

## 仮想歩行による歩行リハビリテーションの可能性

### The Possibility of Walking Rehabilitation by Imaginary Walking

○姜銀来 (高知工科大), 王碩玉 (高知工科大), 譚仁鵬 (高知工科大),

石田健司 (高知大), 安藤健 (早大), 藤江正克 (早大)

Yinlai JIANG, Kochi University of Technology  
Shuoyu WANG, Kochi University of Technology  
Renpeng TAN, Kochi University of Technology  
Kenji ISHIDA, Kochi University  
Takeshi ANDO, Waseda University  
Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

**Key Words:** Walking Rehabilitation, Imaginary Walking, fNIRS

#### 1. 緒言

社会の高齢化が進む中でリハビリテーションの重要性が高まっている。特に歩行リハビリテーションは、患者の日常生活復帰のために積極的に行われている。現在、歩行訓練機に関する研究開発は筋力強化を重視するものがほとんどである。しかし、歩行障害の原因としては、単なる筋力低下だけではなく、脳と神経に問題があるのは高齢者全体において 58%を占めている。歩行リハビリテーションは、筋肉活動と共に筋肉を制御する脳活動も考慮して行うことが重要である<sup>(1)</sup>。

歩行は、脳内での運動情報処理が身体を通して外界に表象されたものである。歩行機能の効率的なリハビリテーションを行うためには、筋力や身体バランス等の力学的観点からのみではなく、歩行を制御する神経活動の変化についても考慮する必要がある。したがって、本研究は歩行障害の早期回復を目的として、力学的立場での歩行訓練機による筋力増強と、脳神経学的立場での仮想歩行による脳神経の認知リハビリを融合するリハビリテーションシステムを開発する。今回の報告は、実歩行と仮想歩行による脳活性化の相違を比較して、仮想歩行によるリハビリの促進の可能性を検討する。

#### 2. 実験方法

##### 2-1 被験者

実験では、右利き、健康な男性 2 名(SL と ZJ)に協力してもらい、計測を行った。被験者の年齢は、それぞれ 27 歳と 28 歳であった。

##### 2-2 脳血流測定装置

本研究は、歩行中の脳活動を計測するため、光トポグラフィ装置 ETG-7100 (日立メディコ製)を用いた<sup>(2)</sup>。この計測装置は、機能的近赤外分光法 (fNIRS)を用いて脳血管中の酸素化・還元ヘモグロビン濃度を非襲侵的にかつ比較的緩やかな拘束状態で計測可能である<sup>(2)</sup>。

##### 2-3 実験内容

実験内容は、Fig.1 に示す。実験では、被験者に 60 秒のレストを挟んで実歩行と仮想歩行を連続的に行ってもらった。実歩行と仮想歩行の順番の影響を考慮して 2 つの実験を行った。実験 1 では実歩行から仮想歩行、実験 2 では仮想歩行から実歩行との手順で行った。実歩行では、被験者が 0.3m/s の速度で、約 6m の直線を歩く。仮想歩行では、

図に示すような歩行ビデオをスクリーンに投射し被験者に見せて、被験者はビデオの中の歩行と同じように自分が歩くことを想像してもらった。歩行ビデオの中の歩行速度は、0.3m/s であった。

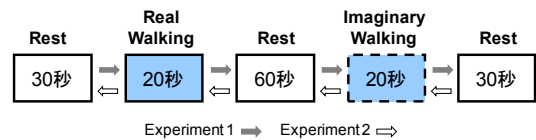


Fig. 1 Experiment procedure



Fig. 2 Walking video shown to the subjects during imaginary walking

計測では、近赤外線照射部 8 個、受光部 8 個の計 16 個のオプトードで構成される 24CH(チャンネル)のプローブ (オプトードと固定具を一つにした計測器具) を被験者に装着した。プローブの位置と CH 番号を Fig.3 に示す。装着位置は脳波で使われる国際 10-20 法を用い、CH16 を Cz に合わせた。国際 10-20 法と脳の領域との対応関係により、CH11, 12, 15, 18, 19 と CH13, 14, 17, 20, 21 が左右脚の運動と感覚を司る運動野と感覚野を計測する<sup>(3)</sup>。

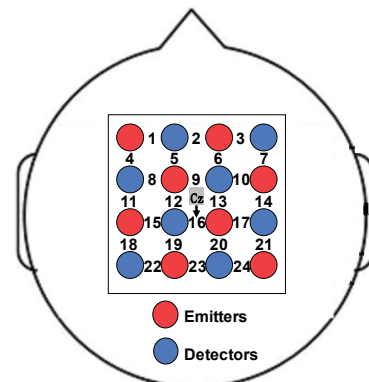


Fig.3 Schematic placement of the emitter and detector optodes on the subject's head

## 2-4 解析方法

今までの報告により、fNIRS による計測信号の酸素化ヘモグロビン変化(oxyHb)は、還元ヘモグロビン濃度変化(deoxyHb)より信頼性が高いため<sup>(4)</sup>、本論文では、分析対象を oxyHb に限定した。実験データは、ETG-7100 の解析ソフトウェアにより加算平均された後、エクセルファイルに導出し、解析を行った。加算平均において、パラメータは次のように設定した。Analysis Mode : Integral, Pretask Period : 9s, Task Period : 20s, Recovery Period : 12s, Posttask Period : 7s. Fig.4 に示したように、加算平均されたデータは計 64 秒であった。解析において、Task Period と Recovery Period を統計空間として、CH11, 12, 15, 18, 19 と CH13, 14, 17, 20, 21 の平均 oxyHb を計算して比較した。

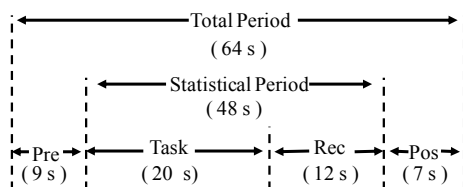
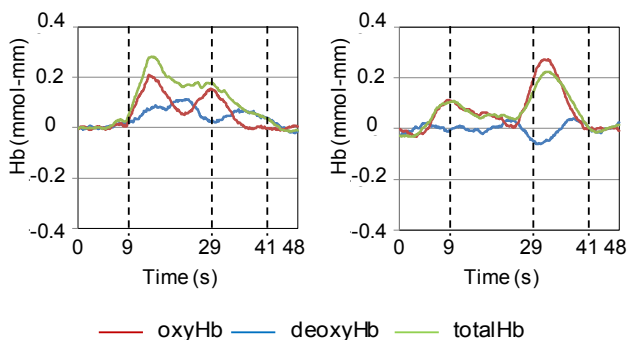


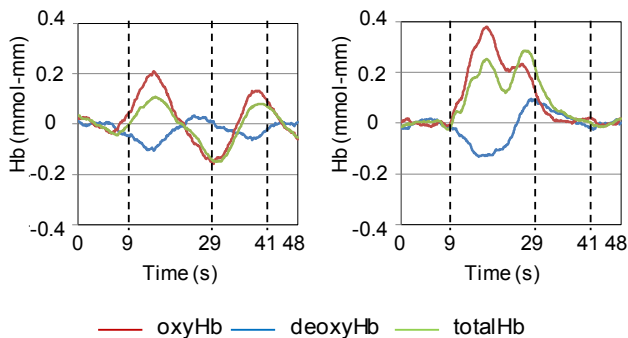
Fig. 4 Parameters of the integral mode in the ETG-7100 analysis software

## 3. 実験結果と考察

実験 1 と実験 2 における被験者 SL のヘモグロビン濃度変化(Hb)をそれぞれ Fig.5 と Fig.6 に示す。Fig.5 と Fig.6 の横軸は、Fig.4 に示した時間である。実験 1 でも実験 2 でも、仮想歩行と実歩行とともに、oxyHb に顕著な増加が見られた。歩行を想像することにより脳が活性化されることが示された。



(a) Real walking (b) Imaginary walking  
Fig.5 Results of experiment 1



(a) Imaginary walking (b) Real walking  
Fig.6 Results of experiment 2

Fig.4 に定義した統計空間における被験者 SL と ZJ の平均 oxyHb を Table 1 に示す。Table 1 の結果より、oxyHb に個人差があるものの、実験中仮想歩行と実歩行の順番に関わらず、仮想歩行における oxyHb が実歩行における oxyHb より高かったことが分かる。

Table 1 Average oxyHb concentration during real walking and imaginary walking

	Experiment 1		Experiment 2	
	Real walking	Imaginary walking	Real walking	Imaginary walking
Subject SL	0.027	0.147	0.056	0.114
Subject ZJ	0.043	0.135	-0.087	-0.062

fNIRS は、大脳皮質の脳血流変化を計測する装置である。人間は、障害物のない平坦地での普通の歩行において、大脳皮質の運動野及び感覚野は余り機能せずに小脳で脚の運動を制御するため、fNIRS の計測信号である oxyHb が低い。一方、仮想歩行の時、ビデオの中の歩行に合わせて自分の歩行を想像するために、実際に動かなくても意識的に脚の運動を計画する必要があるため、脚の運動と感覚を司る運動野と感覚野の oxyHb は高いと考えられる。しかし、仮想歩行は、歩行に関わるほかの神経経路、例えば小脳と脊髄と末梢神経系、への影響はまだ分かっていない。

以上の実験結果により、仮想歩行により大脳皮質の歩行に関する領域を活性化する可能性が示された。

## 4. 結言

本論文は、仮想歩行による歩行リハビリテーションの可能性を検討するために、fNIRS を用いて仮想歩行と実歩行における脳血流変化を比較した。その結果、実歩行より、仮想歩行における大脳皮質の oxyHb が高かった。仮想歩行による歩行リハビリテーションの促進の可能性が示された。

今後では、被験者数を増やし実験を重ねることにより、fNIRS および fMRI を用いて、仮想歩行に関わる脳機能をより一層精密に検討していく予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費(20240058)と科研費(21300212)の助成を受けて行われた。

## 参考文献

- (1) 久保田競, 宮井一郎: 脳から見たリハビリ治療, 講談社, 2007.
- (2) 株式会社日立メディコ: 光トポグラフィの原理, <http://www.hitachi-medical.co.jp/product/opt/index.html>
- (3) Okamoto M., Dan H., Sakamoto K., Takeo K., Shimizu K., Kohno S., Oda I., Isobe S., Suzuki T., Kohyama K., Dan I., Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping, *Neuroimage*, vol.21, no.1, pp. 99-111, 2004.
- (4) Plichta M. M., Herrmann M. J., Baehne C. G., Ehlis A-C., Richter M. M., Pauli P., Fallgatter A. J., Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): are the measurements reliable?, *Neuroimage*, vol.31, no.1, pp.116-124, 2006.