

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11308

研究課題名(和文) 大腿義足歩行・走行時に生じる代償動作改善を目指した装着型機器の開発と評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of a wearable device for improvement of compensatory movements during walking and running with a trans-femoral prosthesis

研究代表者

勝平 純司 (KATSUHIRA, JUNJI)

東洋大学・福祉社会デザイン学部・教授

研究者番号：00383117

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)：本研究の目的は大腿切断者の歩行時において体幹と骨盤のアライメントを修正する装着型機器と歩行時の骨盤と体幹のアライメントに対してフィードバックを与える機器の開発を行い、その効果を検証することである。方法として、大腿切断者の歩行を計測し、骨盤と体幹に生じる代償動作について分析した。分析結果より、通常の体幹装具よりも弱い矯正力を持ちつつフィードバックが可能な装着型機器の開発に着手し、装着型機器と慣性センサーおよびiPadのアプリケーションからなるシステムを制作することができた。10名の大腿切断者に対して開発した装着型機器を装着させてその効果を三次元動作分析を用いて評価することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大腿切断者の歩行分析のデータに基づいた装着型フィードバック機器とアプリを製作することができ、開発した機器が大腿切断者の歩行時の体幹と骨盤の三次元的な運動学に変化を与えることがわかった。今回は大腿切断者を対象として研究を行ったが、本システムは他の体幹や骨盤に異常や代償がみられる疾患についても活用できる可能性がある。機能を整理した上で本システムを実用化したいと考えており、その可能性は高いと考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a wearable device that can modify the alignment of the trunk and pelvis during the walking of a transfemoral amputee by giving feedback on these segments and verifying their effect. As a method, we measured the gait of the transfemoral amputee and analyzed the compensatory movements occurring in the pelvis and trunk. Based on the results of the analysis, we developed a wearable device that has a weaker corrective force than normal trunk braces and is capable of providing feedback on the pelvis and the trunk. The developed wearable device was worn on 10 transfemoral amputees, and the effect was evaluated using a three-dimensional motion analysis system.

研究分野：人間工学 バイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス 装着型機器 義足歩行 フィードバック

1. 研究開始当初の背景

大腿切断者は歩行を獲得する際もしくは歩行を獲得した後の日常生活において体幹や骨盤に代償が生じるため健常者と異なる歩容になる。体幹には頭部と両上肢が接合しており、骨盤を含めると身体全体の質量の中で約70%を占めるため、歩行時の体幹と骨盤に代償が生じることで大腿義足歩行は大きな影響を受ける。負担が少なくエネルギー効率の良い歩行を実施するためには、下肢のみならず骨盤や体幹を含めた歩容に着目することが必要となるが、大腿切断者の歩行は代償動作を伴うため断端のみならず腰などの関節に偏った負荷が生じて、二次障害を発生させる原因にもなっている。実際に先行研究においても切断者の腰痛や変形性関節症の発症率は高いことが報告されており[1]、二次障害が生じることでさらなる歩容の悪化が生じ、義足アスリートにとっては選手寿命を絶たれることにもつながってしまう。

大腿切断者の歩行において理学療法士や義肢装具士等の専門家による代償動作に対する監視やフィードバックが有効である。先行研究において大腿切断者に対する4週間のバランスおよび歩行トレーニングが大腿切断者の歩行における骨盤と体幹に対するポジティブな運動学的変化をもたらしたと報告されている[2]。しかしながら、常に専門家から監視やフィードバックを受けた状態でトレーニングを続けることは難しく、あくまでも病院やリハビリテーション施設等の限られた環境下でトレーニングを実施することが必要になる。また、骨盤や体幹に意識を向けつつ歩行やトレーニングを実施することは容易ではない。

代表者は2011年~2016年の科研費を受けて、体幹と骨盤のアライメントを修正する装着型機器を開発し、高齢者や疾患患者において装着による効果が先行研究において示されている[3-5]。本研究研究計画を立案する前段階において、体幹と骨盤のアライメントを修正する装着型機器を装着した状態で大腿切断者に歩行させることで、歩容が改善するという仮説を立てて実験を実施した(図1)。歩行時に代償動作として体幹の前傾が生じる者では装着が有効であったが、代償動作として腰椎前弯の増強が生じる者では装着によって腰椎の前弯がさらに増強される結果となった。また、大腿義足歩行に特有の体幹側屈が軽減できないケースもみられた。上記より、代償動作が生じる機序を明確にした上で新たな装着型機器やフィードバック方法を開発する必要があるという考えに至った。

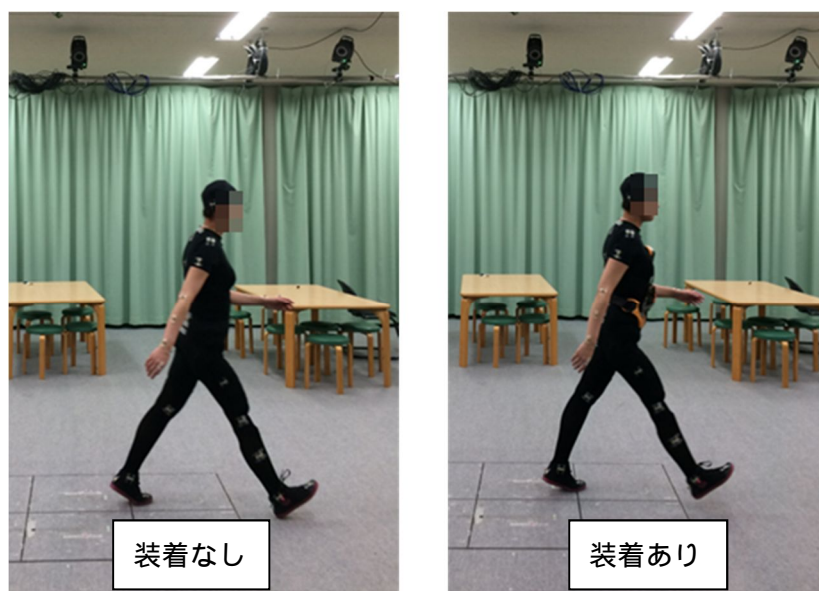


図1 骨盤と体幹アライメントを修正する装着型機器の有無による大腿切断者の歩行

2. 研究の目的

本研究では大腿切断者の歩行時において体幹と骨盤のアライメントを修正する装着型機器と歩行時の骨盤と体幹のアライメントに対してフィードバックを与える機器の開発を行い、その効果を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

まず事前計測として切断者の骨盤と体幹に生じる代償のパターンを理解するために、2名の大腿切断者の歩行を計測した。その後、計測したデータと健常者の体幹と骨盤の運動学的データと大腿切断者の体幹と骨盤に生じる代償動作のパターンを参考にして、装着型機器とフィードバック機器を製作した。製作したフィードバック機能を具備した装着型機器が大腿切断者10名の歩行に与える効果を体幹と骨盤を中心に分析し、評価した。

3.1 事前計測

(1) 対象

大腿切断者 2 名が実験に参加した。いずれも切断から 5 年以上が経過しており、大腿義足の膝継手として Ottobock 社の 3R80 を使用していた。切断原因は両名共に外傷だった。計測は新潟医療福祉大学倫理審査委員会の承認 (18204-190607) を得て実施した。

(2) 実験方法

計測には赤外線カメラ 12 台で構成される三次元動作分析装置 (VICON 社製) を用い、6 枚の床反力計 (AMTI 社製) を同期させて計測を実施した。身体には全身 42 か所に赤外線反射マーカを貼付した。赤外線カメラによって赤外線反射マーカの三次元座標を取得し、体幹、骨盤、下肢三関節の関節角度をオイラー角を用いて算出した。赤外線反射マーカの座標位置と床反力計から得られる床反力および床反力作用点の情報を組み合わせた逆動学的な分析によって下肢三関節のモーメントとパワーを算出した。

事前計測では大腿切断者の体幹と骨盤の運動学的な変化と健常者の体幹と骨盤の運動学的な変化の比較を実施した。

(3) 実験結果

上記の事前計測の結果から、健常者の正常な骨盤と体幹の運動学的な変化と比較して切断者 1 は歩行周期において骨盤前傾を伴って体幹も前傾する歩行パターンであり、切断者 2 については骨盤が前傾するが体幹は伸展する歩行パターンであった。

3. 2 装着型機器の開発と評価

(1) 開発した機器の詳細

先行研究や事前計測の結果からこれまで代表者らが開発した骨盤前傾、体幹伸展を促す装着型機器の使用では骨盤前傾、体幹前傾を伴う対象者については一定の効果を発揮するものの、骨盤前傾、体幹伸展を伴う対象者については別のアプローチが必要であるという結論に至った。しかし、装着型機器によるサポートする力のみでこの相反する姿勢を改善させることは困難であった。したがって、装着型機器が発揮するサポート力とセンサーによるフィードバックを組み合わせることで、姿勢を修正するフィードバック機能を有する装着型機器の開発に着手した。

開発した機器の詳細を図 2 に示す。今回開発した装着型機器の特徴としてサポート力が軽微である点が挙げられる。代表者らが先行研究において開発した装着型機器とサポートする方法は似ているが、骨盤と体幹へのサポート力は約 1/3 程度に抑えられている。対象者の背部と骨盤後面に 2 つの慣性センサーが配置され、iPad と Bluetooth を介して接続されている。体幹と骨盤の矢状面と前額面上の傾斜はリアルタイムでモニターされ、任意に設定した範囲を超えると iPad から警告音がでる仕組みになっている。装着型機器単体の姿勢修正効果は非常に軽微であるが、フィードバックによる気づきを組み合わせることで自身の姿勢を修正するというコンセプトになっている。

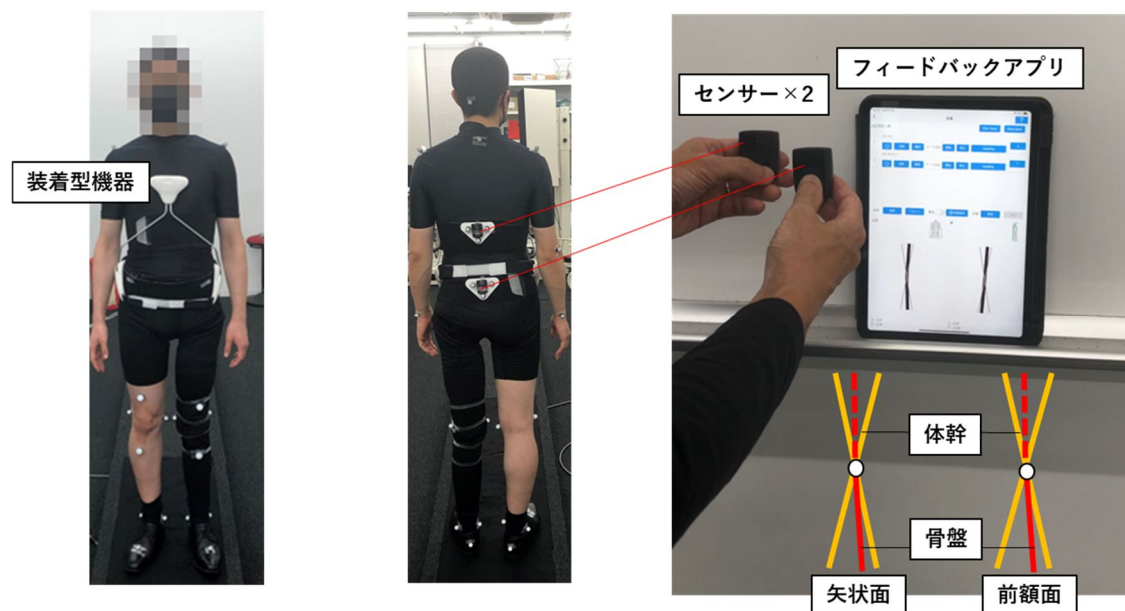


図 2 開発した装着型機器とフィードバック機器の詳細

(2) 対象

開発した装着型フィードバック機器の評価に参加した対象者の属性を以下示す。10 名の大腿切断者を対象に評価を実施した。切断原因は 1 名が感染、3 名が外傷、6 名が悪性腫瘍であった。使用した大腿義足の膝継手は Ottobock 社の 3R80 が 5 名、3R95 が 2 名、Genium が 1 名、Nabtesco

社の ALLUX が 1 名、OSSUR 社の TK2000 が 1 名であった。平均年齢は 34.2 ± 10.32 歳、体重は $60.7 \text{ kg} \pm 6.19$ 歳、身長は $1.67 \text{ cm} \pm 0.06$ 歳であった。計測は東洋大学ライフデザイン学部倫理審査委員会の承認 (L2022-006S) を得た上で、UMIN 登録 (000048390) の後に実施した。

(3) 実験方法

計測には赤外線カメラ 7 台で構成される三次元動作分析装置 (VICON 社製) を用い、3 枚の床反力計 (AMTI 社製) を同期させて計測を実施した。身体には全身 42 か所に赤外線反射マーカを貼付した。運動学、運動力学的データの算出方法については事前計測と同様である。赤外線反射マーカの座標位置と床反力データを組み合わせて、歩行速度、歩隔、義足側立脚時間、ステップ長、ステップ時間、ストライド長、遊脚時間を算出した。

実験条件として、まず何も装着をしない通常の義足歩行を実施した後、1) 装着型機器のみを装着した歩行、2) フィードバックセンサーのみを装着した歩行、3) 装着型機器とフィードバックセンサー両方を装着した歩行の条件をランダムに組み合わせ、いずれも 3 試行が正常に計測できるまで計測を繰り返した。歩行周期を義足側最初の両脚支持期 (ローディングレスポンス)、単脚支持期 (ミッドスタンスとターミナルスタンス)、2 回目の両脚支持期 (プレスウィング)、遊脚期の 4 相にわけた上で、各層のピーク値を抽出して代表値とした。統計解析には Friedman 検定を用い、有意水準は 5% とした。

(4) 実験結果

歩行の時間距離因子については 4 条件間で主効果が認められなかった。下肢三関節のパラメータにおいては、立脚期における矢状面上の足関節角度、モーメントおよびパワーに主効果が認められた。骨盤と体幹の 4 条件の比較を図 3 に示す。緑が通常の歩行、赤がフィードバックセンサーのみを装着した歩行、青が姿勢を修正する装着型機器のみを装着した歩行、黒がフィードバックセンサーと姿勢を修正する装着型機器両方を装着した結果を示している。体幹と骨盤角度には立脚期、遊脚期を通して主効果が認められ、直接的なフィードバックを与えた矢状面上と前額面上の体幹と骨盤の変化よりも今回フィードバックを与えていなかった水平面上の体幹と骨盤の変化が最も大きな影響を受けており、各相において最も多く主効果が認められ、体幹と骨盤ともに回旋角度が小さくなる傾向を示した。一方で矢状面上において主効果がみとめられた相はローディングレスポンスの際の骨盤角度のみであった。

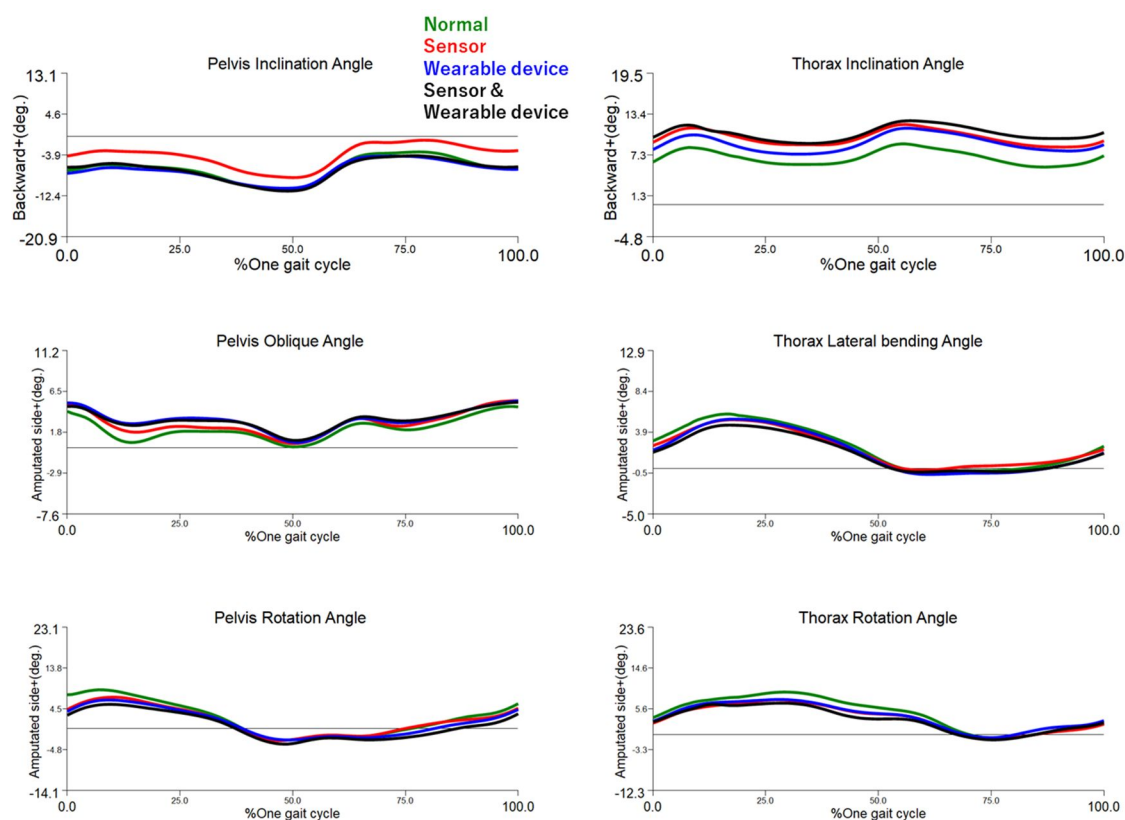


図 3 4 条件間における体幹と骨盤の運動学的変化の比較

3.3 装着型機器の改良

上記の結果を受けて、フィードバックを与える姿勢修正機器には一定の効果があることが分かったため、装着の容易性等を向上させた改良版の機器を製作した。改良版の機器の仕様や詳細については特許や実用新案等の知財等に関連する可能性があるため、知財関連の可能性を整理

した上で学会や学術誌で公表する予定である。

4. 研究成果

本研究の目的は大腿切断者の歩行時において体幹と骨盤のアライメントを修正する装着型機器と歩行時の骨盤と体幹のアライメントに対してフィードバックを与える姿勢修正機器の開発を行い、その効果の検証を実施することであった。結果として、大腿切断者の歩行分析のデータに基づいた装着型フィードバック機器を製作することができ、開発した機器が大腿切断者の歩行時の体幹と骨盤の三次元的な運動学に変化を与えることがわかった。今回は大腿切断者を対象として研究を行ったが、本システムは他の体幹や骨盤に異常や代償がみられる疾患についても活用できる可能性がある。機能を整理した上で本システムを実用化したいと考えており、その可能性は高いと考えている。

本研究は当初スプリントを含む走行時の骨盤と体幹アライメントの修正も対象としていたが、ブレードの調達やコロナ禍の影響を受けた実験環境の構築の問題などによって、実験的な評価はできなかった。しかしながら、開発したフィードバックを与える姿勢修正機器はジョギング程度の走行であれば、活用できることは確認済みである。スプリントへの対応については今後検証をすすめていく予定である。

謝辞

本研究は鉄道弘済会義肢装具サポートセンターの岩下航大氏と大野祐介氏両名の研究協力を得て行われた。

参考文献

- [1] A.J. Yoder, A. Silder, S. Farrokhi, C.L. Dearth, B.D. Hendershot, Author Correction: Lower Extremity Joint Contributions to Trunk Control During Walking in Persons with Transtibial Amputation, *Sci. Rep.* 9 (2019) 16999.
- [2] S. Persine, S. Leteneur, C. Gillet, J. Bassement, F. Charlaté, E. Simoneau-Buessinger, Walking abilities improvements are associated with pelvis and trunk kinematic adaptations in transfemoral amputees after rehabilitation, *Clin. Biomech.* 94 (2022) 105619.
- [3] S. Iijima, A. Ito, J. Katsuhira, T. Nomura, H. Maruyama, Effects of a Trunk Brace with Joints that Provides a Resistive Force to Modify Pelvic Alignment During Level Walking in the Elderly, *J. Japan. Phys. Therapy Assoc.* 18 (2015) 44-44.
- [4] J. Katsuhira, N. Miura, T. Yasui, T. Mitomi, S. Yamamoto, Efficacy of a newly designed trunk orthosis with joints providing resistive force in adults with post-stroke hemiparesis, *Prosthet. Orthot. Int.* 40 (2016) 129-136.
- [5] J. Katsuhira, S. Yamamoto, N. Machida, Y. Ohmura, M. Fuchi, M. Ohta, S. Ibayashi, A. Yozu, K. Matsudaira, Immediate synergistic effect of a trunk orthosis with joints providing resistive force and an ankle-foot orthosis on hemiplegic gait, *Clin. Interv. Aging.* 13 (2018) 211-220.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 勝平純司
2. 発表標題 大腿義足歩行時の姿勢を補助する 装着型機器に求められる要素
3. 学会等名 第37回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本貴也、柳澤翔太、勝平純司
2. 発表標題 大腿義足歩行における異なる膝継手の設定が腰部負担に与える影響
3. 学会等名 第19回新潟医療福祉学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝平純司
2. 発表標題 義肢・装具のアウトカム評価におけるウェアラブルデバイスの可能性
3. 学会等名 第38回日本義肢装具学会学術講演会（シンポジウム）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 勝平純司
2. 発表標題 バイオメカニズムが社会の身近な存在となることを目指して
3. 学会等名 第43回バイオメカニズム学術講演会（シンポジウム）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 勝平純司
2. 発表標題 計測機器を用いた動作分析を簡便かつ正確に実施する方法の紹介-動作分析の臨床応用を目指して
3. 学会等名 第43回臨床歩行分析研究会定例会（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2022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	四津 有人 (Yozu Arito) (30647368)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	郷 貴博 (Go Takahiro) (10782675)	新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・講師 (33111)	
研究分担者	高橋 素彦 (Takahashi Motohiko) (30734058)	東洋大学・ライフイノベーション研究所・客員研究員 (33111)	
研究分担者	東江 由起夫 (Agarie Yukio) (90460328)	新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授 (33111)	

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
---------	---------