

歩行音による想起状況フィードバックが与える歩行想起時脳活動への影響

The Effects of Imagination Situation Feedback of the Sound of Footsteps on Brain Activity of Virtual Walking

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1180151 松丸 剛

1. 緒言

怪我や手術の直後では、数日の間、歩行できないベッド上での療養が必要な場合がある。しかし、歩行せず療養すると、筋肉とバランス能力を低下することだけではなく、脳内運動野の情報処理機能が劣ることが報告されている。歩行運動は、脳内運動野の運動指令が、神経を通しベッド上で筋肉の伸縮を制御することで、初めて実現される複雑な動作である。もし、怪我や手術の直後では、運動野のニューロン神経を活性化することができれば、結果として歩行の早期回復につながる。

したがって、歩行における脳の運動指令を司る神経基盤のリハビリテーション方法として先行研究⁽¹⁾により、歩行の実運動と歩行のイメージ(歩行想起)は類似した脳活動を示すことから、歩行想起を利用する歩行訓練システムは有用であると考えられる。

そのため本研究では歩行想起(歩行イメージ)を利用する歩行訓練システムを開発している。この歩行訓練システムでは想起状況を被験者に知らせ、実際に自分が歩行想起出来ているという感覚を理解してもらうことが重要である。本報告では機能的近赤外線分光法(functional Near Infrared Spectroscopy :fNIRS)光トポグラフィ装置を用いて、歩行音による想起状況の伝達が歩行想起に及ぼす影響を明らかにする。

2. 歩行音が歩行想起に及ぼす影響の考察実験

本研究では、歩行音フィードバック音の有無におけるそれぞれの歩行想起の比較実験を行い、被験者が歩行想起をする課題中の脳活動測定を行った。

本実験での脳活動測定では日立メディコ製 ETG-7100 光トポグラフィ装置を用いた。fNIRS 装置では近赤外線によって被験者の大脳皮質表面の血中ヘモグロビン濃度変化を測定することで測定部位の脳活動の活動状態などの脳活動情報を得られる。

実験では被験者を座位姿勢にして一人称視点における歩行をイメージした参考動画を見せながら歩行想起を行うように教示した。また歩行音フィードバックを行う場合は被験者にイヤホンを着用してもらい、脚部の運動野が使われている時に歩行音を再生、被験者にはその歩行音を参考に歩行想起を維持してもらうように教示した。脚部の運動野が使われているとする判断基準として酸素化ヘモグロビン濃度変化量の標準得点(Z-score)の値が3以上であること、あるいは標準得点の傾きが正であること(脳活動が増加傾向にあること)のいずれかを満たす場合に脚部の運動野が使われているとした。またサンプリングタイムは0.1秒、歩行音再生時間は0.5秒とした。図1に実験風景を示す。

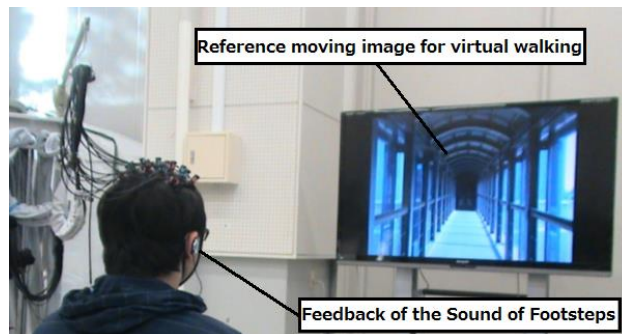


Fig.1 Experiment scenery

実験のタスクは初期安静として被験者に安静用参考画像を見てもらいながら20秒間測定を行い、その後歩行想起課題前安静として安静用参考画像を見てもらいながら10秒間測定を行い、続いて歩行用参考動画を見ながら実際に歩行想起をしてもらいながら20秒間測定を行い、最後に歩行想起課題後安静として安静用参考画像を見てもらいながら20秒間測定を行い、合計70秒間をタスクとして脳活動の測定を歩行音フィードバック無し3回、歩行音フィードバック有り3回の合計6回行った。

fNIRS 装置による脳活動の測定には、近赤外線の照射部8個、受光部7個の計15個のファイバソケットと頭部にファイバソケットを固定するためのソケットフォルダで構成される22チャンネルのプロープを被験者頭部に装着した。

被験者の歩行運動感覚情報を脳活動から読み取るために、大脳皮質の運動野について注目した。実験でのプロープの装着位置は国際10-20法に基づき、Czを中心にプロープを配置した。プロープの配置イメージを図2、図3に示す。

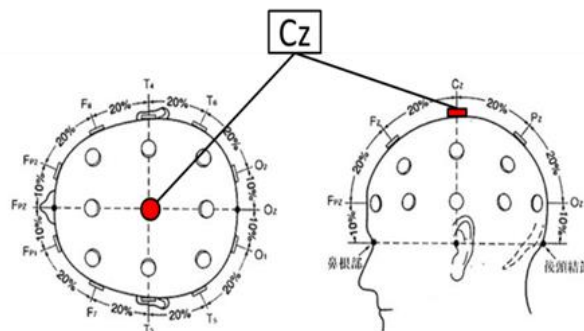


Fig. 2 The Method of 10-20 system

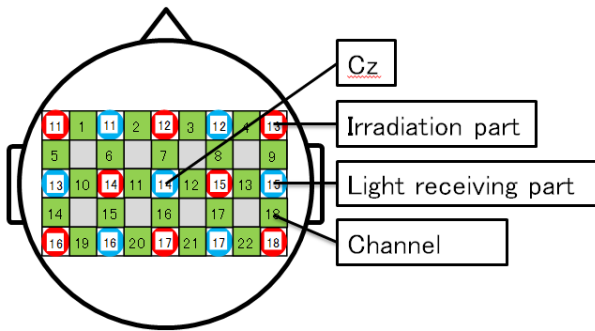


Fig. 3 Probe arrangement of fNIRS

3. 歩行音による計測した脳活動の解析

3.1 歩行音(革靴音)を用いた想起状況フィードバック

実験1として20代の健常な男性Aの歩行想起時の脳活動と歩行想起時に歩行音による想起状況のフィードバックを行った場合の脳活動を測定、比較を行った。

歩行音としてフリーソフト内の足音・革靴02⁽²⁾を使用させて頂いた。実験方法は第2章に準拠する。

3.2 実験1におけるz-scoreを用いた解析結果

図4に実験1における被験者Aの歩行想起時の、脚部を司る部分の脳活動の解析結果例を示す。赤線は被験者のイヤホンに歩行音フィードバックを行った場合の脳活動を示し、青線はイヤホンに歩行音フィードバックを行わなかった場合の脳活動を示す。縦軸は酸素化Hb変化量[mmol-mm]の標準得点(z-score[-])、横軸は時間[sec]である。

また図5に解析結果例図4における歩行想起時の標準得点の平均値を示す。赤のデータは被験者のイヤホンに歩行音フィードバックを行った場合を示し、青のデータはイヤホンに歩行音フィードバックを行わなかった場合を示す。縦軸は標準得点(z-score[-])である。

標準得点(z-score[-])の算出方法として式(3.2.1)を用いた。

$$z\text{-score} = \frac{a_i - b}{c} \dots (3.2.1)$$

(a_i :各時刻における素点, b :課題前安静間の平均値, c :課題前安静間の標準偏差)

被験者には運動野における脚運動を支配している領域において変化が見られた。また図5のように、被験者のイヤホンに歩行音フィードバックを行ったときの方が、行わなかったときよりも脳活動平均値が低下してしまう傾向が見られてしまった。これは被験者のイヤホンに流れた歩行音による、聴覚における歩行感覚と一人称視点における歩行をイメージした参考動画に流れる歩行速度による、視覚における歩行感覚との感覚が大きすぎてしまっていることによるのではないかと考えられる。被験者にとっては耳から入ってくる歩行音を用いた歩行感覚と目から入ってくる歩行速度を用いた歩行感覚との違いによる違和感を感じ取ってしまい、歩行運動想起が行いづらかったと考えられる。

しかし、図4に示すように、歩行想起課題が進むにつれ歩行音フィードバックと共に脳活動が増加する傾向がみられた。被験者はフィードバックされた歩行音を参考にして歩行運動想起に反映出来たのではないかと考えられる。

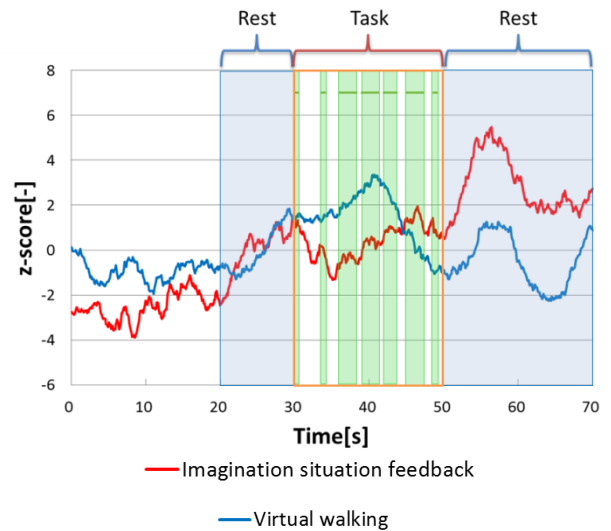


Fig. 4 z-score of subject A in case of the feedback of the sound of footsteps(Sound of Leather shoes)

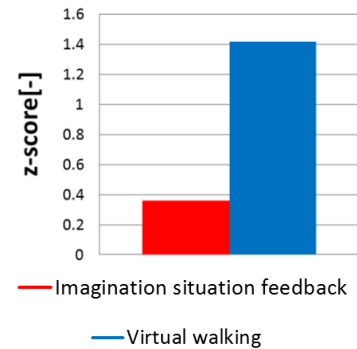


Fig. 5 Average of z-score in while subject A imagines virtual walking

3.3 歩行音(水音)を用いた想起状況フィードバック

実験2として実験1と同じ男性Aの歩行想起時の脳活動と歩行想起時に歩行音による想起状況のフィードバックを行った場合の脳活動を測定、比較を行った。

歩行音としてフリーソフト内の足音・水溜り01⁽³⁾を使用させて頂いた。実験方法は第2章に準拠する。

実験2では、実験1で用いた革靴音とは異なる水たまりを歩くときの歩行音を用いた。実験1とは違って実験2のフィードバック情報は、乾いた路面を水音を立てながら歩くという現実では起こり得ないものとなる。つまり現実では起こりえない事象を被験者は体感することとなる。

本実験2を実施することにより、実験1のように現実において起こり得る情報を基に歩行運動想起をしたときと、実験2のように現実では決して起こりえない情報を基に歩行運動想起をしたときとの脳活動への影響の違いを調べることができる。

もし、実験1のときの被験者の脳活動の方が実験2のときよりも活発、あるいは安定して働いているという結果となれば、安定した歩行運動想起の実現のためには現実において実際に起こり得る情報を基に歩行運動想起をすることが必要であると考えられる。安定した歩行運動想起を実現させるためには、いかに被験者に対して実歩行に基づく情報をフィードバック出来るかが重要になってくると考えられる。今後の実験条件の設定の方針を決めやすくなる。

3.4 実験2におけるz-scoreを用いた解析結果

図6に実験2における被験者Aの歩行想起時の、脚部を司る部分の脳活動の解析結果例を示す。赤線は歩行音フィードバックを行った場合、青線は歩行音フィードバックを行わなかった場合の脳活動を示す。縦軸は酸素化Hb変化量[mmol-mm]の標準得点、横軸は時間[sec]である。

また図7に解析結果例図6における歩行想起時の標準得点の平均値を示す。赤のデータは被験者のイヤホンに歩行音フィードバックを行った場合を示し、青のデータはイヤホンに歩行音フィードバックを行わなかった場合を示す。縦軸は標準得点(z-score[-])である。

標準得点(z-score[-])の算出方法としては第3.2章で記載した計算式(3.2.1)を用いた。

図7のように、実験1において生じた結果のように、被験者のイヤホンに歩行音フィードバックを行ったときの方が、行わなかったときよりも脳活動平均値が低下してしまう傾向が見られてしまった。こちらも実験1の結果同様歩行音フィードバックによる聴覚における歩行感覚と歩行用参考動画による視覚における歩行感覚との大きなずれが要因ではないかと考えられる。

実験1の図4と実験2の図6が示す脳活動を比べると、より実験1のときの方が被験者の脚部に相関する一次運動野が歩行音フィードバックと共に活性化されている。従って、実験1のときの方が、被験者がより歩行運動想起に集中出来たのではないかと考えられる。すなわち、安定した歩行運動想起の実現のためには、本実験2のような現実において決して起こりえない情報を基に歩行運動想起をするよりも、実験1のような現実において起こりうる情報を基に歩行運動想起をする方が安定して想起出来るのではないかと考えられる。

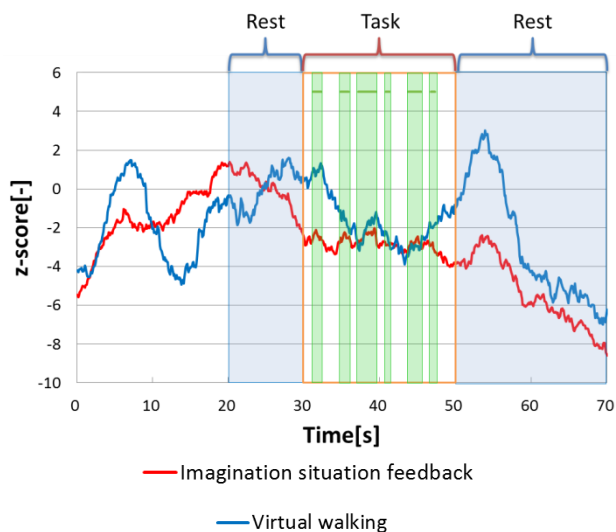


Fig. 6 z-score of subject A in case of the feedback of the sound of footsteps(Sound of Walk in Puddle)

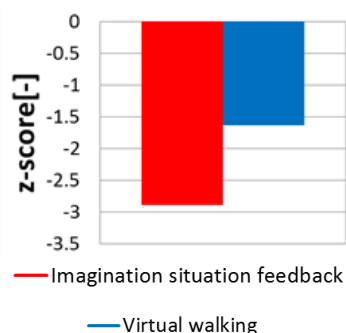


Fig. 7 Average of z-score in while subject A imagines virtual walking

4. 結言

本報告では歩行音という音声によって伝えるフィードバック情報が歩行想起に及ぼす影響を明らかにするために歩行音提示の有無による歩行想起の比較を行った。

これらの実験から被験者に対して音声提示による歩行音フィードバックによって歩行想起時脳活動へ影響を与えることが可能であると考えられる。さらに実験1の図4に示す結果から利用者に対して歩行音をフィードバックすることにより歩行想起に集中させることが可能であると考えられる。

また、今回行った実験1と実験2の結果から、実験1のように現実で起こりうるような情報を被験者にフィードバックさせる方がより歩行運動想起に集中することが可能であると考えられる。すなわち、いかに被験者に対して実歩行に基づく情報をフィードバック出来るかが重要になってくると考えられる。

しかし、両実験後の被験者の感想にあった、歩行参考用動画の歩行速度と被験者の耳に装着されたイヤホンに流れる歩行音の間隔がずれていて歩行運動想起に集中し辛かったということに対し、実際に実験結果でもフィードバック有りのときの方が無しの時よりも全体的に脳活動が低下傾向を示してしまった。そのため、今の実験段階では、被験者に対してリアルタイムな歩行想起状況の把握をさせ、そこから安定して歩行想起に反映させることが難しいと考えられ、歩行想起による安定した神経リハビリテーション方法の提案としては不十分と考えられる。想起状況の伝達方法についてはまだ課題が残る。

今後の展開としては今回の実験で得られた被験者の意見を反映して歩行用参考動画における歩行速度とフィードバックされる歩行音の間隔を最適化し、視覚における歩行感覚と聴覚における歩行感覚とのずれを無くす。また被験者に対してより実歩行に基づいた情報をフィードバックするシステムを開発する。そしてリアルタイムの総ヘモグロビン変化を被験者にフィードバックする歩行訓練システムの完成を目指す。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 16K12503 の助成を受けたことを記し、感謝申し上げる。

文献

- (1) 河内潤一郎:脚運動想起時の計測データを用いた歩行訓練システムの開発, 高知工科大学, 日本機械学会 中国四国支部 第51期総会・講演会 講演論文集, 2012
- (2) On-Jin ~音人~, <https://on-jin.com/>, 足音・革靴 02
- (3) On-Jin ~音人~, <https://on-jin.com/>, 足音・水溜り 01