超音波診断装置を用いた骨格性下顎前突症患者の嚥下時舌運動様相の検討

阿 部 遼¹⁾ 坂 上 馨¹⁾ 福 井 忠 雄¹⁾
深 町 直 哉¹⁾ 林 孝 文²⁾ 齋 藤 功¹⁾

An Investigation on Tongue Movement during Swallowing in Patients with Mandibular Prognathism Using Ultrasonography

RYO ABE¹⁾, KEI SAKAUE¹⁾, TADAO FUKUI¹⁾,
NAOYA FUKAMACHI¹⁾, TAKAFUMI HAYASHI²⁾ and ISAO SAITO¹⁾

Abstract

Purpose: There is little information available regarding swallowing tongue dynamics in cases that show remarkable discordance in the relationship between the upper and lower jaws. In this study, we measured the tongue motion during swallowing by ultrasonography in patients with mandibular prognathism and compared them with volunteers with normal occlusion.

Methods: The subject group comprised 10 patients with mandibular prognathism (6 males, 4 females). Ten volunteers with normal occlusion (2 males, 8 females) served as controls. The subjects were instructed to swallow about 4 ml of tasteless jelly, and the tongue movement during swallowing was measured by ultrasonography. We measured the following times on the M-mode waveform in the center of the tongue, "Duration of grooving formation (T1)", "Duration of grooving disappearance (T2)", "Duration from grooving disappearance until tongue-palate contact (T3)", "Duration of tongue-palate contact (T4)", "Duration of return to rest (T5)" and "Total swallowing duration (T6)". In the periphery of the tongue, we measured "Total swallowing duration (T7)" and qualitatively

assessed the tongue waveform as well.

Results: In the center of the tongue, T3, T5 and T6 were significantly longer in the subject group than in the control group. In the periphery of the tongue, T7 was also significantly longer in the subject group than in the control group. The tongue position of patients with mandibular prognathism tends to be low, so a longer time was necessary to lift the tongue to the palate and the anchoring effect of the contact between the tip of the tongue and the anterior palate became weak. Due to this, a longer swallowing time at the periphery of the tongue was possibly needed in the subject group. Further, the type of tongue movement seems to have been specialized because of frequent up-and-down movement of the tongue during swallowing.

Conclusions: The present findings suggest that patients with mandibular prognathism, due to their morphological disharmony, need excessive time to lift the tongue surface to the palate, resulting in a longer swallowing time at the periphery of the tongue as well as a specialized tongue movement.

Key words: ultrasonography (超音波診断), swallowing (嚥下), mandibular prognathism (下顎前突症)

[Received Mar. 13, 2019]

¹⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科歯科矯正学分野 (主任: 齋藤 功教授)

²⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科顎顔面放射線学分野 (主任: 林 孝文教授)

¹⁾ *Division of Orthodontics, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Isao SAITO)

²⁾ *Division of Oral and Maxillofacial Radiology, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Science* (Chief: Prof. Takafumi HAYASHI)

緒 言

不正咬合と口腔機能との関連性を検討する上で、安静時および嚥下時における口腔周囲軟組織の動態を分析することは極めて重要であり、矯正臨床における診断、治療および予後の判定に大きく貢献する¹⁾。歯列弓形態や歯の位置は個人が持つ遺伝的要因の他に、口唇、舌、頬筋、咀嚼筋などの影響を受けると考えられ、特に、舌の形態や機能は顎顔面形態や歯列弓形態などに及ぼす影響が大きいとされる²⁻⁵⁾。嚥下運動は、先行期・準備期・口腔期・咽頭期・食道期から成り立つ連続動作で、嚥下反射は咀嚼によって食塊形成を終えた後に引き起こされる⁶⁾。嚥下運動の第一段階である口腔期は、食塊を咽頭へ送り出す時期で、舌の蠕動様運動によって食塊移送を開始する。はじめに、口蓋前方部に接する舌尖部から舌の上方部への運動が始まり、舌の口蓋との接触が前方から後方に向かって連続した波動のように広がっていくことで食塊が舌の形態に沿って後方へと押し込まれる。口腔期に続く咽頭期は完全に反射性であり、舌の後下方への押し込み運動、咽頭収縮筋の蠕動様運動および喉頭の挙上との相乗作用によって食塊は咽頭を通過し食道へと送られる。

嚥下時における舌の動態解析には従来 X 線映画法^{7,8)}、嚥下造影検査 (VF 法)⁹⁻¹¹⁾、圧センサー^{12,13)}、パルトグラム¹⁴⁾、超音波断層法^{15,16)} などが用いられてきた。これらのうち VF 法は、摂食・嚥下障害の診断に応用されるようになってきたが、X 線被曝の問題からその使用には制限がある。一方、超音波断層法による舌運動の観察は、描出範囲や鮮明度は VF 法に劣るが X 線被曝がなく舌断層部の同定が可能な描出画像が安定して得られるようになった¹⁷⁾。しかし、骨格性下顎前突症など上下顎に著しい不調和を認める場合の嚥下様相についての研究は極めて少ない。当分野の坂上ら¹⁸⁾ は、舌圧センサシートを用いて骨格性下顎前突症患者を対象に舌と口蓋の接触様相について調べ、個性正常咬合者と比較検討し、個性正常咬合者では舌が口蓋正中前方部、周縁部、正中中央部、正中後方部の順に接触するのに対し、骨格性下顎前突症患者では健常者と接触順序は同じであったが、舌圧ピーク値の低下、口蓋周縁部における舌圧持続時間の延長および舌圧波形が多峰性化していることを示した。この研究では、舌圧変化を指標として舌と口蓋の接触様相については明示できたものの、舌運動様相の解明に至ったわけではない。

そこで今回、舌と口蓋の非接触時を含めた舌運動様相を解明するために、骨格性下顎前突症患者を対象として超音波断層法による嚥下時舌運動様相の測定を行い、個性正常咬合者と比較検討した。

研究方法 (対象・方法)

1. 対象

対象は、新潟大学医歯学総合病院矯正歯科を受診し、外科的矯正治療の適応症と診断された骨格性下顎前突症患者のうち、以下の条件を満たす 10 名 (男性 6 名、女性 4 名、平均年齢 20.6 ± 7.4 歳; 以下、下突群) とした。

<下突群の条件>

- ①口唇裂、口蓋裂などの先天異常がない
- ②中心咬合位において上下顎第一大臼歯の咬合関係が両側とも Angle Class III
- ③術前矯正治療中もしくは術前矯正治療が終了し、前歯部のオーバージェットが 0 mm 未満
- ④側面頭部 X 線規格写真上で ANB が 0° 以下
- ⑤扁桃肥大、舌強直症、巨舌など、舌および軟組織形態に特記すべき異常所見を認めない

対照として、以下の条件を満たす個性正常咬合者 10 名 (男性 2 名、女性 8 名、平均年齢 21.5 ± 4.0 歳; 以下、健常群) を選択した。

<健常群の条件>

- ①口唇裂、口蓋裂などの先天異常がない
- ②中心咬合位において上下顎第一大臼歯の咬合関係が両側とも Angle Class I
- ③上下顎とも叢生が顕著でなく、arch length discrepancy が -2.0 mm 以上
- ④歯数異常および歯の形態異常がなく、咬頭被覆以上の修復物がない
- ⑤顔貌の非対称を認めない
- ⑥扁桃肥大、舌強直症、巨舌など、舌および軟組織形態に特記すべき異常所見を認めない
- ⑦口唇周囲の緊張を含む異常嚥下癖、機能的嚥下障害がない

なお、機能的嚥下障害の有無は、反復唾液嚥下テスト (RSST) により、30 秒間で 3 回以上の嚥下の可否¹⁹⁾、および嚥下時における舌突出癖の有無で判定した。

2. 計測方法

1) 実験装置 (Fig. 1)

はじめに、嚥下運動の測定に適したアプリケーションを作製した。頭部にヘッドキャップ (デンツブライ三金、東京) を装着し、皮膚接触面に ECHO JERRY (日立、東京) を塗布後、高分子カップリング材 (ソナゲル、タキロン、大阪) をオトガイ下部に適合させ、牽引用フックから医療用チューブ (カネカ、大阪) を介して、高分子カップリング材を適切な力で牽引し、皮膚面に密着させた。超音波診断装置 (Preirus, 日立、東京) に探触子 (腹部用コ

Fig. 1 Experimental device

Fig. 2 Setting of the onset time of swallowing in the peripheral of the tongue

ンベックスプローブ)を接続し、探触子をアプリーケーター下部に手指で保持した。表示方法はBモード(Brightness mode)とMモード(Motion mode)を用い、同時描出させた。

2) 撮影方法

被検食は無味ゼリー 4.0ml (トロミドリンク, 日清オリオ, 東京)とし、嚥下姿勢は座位で、探触子をオトガイ下部に当てやすいように体幹・頸部をわずかに後屈させた状態とした。被験者が被検食を自身の口腔内に挿入して舌上に保持し、これを一度で嚥下するよう指示した。舌中央部、舌周縁部をそれぞれ5回計測し、各試行間には十分な時間をおいた。

探触子は、その表面にECHO JERRYを塗布し、オトガイ部より数cm後方のオトガイ下部に位置させ、嚥下時の

顎運動に支障のない状態に設定した²⁰⁾。また、下顎骨、舌下部の空気層や舌下隙の影響を受けにくく、舌表面を描出できる位置として左右の顎下腺が見えるようにプローブを傾斜させた。舌周縁部の診断面は、オトガイ舌筋と他の外舌筋との境界部とした。舌周縁部における嚥下開始時間は、舌周縁部での舌運動を計測した報告がこれまでになかったため、Bモードにて舌中央部が陥凹開始したところを確認し、その時点をMモード上に記録し、舌周縁部での嚥下開始時間と規定した (Fig. 2)。

3) 計測項目

Mモード波形上で、舌中央部における陥凹開始時点～陥凹最深時点までの「陥凹形成時間」(T1)、陥凹最深時点～陥凹消失時点までの「陥凹消失時間」(T2)、「陥凹消失～口蓋接触開始までの時間」(T3)、「口蓋接触時間」

(T4), 「口蓋離脱～舌安静位までの時間」(T5), これらすべてを合わせた「総嚥下時間」(T6)を計測した (Fig. 3)。一方, 舌周縁部では「総嚥下時間」(T7)を計測し, 舌背部波形を定性的に評価した (Fig. 2)。

舌中央部, 舌周縁部にて各 5 回ずつの指示嚥下により各項目の計測を行い, 各項目毎の平均値を個人の値として算出し, 健常群と下突群で比較検討した。統計学的有意差の検定には, Wilcoxon 順位和検定を用い, 危険率は $P < 0.05$ とした。

本研究を開始するにあたっては, 新潟大学における人を対象とする研究等倫理審査委員会による承認を受け (承認番号 2015-5035), 被験者には研究の目的と方法を十分説明し, 同意の得られた後に測定を実施した。

結 果

1. 各区分毎の嚥下時間 (Table 1)

健常群の嚥下時間は, T1 : $188.3 \pm 45.5\text{msec}$, T2 : $109.5 \pm 48.1\text{msec}$, T3 : $67.1 \pm 13.1\text{msec}$, T4 : $431.7 \pm 54.5\text{msec}$,

T5 : $212.8 \pm 26.9\text{msec}$, T6 : $1009.8 \pm 94.9\text{msec}$, T7 : $1051.9 \pm 88.5\text{msec}$ となった。T1 ～ T5 間では T4 の口蓋接触時間が最も長かった。

下突群の嚥下時間は, T1 : $173.5 \pm 69.5\text{msec}$, T2 : $105.3 \pm 34.7\text{msec}$, T3 : $153.6 \pm 22.3\text{msec}$, T4 : $512.1 \pm 114.8\text{msec}$, T5 : $266.2 \pm 50.0\text{msec}$, T6 : $1210.6 \pm 204.0\text{msec}$, T7 : $1597.5 \pm 148.6\text{msec}$ となった。T1 ～ T5 間では健常群と同様に, T4 の口蓋接触時間が最も長かった。T3 ($P < 0.01$), T5 ($P < 0.05$), T6 ($P < 0.05$), T7 ($P < 0.01$) では, 健常群と比較し下突群の方が有意に長かった。

2. 嚥下時舌運動の特徴

舌中央部において, 健常群では舌安静位から急速に舌表面が下降して陥凹形成した後, 口蓋へと挙上し, 再度, 舌安静位へと戻っていた。下突群では, 波形の性状は健常群とほぼ同様であったが, 舌の口蓋への挙上は緩やかに行われていた (Fig. 4)。舌周縁部においては, 健常群では舌中央部が陥凹形成を開始した時点から舌表面の滑らかな挙上と下降を示したが, 下突群では長時間にわたり持続的な上

Fig. 3 Trace of tongue movement in M mode during swallowing and measurement points for analysis

Table 1 Comparison of duration of tongue movement between the control and the patients with mandibular prognathism

Measurement stage	Control		The patients		Significance
	Measurement stage	SD	Mean (msec)	SD	
T1	188.3	45.5	173.5	69.5	
T2	109.5	48.1	105.3	34.7	
T3	67.1	13.1	153.6	22.3	**
T4	431.7	54.5	512.1	114.8	
T5	212.8	26.9	266.2	50.0	*
T6	1009.8	94.9	1210.6	204.0	**
T7	1051.9	88.5	1597.5	148.6	**

* $P < 0.05$. ** $P < 0.01$.

下動を呈しており、このことは下突群全ての被験者において認められた (Fig. 5)。

考 察

1. 研究方法について

1) アプリケーター作成, モード選択

超音波診断装置の探触子を直接皮膚面に当てた場合、オトガイ下部や下顎骨の動きにより嚥下運動が阻害され、探触子が皮膚面から離れることで測定が困難になる可能性がある。過去の研究^{21, 22)}においては、探触子と皮膚面に高分子カップリング材で構成されたクッションを介することで、オトガイ下部、下顎骨の動きから生じている圧力を均

等に分配し、かつ超音波の透過性を損なうことがなかったと報告されている。そこで今回、上記特性を有するアプリケーションを作製することで探触子による嚥下阻害を防止し、より自然な嚥下時における舌動態を比較検討することとした。

また、過去の研究^{15, 23, 24)}では、超音波を用いた舌動態の観察は、Bモード法が主流を占めていた。しかし、対象組織が時間経過とともにどのように動くかを表示できるMモード法も近年応用されるようになってきている^{8, 16)}。そこで、本研究では両モード法を併用し、Bモード法で前額断面における舌形態を評価し、Mモード法で舌動態を定量的に解析することでより詳細な検討を試みた。

2) 被験食

Fig. 4 The representative case of tongue movement waveforms in the control and the patient with mandibular prognathism (Central of the tongue)

Fig. 5 The representative case of tongue movement waveforms in the control and the patient with mandibular prognathism (Peripheral of the tongue)

被験食は、無臭・無味の介護用水分補給用ゼリーを使用した。嚥下に関する過去の研究²⁵⁾では、被験食として水、プリン、グミなどが用いられてきたが、嚥下口腔期の舌運動は随意性で食品の味や被験者の状態によって異なり、また、咀嚼なしで指示嚥下が可能であることから無臭・無味の介護用ゼリーを選択した。被験食の量については、過去の研究^{26,27)}を参考にして健常者が咀嚼せずに一口で嚥下でき、できるだけ自然な嚥下を再現できるよう1回の嚥下量を4 mlとした。

3) 嚥下姿勢、探触子の位置

頸部の角度は、FH平面と床面を平行にすることによって顎の安静な状態が保てるとされていることから、FH平面を基準とした研究が多い^{17,28-30)}。しかし、この姿勢ではオトガイ下部に適切に探触子を当てることが困難なため、本研究では、わずかに体幹傾斜・頸部伸展させ測定を行った。約60度、30度位での体幹位における頸部伸展は、多くの被験者に有意な舌の運動様態の変化を示す傾向があるとされる³¹⁾が、本研究での体幹傾斜角度はわずかであり、姿勢による影響は少なかったと考えられる。

また、探触子の位置は、オトガイ部より数cm後方の顎下部では軽度の顎運動に支障がないとの報告²⁰⁾を参考に同様の位置で保持することとした。さらに、左右顎下腺が見えるようプローブを傾斜させ計測を行ったが、これはBモード画像上で、左右顎下腺が見える位置が最も舌表面が明瞭に描出できたことによる。

4) 計測項目の設定

嚥下時間については、渡辺³⁰⁾、伊野ら³²⁾の方法を参考にして、Mモードにて舌中央部が陥凹を開始した時点と嚥下開始時間とした。舌周縁部での嚥下開始時間については、舌周縁部での舌運動を計測した報告がこれまでになかったため、本研究ではBモードで嚥下時の舌運動を観察し、舌中央部で陥凹が開始した時点と舌周縁部での嚥下開始時間と規定した。これにより、舌中央部と舌周縁部での嚥下開始時間を一致させることを可能にした。一方、嚥下終了時間については、Mモードにて安静時および嚥下後、舌背の位置は個人内でほぼ一定であるとの報告を参考にし³³⁾、舌背の位置がほぼ一定になった時点とした。

2. 研究結果について

1) 健常群と下突群の嚥下時間の比較

下突群では、健常群と比較し陥凹形成時間(T1)および陥凹消失時間(T2)がわずかに減少したが、有意差は認めなかった。また、両群とも陥凹形成時間の方が陥凹消失時間と比較し有意に長かった。これは舌が陥凹形成する時期が嚥下運動における準備期に相当し、随意的な動きが優位であること、また陥凹形成後は食塊を後方に移送して嚥下反射による不随意性の運動へと移行していくため、陥

凹形成よりも不随意性が優位になることから陥凹消失速度の方が速くなったと推察できる³⁰⁾。

次に、陥凹消失～口蓋接触開始までの時間(T3)では、下突群では、健常群と比較し有意に長かった。安静時における下突群の舌位に関しては、舌尖および舌背が健常者と比較して低位をとることが報告されている^{34,35)}。そのため、下突群では舌が低位にあるため、嚥下時における舌の挙上自体が容易ではなく、陥凹消失～口蓋接触開始までの時間が延長したと考えられる。

健常群と下突群の両群において、口蓋接触時間(T4)は約0.4～0.5秒と全stage中最も長くなったが、両群間に有意差は認めなかった。Stoneら³⁶⁾は、舌背面にペレットを設置して、嚥下時舌運動を超音波検査にて解析し、舌が口蓋に接触している時間はすべての被験者において総嚥下時間の約1/3(約0.4秒)であることを報告している。本研究においても、健常群と下突群の両群において、口蓋接触時間は総嚥下時間の1/3～1/2(約0.4～0.5秒)となりStoneらの報告と一致した。また、T4時に舌背は後上方へと移動することで口腔内には陰圧が形成され、口蓋に対して舌圧が生じることで食塊が咽頭方向へ送り込まれていると推察される¹⁸⁾。

口蓋離脱～舌安静位までの時間(T5)は、下突群において有意に延長した。これは下突群では安静時に舌が低位にあり^{34,35)}、安静時の舌表面から口蓋までの距離が長いと考えられる。

舌中央部の総嚥下時間(T6)は、健常群と比較し下突群で有意に長かった。これは陥凹消失～口蓋接触開始までの時間(T3)および口蓋離脱～舌安静位までの時間(T5)が下突群で長かったことが要因である。また、健常群と比較し下突群では、舌周縁部における総嚥下時間(T7)が有意に長かった。舌圧センサシートを用いて嚥下時の舌と口蓋の接触様相を調べたわれわれの研究¹⁸⁾において、下突群では嚥下時の舌圧が全体的に低く、舌周縁部の舌圧持続時間が延長していることを報告している。このことから、下突群では上下顎骨の形態的不調和から生じる低位舌により、嚥下時の舌圧が低く、食塊の後方移動に時間を要するため、代償として舌周縁部の嚥下時間が延長していることが示唆された。

2) 健常群と下突群の嚥下時舌運動の比較

舌は外舌筋群および内舌筋群から構成される器官で、咀嚼時、嚥下時、発音時などには神経筋機構の協調のもとに形態を変化させる³¹⁾。特に、嚥下時には舌中央部を陥凹させて食塊を形成し、口蓋へ舌表面を押しつけるようにして咽頭へ送り込むなど、嚥下口腔期における舌の役割は大きい^{6,31)}。舌を前額断面で観察すると、嚥下時舌中央部の動きは安静位から陥凹し、その後挙上して口蓋に接触し、嚥下動作終了後安静位へと戻る³¹⁾。本研究においても、健常

群および下突群において同様の動きが認められた。しかし、下突群では健常群と比較し、舌中央部において陥凹が消失してから口蓋へ接触するまで (T3) において舌運動波形が緩やかな曲線を呈していた。これらの結果から、下突群は T3 において、健常群と比較して舌運動が緩慢になったと推察される。

また、過去の研究^{37, 38)}では、舌背中央部で食塊を咽頭へ移送している間、舌周縁部は上顎臼歯部顎堤もしくは口蓋周縁部に固定されることが示されている。本研究においても、健常群で舌周縁部が口蓋へ固定されている様子を観測することができた。しかし下突群では、嚥下時に舌周縁部において長時間にわたる持続的な上下動が観察された。下突群では、低位にある舌尖部後上方に上顎切歯が位置することから、舌尖の後上方への移動が困難であるため、舌周縁部を口蓋へうまく固定できず、舌周縁部が口蓋方向へ上下動するように特殊化したと考えられた。

今回の研究により、アプリケーションを併用した超音波診断装置 (B・M モード) における嚥下時舌運動評価の有用性、および骨格性下顎前突症患者の嚥下時舌運動の特徴を示すことができた。今後は、顎矯正手術後の新たな形態的環境下での嚥下時舌運動様相がどのように変化するかについて、術前の嚥下時舌運動様相と比較検討していく予定である。

結 語

本研究では、外科的矯正治療の適応症と診断された骨格性下顎前突症患者を対象に、超音波診断装置を用いて嚥下時の舌運動様相を観察測定し、個性正常咬合者と比較検討を行った。その結果、骨格性下顎前突症患者では、形態的不調和により舌表面の口蓋への挙上および口蓋からの離脱に時間を要し、舌周縁部における嚥下時間の延長と運動様式の特長が生じていることが示唆された。

本論文の要旨は第 77 回日本矯正歯科学会学術大会 (2018 年 10 月 30 日～11 月 1 日、横浜市) において発表した。

著者全員および所属講座において本論文に関し開示すべき利益相反 (COI) はない。

文 献

- 1) Graber, T.M.: Physiology of the stomatognathic system. Graber, T.M.: Orthodontics —Principles and practice—, 3rd ed., W.B. Saunders Co, Philadelphia-London-Toronto, 1972, p129-179.
- 2) Proffit, W.R.: The etiology of orthodontic problems. Proffit, W.R.: Contemporary orthodontics, 5th ed., Elsevier mosby, St. Louis, 2013, p114-146.

- 3) 齊藤千秋, 他: X 線 VTR による低位舌を有する成人不正咬合者の嚥下時の舌運動に関する研究. 歯科学報, 99: 33-55, 1999.
- 4) 滝本和夫, 他: 開咬を伴う不正咬合者の舌の機能, 形態的考察. 日矯歯誌, 30: 25-38, 1971.
- 5) 谷本啓二: X 線映画法による口蓋裂術後患者の嚥下に関する研究. 日口蓋誌, 11: 1-22, 1986.
- 6) 井上 誠: 摂食・嚥下障害患者への対応を考える前に必要な知識の整理 —摂食嚥下の生理学を中心に—. 日補綴会誌, 5: 254-264, 2013.
- 7) 戸村善明: X 線テレビ映画による咀嚼時の舌運動について 1. 前額方向からの観察. 歯科学報, 79: 2271-2303, 1979.
- 8) 川島成人, 他: 舌運動の評価に関する基礎的研究 —X 線テレビ, 超音波および圧力センサーによる観測—. 歯放, 33: 1-9, 1993.
- 9) Adnerhill, L., et al.: Determining normal size for thin liquids. Dysphagia, 4: 1-3, 1989.
- 10) Bisch, E.M., et al.: Pharyngeal effects of bolus volume, viscosity and temperature in patients with dysphagia resulting from neurologic impairment and in normal subjects. J Speech Hear Res, 37: 1041-1049, 1994.
- 11) 金子芳洋: 高齢者の摂食機能にかかわる諸問題. 日歯医師会誌, 46: 23-34, 1993.
- 12) 小野高裕, 他: 咀嚼・嚥下における舌圧測定法とその臨床応用. 日摂食嚥下リハ会誌, 10: 207-219, 2006.
- 13) 小野高裕, 他: 摂食・嚥下障害患者への対応 —舌圧測定と舌接触補助床—. 日補綴会誌, 5: 247-253, 2013.
- 14) 寺島多美子, 他: 嚥下パターン解析のための簡易ペーストパラストグラム法. 日矯歯誌, 51: 90-97, 1992.
- 15) Maniere-Ezvan, A., et al.: Ultrasonic assessment of the anatomy and function of the tongue. Surg Radiol Anat, 15: 55-61, 1993.
- 16) 田角 勝, 他: 超音波検査法による口腔機能評価の試み —M モードの有用性について—. 脳と発達, 19: 70-72, 1987.
- 17) 大塚義顕: 超音波による舌矢状断描出法の検討. 障歯誌, 15: 3-12, 1994.
- 18) Sakaue, K., et al.: Tongue pressure production during swallowing in patients with mandibular prognathism. J Oral Rehabil, 43: 348-355, 2016.
- 19) 小口和代, 他: 機能的嚥下障害スクリーニングテスト「反復唾液嚥下テスト」(the Repetitive Saliva Swallowing Test: RSST) の検討 (1) 正常値の検討. リハビリテーション医学誌, 37: 375-382, 2000.
- 20) 秋月弘道, 他: 超音波診断装置による舌切除患者の舌運動の観察. 日口外誌, 37: 24-29, 1991.
- 21) Peng, C.-L., et al.: The cushion scanning technique: a method of dynamic tongue sonography and its comparison with the transducer-skin coupling scanning technique during swallowing. Acad Radiol, 3: 239-244, 1996.
- 22) Peng, C.-L., et al.: Ultrasonographic measurement of tongue movement during swallowing. J Ultrasound Med, 19: 15-20, 2000.
- 23) 大西暢子: 開咬を持つ小児の嚥下時の舌運動と口腔内圧に関する研究. 小児歯誌, 31: 837-849, 1993.

- 24) 宍倉潤子, 他: 増粘食品の嚥下障害への影響 —超音波検査法による舌運動の検討—. 障歯誌, 15: 27-36, 1994.
- 25) Ertekin, C., et al.: Neurophysiology of swallowing. Clin Neurophysiol, 114: 2226-2244, 2003.
- 26) Sugita, K., et al.: Effects of food consistency on tongue pressure during swallowing. J Oral Biosci, 48: 278-285, 2006.
- 27) Poudoux, P., et al.: Deglutitive tongue force modulation by volition, volume, and viscosity in human. Gastroenterology, 108: 1418-1426, 1995.
- 28) 河村洋二郎: 歯科学生のための口腔生理学. 永末書店, 京都, 1966, p163-167.
- 29) 服部 正: 自然頭位による頭部 X 線規格写真の研究. 日矯歯誌, 43: 461-477, 1984.
- 30) 渡辺 聡, 他: 超音波断層法による舌の動態解析 —M モード法前額断面における検討—. 障歯誌, 16: 24-37, 1995.
- 31) 野本たかと: 体幹の角度変化が嚥下時舌の運動動態に及ぼす影響について —超音波前額断面における解析—. 日大口腔科学, 26: 259-278, 2000.
- 32) 伊野透子, 他: 舌接触補助床が口腔がん術後患者の嚥下時舌運動動態に及ぼす影響 —超音波画像診断による検討—. 老年歯学, 21: 118-124, 2006.
- 33) Imai, A., et al.: Ultrasonographic images of tongue movement during mastication. J Osaka Dent Univ, 29: 61-69, 1995.
- 34) 吉田健美: 骨格性下顎前突の外科的矯正治療に伴う舌の機能的変化 —頭部 X 線計測学的ならびに筋電図学的研究—. 阪大歯学誌, 31: 351-385, 1986.
- 35) 鍋島呂実, 他: 骨格性下顎前突症患者の上下顎前歯部および臼歯部における舌位について. 歯科医学, 67: 98-102, 2004.
- 36) Stone, M., et al.: An ultrasound examination of tongue movement during swallowing. Dysphagia, 1: 78-83, 1986.
- 37) 鈴木崇之, 他: 嚥下時における舌尖固定部の変化が舌運動に及ぼす影響 —超音波診断装置と筋電図による検討—. 小児歯誌, 40: 155-165, 2002.
- 38) 西村亮介: X 線テレビ映画による嚥下時の舌背の位置の変化に関する研究 2 —前額平面上の舌背粘膜の各点の位置の変化—. 歯科学報, 77: 629-659, 1997.