

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350604

研究課題名(和文)片麻痺患者に対する聴覚バイオフィードバックによる運動制御に関する研究

研究課題名(英文) Study on Motor Control with Auditory Biofeedback for People with Hemiplegia after Stroke

研究代表者

井口 正樹 (Iguchi, Masaki)

筑波技術大学・保健科学部・准教授

研究者番号：20637087

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：身体の動きを音に変換し、その制御を容易にする聴覚バイオフィードバック(BF)は、モニタが不要で手軽などの利点がある。本研究ではその聴覚BFを脳卒中後の片麻痺患者にどう役立てられるかを検討した。課題に目標を足首の動き(関節角度)で追う追従課題を採用した。音のみでは難しいので、視覚BFも用意し、2つの音デザインを比較した。一つは目標・角度を常に音の周波数に割り当てることで音へ変換した。二つ目は目標と角度が一致しない際に音を発生させた。その結果、音は人の注意を引くのが得意であるため、常に音を発生させて視覚情報と重複する情報を提供するよりは、修正が必要な時に音で注意を引くことが良いと思われた。

研究成果の概要(英文)：The movement of the body can be converted into sound (auditory biofeedback or ABF), and it has some advantages such as no monitor is required. In this study, we attempted to explore how ABF can be used for people with hemiplegia after stroke. We employed a tracking task in which a target is followed by the movement of the ankle joint (joint angle). We used visual BF to assist the recruited subjects to perform the tracking task in addition to ABF. The ABF had 2 types: One type converted both the target and the joint angle into sound continuously, and the other generated sound only when the joint angle differed from the target. Our results suggested that because sound is good at drawing people's attention, generating sound when correction was needed was better rather than continuously generating sound.

研究分野：身体的リハビリテーション

キーワード：聴覚バイオフィードバック

1. 研究開始当初の背景

- (1) 聴覚でのバイオフィードバック (聴覚 BF) は、全盲者にも適応できる、モニタが不要なので手軽に行える、視線が固定されないため自由な運動が行える、などの利点がある。しかし、実際にはリハビリテーション分野において聴覚 BF はそれほど普及していない。その原因の一つとして、聴覚情報 (音) は視覚情報と比較して情報量が劣ると考えられてきたことが挙げられる。しかし、筋電図振幅や関節角度で音量、音高、音色などを個別に、或いは複数パラメータの組合わせで変動させることにより、視覚情報と同等の情報量を音にも持たせることが可能との報告もあり、聴覚 BF の大きな可能性を示唆している (Tsubouchi Y, Suzuki K. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2010;6543-6; 2010)。聴覚 BF の妥当性・有効性をより明確にすることで、聴覚 BF の更なる普及が期待できる。
- (2) 我が国における脳血管疾患はその総患者数が 137 万人といわれ (厚生労働省による調査)、重篤な運動障害を引き起こし、日常生活動作の制限や生活の質の低下をもたらす。下肢の運動障害は立ち上がり・立位・歩行などを制限し、患者ニーズとしては、「再び歩けるようになりたい」が最も多い。脳卒中の運動障害の特徴の一つとして、身体の中核よりも末梢でより回復が困難であることが挙げられ、下肢においては特に足関節運動の回復が難しいとされる。
- (3) 脳卒中片麻痺の足関節底背屈運動において、視覚での追従課題が運動学習をもたらすことは知られている。これは、画面に表示されるサイン波などのテンプレートを底背屈運動で出来るだけ正確に追従する課題であり、脳卒中患者はこのような運動を繰り返し行うことで運動学習をする (Exp Brain Res 209, 9-17, 2011)。この視覚 BF による追従課題を聴覚 BF で行うことも可能である。

2. 研究の目的

本研究では、聴覚 BF を用いた運動課題練習が、脳卒中片麻痺患者の足関節の運動制御や歩行に及ぼす影響を明らかにする。リハビリテーション分野での聴覚 BF についての有効性をより明確にし、その更なる普及を目指す。本研究の具体的な目的は以下の 2 つである。

- 健常者に対して、聴覚 BF での追従課題に最も適した音デザインを検討する。
- 不全片麻痺を呈する脳卒中患者の麻痺側足関節に対して、聴覚 BF での追従課題練習が運動制御能力へ及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

a. 音デザインの検討

- (1) 被験者：聴覚・運動機能、ほか実験結果

に影響を与えない健常者 (のべ 16 名)。

- (2) 方法：実験手続きは倫理審査委員会の承認を得ており、また全被験者からインフォームドコンセントを得た上でデータ収集を行った。

被験者は安定した椅子に坐位となり、電子角度計を貼付した両側金属支柱短下肢装具を右下肢に装着した。電子角度計からの信号は MATLAB で処理し、SuperCollider に送られ可聴化した。

基本的な可聴化の方法は、信号振幅 (関節角度) で音の周波数を変動させるパラメータマッピングとし、追従課題を聴覚のみで実現するため、追従するための目標と被験者の関節角度の両方をリアルタイムで音に変換した (それぞれ目標音と可聴化音)。目標は、周波数を 0.2 Hz ~ 0.4 Hz、振幅を最大随意可動域の中央 80% の範囲とした。

追従課題に最適な音デザインを検討するため、以下の 3 つの音デザインを用意し、比較検討した。1. 目標音はサイン波、可聴化音は矩形波、2. 目標音は三角波 + 時間エンベロープ (サイン波)、可聴化音は三角波、3. 目標音は三角波 + 時間エンベロープ (のこぎり波)、可聴化音は三角波。時間エンベロープは音の時間変化パターンであるため、例えばサイン波の時間エンベロープを採用した場合、音の振幅はサイン波に従い緩やかに増加する。一方、音色を変えると、例えば単一周波数のみのサイン波は澄んだ感じを、また倍音を豊富に含む三角波は明るい感じを聞く人に与える。これらの工夫を施し、目標音と可聴化音の区別を容易にすることで追従課題の成績に差が出るかを検討した。ヘッドフォンの右から可聴化音 (装具装着側) を、左から目標音を被験者に聞かせた。

1 試行を 45 秒として、各試行開始とともに、左のヘッドフォンからは時間とともに周波数を変動する目標音を聞かせ、どれだけ正確にその目標 (音) を足関節の底背屈で追従できるか (どれだけ右の音の高さを左の音の高さに合わせられるか) を計 7 試行を行った。

また、「運動課題のしやすさ」、「音の聞き心地」、「フィードバックのわかりやすさ」に関する主観的データとして、アンケートに被験者は回答した。

- (3) データ・統計処理：課題の正確さは AI (accuracy index) を以下の式を用いて数値化した。AI = (P - E) / P x 100。P は目標信号とそのベースラインとの差の二乗平均平方根、E は目標信号と関節角度信号との差の二乗平均平方根である。目標信号と関節信号が完全に一致すれば AI は 100 となり、真逆では -100 となる。

b. 片麻痺患者への適応

- (1) 被験者：組込基準として、1. 脳卒中が

1 回のみで慢性期 (> 6 ヶ月) であること、
2 . コミュニケーション・聴覚・視覚に障害がないこと、3 . 麻痺側足関節を随意的に背屈可能であること (> 5 度) を設定し、計 4 名の片麻痺を有する被験者が参加し、音デザインのみが異なる 2 グループに分かれた。

(2) 方法：実験手続きは倫理審査委員会の承認を得ており、また全被験者からインフォームドコンセントを得た上でデータ収集を行った。基本的な方法は「a. 音デザインの検討」のそれと同じである。予備実験として数名の片麻痺患者に対して聴覚 BF のみでの追隨課題を試みたが、かなり難易度が高かったため、聴覚 BF に視覚 BF も追加した。

視覚 BF における目標は、PC モニタ上に予め用意された目標を横軸に時間、縦軸に足関節角度 (上が背屈) として線で各試行開始前に表示した (目標線)。また、電子角度計からの信号を目標線と同じプロット上にやはり線 (可視化線) として、各試行開始と同時にモニタ上を左から右へ自動的に移動しながら表示させた。被験者はこの可視化線を足関節の底背屈で目標線と一致させることで追隨課題を行った。

聴覚 BF はエラー BF とフル BF と 2 つ、用意した。エラー BF では目標と足関節角度がずれた際 (エラーが生じた際) にずれの大きさに応じてエラー音の音量が大きくなるようにデザインした。一方、フル BF では「a. 音デザインの検討」の音デザイン 1 を採用し、目標と関節角度を常に可聴化した。つまり、全くずれがない場合、エラー BF では無音、フル BF では左右から同じ周波数の音が聞こえる仕組みとした。

本実験では、6 試行 (60 秒/試行) をトレーニングとして繰り返し追隨課題を、またその前後で 2 試行ずつ (トレーニング前とトレーニング後で計 4 回) をテストとして行わせ、トレーニング前後のテスト結果を比較することでトレーニング効果を検討した。

また、「課題の理解のしやすさ」、「課題遂行の楽しさ」、「課題遂行の難しさ」に関する主観的データとして、アンケートに被験者は回答した。

被験者が片麻痺患者であったため、上記追隨課題開始前に、Fugl-Meyer test と Mini Mental State Exam (MMSE) を行い、組込基準を満たしているか等を確認した。

(3) データ・統計処理：基本的なデータ・統計処理方法は「a. 音デザインの検討」のそれと同じである。

4 . 研究成果

a. 音デザインの検討：音デザイン 1、2、3 間で有意差は見られなかった。また、アンケート結果から、音デザイン 1 で「運動課題のしやすさ」で高い評価を得た。

これらの結果は、今回用意した音デザインの違いは AI に影響を与えるほどではなかったことがわかる。また主観的には音デザイン 1 が好評だったので、片麻痺患者への適応時は音デザイン 1 を採用することとした。

b. 片麻痺患者への適応：上記の通り、聴覚 BF のみで追隨課題を行うのはかなり難易度が高かったため、聴覚 BF に視覚 BF も追加し、2 種類の音デザイン (フル BF とエラー BF) を比較した。AI はトレーニング後でトレーニング前と比較して全被験者で増加したが、その増加はエラー BF でフル BF と比較して大きかった (フル BF とエラー BF の増加平均 = 8.9 と 14.9)。主観的アンケート結果はグループ間で同様であった (課題の理解のしやすさ = 5.0, 4 - 5; 課題遂行の楽しさ = 4.5, 3 - 5; 課題遂行の難しさ = 4.5, 3 - 5, それぞれ中央値と最小値 最大値、両グループ全て)。

これらの結果は、フル BF よりもエラー BF の方がより追隨課題には適していることを示唆する。一般的に、視覚 BF のみ・聴覚 BF のみよりも視覚 BF + 聴覚 BF のように複数の感覚入力を使用した方が運動学習などにはより効果的であるとされている。今回、視覚 BF で目標線と可視化線の両方をモニタ上に表示することで可視化線が目標線からずれているか、もしずれていればどれだけずれているか、という情報が容易に得られた。フル BF はこの視覚 BF から得られる情報を音に変換したため、視覚 BF とフル BF は重複した情報を同時に提供したこととなる。エラー BF はエラーの有無・程度を音に変換したため、それらが見て取れる視覚 BF とやはり重複した情報ではあるが、エラー BF の方がフル BF よりもより良い結果が今回、得られた。その理由としては、音は人の注意を引くのが得意であることに関係するかもしれない。視覚 BF からエラーの有無・程度はわかるが、それを修正するためにはそれに注意を向ける必要があり、エラー BF がそれを助けた可能性がある。

視覚情報は空間的情報の伝達に、一方、聴覚情報は時間的情報の伝達に優れていると言われている。今回使用した追隨課題は比較的ゆっくりな関節運動で目標を追うため、時間的情報よりは空間的情報の方がより重要であったと思われる。より重要な情報を視覚 BF で提供し、エラーが生じた時のみエラー音として課題実施者の注意を引く、というのが良かったのかもしれない。今後はこれらの視覚・聴覚 BF の特性を生かし、より機能的な歩行などへの応用も検討していきたい。また、聴覚 BF は視覚障害者にとって重要な BF であるため、視覚障害者への適応も検討していきたい。

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1件)

Iguchi M, Reduced health-related quality of life among Japanese college students with visual impairment, Biopsychosoc Med, 査読有, 2015 Aug 29, 9, 18.

[学会発表](計3件)

Iguchi M, Kadone H, Richard. K. Shields, Contributions of vestibular and somatosensory systems to quiet standing in sighted and congenitally blind people, The 21st Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK2016) 2016, 7.6 (Chicago, IL, USA). (Poster Abstracts ISEK2016; PDF: p28)

中川稜介, 寺澤洋子, 松原正樹, 井口正樹, 足関節運動の可聴化における音デザインの評価, 第1回アクセシビリティ研究発表会、2016年7月30日(土), 国立情報学研究所 19階 1901会議室

井口正樹, 中川稜介, 寺澤洋子, 松原正樹, 門根秀樹, 鈴木健嗣, 脳卒中片麻痺患者に対する聴覚バイオフィードバックを用いた, 足関節の運動学習効果, 第36回関東甲信越ブロック理学療法士学会, 2017.9.23(長野県長野市), (抄録集(ポスター発表)). 2017; PDF: 17)

6. 研究組織

(1)研究代表者

井口 正樹 (IGUCHI, Masaki)

筑波技術大学・保健科学部・講師

研究者番号: 20637087