

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700183

研究課題名(和文) 吃音者と非吃音者との聴覚フィードバック制御機構の差異の検証に関する研究

研究課題名(英文) Verification of difference of neural mechanisms underlying auditory feedback in stuttering vs. non-stuttering adults

研究代表者

錦戸 信和 (Nishikido, Akikazu)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究員

研究者番号：60610409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：発話が非流暢となる発話障害である吃音の病態については不明な点が多いが、吃音のある人(PWS)の聴覚フィードバック制御の機構が、吃音のない人(PNS)の機構と異なる可能性が指摘されている。この可能性を検証するため、聴覚フィードバックされる音声のホルマント周波数が途中で変化する状況での発話を課題とするfMRI実験を行い、PWSとPNSそれぞれの課題中の発話音声及び、発話時の脳活動を測定した。その結果、PNSと比べ、PWSの場合にフィードバック制御中に右の角回が高い活動を示した。今回の結果は、PWSとPNSで聴覚フィードバック制御の神経機構が異なるという従来の仮説を支持する。

研究成果の概要(英文)：The pathology of the stuttering, which is a speech disorder with dysfluency, is not well known. The previous studies suggest the possibility of abnormality of the auditory feedback control of people who stutter (PWS) in comparison with people who do not stutter (PNS). To verify the possibility of the abnormality, we performed fMRI experiments under the task, which is to speak with the auditory feedback modified formant frequencies, and response of formant frequencies and brain activities during speech were measured for the PWS and the PNS, respectively. As a result, the activation in the right angular gyrus were higher in the PWS under speaking with the auditory feedback modified formant frequencies than in the PNS under the same. These results confirmed the possibility of the abnormality of the auditory feedback control of PWS in comparison with PNS.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：吃音 聴覚フィードバック fMRI ホルマント周波数

1. 研究開始当初の背景

音素や単語の繰り返し、声のブロックなどの症状により発話の滑らかさが損なわれる発話障害である吃音の病態に関して不明な点が多いが、聴覚フィードバック制御の機構が吃音のある人とない人で異なる可能性が指摘されている[1].

聴覚フィードバック制御による反応の違いとして、吃音のない人に対して聴覚フィードバックを人工的に遅らせた Delayed auditory feedback (DAF) を適用した場合、発話が非流暢になることが示されている[2]. 一方、吃音のある人に DAF を適用した場合は、非流暢性が減少するという結果が報告されている[3]. また、聴覚フィードバックされる音声の基本周波数 (F0) を実時間変化させる変換聴覚フィードバック (Transformed auditory feedback: TAF) の環境では、吃音のない人の場合、300ms 以下の遅れを伴うフィードバック音声の変化と逆方向に変化する応答 (補償応答) が生じるが、吃音のある人の場合には補償応答が生じないことが示されている[4].

聴覚フィードバック制御時の脳活動の賦活部位に関しては、DAF 環境において吃音のある人の場合、下前頭回が賦活する結果が示されている[5]が、吃音の有無による明確な差は示されていない.

上記のように吃音のある人に対して、時間や F0 など音声の韻律情報に関する聴覚フィードバック制御の研究は数多く行われている. 一方、音声の音韻情報であるホルマント周波数に対象とした聴覚フィードバック制御に関する研究については、吃音のある人の場合、摂動に対する補償応答や補償応答時の脳活動を観測した報告はされていない. しかし、聴覚刺激として韻律情報を変化させた場合と音韻情報を変化させた場合とでは、応答の仕方が異なることが示されており(例えば[6]), 吃音のある人に対してホルマント周波

数に摂動を与えた場合の聴覚フィードバック制御の応答や、応答時の脳活動を測定し吃音のない人との比較を行うことは、吃音の病態解明に大きく貢献できると考えられる.

2. 研究の目的

構音と大きく関係する音声の特徴量であるホルマント周波数を対象として、吃音の有無による聴覚フィードバック制御時の摂動に対する応答および応答時の脳活動を比較検討し、吃音の有無により聴覚フィードバック制御を行う際の神経機構に差異があるという仮説を検証する.

3. 研究の方法

吃音のある成人とない成人を被験者として、発話中に聴覚フィードバックされる音声のホルマント周波数を変化させる fMRI 実験を行い、測定した発話音声と脳活動を吃音のある群とない群で比較検討した.

(1) 被験者

言語や聴覚の障害、歌唱訓練経験の無い右利きの吃音のある成人 12 名 (男性 9 名, 女性 3 名, 年齢 20-38 歳, 平均 25.0 歳) および同条件の吃音のない成人 12 名が、被験者として実験に参加した.

吃音のある被験者に対しては、実験の前に吃症状の程度を吃音検査法改訂版[7]および, Overall Assessment of the Speaker's Experience of Stuttering (OASES) [8]により評価した. 評価の結果, 実験に参加した被験者の吃症状の程度は、吃頻度に関しては平均 13% (0~49%), OASES の impact score に関しては平均 57.5 (29.2~83.4) となった.

(2) 実験環境

実時間で発話した音声に摂動を付与する場合、摂動に対する応答にさらに摂動が付与された発話音声を聞くことによる重複摂動に対する応答を測定する可能性がある. その

ため、事前に測定した発話音声に摂動を付与した疑似フィードバック音声を発話に合わせて聴覚呈示する開ループによる実験装置を用いた。また、脳活動を測定するため、被験者はMRI装置内で発話を行った。

(3)疑似フィードバック音声

疑似フィードバック音声は、実験前に収録した日本語母音/a/, /i/, /e/の3s間の持続発話に基づき、高品質分析合成系STRAIGHT[9]を用いて合成した。フィードバック音声への摂動として、原母音/e/の収録音声の先頭から1s後に1s間、第1および第2ホルマント周波数を、目標母音/a/, /i/のそれぞれの値と目標母音との差の約60%変調させた音声を合成した。ホルマント周波数の値は、サンプリング周波数16kHz、窓長80ms、シフト長20msの条件で、LPC分析に基づき求めた全極モデルの分母多項式の根より求めた。LPC分析の次数は、男性は15次から21次、女性は13次から19次の中でホルマント周波数の軌跡のばらつきが最小となる次数を選択した。

(4)実験課題

被験者には、提示された指示記号に合わせて発話課題を行った。発話課題は日本語の母音/e/の持続発話(3s)とし、指示音に合わせて被験者が持続発話を開始し、呈示された指示記号が“+”の間、発話を続けるように教示した。発話中に、指示記号が“+”から“○”に変わった場合は、発話を続けながら手元のボタンを押す課題も加えた。これは、指示記号を見ることに意識を集中させるため、また実験中の眠気を防止するためである。

発話中に指示音を提示した200ms後に聴覚提示する疑似フィードバック音声として、2種類の目標母音(/a/と/i/)に変調させた音声(TAF条件)および変調なしの音声(NAF条件)の計3種類を用いた。1セッションに

含まれるTAF条件は6試行ずつ計12試行、NAF条件は12試行とし、ランダム順で呈示した。被験者1名に対しては6セッションを行うことにより、TAF条件の1母音につき36試行、NAF条件に対しては72試行の発話音声を収録した。

(5) fMRI 撮像条件

撮像には、Siemens製MAGNETOM Trio, ATim System (3T)を用いた。発話に伴う体動によるアーチファクトを防ぐために、スパースサンプリング法[10]を用いて各発話の数秒後に1スキャンを行った。機能画像を撮像するシーケンスにはEcho planar imaging (EPI)を用いた(TR/TA/TE=1100ms/2500ms/30ms, FA=90°, FOV=192 x 192mm, ボクセルサイズ=3 x 3 x 3.2mm, スライス枚数=40)。

(6)解析方法

①発話音声

発話音声に対して、オフラインで第1及び第2ホルマント周波数を推定した。分析条件は、サンプリング周波数16kHz、窓長80ms、シフト長20msとし、LPC分析に基づき求めた全極モデルの分母多項式の根より推定した。

推定したホルマント周波数の時間軌跡に対して、聴覚フィードバック音声の変調に対する応答を求めるために次の処理を行った。ホルマント周波数の時間軌跡を6Hzのローパスフィルタにより平滑化し、平滑化された軌跡から変調開始前の区間の平均を減算する。減算した軌跡から平均と標準偏差を求め、平均からの距離が標準偏差の2倍を超える軌跡を外れ値として除去し、範囲内の軌跡の平均を求めた。上記の処理により、TAF条件の発話音声とNAF条件の発話音声それぞれのホルマント周波数の時間軌跡の平均が得られ、それらの差分を聴覚フィードバック制御による応答とする。

被験者ごとに、各目標母音の応答のピークに対して統計的検定を行い、有意となるピークを抽出した。統計的検定は、等分散検定の結果に基づき t 検定または Welch の t 検定により行い、ピークが複数存在する場合は Holm 法を用いて有意水準を補正した。

②脳機能画像

fMRI 実験により撮像した脳機能画像の統計解析には SPM12 を用いた。個人解析では、TAF 条件および NAF 条件のコントラスト画像を求めた。集団解析では、個人解析で求められた被験者ごとのコントラスト画像に対して、統計検定として反復測定 of 2 要因分散分析(吃音の有無, TAF 条件/NAF 条件)を行い、有意判定の基準は $p < 0.001$ (多重比較補正なし) とした。ただし、クラスターの大きさについては多重比較補正を考慮した。

4. 研究成果

(1) 摂動に対するホルマント周波数の応答の比較

吃音のある被験者(PWS)とない被験者(PNS)の両方において、有意となったピークには、摂動を付与した方向と同方向に変化する追従応答と、逆方向に変化する補償応答の2種類がみられた。応答の大きさを摂動の大きさで正規化した値の平均と標準偏差を表1に示す。表1より、平均の値は追従応答、補償応答共に吃音のある被験者の方が大きな値となった。ただし、応答の大きさのばらつきは大きく、追従応答と補償応答それぞれに対して吃音の有無における t 検定を行ったが、有意な差はみられなかった。

Purcell と Munhall[11]は、吃音のない被験者に対して、発話した音声を実時間で変調し発話者に聴覚フィードバックさせる閉ループによるホルマント周波数の聴覚フィードバックの実験を行っており、示された補償応答の大きさは 16.3%と、今回の吃音のある被験者の結果とほぼ同じ値となっている。

表1 応答の大きさの平均[%]

(カッコ内は標準偏差)

	追従応答	補償応答
PNS	9.6 (7.0)	9.4 (3.9)
PWS	12.1 (7.9)	14.3 (10.4)

(2) 摂動に対するフィードバック制御時の脳活動の比較

TAF 条件>NAF 条件において、有意に賦活している脳活動領域を図1に示す。図1の上段はPWSの結果を、下段はPNSの結果を示している。図1より、PWS, PNS共に左右の上側頭回および中側頭回が賦活領域として示されており、これらの領域はそれぞれウェルニッケ野(知覚性言語野)および1次聴覚野に相当する。これは、DAF環境におけるPWSとPNSの脳活動の結果[5]と一致する。さらに、PNSの場合、左側の上側頭回後方の側頭頭頂接合部付近(黒い点線の箇所)の賦活も示されている。この領域は、意図した発話と聴覚フィードバックとの比較を行っている可能性が指摘されており[12]、発話中にホルマント周波数を変化させた場合のPNSに対する脳活動の結果[13]と一致している。

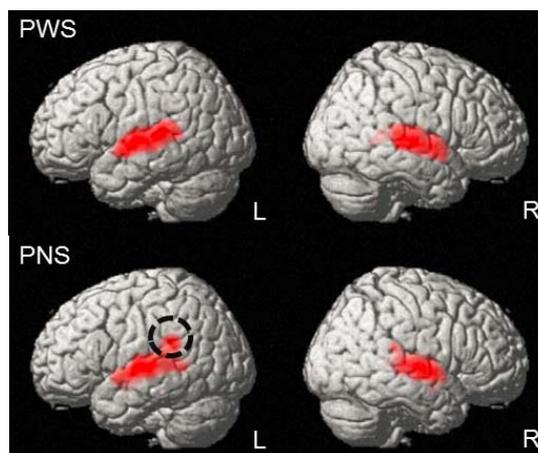


図1 TAF 条件>NAF 条件における脳活動の賦活領域。上段はPWSの結果、下段はPNSの結果を示す。

さらに、PWS>PNS かつ TAF 条件>NAF 条件で有意に賦活している脳活動領域を図2に、全被験者の平均構造画像上の同条件で賦活している脳活動領域を図3に示す。

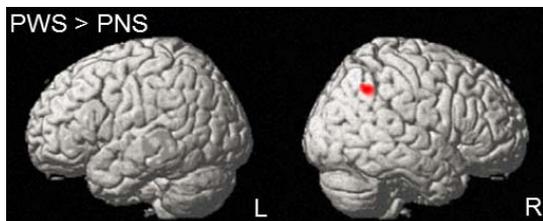


図2 PWS>PNS かつ TAF 条件>NAF 条件における脳活動の賦活領域。

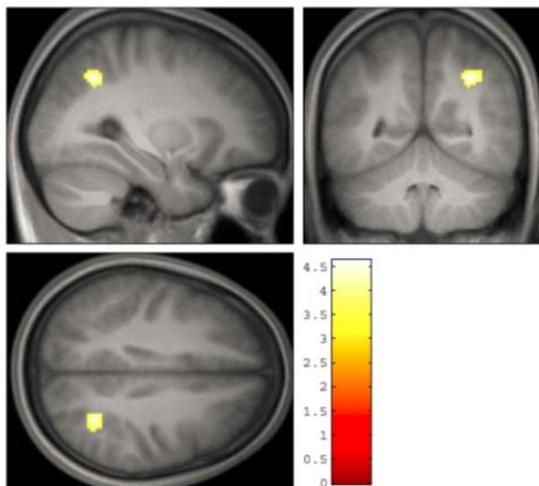


図3 PWS>PNS かつ TAF 条件>NAF 条件における平均構造画像上の賦活領域。

図2および3より、右の角回が賦活領域として示されている。この領域は、NAF 条件ではPWS と PNS 共に同程度の活動の大きさとなっているが、TAF 条件では、PWS の場合のみより大きな活動を示している。また、左右の違いや課題の違いがあり単純に関連付けることはできないが、吃音のある人は、吃音のない人と異なり、単語を発話する際の計画および実行に左の角回が関係するという報告もある[14]。

今回の結果から、PNS は聴覚フィードバック制御において左の上側頭回を用いており、PWS では右の角回が用いられていることが示

され、聴覚フィードバック制御の際に、吃音のある人はない人と比べ異なる神経部位を用いている可能性が示唆される。

<引用文献>

① R. Salmelin et al., Functional organization of the auditory cortex is different in stutterers and fluent speakers, *NeuroReport* 9, 1998, 2225-2229.

② B. S. Lee, Effects of delayed speech feedback, *J. Acoust. Soc. Am.*, 22, 1950, 842-846.

③ G. A. Soderberg, Delayed auditory feedback and stuttering, *J. Speech & Hearing Disorders*, 33, 1968, 260-267.

④ 佐藤裕, 森浩一, 福島康弘, 吃音者の発声におけるピッチ制御の聴覚フィードバック特性, *国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要*, 25, 2004, 7-13.

⑤ N. Sakai et al., Brain activation in adults who stutter under delayed auditory feedback: An fMRI study, *Int. J. Speech-Lang. Path.*, 11, 2009, 2-11.

⑥ S. Sapir et al., Effects of frequency modulated tones and vowel formants on perioral muscle activity during isometric lip rounding, *J. Voice*, 4, 1990, 152-158.

⑦ 小澤恵美 他, 吃音検査法, 学苑社, 東京, 2013.

⑧ J. S. Yaruss and R. W. Quesal, Overall Assessment of the Speaker's Experience of Stuttering (OASES): Documenting multiple

outcomes in stuttering treatment, J. Fluency Disord., 32, 2006, 90-115.

⑨ H. Kawahara, I. Masuda-Kastuse and A. Cheveigne, Restructuring speech representations using a pitch-adaptive time-frequency smoothing and an instantaneous-frequency-based F0 extraction: possible role of a repetitive structure in sounds, Speech Commun., 27, 1999, 187-207.

⑩ Y. Yang et al., A silent event-related functional MRI technique for brain activation studies without interference of scanner acoustic noise, Magn. Reson. Med., 43, 2000, 185-190.

⑪ D. W. Purcell and K. G. Munhall, Compensation following real-time manipulation of formants in isolated vowels, J. Acoust. Soc. Am., 119, 2006, 2288-2297.

⑫ F. H. Guenther, S. S. Ghosh, and J. A. Tourville, Neural modeling and imaging of the cortical interactions underlying syllable production, Brain Lang, 96, 2006, 280-301.

⑬ J. A. Tourville, K. J. Reilly, and F. H. Guenther, Neural mechanisms underlying auditory feedback control of speech, NeuroImage, 39, 2008, 1429-1443.

⑭ C. Lu et al., The neural substrates for atypical planning and execution of word production in stuttering, Experimental Neurology, 221, 146-156.

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)

[学会発表] (計3件)

① 錦戸信和、河内山隆紀、山崎祥子、比良岡美智代、谷村伸子、酒井奈緒美、吃音の有無による聴覚フィードバック制御時の発話音声のホルマント周波数および脳活動の比較検討、日本音響学会 聴覚研究会、2015年2月13日-14日、愛媛大学 城北地区キャンパス (愛媛県・松山市)

② 錦戸信和、森浩一、酒井奈緒美、北条具仁、吃音の有無における聴覚フィードバックに対する構音の制御応答の比較、第1回日本吃音・流暢性障害学会、2013年9月21日-22日、金沢大学 角間キャンパス (石川県・金沢市)

③ 錦戸信和、森浩一、岡田美苗、越智景子、構音の聴覚フィードバック制御における注意の影響の検討、日本音響学会 2013年 春季研究発表会、2013年3月13日-15日、東京工科大学 八王子キャンパス (東京都・八王子市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

錦戸 信和 (NISHIKIDO, Akikazu)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・研究員

研究者番号: 60610409