

トピックス

運動障害性構音障害の舌の筋線維の計測に関する予備的研究

京都学園大学 健康医療学部講師 外山 稔

1. 研究の背景

構音障害は、解剖学的な異常（奇形・変形・欠損）による器質性構音障害、神経系の機能低下による運動障害性構音障害、構音運動の誤学習によると考えられる機能性構音障害、の3つに大別される。このなかでも、運動障害性構音障害は、脳血管障害、頭部外傷、神経難病に伴う神経系の損傷と機能低下によって、発声発語運動に関与する筋の緊張と筋力に異常をきたし、話しことばに破綻を生じた

状態をさす¹⁾。わが国の有病者数は20万人以上と推定され²⁾、その発話特徴は、音の言い誤り（歪み）、声質の変化、声が出にくい、などである。

運動障害性構音障害にみられる発声発語運動に関与する筋の異常のなかでも、とりわけ、舌の筋力の低下、筋緊張の異常は、母音と子音の生成に大きな影響を与える。舌の筋は骨を介さず、協調して舌全体の位置や形を変えることから（図1、表1）、母音と子音の生成に必要なミリ単位での正確な運動が実現でき

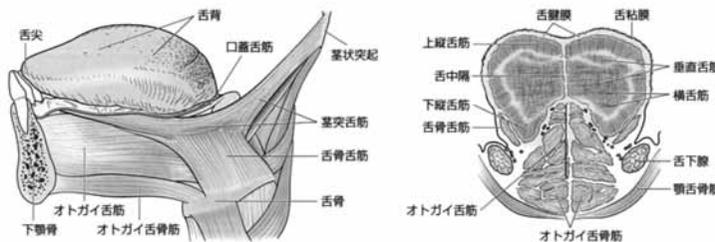


図1 舌の位置と形を決める筋（文献³⁾）

表1 舌の筋肉（文献⁴⁾）

	筋名	起 始	停 止	機 能	神 経
舌の位置を決める筋 (内舌筋)	上縦舌筋	舌根部	舌尖、舌縁	舌を短縮する 舌尖を挙上する 舌背を凹状にする	舌下神経
	下縦舌筋	舌底、舌骨	舌尖	舌を短縮する 舌尖を下制する	舌下神経
	横舌筋	舌中隔	舌縁	舌の幅を狭める	舌下神経
	垂直舌筋	舌背	舌下面	舌を平らにする	舌下神経
舌の形を決める筋 (外舌筋)	オトガイ舌筋	下顎骨内面正中	下部線維：舌骨 中間部線維：舌体 前部線維：舌尖	舌骨の挙上 舌の突出 舌の後退・下制	舌下神経
	舌骨舌筋	舌骨	舌の両側面	舌の下制	舌下神経
	茎突舌筋	茎状突起	舌の両側面	舌の後退 奥舌の挙上を補助	舌下神経
	口蓋舌筋	軟口蓋	舌の両側面	奥舌の挙上 口蓋の下制	咽頭神経叢

なくなるためである。運動障害性構音障害のリハビリテーションは、母音と子音の生成に必要な発声発語運動の機能回復と代償を主として進められるが、いずれの場合も、望ましい運動を実現させるための基盤となる筋緊張の正常化は欠かせない。

筋の緊張は、筋線維の持続的な収縮として示される。舌以外（例えば上下肢）の筋緊張の評価は、徒手的方法、筋電図、筋音図、超音波エラストグラフィなどによる観察が有用である。舌は口腔の狭いスペースに位置し、かつ関節が存在しないために、これらの手法を用いた正確な評価は難しい。運動障害性構音障害の臨床では、発声発語運動に影響を与える舌の状態そのものは評価せず、舌の突出量や発語の擬似運動、音声資料から舌の状態を推し量るにとどまっている。また、運動障害性構音障害に関するリハビリテーションの効果は、脳卒中治療ガイドライン2015では「行うことを考慮しても良いが、十分な科学的根拠がない（推奨グレードC1）」である⁵⁾。舌の筋力低下および筋緊張の異常の評価手法の確立、それに基づいた回復への取り組みは、運動障害性構音障害の評価とリハビリテーションの重要課題である。

このような背景のなか、米国マサチューセッツ工科大学（Massachusetts Institute of Technology；MIT）のGilbert研究室から、磁気共鳴画像（magnetic resonance imaging；MRI）を用いた健常者の舌全体の筋線維画像が世界で初めて公開された⁶⁾。筆者らは、MITのGilbert研究室がMRI研究

機で報告した舌の筋線維の観察が、一般診療で使用される臨床機でも実現できれば、舌の筋緊張の評価につながると考え、MRI臨床機での研究を開始した。本稿では、筆者らが取り組んでいる舌の筋線維の計測手法の一部を紹介する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、運動障害性構音障害を有する話者の舌の筋線維の計測に向けて、MRIのパラメーターや計測方法を健常被験者で検討することである。

3. 舌の筋線維の計測方法

Gilbert研究室の舌の筋線維の観察には、MRI研究機の拡散テンソルtractography（diffusion tensor tractography；DTT）^{注1}という解析手法が使用されている。本研究では、Gilbert研究室の計測手法を参考にしつつ、臨床機による舌の筋線維の観察、運動障害性構音障害による舌の浮腫や萎縮を想定した水分含有量の計測、を試みた。筆者らの使用したMRI臨床機は、PHILIPS社製のAchieva 3.0Tであった。

被験者は74歳、女性。神経疾患と精神疾患、運動障害性構音障害の既往はなかった。研究への参加は、目的と方法、危険性などを事前の説明し、書面による同意を得た。被験者にはMRIガントリー内での安静を指示し、静止状態の舌を撮像した。

注1 DTTは、拡散テンソル画像（Diffusion tensor imaging；DTI）を用いたtractographyである。MRIで通常見ているのは、ブラウン運動に示される微視的な水分子の不規則な運動としての拡散現象である。生体内では、細胞膜によって自由な拡散が妨げられたり微少な血流の影響を受けたりするため、拡散しやすい方向と拡散しにくい方向がある。左右方向に走行する線維では、左右方向への拡散は速く、上下方向や前後方向への拡散は遅い（拡散の異方性；diffusion anisotropy）⁷⁾。DTIは線維方向の拡散の速さ、線維方向と直交する2方向の拡散の速さ、線維の方向ベクトルを解析した画像であり、tractographyは特定の線維を追跡（fiber tracking）して描かれた路のことである。DTTは、運動障害性構音障害の臨床ではあまり用いられることはないが、失語症の臨床では弓状束の描出による白質線維の障害について検討が行われている^{8) 9)}。

本研究は京都学園大学研究倫理審査委員会(承認番号 28-2)、潤和会記念病院倫理委員会(承認番号 160804-4)の承認を得て実施した。

1) T_2 マッピングによる計測

T_2 マッピングは、 T_2 計算画像を作成して組織の水分含有量の違いを T_2 値の差として定量化する方法である。本研究では、 T_2 計算画像上に関心領域 (region of interest; ROI) を設定して T_2 値測定を行った。ROI は、被験者の硬口蓋と軟口蓋の境界を基準とした舌の冠状断面上に左右それぞれ設定した。画像の取得は、Turbo Spin Echo (TSE) に gradient field echo (GE) の echo signal を付加したシーケンス Gradient and spin echo (GRASE)、Single shot を使用した。撮像のパラメーターは、TR 1500ms、TE 80ms、FOV 150mm、Matrix size 208 × 173、Voxel size 0.45 × 0.45mm、Slice thickness 4mm、Slice gap 1mm、Flip angle 90° で行った (表 2)。

表 2 T_2 強調画像の撮像パラメーターの概要

MRI scanner	Achieva 3T
Coil	32ch head
Repetition time : TR (ms)	1500
Echo time : TE (ms)	80
Field of view : FOV (mm)	150
Matrix size	208 × 173
Voxel size (mm)	0.45 × 0.45
Slice thickness (mm)	4
Interslice gap (mm)	1
Number of slice	20
No. of MPG directions	32
Flip angle	90
NSA	1

2) DTT による観察

tractography の描出は、舌の筋線維が走行していると考えられる部位に Single ROI を置き、舌の左側・右側の Fractional anisotropy (FA) ^{注2} をそれぞれ算出した。解析ソフトウェアは、MRI 本体のコンソールに搭載されている Fiber Track を使用し、3D projection トラクトシリーズ ¹¹⁾ で保存した。DTI 画像の取得は、Single shot echo planar imaging (EPI) を使用した。撮像のパラメーターは、TR 4000ms、TE 60ms、FOV 190mm、Matrix size 64 × 61、Voxel size 1.7 × 1.7mm、Slice thickness 3mm、Slice gap 0mm、b-factor 500s/mm²、Flip angle 90° で行った (表 3)。

表 3 DTI 撮像パラメーターの概要

MRI scanner	Achieva 3T
Coil	32ch head
Repetition time : TR (ms)	4000
Echo time : TE (ms)	60
Field of view : FOV (mm)	190
Matrix size	64 × 61
Voxel size (mm)	1.7 × 1.7
Slice thickness (mm)	3
Interslice gap (mm)	0
Number of slice	30
b-factor (s/mm ²)	500
No. of MPG directions	32
Flip angle	90
NSA	1

4. 舌の筋線維の計測結果

1) T_2 マッピングによる計測

被験者の舌の T_2 Map を図 2 に示した。 T_2 値は、舌の右側は平均 82.25ms (Area : 47.7mm²、73.05 ~ 98.07ms)、舌の左側は 75.34ms (Area : 46.66mm²、63.05 ~ 88.07ms) であった。

注 2 Fractional anisotropy (FA) は、拡散の異方性 (注 1 参照) の強さの指標である。一定方向へ拡散する場合は 1、他方向へ拡散する場合は最小値 0 に近づく ¹⁰⁾。従って、線維の形態や機能が保たれていると FA は高くなり、線維の形態と機能が障害されると FA は低くなる。



図2 舌の T2 Map
(硬口蓋と軟口蓋の境界を基準とした冠状断面)

2) DTT による観察

被験者の舌の tractography は 3次元で画像上に表示し、その俯瞰像を図3に示した。FA は、舌の右側の線維は平均 0.34 ± 0.16 [apparent diffusion coefficient ; ADC ($10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) は 1.48 ± 0.43]、舌の左側の線維は平均 0.3 ± 0.12 [ADC ($10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) は 1.49 ± 0.37] であった。

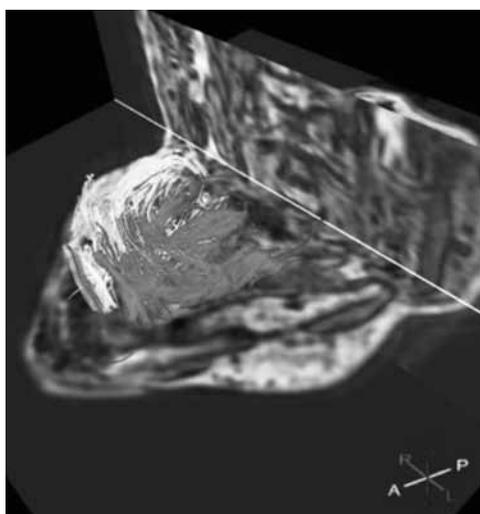


図3 舌の tractography : 俯瞰
(左側の筋線維は灰色、
右側の筋線維を白色で表示した)

5. 考察と課題

本研究では、舌の浮腫や萎縮の程度を示す T_2 値、筋組織の変質を示す FA の取得が可能であった。被験者の T_2 値は舌の左右で平均 6.91ms の差を認めたが、FA はほぼ同値であった。 T_2 値の左右差 (個体内差の基準)、および舌の T_2 値と FA との関連を適切に解釈するには、健常者データの蓄積が必要である。

本研究は、これらの数値 (舌の状態) が運動障害性構音障害を有する話者の話しことばの破綻 (音の言い誤りや歪みの特徴) とどのように関連するのかを明らかにすることが最終目標である (図4)。同一被験者の音声資料の分析を行い、MRI 計測の結果とともに検討を加える予定である。

今回の舌の MRI 計測では、画像集積時間の長さによる被験者の疲労、唾液嚥下による motion artifacts、歯による磁化率への影響、

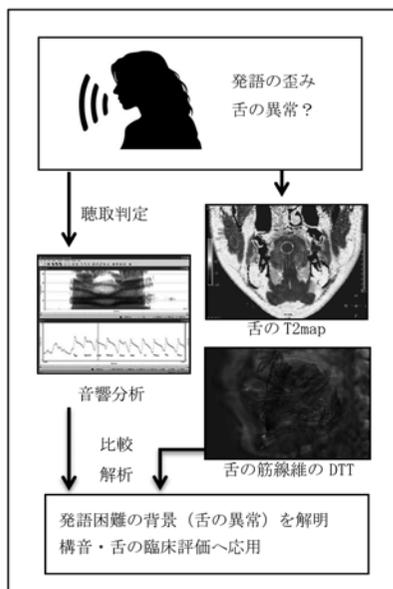


図4 舌の状態と話しことばとの関連

交叉線維の tractography、などの課題が明らかとなった。当初の研究計画では、舌の安静状態に加えて、舌尖の挙上状態（舌の先端を上顎歯茎部に触れる）を撮像課題に含めていたが、被験者は画像集積時間4分30秒の舌尖挙上の保持が困難であった。舌尖の挙上（もしくは舌の突出）は、運動障害性構音障害では左右差（偏位）が生じやすいため、tractographyの線維長の左右差として数値化できると思われたが、運動障害性構音障害を有する話者の計測では更なる困難を伴うことが予測された。唾液嚥下による motion artifacts については、先行研究にみられる舌の固定や唾液吸引の工夫¹²⁾が必要かもしれない。

DTTは磁化率に非常に鋭敏であり、今回の計測では被験者の銀歯（金銀パラジウム合金）が tractography の描出に影響を与え、舌尖の tractography が曖昧となった。また、tractography は voxel 内での交叉線維を分離させて描出することが難しく、内舌筋群（特に垂直舌筋と横舌筋）の筋種別の tractography は実現できなかった。一側舌での描出や特定筋種のみでの描出、あるいは比較的容易に同定できる外舌筋のみでの描出にするなど、更なる検討が必要である。

6. 今後の展望

今後は、研究協力施設に入院している軽度～中等度の運動障害性構音障害者20名、性別・年齢のマッチングを行った健常者20名の舌のMRI計測および音声資料の収集を予定している。MRIによる舌の筋線維の状態を、従来の安静・運動時の舌の左右差（偏位）、形状、音声資料の解析と組み合わせて評価することで、舌の異常の有無と程度、発語が容

易あるいは困難な条件が、舌の筋線維の観点からも明らかになることが期待される。

謝辞

本研究に際し、京都学園大学健康医療学部の荻安 誠先生にご指導をいただきました。また、潤和会記念病院リハビリテーション科の河野寛一先生、奥 史佳先生、外山慶一先生、同放射線科の国分史典先生、椎 崇史先生、PHILIPSの武村 濃氏には、MRI撮像方法の検討とデータ収集にご協力をいただきました。記して深謝いたします。

本研究の一部は、京都学園大学奨励研究、潤和リハビリテーション診療研究所内部研究の支援を受けて実施した。

文献

- 1) Duffy JR: Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis, and Management. 3th Ed., Mosby, St. Louis, 2012
- 2) 荻安誠, 外山稔, 松平登志正: コミュニケーション障害の疫学; 音声言語・聴覚障害の有病率と障害児者数の推定. 京都学園大学健康医療学部紀要, 1: 1-12, 2016
- 3) 天野修: 消化器系; 口腔. 口腔解剖学 (脇田稔, 山下靖雄, 監修). pp.111-118, 医歯薬出版, 東京, 2009
- 4) 椎名英貴: 発声発語と神経・筋系の仕組み. 発声発語障害学 (熊倉勇美, 今井智子, 編). 第2版, pp.184-195, 医学書院, 東京, 2015
- 5) 園田茂, 児玉三彦, 下堂蘭恵, 他: 言語障害に対するリハビリテーション. 脳卒中治療ガイドライン2015 (日本脳卒中学会

- 脳卒中ガイドライン委員会, 編). pp.307-308, 協和企画, 東京, 2015
- 6) Gaige TA, Benner T, Wang R, et al : Three dimensional myoarchitecture of the human tongue determined in vivo by diffusion tensor imaging with tractography. *J Magn Reson Imaging*, 26 : 654-661, 2007
- 7) Le Bihan D, Mangin JF, Poupon C, et al : Diffusion tensor imaging : concepts and applications. *J Magn Reson Imaging*, 13 : 534-546, 2001
- 8) Catani M, Jones DK, Ffytche DH : Perisylvian language networks of the human brain. *Ann Neurol*, 57 : 8-16, 2005
- 9) 近藤正樹, 渡辺(細見)明子 : 拡散テンソル画像の臨床応用 : 失語症の検討. *高次脳機能研究*, 30 : 398-403, 2010
- 10) Sorensen AG, Wu O, Copen WA, et al : Human acute cerebral ischemia : detection of changes in water diffusion anisotropy by using MR imaging. *Radiology*, 212 : 785-792, 1999
- 11) Mori S, Crain BJ, Chacko VP, et al : Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Ann Neurol*, 45 : 265-269, 1999
- 12) H Shinagawa, EZ Murano, J Zhuo, et al : Tongue muscle fiber tracking during rest and tongue protrusion with oral appliances : A preliminary study with diffusion tensor imaging. *Acoust. Sci. & Tech.*, 29 : 291-294, 2008