

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700232

研究課題名（和文） 聴覚フィードバックを用いたリハビリ法への応用研究

研究課題名（英文） Applications of auditory feedback to rehabilitation methods

研究代表者

豊村 暁（TOYOMURA AKIRA）

東京電機大学・先端工学研究所・助教

研究者番号：90421990

研究成果の概要（和文）: 本研究では発声や歩行などの運動制御に着目して研究を行った。流暢性促進法を吃音（どもること）に用いた場合、運動制御一般にとって重要な部位とされる大脳基底核が、流暢性促進条件では活性が上昇することを fMRI 実験により明らかにした。歩行制御に関して、内的なタイミング生成の場合、大脳基底核が重要であることを示した。実際の発声の音圧と、聴覚フィードバックを経由した発声音声知覚のラウドネスの関係を調べたところ、発声の音圧増加に比べて、聴覚フィードバック音声知覚の増加が大きいことが分かった。

研究成果の概要（英文）: This study investigated speech and gait motor controls. Summary: 1. fMRI study showed that activation of the basal ganglia increased when the stuttering speakers used fluency-enhancing method. 2. fMRI experiment showed that the basal ganglia are important for the internal rhythm generation in gait control. 3. The increase of the loudness perception through auditory feedback was found to be larger than the increase of actual speech sound pressure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：聴覚フィードバック、吃音、発話運動制御、神経基盤、流暢性、歩行

1. 研究開始当初の背景

聴覚フィードバックとは、発話中に自己の音声を聴覚を通じてモニターする機能であり、言語獲得にとって必要な機能である。また、聴覚フィードバックは発声だけに機能するのではない。例えば歩行中ステップ音を聞くことで姿勢を制御したり、反射音により対象を推測するなど、運動制御や対象の知覚にも利用される。このように、聴覚フィードバックは我々の運動制御や知覚に重要である。しかし、現在までこの特性を生かした応用例は少ない。

本研究では吃音（どもること）にも着目した。吃音は、世界共通して人口の約1~5%存在する、言語障害の一種であり、原因として発声に関わる神経機構の不全が推定されている。吃音の矯正に変換聴覚フィードバック手法が有効であることが経験的に知られている。しかしながら、吃音の原因や、根本的な治療法はこれまでほとんど分かっておらず、今後の研究が必要とされる分野の一つである。

パーキンソン病や多発性硬化症を原因とする歩行障害では、歩行ステップに合わせたキュー音の提示が歩行改善に有効である。フィードフォワード的に与えるだけでなく、歩行ステップに合わせた聴覚フィードバック音の提示が効果的であることが知られている。また、自分のペースに合わせたリズム音を生成するために、視覚障害者に用いられる白杖（盲人安全つえ）で地面を叩いた音を利用できる。しかし、これらのような聴覚を利用したりハビリ法の神経メカニズムは明らかでない。

2. 研究の目的

本研究では以上のような背景を踏まえ、発話運動や歩行運動に関わる神経メカニズムや、行動的な表出に着目していくつかの実験を行った。まず、聴覚フィードバック音声に外的な刺激（リズム音）を付加した場合の、吃音の軽減に伴う神経活動を計測した。次に、発声の実験と同様に、外的なリズムに駆動される歩行と、内的なタイミングで行う歩行に伴う神経活動を比較し、リズム生成の神経基盤を調べた。最後に、聴覚フィードバックに

関して、実際の発声の音圧と、聴覚フィードバックを経由した発声音声知覚のラウドネスの関係性を調べるために、コミュニケーション距離を変化させた場合の両者の増減関係を調べた。

3. 研究の方法

(1) 吃音に関する実験

自己音声の聴覚フィードバック音にメトロノーム音を付加して話す方法（リズム調整法）は流暢性促進効果がある。本研究では、吃音者、非吃音者に対して、リズム調整法を用いた脳機能計測実験（fMRI）を実施し、そのメカニズムを検討した。吃音者12名と、非吃音者12名が実験に参加した。実験タスクは1種の通常発話タスクと2種の流暢性促進発話タスク、他にレストが用意された。通常発話条件（Solo）では、被験者は通常の発話と同様に自分の声のみをモニターしながら発話した。流暢性を促進させるリズム調整法条件（Rhythm）では、1分間に100ビート、440 Hzの高さと100msの長さを持ったメトロノーム音に合わせて発話した。また、同じく流暢性を促進させるコーラス発話条件（Chorus）では、予め録音した他人の声と同期して、同じ文章を発話した。いずれの条件も発話速度が同じになるよう刺激を調整し、十分に練習を行った。MRI環境ではスキャンノイズの影響を避けるため密閉型ヘッドフォンを使用した。自身の声の聴覚フィードバックを保つため、MRI環境内に人工的なフィードバック回路を構築し、知覚的な遅延がない状況で実験を行った。スキャン中はフィードバック回路をローパスフィルタによってカットし、フィルタ変数はMIDIによって制御した。MRI撮像では1.5T GE Signaを用い、遅延7秒、TR3秒のスパース撮像を行った。64×64行列でFOV 24cm×24cm、厚さ5mm、ギャップ2mmの18枚のスライスを各被験者でEPI画像を取得した。また、構造的なレファレンスを取るためにT1構造画像を得た。解析はSPM8を用い、realign, coregister, normalize, smooth等の前処理を行った。また、1st level, 2nd levelの解析を行い、グループ間の比較を行った。

(2) 歩行に関する実験

右利き 12 名の健康な男子が参加した .3 種の実験条件が用意された . 自己の内的なタイミングで運動を行う「内的条件」と、外的な聴覚刺激に同調して運動を行う「外的条件」、さらに外的条件において与える聴覚刺激のみを聞く「受聴条件」の 3 つであった . いずれの条件でも、被験者は視点ビデオを見ながらタスクを遂行した . パイロット実験において、外的条件や受聴条件で聞く聴覚刺激の記憶が内的条件に影響を与えるとの内省報告が被験者よりあったため、3 つの条件それぞれを 1 つのセッションに割り当て、内的条件受聴条件 外的条件の順番で実験を行った . 被験者は MRI ベッドに横臥した状態でタスクを遂行した . 歩行運動に伴う体動を極力避けるために、被験者は 2 つの幅広ベルトで胴体を固定され、膝の下には三角形のクッションと、踝の下に二枚の毛布が重ねられた . 頭は 2 本のベルトにより固定され、ヘッドセットとヘッドコイルの間に数個のクッションが挿入された . 解析方法は (1) と同様であるが、解析の条件としてセッション内 2mm 以内とし、それ以上のデータを除去した . その結果、一名の被験者の体動が大きかったため、解析は残り 11 名の被験者データを用いた .

(3) 聴覚フィードバックに関する実験

すべての実験は防音室で行われた . 被験者は防音室に設置された椅子に座り、口から 30cm (正面方向から右 40 度) にマイクロフォンを設置し発声音声を録音した . また口から 40cm (正面方向から左 40 度) に騒音計を設置し、被験者の発声音声の音圧を測定した . 実験は 3 つのセッションから成り立っていた . まずセッション 1 では、被験者は「おはよう」を普段通りに発話するよう教示され、その音圧と音声が記録された . セッション 2 では、人形を各距離に置き、被験者にはその人形的位置に人がいると思って話しかけるよう教示した . 設定された距離は 0.5m, 1m, 2m, 4m で、被験者間でランダムな順番で行った . その際の発聲音圧を測定した .

セッション 3 では、セッション 1 で録音した音声をコンピュータから USB インターフェ

ースを通じて受聴し、その発声したときに聞こえる自分の声の大きさになるよう、レベルのつまみを回してヘッドフォンの音量を調整するよう教示された . 被験者が調整を終えたら、ヘッドフォンへの提示音圧を人工耳と騒音計を用いて測定した . 同じく、被験者から各距離 (0.5m, 1m, 2m, 4m) に人形を置き、その人形的位置に人がいると思って発声してもらった . 次に、同様の手続きで構音運動だけ行い発声を真似ながら録音音声を受聴し、その発声したときに聞こえる自分の声の大きさになるよう、レベルのつまみを回してヘッドフォンの音量を調整するよう教示された . 調整を終えたら、ヘッドフォンへの提示音圧を人工耳と騒音計を用いて測定した .

4 . 研究成果

(1) 吃音に関する実験 (発表雑誌論文)

リズム調整法条件 (Rhythm) と通常発話条件 (Solo) の比較、およびコーラス発話条件 (Chorus) と通常発話条件 (Solo) の比較において有意な活性を示した部位を図 1 に結果を示す . 吃音者の場合は非流暢な発話条件に比べて流暢性促進条件において特に聴覚野の活性が大きくなった . 一方、非吃音者の場合は、同じ聴覚刺激を用いているにも関わらず、その傾向は小さかった . また、大脳基底核や下前頭回などの活性も吃音者のみに観察された .

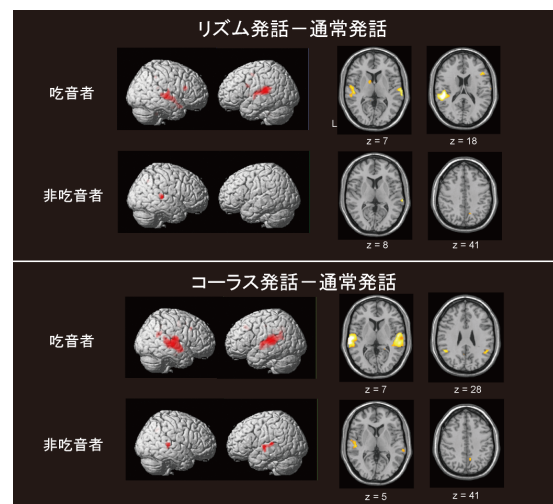


図 1 . イメージングの結果 .

各発話タスク条件において、レストからの信号変化を各関心領域部位でプロットしたグラフを図2に示す。大脳基底核の各部位ではSoloおよびChorusでは吃音者の方が非吃音者よりも有意に活性が低かったが、Rhythm条件では有意差が消えていた。本実験結果は、大脳基底核が吃音の原因部位の一つであることを示唆する。

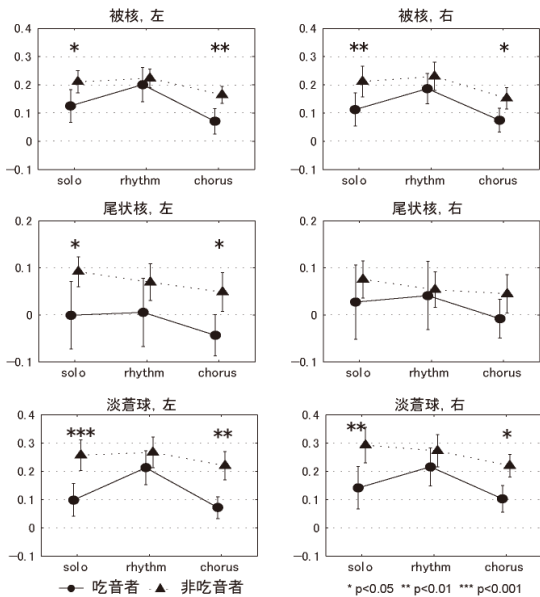


図2. 各条件における大脳基底核のレストからの信号変化(%)

(2) 歩行に関する実験 (発表雑誌論文)

内的条件と外的条件の二つの運動課題を遂行時は、補足運動野や感覚運動皮質、小脳において共通して賦活を示した(図3)。また、外的条件と受聴条件では、上側頭回の賦活があった。一方、大脳基底核は、内的条件において活性を示し、内的条件と外的条件の比較においては、内的条件の方が有意に活動が大きという結果が得られた。

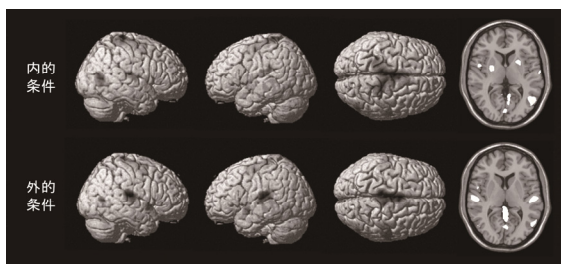


図3. 内的条件と外的条件における疑似歩行運動時の脳活動。内的条件では、被殻の活動

がある。

(3) 聴覚フィードバックに関する実験 (発表雑誌論文)

まず、発声生成音圧と知覚音圧の変化をそれぞれ距離によってプロットしたところ、知覚音圧は距離が2倍になるに従い、平均6.51dB/ddで上昇したが、発声音圧は平均3.95dB/ddで上昇した。次に、知覚音圧(X)と発声生成音圧(Y)を回帰分析により比較したところ、回帰係数は平均0.623であり、有意に回帰係数1よりも小さかった(t(9)=8.412, p<.001)。この結果は、発声音圧増加に比べて、聴覚フィードバック音声知覚の増加が大きいことを示している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Toyomura A., Shibata M, Kuriki S.: Self-paced and externally triggered rhythmical lower limb movements: a functional MRI study. Neuroscience Letters, 516(1): 39-44, 2012. 査読有

DOI: 10.1016/j.neulet.2012.03.049

Toyomura A., Fujii T., Kuriki S.: Effect of external auditory pacing on the neural activity of stuttering speakers. NeuroImage, 5;57(4): 1507-1516, 2011. 査読有

DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.05.039

Toyomura A., Fujii T., Kawabata Y.: Loudness perception of vocalization through auditory feedback. Acoustical Science and Technology, 30: 439-441, 2009. 査読有

DOI: 10.1250/ast.30.439

[学会発表](計11件)

豊村暁, 藤井哲之進, 栗城眞也: 聴覚刺激をペースメーカーとした流暢性促進発話法による吃音者の神経活動パターン: 日本音響学会, 2011年9月20日, 島根。

Toyomura A., Fujii T., Kuriki S.: The effect of external auditory pacemaker on the neural activity of stuttering speaker. Annual

Meeting of the Human Brain Mapping, Canada, 2011/6/27.

Toyomura A., Fujii T., Kuriki S.: Neural correlates of speech motor control under the external auditory pacemaker. 2011 Asia Symposium on Brain Science, Taiwan, 2011/5/10.

豊村暁, 藤井哲之進, 栗城眞也: 吃音の流暢性を高める外的な聴覚ペースメーカーの効果の神経メカニズム: 日本生体医工学学会, 2011年4月29日, 東京.

豊村暁, 藤井哲之進, 栗城眞也: 流暢/非流暢発話の神経活動から推測する神経ネットワークと発話運動制御モード: 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会, 2010年11月25日, 京都.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

豊村 暁 (TOYOMURA AKIRA)

東京電機大学・先端工学研究所・助教

研究者番号: 90421990