

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350657

研究課題名(和文)聴覚刺激の弁別選択によるP300型脳波応用支援システムの構築

研究課題名(英文)Communication-assistive technology using P300-based Brain-Computer Interface (BCI) by auditory stimulation

研究代表者

千島 亮 (Makoto, CHISHIMA)

名古屋大学・医学系研究科(保健)・教授

研究者番号：80252112

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)：神経難病者(児)や高位頸髄損傷者の新たな生活支援技術として、ヒトの受聴特性に着目した事象関連電位 P300 応用による独自の支援技術提案と基礎的研究を推進した。実験推進は基本実験システムの整備と健常者データ収集を中心に進めた。H26・H27年度は気導刺激音と骨伝導刺激音の刺激条件の検討、気導・骨伝導聴覚刺激システムの構築と聴覚刺激音の調音・弁別刺激音の呈示条件の明確化を主眼に実施した。最終年度H28年度は、これまで聴覚刺激音の呈示条件をoddball taskとしたが、複数のコマンド信号を担保する上で、呈示頻度を同比率とした2種の純音刺激を用いた条件でも目的成分の安定導出が可能かを検討した。

研究成果の概要(英文)：Patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) that progress to the total locked-in state (TLS) cannot use alternative devices for communication, which depend on motor functions. These devices are often used in occupational therapy for patient support, but are not applicable in such cases. We have engaged in basic studies for the development of BCI that use P300 ERP elicited by auditory stimulus, because users do not require particular trainings for eliciting P300, and eliciting P300 does not depend on visual function. The results of the present study suggested that bone conductive sounds were useful for BCI. There are some advantages of using bone conductive sound. For example, the bone conductive headphones do not need to cover the external auditory canals, which would allow the user to listen to conversations with other people while wearing these headphones. In addition, it is sufficient to use a bone conductive transducer at only one location for excitation.

研究分野：身体障害系作業療法学

キーワード：身体障害系作業療法学 支援技術 意思伝達支援システム 事象関連電位P300 brain-computer interface BCI ヒューマン・インタフェース リハビリテーション工学

1. 研究開始当初の背景

重度神経難病者(児)の生活支援に向けた作業療法実践の一つとして、極めて限定された残存機能を詳細に評価・把握し、接点・帯電・光電式入力端末や表面筋電図(sEMG)・眼球電図(EOG)などの生体信号応用による支援技術提案が国際的に進められている(2015 Guide to AbleData Indexing Terms; <http://www.abledata.com>). しかし、気管切開・人工呼吸器(TPPV)下にある筋萎縮側索硬化症(ALS)をはじめとする進行性疾患においては、意思伝達困難へのリスク因子とされる眼球運動障害の出現など、いわゆる TLS(total locked-in syndrome)に至る対象者も多い。我々は脳波応用による支援技術「BCI: Brain-Computer Interface」に注目し、極めて重症な対象者のコンピュータ(PC)を介した新たな生活支援技術に関する基礎的研究を進めてきた。特に聴覚刺激を用いた独自の事象関連電位

2. 研究の目的

神経難病者(児)や高位頸髄損傷者の新たな生活支援技術として、ヒトの受聴特性に着目した事象関連電位 P300 応用による独自の支援技術提案と基礎的研究を推進した。実験推進は基本実験システムの整備と健常者データ収集を中心に進めた。H26・H27年度は1: 気導刺激音と骨伝導刺激音の刺激条件の検討、2: 気導・骨伝導聴覚刺激システムの構築と聴覚刺激音の調音・弁別刺激音の呈示条件の明確化を主眼に計画し、気導音と同様に骨伝導音においても健常者から安定した P300 成分導出が可能かを明らかにした。最終年度 H28年度は、これまで聴覚刺激音の呈示条件を oddball task としたが、複数のコマンド信号を担保する上で、呈示頻度を同比率とした周波数の異なる2種の純音刺激を用いた条件でも目的成分の安定導出が可能かを検討した。

特に聴覚刺激を用いた独自の事象関連電位 P300型 BCIシステム構築の可能性について検討した。システムの在宅活用を視野に入れた利用者の利便性向上や活用負担の軽減に重点をおき、骨伝導聴覚刺激と気導による音像定位聴覚刺激による P300 型 BCI 構築に向けた基礎的研究を計画した。骨伝導音の伝音機構と受聴特性から、本システム構築のための最適な刺激方法について骨導端子での加振位置、刺激周波数、刺激音圧の条件から検討し、骨伝導音の伝音特性を活かした P300 型 BCI を構築した。また、ヘッドホンからバイノーラルに呈示する両耳側気導音の伝音機構の特性を応用し、仮想に音像を空間上に複数配置させた刺激音を任意に弁別選択する P300 型 BCI システムを同時に構築し、骨伝導と気導による聴覚刺激を用いたシステムの実用性について比較検討した。

ヒトの気導音と骨伝導音の受聴特性について図1に示した。

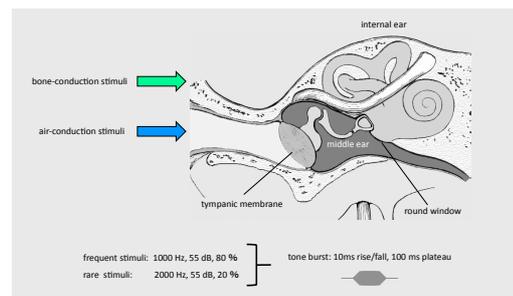


図1. 気導音と骨伝導音のヒトの受聴特性。呈示刺激音として用いたトーン・バースト音と oddball task としての呈示頻度を示す。

3. 研究の方法

3-1: 音像定位刺激による実験

健常被験者から得た頭部伝達関数(HRTF)を用いて音像定位させた気導音と骨伝導音刺激を健常被験者に呈示し、目的とするP300成分の安定導出について検討した。また、得られた目的成分の最大陽性振幅値の差について比較実験を試行した。実験は、音像を水平方向に60°, 0°, -60°の3方向に定位させ、頭皮に装着したAg-AgCl小型皿電極(日本光電: NE-121B)より脳波計(日本光電: MEB-5508)に取り込んだ。電極配置は国際10-20法に準拠して正中前頭部(Fz)、正中中心部(Cz)、正中頭頂部(Pz)とし、基準電極は両耳朶連結(A1+A2)、ボディアースをFpzとして単極誘導した。±50μVを超える電位が生じた試行は分析対象より除外。帯域フィルタは低域で0.5Hz、高域で50Hzのカットオフ周波数に設定。EEGデータはデータ収録ボード(National Instruments, NI USB-6259)によりサンプリング周波数1kHz、量子化ビット数16bitで取り込み、LabVIEW(National Instruments)を用いて各種信号を処理した。3つの刺激呈示は同頻度とし、間隔を2.0sec、1試行における標的刺激の呈示回数は20回とした。図2に調音について図示した。図3に実験のシステム構成を示した。

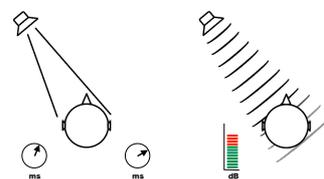


図2. 刺激音の調音に用いた両耳間時間差 interaural time differences; ITD を左、両耳間レベル差 interaural level differences; ILD を右に示す。

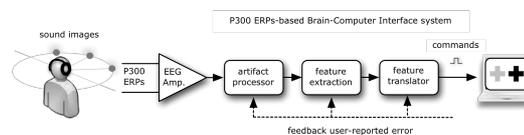


図3. 方位情報を付加した音像定位音を用いた実験構成。

3-2 : 骨伝導聴覚刺激音による実験

同意の得られた成人被験者 19 名 (女性 11 名, 男性 8 名, 平均 21.7 歳) を対象とした. 頭皮上に装着した Ag-AgCl 小型皿電極 (NE-121B, 日本光電) から誘発電位計測装置 (ER1204 NEC/MEB-550, 日本光電) を介し, 標本化周波数 1 kHz, 量子化精度 16 bit で PC に取り込んで解析した. 電極配置は国際 10-20 法に準拠し, 探查電極を正中前頭部 (Fz), 正中中心部 (Cz), 正中頭頂部 (Pz) とし, 基準電極は耳朶部の A1 と A2 を短絡して単極誘導した. 骨伝導音超磁歪素子 (giant magnetostrictive material; GMM) 型骨伝導ヘッドホン (Filltune HP-F200, TEAC) の片側の伝導ユニットで正中前頭部と右側側頭部を一箇所で加振して骨伝導音を被験者に受聴させた. 図 4 に実験システム構成を示す.

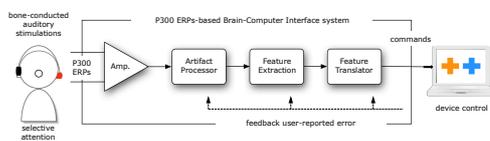


図 4. 骨伝導音を用いた実験構成

3-3 : 同呈示頻度での導出実験

刺激課題は密閉型ヘッドホン (DR-531, Elega Acous) から音圧レベルを 50 dB SPL の純音トーンバーストで, 刺激 1 を 1000 Hz, 刺激 2 を 2000 Hz としランダム呈示した. 被験者には 2 種の刺激音のうち, 標的的刺激 (呈示比率 45%) が受聴される度に任意にその回数をカウントするよう指示して計測した. 各課題 10 試行をランダムに実施した. 刺激後 250 から 500 ms に 3 か所で計測した最大陽性振幅値 (μV)・潜時 (ms) の平均値を標準化して独立変数に, 選択した刺激音の種類を従属変数に設定した. 二項ロジスティック回帰分析を用いて被験者が「2 種のうちどちらの刺激音を選択したか」を判別分析により解析した. また, 各試行の実測値と設定した回帰モデルによる予測値との一致率を的中率とし, 結果の指標とした. テスト試行として, 課題 A (target 1000 Hz), B (target 2000 Hz) を各 5 回ずつ実施して課題の順番は被験者の任意とした. 各課題で得られた波形データから得られる変数を, 先の実験 1 で設定した回帰モデルに挿入して 的中率 (%) を算出した.

4. 研究成果

4-1 : 音像定位刺激による結果

3 種類の音像方向 (60° , 0° , -60°) に 2 種類の周波数 (1 kHz, 2 kHz) を加え, 計 6 種類の音像刺激を用いた P300 成分導出実験を健常者で実施した. 刺激は同割合でランダムに密閉型ヘッドホン (QuietComfort 15, BOSE) から呈示される 6 種類の音像刺激から 1 種類

(target) を任意に選択させた. 何れの音像刺激を標的的刺激とした場合でも, P300 成分導出が確認でき, 頂点振幅値や潜時に明確な差は認めなかった. また, 6 種類の弁別実験では, 平均選択率は 88 % で, 平均標的刺激呈示回数は 10.6 回であった. 同定までに要した平均時間は約 73.2 sec であった. 聴覚刺激に ITD, ILD を付加して左右方向に定位させた音像の弁別による P300 型 BCI 開発の可能性が示唆された. 音像定位する聴覚刺激の呈示方法については, 視覚情報と同様に 3D 空間での仮想音に関わる研究が積極的に進められている. 本研究で取り上げた弁別し易い音像の調音についても, 正中面での上下方向を含めた音像刺激の呈示を検討し, 個体差を加味した HRTF フィルタや弁別課題音の数や組み合わせなど, より詳細な比較検討から判断していく必要があった.

4-2 : 骨伝導聴覚刺激による結果

19 名のうち 16 名において一箇所で加振した骨伝導音で安定した P300 成分を同定した. 今回用いた音圧 55 dB HL, 500 Hz と 1 kHz の組み合わせ条件では, 3 名の被験者で主観的明瞭度が悪く (各周波数の弁別に迷う), 安定した成分の同定が困難であった. 各課題条件のうち, 最も安定した目的成分導出には音圧 55 dB HL, 2.5 kHz と 1.5 kHz の組み合わせ条件が良好な目的成分の導出が可能であった. また, 骨導端子 (骨伝導ユニット) の加振部位は側頭骨部において被験者の主観的な明瞭度が高い傾向にあり, 目的成分の同定が良好であった. 図 5 と 6 に健常被験者より得た P300 導出源波形を示す.

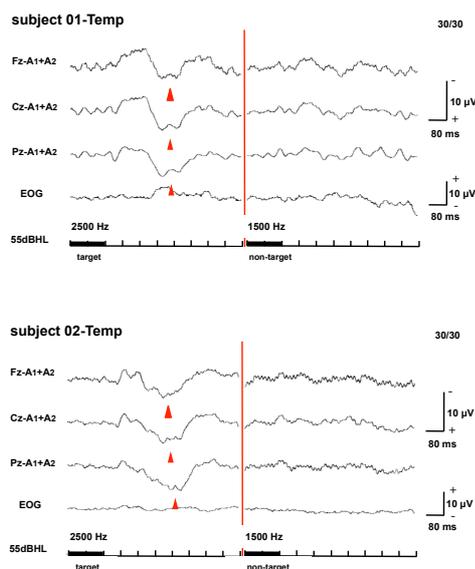


図 5. 右側側頭部より骨伝導聴覚刺激 2500 Hz を呈示し, 標的 (target) とした場合の P300 成分導出の 2 例を示す.

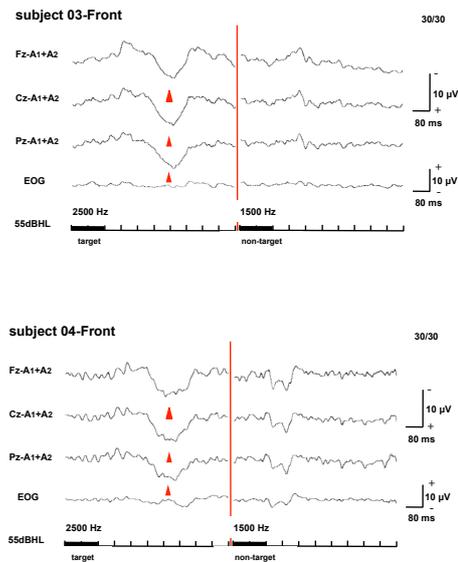


図 6. 前頭骨部正中より骨伝導聴覚刺激 2500 Hz を呈示し、標的 (target) とした場合の P300 成分導出の 2 例を示す。

4-3 : 同呈示頻度での導出実験による結果

呈示比率を同等とした 2 種の刺激音を用い、任意の弁別選択による複数コマンド信号発信の可能性について検討した。課題 A では刺激 1000 Hz を、課題 B では刺激 2000Hz を標的の刺激とし、各課題を 10 試行ずつランダムに行った。刺激後 250 から 500 ms に 3 か所で計測した最大陽性振幅値 (μV)・潜時 (ms) の平均値を標準化して独立変数に、選択した刺激音の種類を従属変数に設定し、二項ロジスティック回帰分析を用いて解析した。また、各試行での判別精度について検討した。ヒトの受聴特性から 2 種の純音刺激間では高音の 2000 Hz が強い音圧として受聴 (HL) され、任意選択時により高い純音に注意が無意識に向けられる傾向にあったものと考えられた。特定の刺激音に注意が向くことを防ぐには、音圧レベル設定 (dB SPL) や刺激音に音刺激特性を付加した音質 (音色) を考慮するなどの検討が必要であると考えられた。複数コマンドを担保した P300 型ヒューマン・インタフェース構築の可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

- (1) Wataru Iyoda, Junpei Kubota, Hideki Shimizu, Makoto Chishima: Technology for Patients with Severe Neuromuscular Disease: Possibility of Bone Conductive Sound. the 1st

Asia-Pacific Occupational Therapy Symposium (APOTS), Taiwan, 2017.

採択済み

- (2) 千島 亮, 奈良篤史: 骨伝導聴覚刺激による P300 型脳波応用支援システムの検討; 伝音機構と受聴特性に関する基礎的研究. 第 50 回日本作業療法学会, 抄録集(CD-ROM) 巻 50th, pp.PL-3-1B, 2016.
- (3) Wataru Iyoda, Makoto Chishima, Assistive Technology for Patients with Severe Neuromuscular Disease: Possibility of Bone Conductive Sound. 2016 Yonsei-Nagoya University, Research Exchange Meetings in Health Sciences & Nursing, Nagoya, 2016.
- (4) 伊與田 航, 千島 亮: 神経難病者の生活支援に向けた脳波応用技術と作業療法実践. 神経行動作業療法学会, 大阪, 2016.
- (5) 千島 亮, 奈良篤史, 野口智子, 大谷 真: 複数に音像定位させた弁別選択音による P300 型脳波応用支援システム開発に向けた検討, 第 49 回日本作業療法学会, 抄録集(CD-ROM) 巻 49th, pp. P1297A, 2015.
- (6) Makoto Chishima, Takayoshi Yamaga, Satoshi Sakurai, Atsushi Nara, Kazunori Itoh: Communication-assistive technology using P300-based Brain-Computer Interface(BCI) by bone-conduction auditory stimulation. 16th International Congress of the World Federation of Occupational Therapists (WFOT) in collaboration with the 48th Japanese Occupational Therapy Congress and Expo, Yokohama, 2014.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

<http://www.met.nagoya-u.ac.jp/OT/staff/3.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千島 亮 (CHISHIMA MAKOTO)

名古屋大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 80252112