

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：31310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350614

研究課題名(和文) 最適性を基礎とした運動機能制限下での運動戦略の選択に関する理論構築

研究課題名(英文) Theory construction for choice of motor strategy under functional restriction based on optimization

研究代表者

藤澤 宏幸 (FUJISAWA, HIROYUKI)

東北文化学園大学・健康社会システム研究科・教授

研究者番号：20316425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は最適性を基礎とした運動機能制限下での運動戦略の選択に関する理論構築を目的とした。第1実験では、股関節屈曲制限モデルを用いてエネルギーコストと歩行戦略の関係について検討した。第2実験では、非対称性足部接地における立ち上がり動作の重心軌道形成とエネルギーコストの関係について検討した。第3実験では、膝関節屈曲制限モデルを用いて障害物に対する跨ぎ動作と着床時の床反力の関係について検討した。結論として、機能制限下においてもエネルギーコストを最小限にするよう運動軌道および運動パターンが形成されていること、転倒などの危険を回避しなければならないような課題では安全性が優先されることが示された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to construct theory for choice of motor strategy under functional restriction based on optimization. At the first experiment, the relationship between the joint movement pattern and the energy cost (EC) during walking under a functional restriction of the hip flexion was examined. At the second experiment, we examined the relationship between jerk cost and the formation of the center of gravity trajectory during sit-to-stand motion with asymmetrical foot placement. At the third experiment, the relationship between stepping-over motion and floor reaction force under the restriction of knee flexion was examined. In conclusion, it was indicated that EC greatly contributed to the formation of joint movement pattern under functional restriction. On the other hand, it was shown that safety is given priority if they must avoid risk such as falls.

研究分野：リハビリテーション科学

 キーワード：最適化 運動軌道 運動パターン エネルギーコスト 機能制限モデル 歩行再建 立ち上がり動作
またぎ動作

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション医療において、機能障害を有する対象者における運動・動作の再建は重要な課題である。しかしながら、機能障害を制約条件として再建における運動・動作の最適運動軌道および運動パターンの形成については理論が熟成していない。そこで、本研究の目的は機能障害を制約条件とした場合、重要な日常動作である椅子からの立ち上がり動作、歩行、またぎ動作における最適な再建方法を明らかにし、運動・動作再建の理論を構築することであった。

2. 研究の目的

上記の目標を達成するために、以下の3つの研究を実施した。

(1) 第1研究

股関節屈曲制限モデルを用いた歩行時の運動パターンとエネルギーコストの関係を明らかにすること、さらには自由歩行をさせたときに選択される運動パターンがEC最小になるのかを明らかにすることとした。

(2) 第2研究

椅子からの立ち上がり動作をモデルとして、脳卒中片麻痺患者が用いる非対称性の足底接地条件での重心軌道形成におけるエネルギーコストの影響について、Jerk-cost を用いて検討した。

(3) 第3研究

膝関節屈曲制限モデルを用い、またぎ動作時の運動パターン形成における安全性の影響を明らかにするために研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 第1研究

対象は、健常若年男性 20 名 (身長 171.7±6.8cm、体重 62.3±6.3kg、年齢 20.5±1.1 歳) であった。全ての対象者は実験参加に先立ちインフォームドコンセントに署名した。我々は被験者の右股関節屈曲を 0 度に制限し、それを機能制限モデルと定義した。機能制限は、布製の自作装具にて調整された(図 1)。機能制限モデルにおける歩行再建の戦略は 3 種類とした(骨盤後傾型 PP・骨盤回旋型 PR・足部揃え型 PF)。測定条件は 10、20、30、40、50、60 m/min の 6 種類とし、被験者は静止立位を 3 分間とった後、各速度で 3 分間歩行した。各歩行戦略での歩行中、呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製, AE-2805)を使用して酸素摂取量(VO_2)を測定した。最後に、被験者は歩行戦略を指定されずに歩き、我々はこれを自由歩行と定義した。さらに対照として、被験者は機能制限のない条件で歩行を行い、我々はこれを普通歩行 NG と定義した。

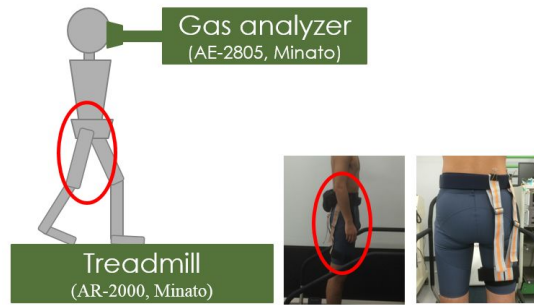


図 1. 実験装置

(2) 第2研究

対象は健常成人男性 22 名とし、以下の2つの肢位で立ち上がり動作を行わせた。すなわち、P1) 利き足背屈 20 度・非利き足背屈 0 度、P2) 利き足背屈 20 度・非利き足底屈 20 度。また、立ち上がり条件として、1) 意識せずに普通に立ち上がる、2) 意識して非利き足に重心移動して立ち上がる、の2つを設定した。体重心および関節運動の測定には 3 次元運動解析装置を用い、赤外線反射マーカーは両側の肩峰、大転子、外側上顆、外果、第 5 中足骨骨頭に貼付した。また、重心軌道から各軸方向の Jerk-cost を算出した(図 2)。

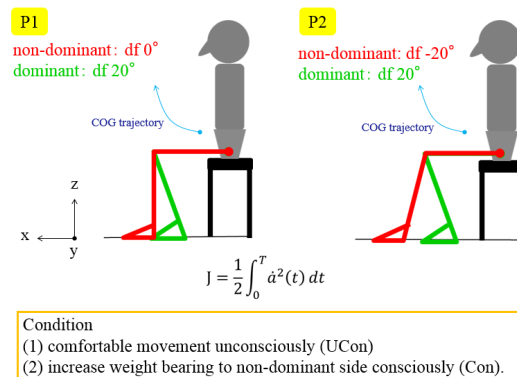


図 2. 実験条件

(3) 第3研究

対象は、健常若年男性 10 名であった。全ての対象者は実験参加に先立ち、十分な説明を受けた後、同意書に署名した。我々は被験者の右膝関節屈曲を 45 度に制限し、それを機能制限モデルと定義した。機能制限モデルにおけるまたぎ動作の障害物高は 0、10、20、30cm の 4 条件とした。被験者は、至適歩行速度にて歩行し、障害物をまたぎ、通り抜けることとした。最後に、被験者は機能制限のない条件でまたぎ動作を行い、我々は「制限なしまたぎ動作」と定義した。またぎ動作時には、各体節傾斜角(大腿、下腿、足部、骨盤)と障害物クリアランス、床反力について測定した(図 3)。

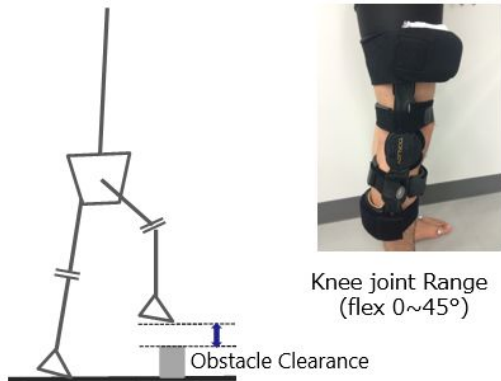


図3．膝関節屈曲制限モデルと解析

4. 研究成果

(1) 第1研究

10 m/minでの自由歩行において、揃え型を選択した者は10人、後傾型は10人だった。骨盤後傾型の人数は速度の増加と共に増え、60 m/minでは19人が選択した。一方、骨盤回旋型は全ての速度でみられなかった(図4)。VO₂においては、歩行戦略と歩行速度に主効果を認めた。また、両要因間の交互作用は有意だった。10m/minにおいては、VO₂は回旋型、揃え型、後傾型の順で大きかった。20~60m/minにおいては、VO₂は揃え型、回旋型、後傾型の順で大きかった(図5)。本研究の結果において、エネルギーコストの面から考えると、後傾型が最も効率的であると明らかとなった。また、自由歩行における運動パターンの選択はエネルギーコストを優先した。

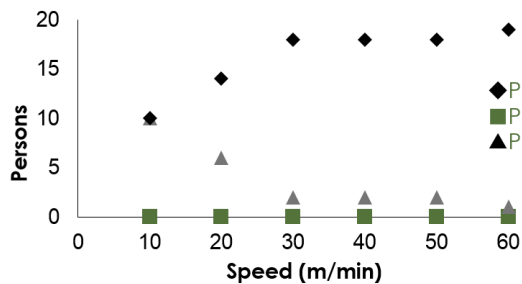


図4．歩行速度と各歩行戦略の人数

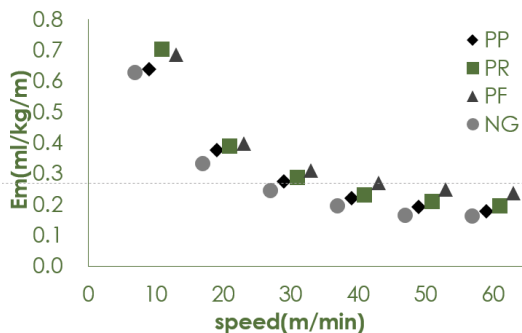


図5．歩行速度とエネルギーコスト

(2) 第2研究

各肢位で意識せずに立ち上がると、これまでの報告通りに利き足へ重心軌道が偏位した(図6)。そこで、Jerk-costを比較すると、前後、左右方向で意識的に非利き足に重心を偏位させた場合の方が有意に高かった(図7、8)。一方、上下方向では条件間で有意な差は見られなかった(図9)。一般的には、脳卒中片麻痺患者では非麻痺側に重心軌道が偏位する。しかし、麻痺側を引かせ足部位置を非対称性に接地させると、麻痺側に重心軌道が偏位する。運動療法では、この現象を利用して麻痺側への荷重訓練を行っている。すなわち、非対称性足部接地における立ち上がり動作の運動パターンは、Jerk-costが小さくなるように形成されていることが本研究で示され、臨床における知見と一致した。機能障害を有する場合の運動パターンの形成においてもエネルギーコストが重要な因子になっていることの一つの証拠としてみる事ができる。

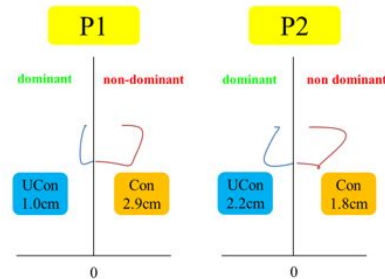


図6．臀部離床時における条件毎の体重心偏位量

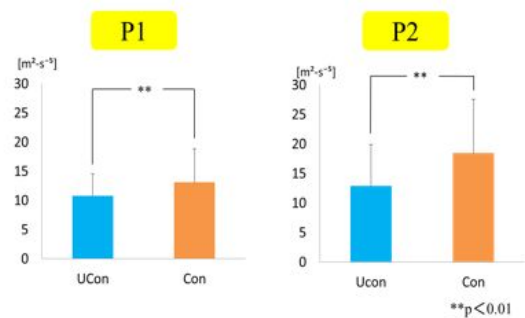


図7．前後方向のJerk cost

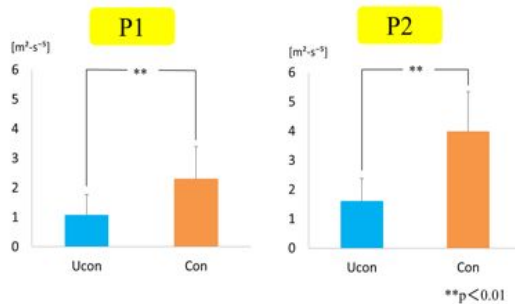


図8．左右方向のJerk cost

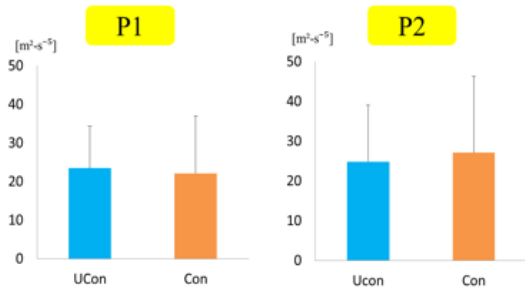


図9 . 上下方向の Jerk cost

(3) 第3研究

障害物クリアランスにおいては、主効果・交互作用ともに有意ではなかった(図8)。各体節傾斜角においては、骨盤傾斜角(図9)と大腿傾斜角(図10)にて主効果・交互作用ともに有意であった。床反力の鉛直成分(図11)および前後成分(図12)において、主効果・交互作用ともに有意ではなかった。本研究の結果において、機能制限モデル下では、下腿傾斜角分の障害物クリアランスの補償として、骨盤傾斜角と大腿傾斜角を増加させて対応させていたことが明らかになった。また、床反力を変化させずにまたぎ動作を遂行するように戦略を行っていると考えられた。

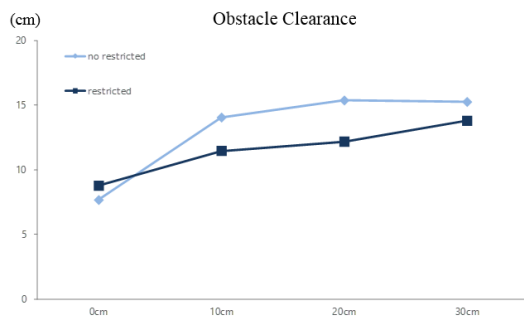


図8 . 障害物高と障害物クリアランス

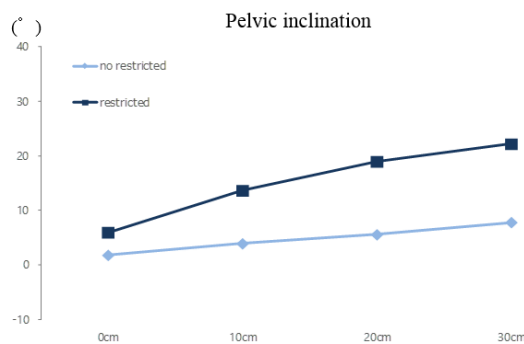


図9 . 障害物高と骨盤傾斜角

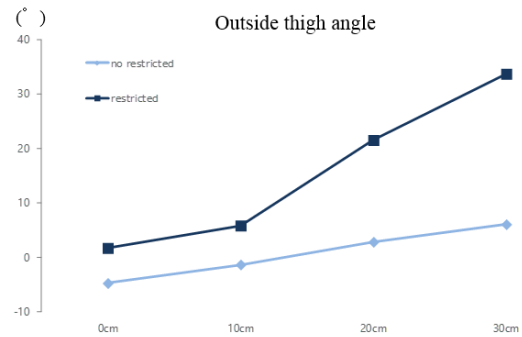


図10 . 障害物高と大腿傾斜角

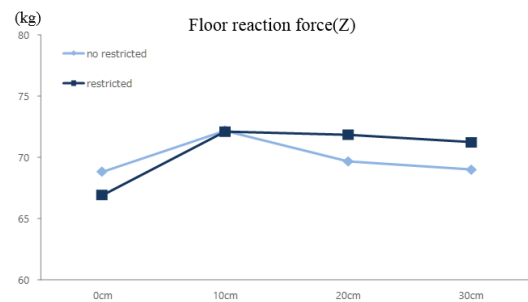


図11 . 障害物高と床反力(鉛直成分)

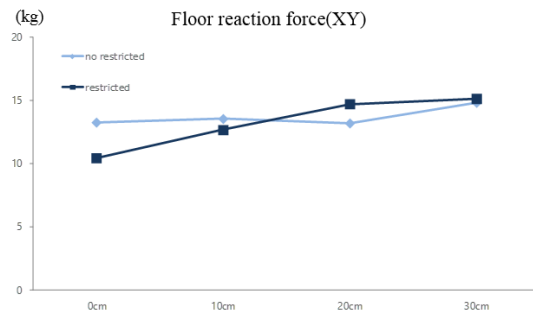


図12 . 障害物高と床反力(前後成分)

(4) 研究機関を通しての成果

健常者における運動軌道および関節運動パターン形成においては、解剖学的およびバランスの拘束条件のもとに、エネルギーコストを最小にするように最適化されているとの仮説を立てている。

第1研究および第2研究によって、機能障害がある場合においてもエネルギーコストが運動軌道および関節運動パターンの形成に重要な影響を与えていることが明らかとなった。一方で、跨ぎ動作のように転倒防止(安全性)を優先すべき動作においては、エネルギーコストよりも、床反力前後成分を最適化し最小限に抑制するよう制御されている可能性が示唆された。

本研究によって、課題毎に何を最適化すべきか分類することにより、学習すべき関節運

動パターンを決定できる可能性が出てきたことは、リハビリテーション医療(理学療法)を提供するうえで重要な点であると考えている。

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2件)

1) Fujisawa H, Suzuki H, Murakami K, Kawakami S, Suzuki M: The relationship between energy cost and the center of gravity trajectory during sit-to-stand motion. J phys Ther Sci 27:3883-3886, 2015.

2) 樋口朝美, 鈴木博人, 村上賢一, 川上真吾, 高橋一揮, 藤澤宏幸: 股関節屈曲制限における歩行の運動パターンの選択について. 東北理学療法学 28:91-96, 2016.

〔学会発表〕(計4件)

1) Fujisawa H, Takahashi R, Kanda M, Sugawara M, Naito C, Yasuda M, Suzuki H, Suzuki M: A study on the formation of center of gravity trajectory during sit-to-stand motion with asymmetrical foot placement. World Congress of Physical Therapy 2015.

2) Higuchi A, Fujisawa H: Relationship between gait pattern and energy cost under functional restriction. World Congress of Physical Therapy 2015.

3) Murakami K, Kawakami S, Suwa M, Ito N, Kadoya A, Narisawa Y, Yoshida T, Takahashi K, Fujisawa H: Kinematic analysis of stepping-over motion with knee joint restriction model in healthy adults. ACPT Congress 2016.

4) 樋口朝美, 鈴木博人, 本間秀文, 川上真吾, 菊地明宏, 田中直樹, 福田守, 藤澤宏幸: 股関節屈曲制限の機能障害モデルを用いた運動戦略の選択基準に関する研究. 第49回日本理学療法士学会.

5) 樋口朝美, 川上真吾, 鈴木博人, 村上賢一, 藤澤宏幸: 機能制限モデルにおける各種歩行戦略の力学的エネルギーの回復率に関する研究. 第52回日本理学療法学会.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤澤 宏幸 (Fujisawa Hiroyuki)
東北文化学園大学大学院健康社会システム
研究科・教授
研究者番号: 20316425

(2)研究分担者

村上 賢一 (Murakami Kenichi)
東北文化学園大学医療福祉学部・講師
研究者番号: 60433520

(3)研究分担者

鈴木 博人 (Suzuki Hiroto)
東北文化学園大学医療福祉学部・助教
研究者番号: 50635430