

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 25 日現在

機関番号：25406

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560265

研究課題名(和文)脳科学的検証にもとづくイメージトレーニングによる発声訓練法の開発

研究課題名(英文)Development of voice therapeutic method by mental rehearsal based on a fMRI study

研究代表者

大西 英雄(Hideo, Onishi)

県立広島大学・保健福祉学部・教授

研究者番号：10326431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：発声に関する脳機能の賦活部位は、上前頭回、上・中側頭回、内側前頭回、角回、縁上回、帯状回が確認された。これらの賦活部位が声門の動きに大きく関与しており、賦活程度の比較より前頭葉に発声中枢があると考えられた。その結果よりチューブ発声法を訓練法と採用して、チューブ発声法の訓練有無の比較は、訓練群は新たに上前頭回、中側頭回、帯状回の賦活が認められ、チューブ発声法の訓練は有効であると示唆された。また、チューブ発声法に用いるチューブ径は、チューブ径の違いで脳賦活部位に違いが生じ、脳機能画像上においてチューブ径5mmが有効であると示唆された。

研究成果の概要(英文)：Brain activation for vocal was found in superior frontal gyrus, superior and middle temporal gyrus, medial frontal gyrus, angular gyrus, supramarginal gyrus, and cingulate gyrus. The image training method was same regions as brain activation for vocal. Then, we make a trial of with/without phonation into tube training for brain activates using fMRI. The finding results suggested that the phonation into tube training specific activation regions had superior frontal gyrus, middle temporal gyrus, and cingulate gyrus and this method proved for image training. A large difference occurred at the tube diameter in activation region in the frontal lobe, the best tube diameter was 5 mm in the phonation into tube training on the fMRI.

研究分野：脳機能画像学

キーワード：fMRI チューブ発声 発声想起 発声訓練法

1. 研究開始当初の背景

(1) ヒトの発声に関する中枢制御機構の解明について：機能的磁気共鳴画像装置(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)による脳機能画像法の発達により、言語機能の研究は、近年、飛躍的に進歩し、発表論文数も増加傾向にある。それらによると音声言語に関わる大脳皮質としては、ブローカ野、島皮質前端、口腔顔面の感覚運動皮質があることがわかってきた。脳幹や小脳などの皮質下の構造については、随意運動に共通する神経回路が関与していると考えられている。しかしながら、これらの言語機能の中でも発声に関する fMRI による脳機能研究は特に報告が余り多くなく、発声の中枢制御に関する研究は、これまで、さまざまな動物実験をもとに研究されてきたという経緯がある。

(2) イメージによる発声訓練の可能性について：城本らは、音声障害症例に対する発声訓練が疫学的にも有効であることを報告しているが、その中でイメージによる発声訓練の可能性を運動学習の観点から示唆している。運動をイメージするだけでも中枢神経系の賦活が得られることは、fMRI が登場する前から報告はあったが、脳の局在の同定については不十分であった。その後、新規動作や運動イメージは四肢の運動に限定されたものであり、発声運動のような微細で精緻な運動では未だ検討されていない。

2. 研究の目的

(1) ヒトの発声の脳による制御機構について fMRI を用いて脳科学的に解明し、発声に関する脳機能の基礎的研究を目的とする。具体的には、ヒトの発声・発話に関する発声中枢を同定するために発声の基本動作である声門自体の動きを同定するために、強い声門閉鎖して声帯振動のない「息こらえ課題」と“弱い声門閉鎖で声帯振動を伴う「ハミング課題」を行い脳賦活部位の検討を行う。

(2) 上記で得られた基礎データをもとに発声制御機構の考察的検討を行い、発声の脳科学的メカニズムに基づく発声訓練の基礎データを検討する音声障害患者の発声訓練のイメージトレーニングがチューブ発声法との対比で可能かどうか検証することを目的とする。

3. 研究の方法

fMRI のデータ収集法は、我々が提唱した半事象関連デザイン法[Semi-Event] (タスク 6 秒後の 6 秒間 (Bold 領域)) を処理データに用いて解析を行った (下図)。脳機能画像解析には SPM8 を用いた。また、この一連の全ての研究は、当施設の倫理委員会の許可を得て行った。

(1) 健常成人 15 名(男性 7 名・女性 8 名, 右利き 14 名・左利き 1 名, 平均年齢 21.6 ± 1.8 歳) を対象として実験を行った。

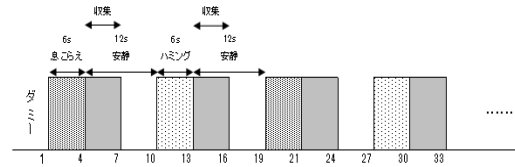
発声中枢を同定するために、fMRI の課題は声門の強い閉鎖状態である息こらえ、声門の弱い閉鎖状態であるハミングの 2 種類とした。また、課題の指示は視覚指示と聴覚指示の 2 種類設定し、どちらもヘッドホンを通じて音声で自動指

示にて行った。固定効果モデルでは FEW の検定法にて有意水準 5%にて解析を行い、変量解析モデルでは uncorrected で有意水準 0.1%にて評価を行った。

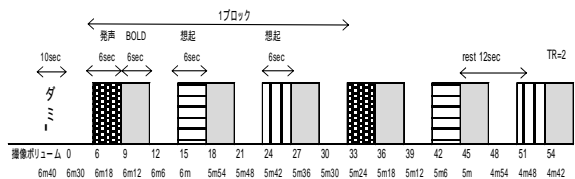
(2) 健常者 22 名 (男性 2 名・女性 20 名, 右利き 22 名・左利き 0 名, 平均年齢 21.9 ± 5.2 歳) を対象として実験を行った。本研究は、チューブ発声法に関して、訓練有無の比較を行うため、訓練群 13 名 (男性 1 名・女性 12 名, 右利き 13 名・左利き 0 名, 平均年齢 20.8 ± 1.7 歳), 非訓練群 15 名 (男性 2 名・女性 13 名, 右利き 15 名・左利き 0 名, 平均年齢 22.3 ± 6.3 歳) の 2 群に分類し評価した。

課題は、発声、発声想起、発声想起の 3 種類であり、口径 10 mm のストローをそれぞれ 3 種類の課題時に被験者に咥えさせた状態で行った。発声課題は、被験者に 6 秒間 / u / と声を出させ、発声想起課題は、被験者に 6 秒間声を出している状態を想起させた。また、発声想起課題は、被験者に 6 秒間声を出している状態を想起させながら、息を吐かせ続けた。課題の指示は聴覚刺激にて行い、ヘッドホンを通して音声を自動再生した。なお、すべての課題中は / u / という音声が流れていた。課題終了後は、課題の達成度や発声想起の様子を確認するためアンケートを実施した。

解析処理の検定は、固定効果モデルでは、FWE



の有意水準 5 %用いて有意差検定を行った。変量解析モデルでは、FWE の有意水準 5 %を、訓練群と非訓練群の群間比較では uncorrected の有意水準 0.1 %用いて有意差検定を行った。



4. 研究の成果

視覚指示及び聴覚指示ではほぼ、同じ部位に賦活が確認されたため、全て視覚指示のデータと変量解析モデルの結果を記載する。

(1) 発声中枢の同定：

・**息こらえ課題**：左右上・中前頭回，前頭眼野 (BA 8)，前頭極 (BA 10)，内側前頭回，視覚野，右補足運動野 (BA 6)，左下前頭回弁蓋部 (BA 45)，中心前回，角回，中脳の賦活がみられた。(図 1) また、聴覚指示では、右頭頂葉楔前部，体性感覚連合野 (BA 7)，上側頭回 (BA 22)，左上・中前頭回，補足運動野 (BA 6)，前頭前野，頭頂葉，二次視覚野 (BA 18)，小脳の賦活が認められた。

・**ハミング課題**：左右上・中前頭回，前頭前野，

帯状回，視覚野であった。その他に左大脳基底核が，聴覚指示では左右前頭眼野(BA 8)，右頭頂葉後部，脳幹部，左一次聴覚野(BA 41)が賦活した(図2)。

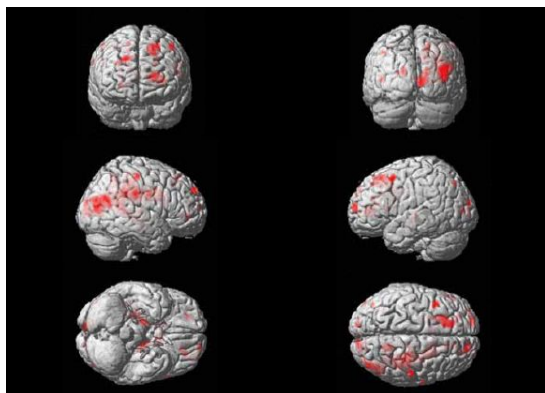


図1. 息こらえ課題賦活部位

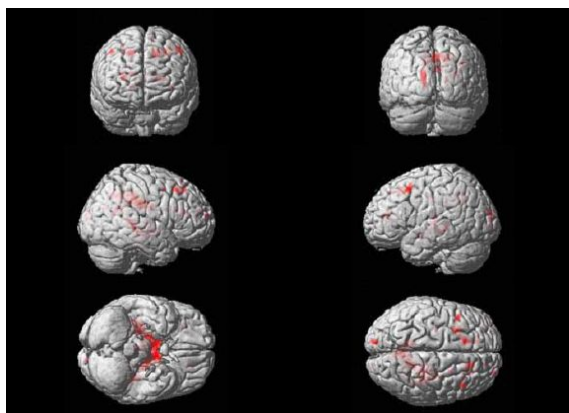


図2. ハミング課題の賦活部位

・息こらえとハミング課題の群間比較：左右上・中・下前頭回，前頭前野，右頭頂葉，聴覚野，帯状回，小脳の賦活がみられた。他に視覚指示では左島皮質，視床，視覚野の賦活がみられ，聴覚指示では右脳幹部，大脳基底核，左頭頂葉の賦活がみられた。た，特に賦活が認められた前頭葉領域と頭頂葉領域のボクセル数を対応のあるウィルコクソン検定にて統計処理したところ有意水準 0.1%で前頭葉領域の賦活が有意に大きかった。

上前頭回・前頭前野は 運動前野，また頭頂葉は体性感覚野であり，声門閉鎖に関連している部位であった。これらの賦活部位が声門の動きに大きく関与しており，賦活程度の比較より前頭葉に発声中枢があると考えられた。

(2) 発声想起による発声訓練法：

発声想起 課題は，運動に関与する中心前回や，上前頭回，ワーキングメモリーに関与する中前頭回の賦活が認められた。また，空間位置関係の統合を行う中心傍小葉や，内側前頭回，上・中側頭回，感覚情報を入力する中心後回の賦活も認められた。その他に，自己の身体イメージに関与するとされる角回，縁上回や，楔前部，帯状回及び海馬傍回の賦活が生じた。図3に発声想起 課題の脳賦活画像を示す。発声想起 課題は，上前頭回，中前頭回，下前頭回，内側

前頭回の賦活が認められた。また，上・中側頭回，角回，縁上回，楔前部，帯状回，海馬傍回の部位で賦活が生じ，その他に，構音のプログラミングに関与する島の賦活が確認された。なお，実験終了後に行ったアンケートにおいて，被験者は発声想起の際に「発声している人を自分が見ている」イメージや，「自分が発声している場面を第3者の視点から見ている」イメージを行ったと回答した。

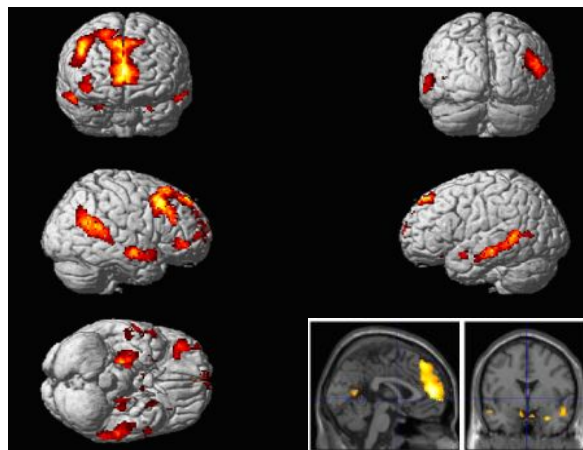


図3 発声想起 課題の賦活部位

・発声課題と発声想起課題との共通部位：

図4に示すように，発声課題と発声想起 課題に共通した賦活は，上前頭回，空間位置関係の統合を行う中心傍小葉の部位で生じた。また，内側前頭回，上・中側頭回，角回，縁上回，帯状回，海馬傍回の賦活が認められた。発声課題と発声想起 課題に共通して，発声課題と発声想起 課題同様に，上前頭回，内側前頭回，上・中側頭回，角回，縁上回，帯状回，海馬傍回の賦活が認められた。発声課題と発声想起 課題において特異的に，ワーキングメモリーに関与する中前頭回，自己の内的な心の表象を行動に移行させる下前頭回，感覚情報を入力する中心後回の賦活がみられた。

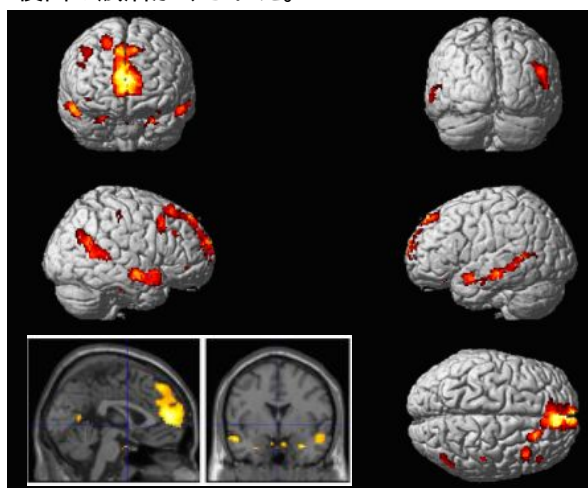


図4.発声課題と発声想起 課題共通の賦活部位

・発声想起 と想起 課題の比較：

発声想起 課題と発声想起 課題において、自己の身体イメージに關与するとされる角回と縁上回の賦活範囲と強度（Z スコア）の比較を行った。発声想起 課題における角回と縁上回の賦活体積は 32.04 cm³、発声想起 課題における角回と縁上回の賦活体積は、54.86 cm³と算出された。また、発声想起 課題における角回と縁上回の Z スコアは、5.51 であり、発声想起 課題における角回と縁上回の Z スコアは、5.71 を示した。

・**発声想起** における訓練比較：

訓練群で新たに、行動の計画や実行に關与するとされる上前頭回、聴覚情報処理に關わる中側頭回、記憶に關与する帯状回の賦活がみられた。また、訓練群は左半球領域の賦活が新たに認められた。

・**音響分析**：訓練群 12 名のうち、音声データの振幅が録音可能な許容値を超過したため、音の歪みが生じ、解析が不可能であった 3 人分のデータを除き、9 名分の音声データの音響分析を行った。訓練群の平均発声訓練回数は、394 回であった。個人差はみられるが、被験者 9 人のうち 6 人は、訓練実施により、基本周波数と第 1 フォルマントが近接し、図 5 に示すように、3000Hz 付近に付加的なフォルマントが生じる傾向がみられた。

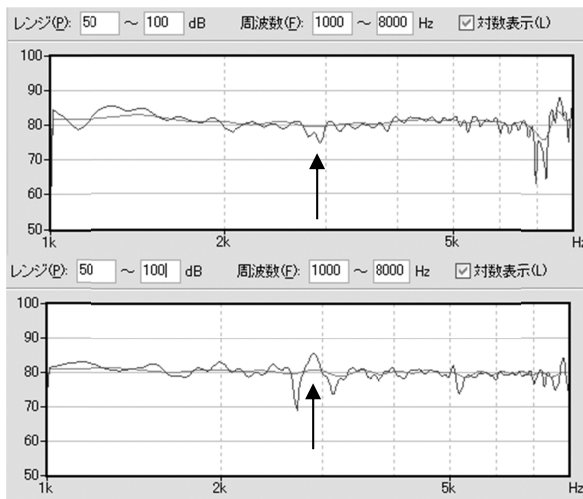


図 5. 周波数帯域（上；訓練前，下：訓練後）

発声課題と発声想起課題における、両課題共通の賦活部位は、上前頭回、上・中側頭回、内側前頭回、角回、縁上回、帯状回の領域を示した。発声想起は脳機能上において発声と同等の働きをすると考えられ、発声想起は発声訓練に有効であると示唆された。また、発声想起の方法は、息を吐きながら想起を行う方が発声により近い状態をつくることが可能であると示唆された。

チューブ発声法の訓練群は、発声想起課題において、新たに上前頭回、中側頭回、記憶に關わる帯状回の賦活や左半球領域の賦活が認められ、音響分析により 3000 Hz 付近の周波数帯域において付加的なフォルマントが生じ、明瞭

な力強い声になる傾向がみられた。これらのことより、チューブ発声法による訓練は有効であると示唆された。

【参考・引用文献】：

- 1) Fiez, J. A and Petesen, S. E. : Neuroimaging study of word reading . Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America , 95:914-921,1998
- 2) 今泉敏：発話中枢機構と吃音のメカニズム . 音声言語医学会 , 44:111-118,2003
- 3) 深堀範,松瀬厚人,河野茂：呼吸モード . 臨床透析 , Vol.24,No.7:2008
- 4) Kristina Simonyan, Zaid. S Saad, Torr M.J.Loucks, Christopher J. Poletto, Christy L.Ludlow : Functional neuroanatomy of human voluntary cough and sniff production . Neuro Image , 37:401-409, 2007
- 5) Christy L.Ludlow : Central nervous system control of the laryngeal muscles in humans Respiratory . Physiology & Neurobiology , 147:205-220,2005
- 6) 月本洋,菊池吉晃,妹尾淳史,安保雅博,渡邊修,米本恭三：脳機能画像解析入門 . 医歯薬出版株式会社 , 2007
- 7) 豊村暁,軍司敦子,小山幸子：声のピッチ制御にかかわる神経機構の非侵襲的脳機能計測による検討 . 臨床脳波 , Vol49,No.6:356-361.2007
- 8) 坂本尚志：生理的な実験を通してヒトの発声・発話のメカニズムを探る . 日本音響学会 , 55 卷 11 号:pp.783-788,1999
- 9) 日向礼子：発語失行と発声失行 . 音声言語医学 , 45:304-308,2004
- 10) 軍司敦子：運度連関連脳電位の基礎と臨床応用 発声連関連脳磁場 . 臨床神経生理学 , 31:111,2003
- 11) Lumsden T : Observation on the respiratory centers in the cat . J Physiology , 57:153-160,1923
- 12) 鈴木匡子：発語失行の責任病巣 . 音声言語医学 , 45:300-303,2004
- 13) 小泉英明：発話と発声:脳機能イメージングで言葉を探る . 日本音響学会誌 , 55 卷 11 号:pp.769-776,1999
- 14) 岡田泰昌：呼吸中枢 . 慶応医学 , 85(2):159-168,009
- 15) 鈴木理文：内喉頭筋の呼吸機能 . 日本気管食道科学会 , 34(2):pp.98-103,1983
- 16) 斎藤恵一,安藤貴泰,百瀬桂子：機能的 MRI を用いた視覚性ワーキングメモリ課題における脳活動の検討 . Biomedical Fuzzy Systems Association , Vol.11,No.2:pp.87-91, 2009
- 17) 喜友名朝則, 鈴木幹男：健常人の発声時における脳活動 - functional MRI を用いた検討 . 日本喉頭科学会,23: 8-11, 2011.

- 18) Jeannerod M: Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 1995, 33(11): 1419-1432
- 19) Stephan KM, Fink GR, Passingham R E, et al.: Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *J Neurophysiol*, 73(1): 373-386, 1995.
- 20) Naito E, Ehrsson HH: Kinesthetic illusion of wrist movement activates motor related areas. *Neuroreport*, 12(17): 3805-3809, 2001.
- 21) Titze I.R : Voice Training and The Copy With a Semi-Occluded Vocal Tract: Rationale and Scientific Underpinnings. *Journal of Speech Language, and hearing* 49: 448-459, 2006.
- 22) Porro CA, Francescato MP, Cettolo V, et al: Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci*, 16(23): 7688-7698, 1996.
- 23) Frith U, Frith, CD: Development and neuropsychology of mentalizing. *Philosophical Transactions the Royal Society of London Biological Sciences*: 358,459-473, 2003.
- 24) Nestor PJ, Fryer TD, Smielewski P, et al: Limbic hypometabolism Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Ann Neurol* 54(3):343-351,2003.
- 25) Guzman M, Anne-Maria Laukkanen, Petr Krupa, Jaromir Horacek, Jan G, Svec, and Ahmed Geneid: Vocal Tract and Glottal Function During and After Vocal Exercising With Resonance Tube and Straw, *Journal of Voice*, 27(4): 523, 2013.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

火ノ川朝子, 大西英雄, 城本修, 他 . fMRI を用いた発声想起による発声訓練法の有効性の検証, 中四国放射線医療技術フォーラム, 2014 年 11 月 16 日, 下関

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :

権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

大西 英雄 (Onishi Hideo)
県立広島大学・保健福祉学部・教授
研究者番号 : 10326431

(2) 研究分担者

城本 修 (Shiromoto Osamu)
県立広島大学・保健福祉学部・教授
研究者番号 : 00290544