

機関番号：82404

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700569

研究課題名（和文）大腿義足による階段上昇動作の解析と歩行訓練への応用

研究課題名（英文）

Development of gait rehabilitation for stair ascent in transfemoral amputees

研究代表者

保原 浩明 (HOBARA HIROAKI) 国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・
研究所 運動機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号：40510673

研究成果の概要（和文）：大腿義足では階段を昇れない— こうした認識を覆す、卓越した運動機能を有する切断者がごく少数ながら存在する。補助器具や外部動力源を一切使わない彼らがなぜ階段を昇れるのか？本研究の結果、こうした大腿切断者は昇段時に下肢関節を巧みに協調させ、義足肢の膝折れを防止し、クリアランスを獲得していることが明らかとなった。この結果を他の切断者にフィードバックした結果、計3名の大腿切断者が昇段可能となった。本研究の成果は大腿切断者の階段歩行リハビリテーションの基礎となりうる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the lower extremity joint kinematics of transfemoral amputees who can climb stairs in a step-over-step manner. Four traumatic transfemoral amputees and 10 control participants climbed stair in step-over-step manner. Sagittal plane joint kinematics recorded at 60 Hz using an eight-camera motion analysis system and digital video camera. All transfemoral amputees used a single-axis prosthetic knee joint in daily living. From the instant of touchdown, the prosthetic knee joint was rapidly extended, and remained fully extended until toe-off. In the latter half of the stance phase, the knee and ankle joints of the sound limb simultaneously showed rapid joint flexion during continuous extension. Further, the ankle joint of the sound limb showed greater plantar flexion at the end of the stance phase. These results suggest that the transfemoral amputees in the present study would 1) extend the prosthetic knee joint to prevent the knee flexion generated by the body's weight, and 2) lift the whole body in an upward direction using strong counter-movements and greater joint extension during the stance phase. The data describing the lower extremity joint kinematics of transfemoral amputees who can climb stairs in a step-over-step manner can be used to establish an effective gait rehabilitation program for patients.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	900,000	3,700,000
2010年度	650,000	150,000	800,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,450,000	1,050,000	4,500,000

研究分野：バイオメカニクス

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：動作解析、大腿切断者、歩行、リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

日本には概ね1万人の大腿切断者が存在するといわれており、世界ではさらに多くの切断者が不自由な生活を強いられている。こうした大腿切断者が今、一番困っている点は、階段を歩くことができないことである（(株)長崎かなえ アンケート結果, 2007)。そのため、大腿切断者は健常者とは異なる身体技法によって階段をゆっくりと昇る。結果として、昇段が可能にはなるものの、見た目の不自然さから、こうした動きは切断者が劣等感を抱くきっかけになっている。

大腿切断者が両脚交互の昇段を行うためには、バッテリー駆動型の動力義足の開発がある（二宮ら, 日本義肢装具学会誌, 2008)。こうした大腿義足開発であっても、日常生活で頻繁に遭遇する段差・階段を両脚で交互に昇ることは未だ難しいのが現状である。加えて、こうした最新の義足は既存の製品に比べると極めて高価であり、軽量コンパクト化やパワーアップといった問題が山積している。

しかしながら、極めて稀ではあるものの、ベテランの大腿切断者の中には階段をスムーズに昇ることができる者も存在する。彼らは手すりや動力義足を一切使用せず、両脚で交互に階段を昇っている。彼らの動きは、他の大腿切断者が階段を昇る際の「お手本」となりうるか、否か。大腿切断者の歩行リハビリテーションの観点からも極めて興味深い。

2. 研究の目的

階段や段差を昇ることはヒトが日常生活を送る上で欠かすことのできない能力であるにも関わらず、大腿切断者にとっては極めて難易度の高い動作である。しかしながら、手すりや動力義足を一切使用せず、両脚で交互に階段を昇る大腿切断者も少なからず存在する。こうした切断者の多くは学術的な見地からは全く評価されていない。補助器具や外部動力源を一切使わずに昇段を行える背景には、彼らが階段を昇る際に必要な「身体の使い方」を習得していると考えられるが、こうした動きの評価はこれまでなされていない。熟練した運動機能を有する大腿切断者の運動特性を知ることは、昇段のできない切断者への歩行リハビリテーションや義足開発に有用な情報をもたらす可能性があり、その分析は急務といえる。

上述の通り、大腿切断者は階段を両脚交互に昇ることはできないということが共通の認識となっているなか、手すりや動力義足を一切使用せず、両脚で交互に階段を昇る大腿切断者が少なからず存在する。そこで本研究では、こうした大腿切断者の階段上昇動作の分析から新たなリハビリテーション法を提

案・実施し、階段での移動が困難な切断者の歩行能力改善・再獲得をねらう。

3. 研究の方法

本研究課題では、従来では難しいとされていた一足一段法による昇段を行える大腿切断者を対象に、その生体力学的特性を調べ、下肢切断者の歩行リハビリテーションに必要な要素を明らかにすることを目的とした。被験者は両脚で交互に階段を昇れる大腿切断者1名（被験者A、男性、身長1.75m、体重67.8kg、年齢50歳、切断後43年経過、断端長30.5cm）とした。実験時には被験者が使い慣れた膝継手（3R45）および足部

（C-Walk, ともにOtto-Bock社製）を着用させた。なお、比較対照として健常な成人被験者10名（身長 1.71 ± 0.05 m、体重 63.5 ± 7.1 kg、年齢 28.0 ± 3.1 歳）のデータも記録した。

運動課題は実験室内に設置した階段（5段組み；高さ16cm、ステップ幅80cm、奥行30cm）を利用し、一足一段法による昇段を行わせた。被験者の全身15箇所体表に体表マーカーを貼付け、光学式モーションキャプチャーシステム（VICON 512, Oxford Metrics）を用いて、昇段中の全身を毎秒60コマで撮影した。撮影した映像をもとに、矢状面における下肢関節の伸展/屈曲角度を算出した。同様に、被験者のつま先マーカー位置から、昇段時のクリアランスを定量化した。また、階段下に設置した地面反力計から鉛直方向の地面反力を記録した。

本研究課題では、上述した実験によって得られた結果を他の切断者にフィードバックして昇段能力変化を検証することも行う。そのため、独立した歩行を獲得している3名の大腿切断者（被験者B；男性、身長1.68m、体重58.0kg、年齢29歳、切断後4年経過、断端長22.0cm、使用足部1D25、被験者C；男性、身長1.61m、体重46.0kg、年齢29歳、切断後25年経過、断端長21.0cm、使用足部SACHsafe2、被験者D；男性、身長1.53m、体重45.0kg、年齢20歳、切断後1年経過、断端長25.0cm、使用足部C-walk）も解析の対象とした。なお、被験者B、C、Dの動作解析はデジタルビデオ（60Hz）および二次元動作解析装置（Siliconcoach Pro 7）を用いて行った（図1）。

なお、本研究課題で用いたフィードバックの手法として、被験者Aの動画を繰り返し見せること、および被験者の解析結果を研究者・義肢装具士・理学療法士が口頭で説明することを行った。



図1. モーションキャプチャーによる動作解析の様子（被験者A-D）。

4. 研究成果

被験者Aの動作を解析したところ、この切断者は、立脚初期に膝継手を完全伸展位で瞬間的に固定し、体重によって生じる義足肢の膝折れを防いでいた（図2-B）。こうした義足肢の巧みな制御に加え、健側肢の膝・足関節では立脚後期に一時的な屈曲・背屈を行った後、伸展・底屈していることが確認された（図2-BとC）。このときの地面反力を観察すると、大腿義足使用者の対側肢では健常成人の約2倍の値で階段を蹴り上げていた。こうした素早い屈曲-伸展の関節運動は反動動作と呼ばれ、筋および腱組織の弾性を利用して運動量を増大させることが知られている。加えて、被験者Aは健側肢を常に底屈位に保ちつつ、義足を一旦、後方へと振り上げることで、クリアランスを獲得していた（図3）。以上のことから、一足一段法による昇段が可能な大腿義足使用者の特徴として1) 立脚初期に膝継手を伸展位で固定し、2) 対側肢の膝・足関節で反動動作を利用して身体を上方へと移動させ、3) 義足を常に後方へと振り上げる、という連続した動きが挙げられる。大腿切断者の多くは階段上昇時に生じる膝折れとつまずきによって転倒が引き起こされるが、本研究により、それを予防する手立ての一部が明らかになったと言える。

また、この結果を両脚での交互昇段が困難な大腿切断者3名に口頭およびビデオ画像によってフィードバックして、昇段時のキネマティクスを解析した。その結果、すべての被験者が片脚支持期で切断肢が自重によって膝折れを起こさぬよう、健側で階段を蹴り上げ、膝継手を完全伸展位で固定する動きを示した。また、昇段時のクリアランスを獲得するために、義足肢を一度後方へと振り上げて昇段を行っていることが明らかとなった。

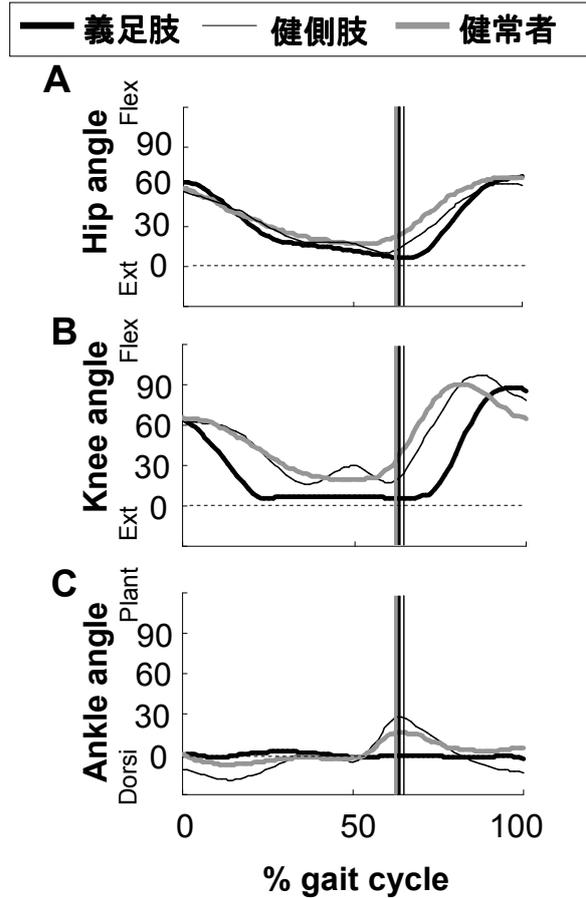


図2. 矢状面における股関節（A）、膝関節（B）と足関節（C）のキネマティクス（被験者A）。

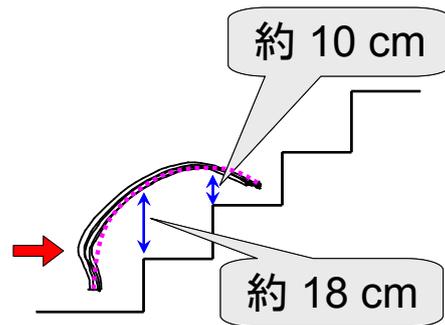


図3. 矢状面におけるつま先マーカ位置の軌跡。破線（ピンク）は健常者10名の平均値、実線（黒）が被験者A（義足肢）の軌跡を表している。被験者Aは義足を一旦後方へと振り上げてクリアランスを獲得していた。

加えて、全被験者で共通していたのは、膝継手の設定であった。被験者Aが使用している膝継手は3R45(単軸;Otto-bock)であり、屈曲/伸展抵抗値を極めて低い状態に設定していた。被験者B、C、DはそれぞれNI-C111t(単軸;Nabtesco)、3R22(単軸;Otto-bock)および3R95(単軸;Otto-bock)を使用しており、被験者Cは本来備わっている伸展補助バネを取り外していた。また、被験者B、C、Dは被験者Aと同様に屈曲/伸展抵抗値を極めて低い状態に設定していた。こうした設定は大腿切断者における断端部の動かしやすさを反映していることが示唆されており(Kahle et al., J Rehab Res Dev, 2008)、階段昇降をはじめとする障害物回避動作にとって合目的な設定であることが伺えた。その一方、切断年数や断端長、身体活動レベルに関しては、被験者間に共通点は認められなかった。これらの結果は、大腿切断者が両脚交互の昇段を行う際に必要な特性は、主に1)単軸の膝継手であること、2)膝継手の屈曲/伸展抵抗値を低い状態に設定することの2点が重要であることを意味している。

大腿切断者を対象に昇段動作の解析を試みた研究はいくつか存在するものの、そのすべてが両脚交互の昇段が不可能であったことを明確に述べている(Schmaltz et al., Gait and Posture, 2007; Bae et al., Clinical Biomechanics, 2007; Bae et al., Journal of Medical Engineering and Technology, 2009)。本研究は、不可能とされた交互昇段を行うことができる大腿切断者の身体技法を定量化し、リハビリテーションへの応用を試みることで、障害者のQOL向上を目指すものであり、学術的にも新規な研究と言える。

冒頭でも述べたように、切断者が両脚交互の昇段を行うためには、バッテリー駆動型の動力義足の開発がある(二宮ら, 日本義肢装具学会誌, 2008)。しかしながら、こうした動力義足は既存の製品に比べると極めて高価であり、軽量コンパクト化やパワーアップといった問題が山積している。本研究では従来型の義足を用い、身体の使い方のみを変える事によって、両足での交互昇段を再獲得することができる可能性が示唆された。これは切断者への経済的負担を軽減させるだけでなく、新たな動力義足開発を行う上で一つの道筋になることが予測される。

上述してきたように、長年に渡って不可能とされてきた大腿切断者の交互昇段、本研究はそれを実現する可能性を見出すことができたといつてよい。それは学術的な価値のみならず、大腿切断者自身ならびに現場のセラピストに対し革新的なリハビリテーション法として極めて強いインパクトを与えると

考えられる。

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0件)

[学会発表] (計4件)

① Hiroaki Hobara, Yoshiyuki Kobayashi, Takashi Nakamura, Nobuya Yamasaki, Toru Ogata. Compensatory strategy for alternate stair ascent in transfemoral amputees. 2nd Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitations, 2011年3月9-10日, 国立障害者リハビリテーションセンター.

② 保原浩明, 小林吉之, 中村隆, 山崎伸也, 中澤公孝, 緒方徹: 大腿切断者における交互昇段動作のキネマティクス. 第26回日本義肢装具学会学術大会, 2010年10月25-26日, 川越プリンスホテル.

③ Hiroaki Hobara, Yoshiyuki Kobayashi, Kenji Naito, Takashi Nakamura, Nobuya Yamasaki, Kimitaka Nakazawa. Biomechanical analysis of alternate stair ascent in transfemoral amputees. The 13th World Congress of the International Society for Prosthetics and Orthotics, 2010年5月11-14日, ライプツィヒメッセ.

④ 保原浩明, 小林吉之, 中村隆, 山崎伸也, 中澤公孝: 大腿義足使用者における階段上昇動作の解析. 第9回姿勢と歩行研究会, 2010年3月20日, 興和株式会社 東京支店.

⑤ 山崎伸也, 中村隆, 保原浩明, 小林吉之, 中村優子, 梅澤慎吾: 大腿義足使用者の交互階段上り歩行の報告. 第16回日本義肢装具士協会学術大会, 2009年7月20日, 長崎ブリックホール.

[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]

本研究課題における内容の一部は2009年9月に POSI 情報交換会(計測自動制御学会システムインテグレーション部門福祉工学会、国立障害者リハビリテーションセンター開催)において話題提供という形で発表している。同様に、2011年3月には香川大学を会場にした計測自動制御学会四国支部講演会にて発表を行った。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保原 浩明 (HOBARA HIROAKI)
国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 運動機能系障害研究
部・流動研究員
研究者番号：40510673

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

緒方 徹 (OGATA TORU)
国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 運動機能系障害研究
部・部長
研究者番号：00392192

中澤 公孝 (NAKAZAWA KIMITAKA)
東京大学大学院・総合文化研究科・教授
研究者番号：90360677

小林 吉之 (KOBAYASHI YOSHIYUKI)
独立行政法人産業技術総合研究所・デジタ
ルヒューマン工学研究センター・研究員
研究者番号：00409682