることを目標とし、脚部筋電位を計測し、提案する走行支援の有効性を確認した。

また、没入型装置では人工筋8本を運動者腰部へ接続し、前後左右の負荷を与える実験を行った。装置を用いた被験者群で身体揺動が低減し、装置の訓練効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、本研究で提案する空気圧式全身運動トレーニング装置の有効性が、今回実施した基礎実験により示唆された。この成果をたたき台とし、今後はより複雑な空間運動、例えば競技スポーツの技術指導などへ提案装置が適用可能かなど、引き続き研究を継続していく予定である。提案装置のようなロボットを活用したトレーニングが今後盛んになれば、ロボット分野とスポーツ分野を融合させた新たな研究領域の開拓へ繋がると考えられる。

また、社会的意義として、従来のトレーニングでは難しかった、訓練者の全身複数箇所へ安全に負荷を与える装置が実現した。これにより、高齢者の健康維持や、アスリートの練習・けが予防へ貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：We developed pneumatic whole-body training devices for comprehensively strengthening a motor system from the viewpoint of a muscular system (force strength) and nervous system (reaction speed). Pneumatic artificial muscles (PAMs) are used as actuators, and the muscular system and nervous system are strengthened by applying a flexible, safe, and unpredictable load. During the research period, we developed a robot suit-type device and an immersive-type device. In the performance verification experiment of the suit-type device, we set the goal to reduce the leg load during running and measured the leg myoelectric potential to confirm the effectiveness of the proposed running support.

In the immersive-type device, eight PAMs were connected to the waist of the trainee, and we carried out an experiment in which a load was applied to the front, back, left, and right. Body swing was reduced in the group of subjects who used the device, and we confirmed the training effect of the device.

研究分野：ロボット工学

キーワード：空気圧式全身運動トレーニング装置 運動器総合強化 筋力系トレーニング 神経系トレーニング 力学提示による運動教示

1. 研究開始当初の背景

高齢者が要支援・要介護となる原因の25%は運動器障害が原因[1]であり、適度な運動習慣を身に着けることが健康長寿社会を実現するために重要である。健康ブームを背景に、幅広い年齢層のトレーニング需要が高まっている。トレーニングでは運動器のうち筋力系(力の強さ)と神経系(反応の速さ)を強化する[2]。例えば、重りを用いた筋力系トレーニングや、トレーナーなどと協力して行う神経系トレーニングなどがある。ただし、これら従来のトレーニング方法は種目ごとに細分化され、筋力系と神経系も個別の訓練を必要とする。また、従来法は単純動作の反復で局所的な部位を鍛えるものが多く、全身強化には多種目の訓練が必要である。

2. 研究の目的

本研究課題では、運動器総合強化のための空気圧式全身運動トレーニング装置を開発し、これを用いた新しいトレーニング方法を提案する。また、提案方法の有効性を、被験者を募った実験により検証する。駆動には空気圧ゴム人工筋を用い、柔軟で安全な負荷を与える。人工筋の収縮力を制御し、予測困難な負荷を与えることで筋力系と神経系を総合的に強化する。具体的には、ロボットスーツ型装置と没入型装置という立体的な全身運動の高負荷トレーニングが可能な装置を開発する。また、人工筋は制御次第で補助力も出力可能であるため、提案装置を用いた力覚提示による全身運動教示も可能である。これにより、効率的な全身の運動器強化を実現する。提案方法により、高齢者には安全な全身トレーニングによる健康な身体づくりに本装置を利用いただき、アスリートには実践感覚に近い全身運動の練習方法を提供し、競技能力の効率的な向上と怪我予防に貢献するといった波及効果が期待できる。

3. 研究の方法

本研究では、ロボットスーツ型装置(図1)と没入型装置(図2)を開発した。これら提案装置は、従来方法の課題のうち主に、運動を単純反復動作に制限、全身強化に多目的訓練が必要、の2点を解決する。

ロボットスーツ型装置では運動者の身体に密着するように人工筋を装着する。人工筋は軽量柔軟かつ高出力であるため、人体に直接装着する用途に適しており、安全で効果的なトレーニングが可能である。人工筋の収縮力を制御し、運動者の関節に外力トルクを与えることで、運動者が自身の身体を理想的に動かすための全身の運動器を強化する。ロボットスーツ型装置の適用事例候補としては、歩行、走行、ジャンプなど、主に個人で行う運動のトレーニングが想定される。本研究の期間では、とくに走行への適用にフォーカスし、実験検証を行った。走行トレーニングのシナリオとして、高齢者など健康な運動機能の維持を望む訓練者を対象とし、脚部負荷を調整可能とするように人工筋を制御・駆動する。歩容動作中のスーツ駆動部圧力から歩容状態を推定・判別するアルゴリズムを実装し、歩容ごとにアシスト力を適切に制御することで、装着者脚部の負荷を調整する方法を提案した。

次に、没入型装置について説明する。没入型装置では固定された剛体フレームと運動者身体の間を複数の人工筋で接続する。この装置により運動者に複数方向から引張りの負荷を与えることで、任意の外力を受けながら全身のバランスを保ちつつ目的の運動を行うトレーニングが可能となる。また、人工筋の本数や固定位置を変えることで、運動者のあらゆる身体部位のトレーニングが可能になると考える。没入型装置の適用事例候補としては、団体競技やタックルスポーツなど、主に接触を伴う対人競技のトレーニングを想定している。本研究の期間では、最初の実験として片脚立ちバランス、バランスボードでの両脚立ち、両脚立ちタンデム、の3種類の実験を実施した。これらはいずれも立位時に突然外力を受けたときのバランス維持能力を向上させることを目的としたトレーニングである。片脚立ちバランスと両脚立ちタンデムでは、ランダムなタイミングで前後左右のいずれかの方向から予測が難しい外力を与えた。バランスボードトレーニングでは、ボードをなるべく水平に維持することを目標タスクとし、ボードが傾いたときに人工筋の引張力を訓練者に与えて支えることで、ボードの傾き状態を訓練者へ力覚的に提示した。

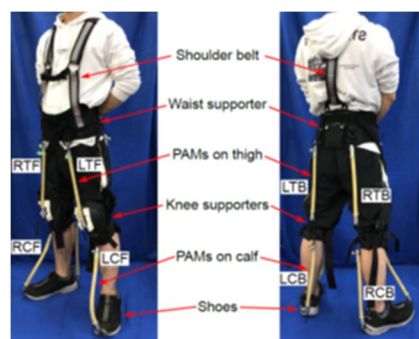


図1 ロボットスーツ型装置

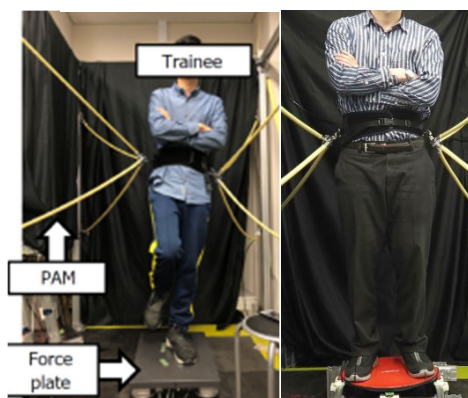


図2 没入型装置

(左:片脚立ちバランス, 右: バランスボードトレーニング)

本研究の期間では、最初の実験として片脚立ちバランス、バランスボードでの両脚立ち、両脚立ちタンデム、の3種類の実験を実施した。これらはいずれも立位時に突然外力を受けたときのバランス維持能力を向上させることを目的としたトレーニングである。片脚立ちバランスと両脚立ちタンデムでは、ランダムなタイミングで前後左右のいずれかの方向から予測が難しい外力を与えた。バランスボードトレーニングでは、ボードをなるべく水平に維持することを目標タスクとし、ボードが傾いたときに人工筋の引張力を訓練者に与えて支えることで、ボードの傾き状態を訓練者へ力覚的に提示した。

4. 研究成果

(1) スーツ型装置の走行実験

ロボットスーツ型装置では、装着者身体に外力を加える人工筋の内圧変化をスーツ部分から離れた場所にある圧力センサで計測し、歩容状態を推定することで、適切なタイミングで PAM を駆動する。走行の歩容フェーズを検知するために、どの PAM の内圧計測が適当か、脚リンクモデルを用いた運動学解析により決定した。解析の結果、前脛部の PAM 変位が最大となり、これを検知に使用した。

提案する走行アシストの有効性を検証するために、被験者を募集して実験計測を行った。本実験では、脚部負荷を軽減するように人工筋の収縮力を調整した。図 3 に走行アシスト実験の様子を示す。走行一周期の様子が図示されており、右脚の各 PAM を囲む赤枠は PAM に圧力が印加されている時間区間を示す。マニュアルトレッドミルの上で、運動者 4 名が時速 8 km で 100 歩(50 周期)走るときの脚部筋活動を表面筋電計で計測した。アシストありの筋活動量データと、アシストなしのデータを比較し、これらに統計的な有意差が生じるかを Welch の t-test で検定した。計測結果を図 4 に示す。4 人の被験者 (Trainee 1 から 4) の左脚大腿部と下腿部の正面と背面 (LTF, LTB, LCB, LCF) に筋電計の電極 4 つを配置し、部位ごとの筋活動量を計測した。各マスの中の数値について説明する。マス上部の数値はアシストなしの結果とアシストありの結果の平均値の差であり、負の値 (青色系) であればアシストによって筋活動量平均値が減少したことを示し、逆に正の値 (赤色系) では増加を示す。色の濃さは差の大きさを示す。括弧で囲まれた下部の数値は、左がアシストなしの筋活動量平均値、右がアシストありの筋活動量平均値である。上部数値の横の記号*と**は両側検定において有意水準 5%と 1%で統計的な有意差があることを示し、n.s.は有意差がないことを示す。今回計測した全 16 チャンネルのうち、14 チャンネルの結果でアシストによる筋活動量の有意な減少が見られたことで、提案する走行アシスト方法の有効性が定量的に示されたと考える。

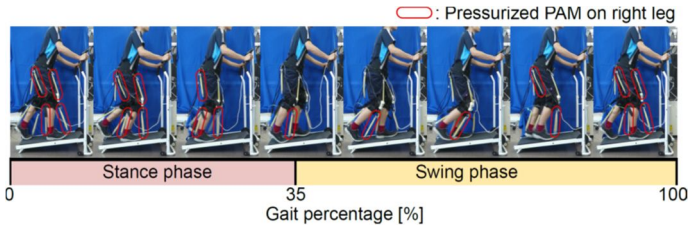


図 3 走行アシスト実験の様子

(b)	LTF	LTB	LCB	LCF
Trainee 1	-9.2 ** (53.4 → 44.2)	-12.2 ** (45.7 → 33.5)	-3.5 ** (25.9 → 22.4)	-15.2 ** (30.6 → 15.4)
Trainee 2	-80.3 ** (123.6 → 43.3)	-64.1 ** (130.9 → 66.8)	-4.3 ** (55.3 → 51.0)	-1.4 ** (21.5 → 20.1)
Trainee 3	+4.8 n.s. (86.6 → 91.4)	-10.7 ** (39.8 → 29.1)	-10.5 ** (59.2 → 48.7)	-17.1 ** (49.0 → 31.9)
Trainee 4	-5.7 ** (80.0 → 74.3)	-8.7 ** (33.6 → 24.9)	+2.7 * (32.8 → 35.5)	-7.7 ** (36.5 → 28.8)

%MVC [%]

図 4 脚部筋電位計測結果

(2) 没入型装置のバランストレーニング実験

バランスボードトレーニングの実験結果について説明する。運動者は不安定なボードの上に立ち、ボードを大きく傾けないように姿勢を維持しようとする。フォースプレートの上にバランスボードを置き、ボードの周囲 4 隅に押しボタンスイッチを設置した。運動者のバランス評価のために、ボードとフォースプレートの接触点にかかる力とトルクの時系列データを測定し、データの標準偏差を身体の揺れ量として評価した。訓練生がボードを大きく傾けると、ボードの端が 1 つまたは 2 つのボタンを押し、ボードがボタンから離れるまで PAM が収縮し運動者を支える。PAM によってボードの傾斜を運動者に力覚的に知らせることで、運動者は元の直立姿勢に素早く復帰できる。このトレーニングを繰り返すことで、ボードが傾かないようにバランスを保つ方法を効率的に習得できると考えた。提案装置を用いた訓練と装置を用いない訓練の 2 つの方法で測定を行い、これらの結果を比較した。被験者数は各グループ 5 名とした。10 回の測定を行い各試行で標準偏差を求め、試行回数に対する標準偏差の傾きを計算し、グループ間で傾きを比較した。実験結果を図 5 に示す。縦軸は傾きの値、横軸は各グループの力とトルクの各軸成分を表す。太いバーは傾きの平均値、細いバーは傾きの標準誤差を表す。緑と青の色は、PAM の接続がある場合とない場合を示す。記号*および**は、両側検定を使用して有意水準 10 および 5% で値が統計的に有意に異なることを示す。力とトルクのすべての結果で、標準偏差の傾きは従来方法よりも提案方法のグループの方が大きかった。これらの結果から、提案した訓練方法は従来方法よりも短時間でより効率的に練習効果を得られる可能性が示唆された。

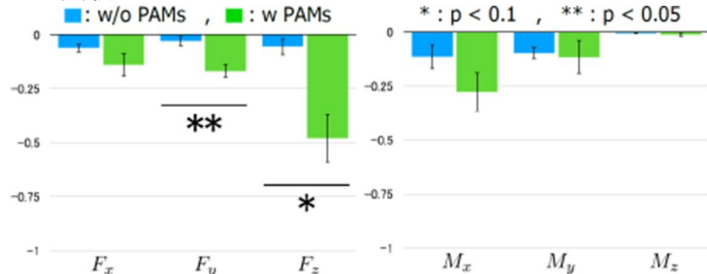


図 5 試行回数に対する計測データ標準偏差の傾き

<引用文献>

“平成 25 年版厚生労働白書”，厚生労働省。

“Movement: Functional Movement Systems”，Gray Cook, Lotus Pub.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miyazaki Tetsuro, Kawase Toshihiro, Kanno Takahiro, Sogabe Maina, Nakajima Yoshikazu, Kawashima Kenji	4. 巻 9
2. 論文標題 Running Motion Assistance Using a Soft Gait-Assistive Suit and Its Experimental Validation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 94700 ~ 94713
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3093209	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 林 滉之, 川瀬 利弘, 宮崎 哲郎, 菅野 貴皓, 中島 義和, 川嶋 健嗣
2. 発表標題 空気圧リザーバコンピューティングを用いた人工筋アシストスーツの複数関節動作推定
3. 学会等名 計測自動制御学会 2020年度産業応用部門大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Soichiro Ito, Tetsuro Miyazaki, Junya Aizawa, Toshihiro Kawase, Maina Sogabe, Takahiro Kanno, Yoshikazu Nakajima, Kenji Kawashima
2. 発表標題 Development of a Whole Body Training Device by Multi-directional Force Input Using Pneumatic Artificial Muscles
3. 学会等名 The JFPS International Symposium on Fluid Power HAKODATE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshihiro Kawase, Tomoya Nakanishi, Shintaro Yoshida, Shingo Ohno, Ryo Sakurai, Tetsuro Miyazaki, Takahiro Kanno, Maina Sogabe, Yoshikazu Nakajima, Kenji Kawashima
2. 発表標題 Development of Bidirectional Arm Curl Machine Using Pneumatic Artificial Rubber Muscles
3. 学会等名 The JFPS International Symposium on Fluid Power HAKODATE 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 琢朗, 宮崎 哲郎, 曾我部 舞奈, 川嶋 健嗣, 川瀬 利弘, 中島 義和
2. 発表標題 空気圧式全身運動トレーニング装置を用いたタンDEM立位訓練
3. 学会等名 令和3年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮崎哲郎, 川嶋健嗣
2. 発表標題 空気圧駆動式パワーアシストデバイスおよびトレーニングシステムの研究
3. 学会等名 第26 回フルードパワー国際見本市 カレッジ研究発表展示コーナー
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 宮崎哲郎, 川瀬利弘, 曾我部舞奈, 川嶋健嗣	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 9
3. 書名 バイオインダストリー(担当:分担執筆, 範囲:pp. 64 - 72)	

〔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
研究協力者	川嶋 健嗣 (Kawashima Kenji)	東京大学・情報理工学系研究科・教授 (12601)	

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
研究協力者	川瀬 利弘 (Kawase Toshihiro)	東京電機大学・工学部情報通信工学科・准教授 (32657)	
研究協力者	大野 信吾 (Ono Shingo)	株式会社ブリヂストン	
研究協力者	相澤 純也 (Aizawa Junya)	順天堂大学・保健医療学部理学療法学科・先任准教授 (32620)	

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