

機関番号：37116

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500477

研究課題名（和文） ロボット歩行訓練時における脊髄損傷者の脳賦活

研究課題名（英文） Cortical activation during robot assisted gait in spinal cord injury subjects

研究代表者

和田 太（WADA FUTOSHI）

産業医科大学・医学部・講師

研究者番号：10341512

研究成果の概要（和文）：健常者 8 名、慢性期脊髄損傷 4 名（完全損傷 2 名、不全損傷 2 名）を対象に、ロボット歩行訓練中の脳賦活状況を多チャンネル近赤外線光測定装置にて比較した。歩行は、1. 他動歩行、2. 能動アシスト歩行、3. 歩行の運動イメージのみ、4. 鏡を見て能動アシスト歩行である。不全脊髄損傷者と健常者では、脳賦活の傾向はほぼ類似していたが、不全損傷では、賦活の範囲が広がった。一方、完全損傷では、能動アシスト歩行や歩行イメージのみでは脳賦活は生じなかったが、鏡によるフィードバックにより、脳賦活が見られた。また、有効な筋電収縮を引き出せる荷重タイミングを視覚フィードバックする装置を開発、検証した。

研究成果の概要（英文）：This study was performed to determine whether gait-related imaginary and visual feedback could change a cortical activation pattern during robot-aided gait in normal healthy subjects and SCI patients. Eight healthy volunteers and 4 patients with chronic SCI (2 complete paraplegia and 2 incomplete quadriplegia) were included in this study. We measured the cortical activation of the motor area during robot-aided gait by means of a near-infrared spectroscopic imaging system. The subjects performed actual and imaginary movement of their lower extremities in several ways. In both normal subjects and incomplete SCI patients, small cortical activations were observed during imaginary leg movement, but the patterns of activation during the active assisted movement and imaginary leg movement. Despite these findings, cortical activation was observed under the mirror visual feedback in the same patients.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	400,000	120,000	520,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション医学

## 1. 研究開始当初の背景

現在、脊髄損傷の機能再建の方法として**幹細胞を用いた脊髄再生**の研究が精力的に行われている。脊髄再生後すぐに麻痺部の運動機能が再建されるのではなく、リハビリテーションにより機能を再学習することが必要である。また、脊髄損傷者の歩行再建にはリハビリテーションロボットが**ニューロリハビリテーション**の方法として積極的に活用されはじめていて、脊髄再生後の強力な訓練支援ツールになると期待されている。ロボットを用いた訓練を有効に行うためには、神経ネットワークの賦活をより効率的に引き出す運動学習を支援することが重要である。

特に歩行では、下肢からの感覚情報が重要な役割を果たしているが、脊髄損傷者では、感覚障害のため、この情報が脳へ届きにくくなっている。この**感覚の代用**として、歩行のイメージや鏡による視覚フィードバックの活用が考えられ、ロボットを用いた歩行訓練にも応用できると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、安川電機（株）と共同開発した歩行支援ロボット（BRMS : Bio-Responsive Motion System）（図1）を用いて、健常被験者及び脊髄損傷者が、ロボット歩行訓練をした場合に、**歩行イメージの持ち方の違いや視覚のフィードバック**（1. 頭の中で歩行のイメージを描きながら歩く場合；イメージ歩行、2. 頭の中で歩行のイメージを持たず、ロボットに完全に任せて歩く場合；イメージなし歩行、3. 歩行の様子を鏡で確認しながら歩く場合；視覚フィードバック歩行；鏡、コンピューターモデル）が、運動野の賦活にどのように影響するかについて、多チャンネル近赤外線光測定装置を用いて明らかにすることにある。脊髄損傷者については、完全麻痺と不全麻痺者の比較も行う。また、視覚フィードバックが有効な場合、ロボット歩行訓練で有利な視覚フィードバックシステムを製作、検証する。



図1 歩行支援ロボット

## 3. 研究の方法

(1)運動イメージと視覚フィードバックの影響

### ①対象

研究内容を理解し同意した健常者8名、慢性期脊髄損傷者4名（完全対麻痺2名、不全四肢麻痺2名）である。研究内容については、産業医科大学倫理委員会にて承認（第08-72）されている。

### ②方法

各被験者は、歩行支援ロボットに搭乗し、多チャンネル近赤外線計測装置（光トポグラフィ；ETG-100、日立メディコ）のプローブ（22CH）を頭頂の運動野（前頭前野～1次運動野）の直上を中心に設置する（図2）。プロトコルは30秒の安静の後、60秒間の歩行課題を行うセッションを2回繰り返す（図3）。歩行は、a. ロボットアームの動きに下肢を完全に任せる「**受動歩行**」、b. ロボットアームの動きに合わせて能動的に下肢を動かす「**能動アシスト歩行**」、c. 下肢の運びのイメージを開眼にて頭に思い浮かべるがロボットは動かさない「**歩行イメージ想起**」のみ；d. 下肢の動きはロボットの動きに完全に任せるが、同時に下肢の運びのイメージを開眼にて頭に思い浮かべる「**歩行イメージ想起を伴う受動歩行**」、e. 下肢の動きを鏡に映して見ながら下肢を能動的に動かす「**視覚フィードバックを伴う能動アシスト歩行**」の計5つをランダムな順序で行い計測する。計測された $O_{xy-Hb}$ の値は、加算平均し、2次元マッピングの処理を行う。



図2 計測風景



- a. 受動歩行  
ロボットの動きに完全に任せる。
- b. 能動アシスト歩行  
ロボットの動きに合わせて能動的に下肢を動かす。
- c. 運動イメージのみ  
頭に足の運びのイメージを浮かべる(ロボットはうごかさない)。
- d. 受動歩行+運動イメージ  
ロボットの動きに完全に任せるが、  
下肢の運びのイメージを浮かべる。
- e. 鏡を見ながら能動アシスト歩行  
下肢の動きを鏡を見ながら能動的に下肢を動かす。

図3 実験プロトコル

### (2)視覚フィードバック装置の開発・評価

#### ①対象

研究内容に対して理解し、同意を得た健常成人4名である。研究内容については、産業医科大学倫理委員会にて承認されている。

#### ②視覚提示装置の開発

視覚フィードバックは、荷重タイミングを提示する装置とした。膝サポーターに曲げセンサーを取り付け、その角度変化より、スティックピクチャにて足部の動きをリアルタイムにディスプレイの画面上に描画する。

③インジケータと視覚提示装置の筋電比較  
被験者4名について大腿四頭筋の表面筋電図（NEC SANEI）を装着、歩行支援ロボットを用いて能動歩行訓練を行った。a. ロボットに備えつけられている荷重インジケータ使用した場合とb. 新しく開発した荷重タイミング視覚提示装置を使用した場合とで、筋放電タイミングや性状を比較した。

④鏡と視覚提示装置の脳活性化の比較  
被験者3名について、多チャンネル近赤外線計測装置（光トポグラフィ；ETG-100，日立メディコ）のプローブ（22CH）を頭頂の運動野の直上を中心に設置し、荷重のインジケータと荷重タイミング視覚提示装置とで、運動野活性化の状況について比較した（対照として、提示装置を使用しない受動歩行と能動歩行も行った）。多チャンネル近赤外線計測装置にて計測されたOxy-Hbのデータは、加算平均し、2次元マッピングの処理を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 歩行イメージと視覚フィードバックの影響

###### ①健常者の場合

健常者のロボット訓練歩行中における脳賦活の2次元マッピングの結果を図4に示す。能動歩行は、受動歩行に比べると脳賦活が強く、歩行イメージのみは、個人差が大きい、弱い賦活がみられた。歩行イメージに受動歩行を加えると賦活が増強され、鏡を見ながらの歩行は能動歩行よりも、良く賦活された。

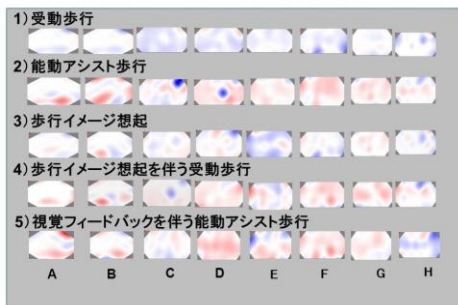


図4 ロボット歩行訓練中の健常者の脳賦活（赤が賦活化、青は賦活化が低い）

###### ②脊髄損傷者の場合

脊髄損傷者のロボット訓練歩行中における脳賦活状態の2次元マッピングの結果を図5に示す。不全損傷では、健常者に近い反応

が得られたが、その賦活の範囲が広い。一方、完全損傷では、能動歩行や運動イメージでは、賦活が非常に弱かったが、鏡によるフィードバックによる能動歩行では、健常者同様の賦活が見られた。

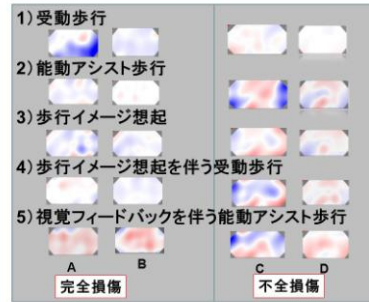


図5 ロボット歩行訓練中の脊髄損傷者の脳賦活（赤が賦活化、青は賦活化が低い）

###### ③脳賦活実験のまとめ

ロボット歩行訓練中の脳賦活の様子を表1にまとめる。脊髄損傷の**不全損傷**は、健常者と似た傾向があるが**より広い範囲で賦活**していた。運動イメージや視覚フィードバックは、より賦活を引き出す傾向にあったが、健常者及び不全損傷者では差が小さかった。一方、完全損傷者では、健常者と不全損傷者と異なり、能動歩行や歩行イメージの想起では賦活度が小さかった。**完全損傷者の慢性期では、歩行イメージが失われている可能性**が示唆された。一方、**鏡による視覚フィードバックが有効**であった。

脊髄損傷者の**完全麻痺**における**脊髄再生後のロボット訓練では、視覚フィードバック**

	健常者	完全損傷	不全損傷
受動	→	→	→
能動アシスト	↑	→	↑
運動イメージのみ	↗	→	↗
受動+運動イメージ	↗	↗	↗
鏡+能動アシスト	↑	↑	↑

の**訓練が有効**であると推察される。

表1 ロボット歩行訓練中の脳賦活

##### (2) 視覚提示装置の開発・評価

###### ① 視覚提示装置の開発

膝関節のサポーターに曲げセンサを内蔵し、膝関節の角度を関知、被験者の前方に配置したディスプレイにて、下肢のスティックピクチャをリアルタイムに呈示できるシステムを製作した（図6）。荷重のタイミングは、カウントダウン方式で、画面に呈示する方式とした。

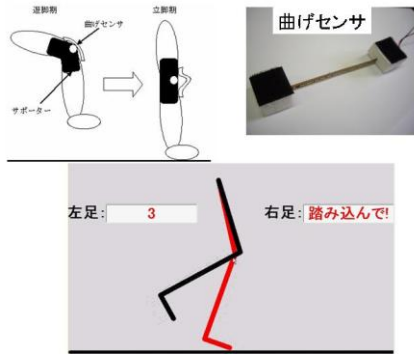


図6 視覚提示装置

②インジケータと視覚提示装置の筋電比較

図7に大腿四頭筋の収縮の代表例を示す。全例で荷重タイミング視覚提示装置の方が、荷重インジケータに比べて収縮が早く、その電位も大きく、本視覚提示装置の方が筋電発生に効果的であった。

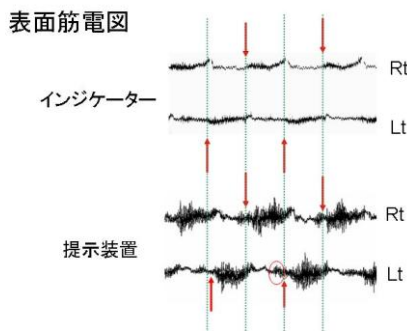


図7 荷重インジケータと荷重タイミング視覚提示装置の筋電図

③鏡と視覚提示装置の脳活性化の比較

図8に鏡と荷重タイミング視覚提示装置の脳活性化の比較、両者ともフィードバックなしよりも脳賦活の程度が大きくなるが、両者の間では大きな違いを認めなかった。脳賦活の誘発の点では鏡と荷重タイミング視覚提示装置の効果は同等であった。

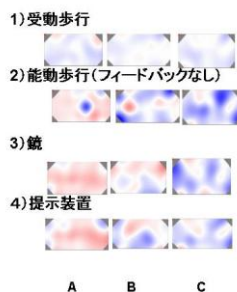


図8 鏡と視覚提示装置の脳活性化 (赤が賦活化、青は賦活化が低い)

④視覚提示装置のまとめ

荷重のタイミングを視覚提示装置を開発した。本装置は、荷重のそのもののフィードバックより、筋電のタイミングと誘発に有利であった。脳賦活の誘発の点では鏡と荷重タイミング視覚提示装置の効果は同等であった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① 和田 太、蜂須賀研二、ロボット歩行訓練における歩行イメージと脳賦活—脊髄損傷者の場合、査読有、23、2011、in press
- ② 和田 太、中西貴江、蜂須賀研二、歩行支援ロボット搭乗中の脊髄損傷者の脳賦活状態の検討、北九州医工学会誌、査読無、21、2011、in press
- ③ 和田 太、歩行機能再建の歩行支援ロボット、PTジャーナル、査読無、45、2011、333-340
- ④ 和田 太、訓練ロボットによる歩行機能再建—イメージと知覚の影響、The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine、査読無、47、2010、10-14
- ⑤ 和田 太、ロボット歩行訓練時における歩行イメージと脳賦活—健常者の場合、日本脊髄障害医学会誌、査読無、22、2009、96-97
- ⑥ 和田 太、歩行訓練ロボット、総合リハビリテーション、査読無、37、2009、813-819

[学会発表] (計10件)

- ① Futoshi Wada, The effects of gait-related imagery and mirror visual feedback on cortical activation during robot-assisted gait training, 2nd Annual Meeting of the Japanese Society for Neural Repair and Neurorehabilitation (JSNRNR)、2011年2月12日、国際会議場(名古屋)
- ② 和田 太、蜂須賀研二、ロボット歩行訓練における歩行イメージと脳賦活—脊髄損傷者の場合、第45回 日本脊髄障害医学会、2010年10月21日、長野県松本文化会館(松本)
- ③ Futoshi Wada, Kenji Hachisuka, Cortical activation during robot-aided rehabilitation, 2nd Asia- Oceanian Conference of Physical and Rehabilitation Medicine (AOCPRM)、2010年5月1日 Taipei International Convention Center
- ④ 和田 太、リハビリテーションロボット

- の臨床応用、第27回日本リハビリテーション医学会 北陸地方会、2010年3月20日、ホテル金沢（金沢）
- ⑤ 中西貴江，和田太，牧野健一郎，蜂須賀研二，杉村行信，和田親宗、ロボット歩行時に視覚・聴覚刺激を与えることについての検討、第46回北九州医工学術者会議、2010年3月5日、九州共立大学（北九州）
  - ⑥ 和田太、和田親宗、小田太士、蜂須賀研二、ロボット歩行訓練時の荷重タイミング提示装置の開発、第44回日本脊髄障害医学会、2009年11月13日、東京国際フォーラム（東京）
  - ⑦ Futoshi Wada、The effect of motor imaginary on cortical activation during robot assisted gait in normal subject、International Spinal cord Society (ISCOS) 2009、2009年10月23日、Congress Center (フレンチ)
  - ⑧ Futoshi Wada、Cortical activation during robotic-assisted rehabilitation、The Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting (APOSIM)、2009、2009年8月20日、香港工科大学（香港）
  - ⑨ 和田太、訓練ロボットによる歩行機能再建—イメージと知覚の影響、第46回日本リハビリテーション医学会、2009年6月6日、グランシップ（静岡）
  - ⑩ 和田太、小田太士、和田親宗、蜂須賀研二、ロボット歩行訓練時における歩行イメージと脳賦活—健常者の場合、第43回日本脊髄障害医学会、2008年11月7日、かでる2・7（北海道）

[図書] (計1件)

- ① 和田太、先端医療技術研究所、訓練ロボット：リハ医とコメディカルのための最新リハビリテーション医学、2010、122-126

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

和田太 (WADA FUTOSHI)  
産業医科大学・医学部・講師  
研究者番号：10341512

### (2) 研究分担者

蜂須賀研二 (HACHISUKA KENJI)  
産業医科大学・医学部・教授  
研究者番号：00129602

和田親宗 (WADA CHIKAMUNE)  
九州工業大学・生命体工学研究科・准教授  
研究者番号：50281837