

特集2 摂食嚥下障害の最新のトピックス:機器を用いたアプローチ

嚥下エコー(筋量, 筋質, 咽頭残留, 誤嚥)

総説▶

山口浩平¹⁾

Kohei Yamaguchi

三浦由佳²⁾

Yuka Miura

戸原 玄¹⁾

Haruka Tohara

要旨 摂食嚥下障害は、誤嚥性肺炎や低栄養などさまざまな有害事象と関連し、患者の生活の質を大きく損なうため、多職種による対応が求められる。超音波検査は簡易で非侵襲と利点も多く、摂食嚥下領域でも「嚥下エコー」として咽頭残留や誤嚥の観察、筋性質評価などに用いられている。嚥下エコーに関する論文報告は多いが、十分に臨床実装されていない。嚥下エコーの臨床実装、普及のためには、テクノロジーの活用や既存の検査との組み合わせなどブレイクスルーが必要である。本稿では、嚥下エコーの現状と未来について考える。

キーワード 摂食嚥下障害, 超音波検査, 嚥下関連筋, 誤嚥, 咽頭残留, 筋質

I. はじめに

摂食嚥下障害は、誤嚥性肺炎や低栄養など身体に関わる重篤な有害事象につながるだけでなく、食の楽しみや社会性の低下など精神的、社会的なさまざまな問題の引き金になる。例えば、外食の頻度が減れば、自ずと外出の頻度も減り、虚弱を増悪させる因子となる。高齢者のフレイルは、その後の転倒による骨折などにもつながる。摂食嚥下障害による社会性の低下とそれに伴う虚弱の増悪は、持続可能社会という観点からも重大な課題である。

摂食嚥下リハビリテーション(摂食嚥下リハ)は、先述の課題に対する有効なソリューションの一つであり、テクノロジーの発展なども相まって進化を続けている。近年、摂食嚥下リハ領域における超音波検査(嚥下エコー)の有用性が多く論文で報告されているが、効果的な臨床実装には至っていない。本稿では、嚥下エコーの現状について紹介しつつ、今後のより良い臨床実装の形についても考えてみたい。

II. 超音波検査の基本と摂食嚥下リハ領域における応用

超音波は、周波数が高いため人の耳に聞こえない音波である。超音波画像診断装置は、超音波の特性を活用した医療機器であり、主にディスプレイ部とプローブからなり、据え置き型に加えて持ち運びが便利なポータブル型もある(図1)。プローブから発生した超音波が生体を進んでいく

と、異なる物質(媒質)の境界面で透過する波と反射する波に分かれる。その違いは媒質ごとの音響インピーダンスの差により生じ、反射波の返ってくる時間やその強さによって反射源の位置や形、大きさを画像化し、生体内をつぶさに描出できる。音響インピーダンスが同じあるいは似ていると、反射があまり起こらないので黒い画像となり(低エコー領域)、音響インピーダンスが異なると、その境界で超音波が反射して白くなる(高エコー領域)。

プローブには種類があり、主にリニア型とコンベックス型に分けられる(図1)。その違いは対応する周波数であり、高い周波数ほど浅い部分を詳細に確認でき、低い周波数だと深い部分まで観察できる。リニアプローブは、6~13 MHz程度の周波数で、咬筋やオトガイ舌骨筋など表層を詳細に観察することに適しており、コンベックスプローブの周波数は2~5 MHz程度で、顎下部からの舌の観察など深い部分を大まかにとらえることに適している。超音波画像診断装置の画像表示モードも複数種類あり、断層像を示すBモードや特定の基準点の経時的変化を示すMモード、血流などの観察に用いられるドプラモードなどがある。摂食嚥下領域でよく使用するモードはBモードであり、反射波の強さを明るさ(輝度)に変換し、当該領域の断層面を輝度の強弱で画像化している。

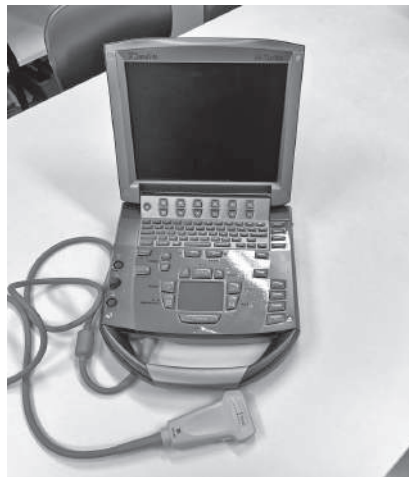
超音波検査の利点は、非侵襲、簡易、従来の嚥下内視鏡検査(VE)や嚥下造影検査(VF)よりも対応できる職種や環境が幅広い点が挙げられる。摂食嚥下リハにおける主たる活用法としては、直接的に誤嚥や咽頭残留を評価する場合と嚥下関連筋性質を観察して間接的に機能予測やリハ

¹⁾ 東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科 摂食嚥下リハビリテーション学分野

²⁾ 藤田医科大学 保健衛生学部 看護学科 老年看護学分野 研究推進本部 イノベーション推進部門 社会実装看護創成研究センター

[連絡先] 山口浩平: 東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科 摂食嚥下リハビリテーション学分野 (〒113-8549 東京都文京区湯島 1-5-45) TEL: 03-5803-4899 FAX: 03-5803-5562 E-mail: k.yamaguchi.swal@tmd.ac.jp

受稿日: 2023年8月22日 受理日: 2023年8月24日

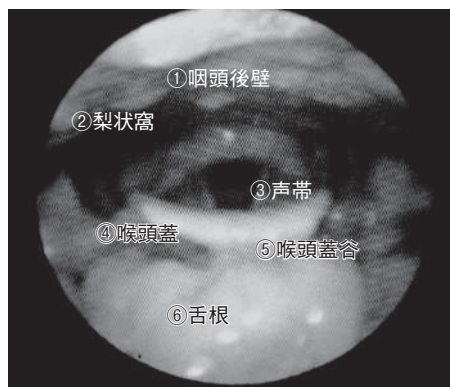


超音波画像診断装置

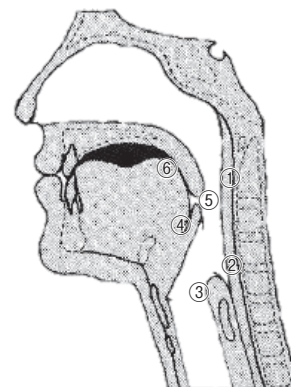


プローブ

図1 超音波画像診断装置



内視鏡画像



側面図

図2 咽喉頭の解剖

効果判定に用いる場合の二つの方法が報告されている。まずは、これらの活用法について紹介する。

Ⅲ. 摂食嚥下障害（咽頭残留，誤嚥）の評価

Miura らは、誤嚥や咽頭残留を超音波検査で観察する方法やその有用性について報告している^{1,2)}。咽喉頭周囲はさまざまな筋肉や骨、軟骨によって構成されている（図2）。咽頭残留物や誤嚥物（例：水分、食物など）は周囲の構造物と音響インピーダンスが大きく異なるので、高エコー域として検出されうる。誤嚥、咽頭残留の評価は、基本的にリニアプローブを用いてBモードで行われる。食事時の超音波検査は、嚥下をなるべく妨げないように必要以上に対象者の頸部にプローブを押し付けられないことが重要である。誤嚥評価時には、プローブは甲状軟骨に対して縦断方向にあてる（図3）³⁾。甲状軟骨は低エコー域として描出されるが、気管前壁は空気との境界面で超音波が強く跳ね返り高エコー域となる（図4-1）。超音波は空気中を伝播し

づらいものの、誤嚥物は線状の高エコー域として検知が可能である。残留（喉頭蓋谷）を評価する場合、プローブは舌骨の真上から横断方向にあて（図3）、舌根、喉頭蓋谷、喉頭蓋がそれぞれ描出され（図4-2）、残留がある場合は高エコー域として検出可能である（図5-1）³⁾。梨状窩は左右に存在するので、喉頭隆起の評価したい側から横断方向にプローブをあて（図3）、甲状軟骨、総頸動脈をランドマークに梨状窩を判断し、残留物の有無を検出する（図5-2）³⁾。同じ咽頭残留でも、喉頭蓋谷の残留と梨状窩の残留では意味合いも異なり、梨状窩は気管に近接しているので嚥下後誤嚥のリスクも高い。聴診器などによる外部評価では、残留の有無は予測できても、その部位まで特定することは難しく、外部評価だけで不顕性誤嚥を判断することも相当な習熟が求められる。そのため、言語聴覚士や看護師が超音波画像診断装置を用いてベッドサイドや在宅、施設の現場で精度良く誤嚥や咽頭残留、また、残留部位を可視化できれば、その有用性は極めて高い。一方で、咽喉頭を超音波検査で評価するということは、筒状の空間を平面図

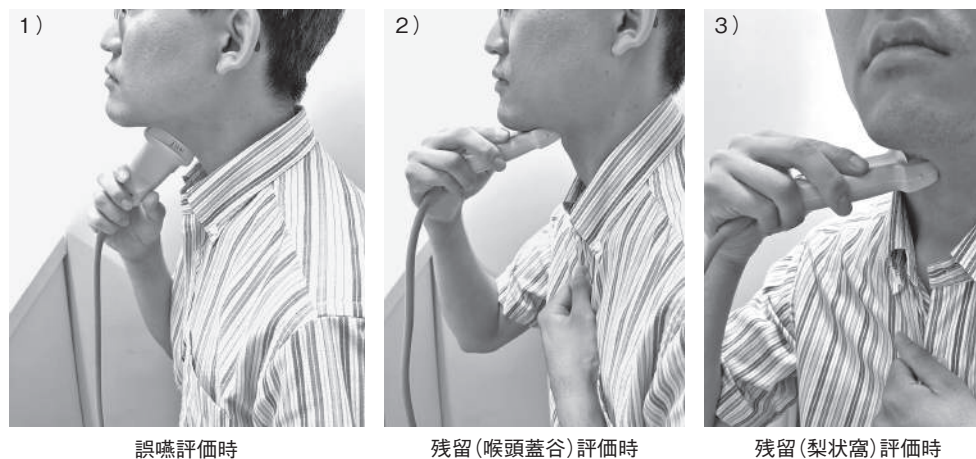


図3 咽喉頭観察時のプローブの位置

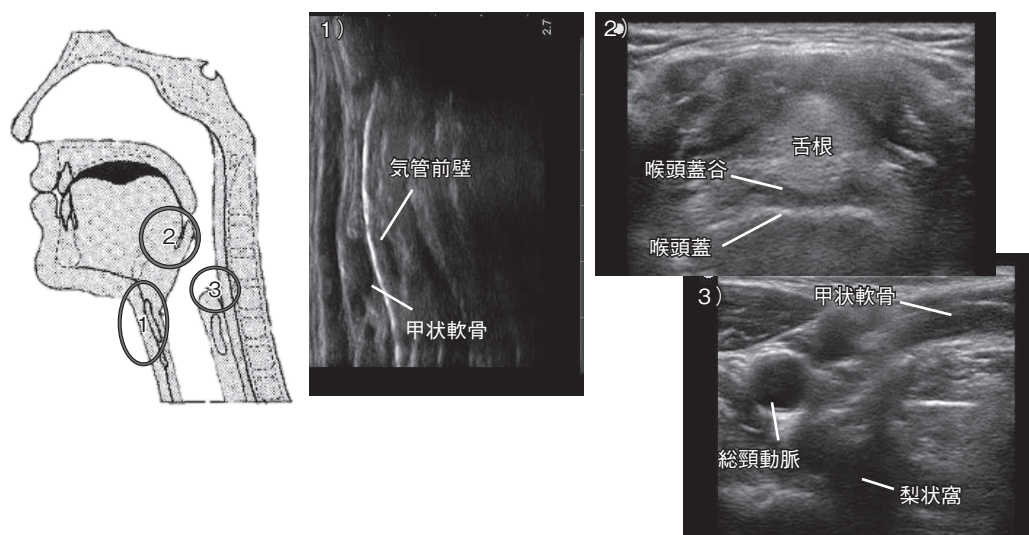


図4 咽喉頭の超音波画像

に置き換えた上で、輝度の強弱だけで表現された画像から状態を把握しなければならないので、当該領域の解剖や摂食嚥下についての高い理解力が求められる。嚥下エコーを効果的に臨床実装するためにはそれなりの修練が必要である。嚥下エコーのトレーニングのために、Eラーニングと技術講習並びに技術評価を組み合わせた体系的な教育プログラムも提供されているので、関心のある読者はぜひ検討してみたい⁴⁾。

IV. 咀嚼・嚥下関連筋性質（量，質）の評価

超音波画像診断装置は筋肉の観察にも優れ、その量や質を評価できる。超音波画像では、一般的に筋量は断面積や筋厚で、筋質は筋輝度で示される。筋輝度は、筋肉内における繊維組織や脂肪組織など非収縮性組織を示しているとされ⁵⁾、筋輝度が高いほど超音波画像は白くなり、筋内の

非収縮性組織が多いことを示し、筋質が低いと判断される。超音波画像診断装置とMRIを比較した先行研究では、筋量、筋質評価いずれにおいても超音波画像診断装置の高い信頼性が示されており、筋肉評価の妥当な装置として認知されている。ヨーロッパの関連学会によるサルコペニアのコンセンサスレポートでも、超音波検査による筋肉評価について記載されている⁶⁾。一般的に、筋量と筋力は正の相関、筋輝度と筋力や身体機能は負の相関にある。

咀嚼・嚥下は、さまざまな筋肉が連動して達成される精緻な運動なので、最終出力先である咀嚼・嚥下関連筋性質（量，質）が機能に影響することは想像に難くない（図6）。四肢骨格筋性質は加齢で減弱することがわかっていたが、咀嚼嚥下関連筋性質の加齢変化は十分に調査されていなかった。そこで、われわれは、超音波画像診断装置で代表的な咀嚼筋の一つである咬筋、舌骨上筋群（例：オトガイ舌骨筋）や舌など嚥下関連筋の加齢変化や減弱因子を調査し

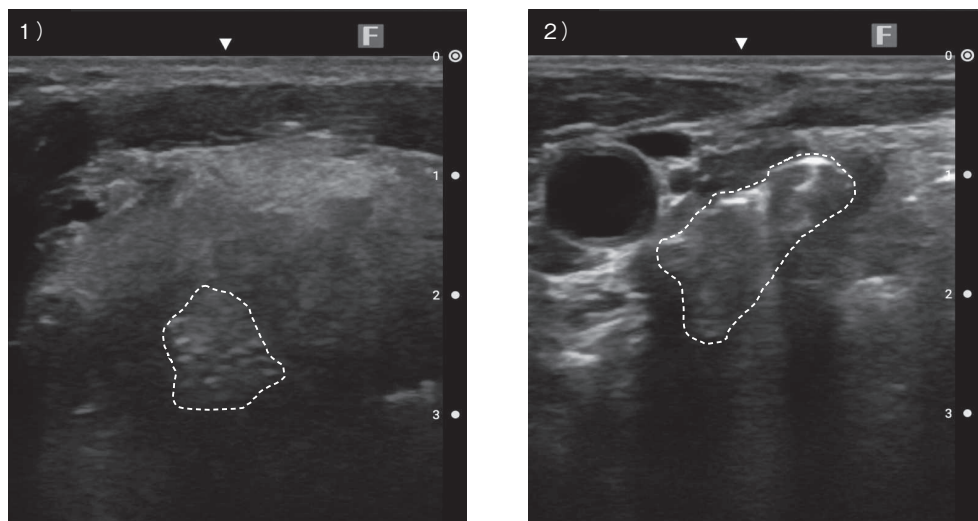


図5 超音波画像(咽頭残留)

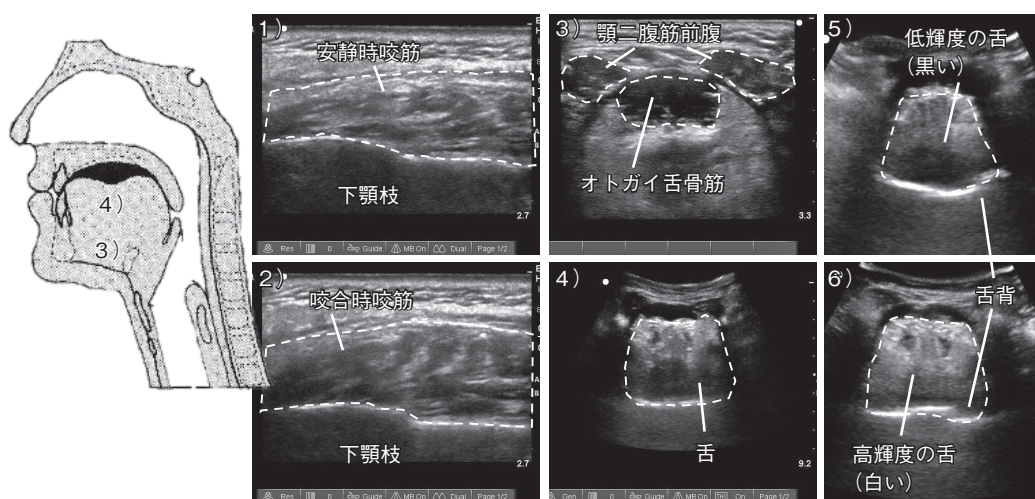


図6 咀嚼嚥下関連筋の超音波画像

た。咀嚼嚥下関連筋性質も加齢で減弱することがわかったが、舌は特異な変化を示し、加齢で大きくなることがわかった⁷⁾。その要因は明らかではないが、舌はその他の骨格筋とは異なり、可動域が極めて大きく、外舌筋、内舌筋という7種の筋肉から構成される複雑な解剖をしている。舌は中央部や基部でも筋構成や機能が異なり、この舌特有の複雑性は特異な加齢変化の一因であると考えられている。

歯の欠損は咬筋の重要な減弱因子の一つであるが、握力や四肢骨格筋量など全身因子も関連することが報告されている⁸⁾。テストステロンは筋合成や筋修復において重要なホルモンであり、咬筋は四肢筋よりもその感受性が高い⁹⁾。ラットを用いた研究では、去勢をすると咬筋量が38%減少した⁹⁾。舌やオトガイ舌骨筋量も四肢、体幹骨格筋量と関連すると報告されている^{7,10)}。一方で、嚥下関連筋質は全身因子と関連がなく、当該筋量と負の関連があった¹¹⁾。つまり、嚥下関連筋量が多い者は、嚥下関連筋質も良好で、

四肢・体幹骨格筋量も多いのだ。嚥下関連筋と全身骨格筋は互いに強く関連しているが、マイオカインはその一因かもしれない¹²⁾。マイオカインは骨格筋から分泌されるホルモン様の調節因子であり、運動などの刺激によって産生され、代謝調整などさまざまな生理作用を有し、筋合成にも働く。咀嚼運動でも咬筋からマイオカインは分泌され¹³⁾、これらは口腔と全身をつなぐキーファクターの一つかもしれない。

V. 嚥下エコーを臨床実装するために

嚥下エコーに関する研究報告は数多くあるが、必ずしも十分に臨床応用されているわけではない。では、どうすれば嚥下エコーの臨床実装が進むのだろうか。ここでは、①肺エコーやVEとの組み合わせ、②AIガイド機能の確立、③嚥下障害患者筋性質と睡眠医療への応用に関する研究の

拡充、の3点を考えたい。

まず、肺エコーであるが、すでに先行研究で超音波検査による肺炎の評価法が示されている¹⁴⁾。高齢者では、肺炎の症状が多様で、必ずしも熱発など外部評価しやすい症状を伴うわけではない。そのため、特に在宅医療の現場では、肺炎診断は困難なので、超音波検査により誤嚥と肺炎の有無双方をおおよそ評価できれば、見過ごされている誤嚥性肺炎高リスク患者を見つけ出し、早期の対応につなげられる。

VEは、コンパクトで持ち運びも容易、咽頭内を直接評価できるため在宅診療でもよく用いられているが、嚥下中に画面が白くなり(ホワイトアウト)、嚥下中誤嚥は検出できない。そのため、不顕性の嚥下中誤嚥症例では、VEだけでは適切な機能評価ができない場合もあり、VFと比べた場合の大きな欠点である。VEと超音波検査を組み合わせることで、その欠点を補うことができうる。つまり、既往歴などから不顕性誤嚥が疑われる症例で、VEでは明らかな誤嚥は検出できないが、原因不明の熱発などが続いているような場合には、超音波検査を組み合わせることで嚥下中誤嚥の検出力が上がる可能性がある。VF機材をそろえるのは難しいという場合も少なくないので、VEと超音波検査の組み合わせが確立されればニーズはあり、今後の研究が待たれる。

AIガイド機能の確立もブレイクスルーになりうる。咽頭残留や誤嚥の検出を目指す際に、プローブの走査はランドマークを指標としてある程度の練習で可能かもしれないが、残留物や誤嚥物を見極めるには、より深い知識と経験が必要である。AIガイドの有用性はすでに示されており¹⁵⁾、嚥下エコー導入のハードルが一気に下がると期待される。

咀嚼嚥下関連筋性評価については、先行研究の多くは健康成人や高齢者を対象としたもので、摂食嚥下障害患者に関する報告は多くない。舌圧や開口力は嚥下障害の指標としても用いられており¹⁶⁾、当該筋性評価とも関連している。つまり、摂食嚥下障害患者の嚥下筋性評価は健康者よりも減弱している可能性がある¹⁷⁾。また、舌は軟口蓋と並んで睡眠時の上気道閉塞の主要な要因の一つとなる。閉塞性睡眠時無呼吸症(OSA)患者では舌が非患者と比べて有意に大きく、舌筋内脂肪量も多いとされ¹⁸⁾、超音波検査は睡眠医療においても注目されている¹⁹⁾。嚥下障害とOSAは急性期脳卒中患者で高く併存することが知られており²⁰⁾、嚥下エコーで「食」と「睡眠」の障害双方を評価できるならばその価値は高い。

VI. おわりに

嚥下エコーに関する研究報告は数多く、その有用性は明

らかである。しかし、いま一つ、臨床実装が進まないのは、超音波画像から実際の咽喉頭の解剖に結び付かなかつたり、既存の摂食嚥下リハのどのフェーズで用いるのが有効なのか、など具体的なイメージにつなげていないことも一因かもしれない。嚥下エコーは、VEやVFに至るまでの従来よりもより精度の高いスクリーニングや食支援だけではなく、VEの欠点を補ったり、誤嚥性肺炎リスクを精確に判断したりなど多くの活用法が想定される。嚥下エコーの臨床実装のためには、継続した教育機会の提供に加えて、既存検査との組み合わせやテクノロジーの活用など新しい価値創造によるブレイクスルーが求められる。

文 献

- 1) Miura Y, Nakagami G, Yabunaka K, et al : Method for detection of aspiration based on B-mode video ultrasonography. Radiol Phys Technol, 7(2) : 290-295, 2014.
- 2) Miura Y, Yabunaka K, Karube M, et al : Establishing a Methodology for Ultrasound Evaluation of Pharyngeal Residue in the Pyriform Sinus and Epiglottic Vallecula. Respir Care, 65(3) : 304-313, 2020.
- 3) 三浦由佳ほか：嚥下機能評価におけるエコー利用の可能性. 2022.04.25 週刊医学界新聞(看護号) : 第3467号 (https://www.igaku-shoin.co.jp/paper/archive/y2022/3467_03)
- 4) 文部科学省科学研究費助成事業指定研究機関 次世代看護教育研究所 (<http://ringne.or.jp/>)
- 5) Young HJ, Jenkins NT, Zhao Q, et al : Measurement of intramuscular fat by muscle echo intensity. Muscle Nerve, 52(6) : 963-971, 2015.
- 6) Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al : Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2 : Sarcopenia : revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing, 48(1) : 16-31, 2019.
- 7) Yamaguchi K, Hara K, Nakagawa K, et al : Ultrasonography Shows Age-related Changes and Related Factors in the Tongue and Suprahyoid Muscles. J Am Med Dir Assoc, 22(4) : 766-772, 2021.
- 8) Yamaguchi K, Tohara H, Hara K, et al : Relationship of aging, skeletal muscle mass, and tooth loss with masseter muscle thickness. BMC Geriatr, 18(1) : 67, 2018.
- 9) Widmer CG, Morris-Wiman J : Limb, respiratory, and masticatory muscle compartmentalization : developmental and hormonal considerations. Prog Brain Res, 187 : 63-80, 2010.
- 10) Yamaguchi K, Nakagawa K, Yoshimi K, et al : Association between characteristics of swallowing-related muscles and trunk muscle mass. Sci Rep, 13(1) : 7814, 2023.
- 11) Yamaguchi K, Nakagawa K, Yoshimi K, et al : Age-related changes in swallowing muscle intramuscular adipose tissue deposition and related factors. Exp Gerontol, 153 : 111505, 2021.
- 12) Pedersen BK, Akerström TC, Nielsen AR, et al : Role of myokines in exercise and metabolism. J Appl Physiol (1985), 103(3) : 1093-1098, 2007.
- 13) Tsuchiya M, Kiyama T, Tsuchiya S, et al : Interleukin-6 maintains glucose homeostasis to support strenuous masseter muscle activity in mice. Tohoku J Exp Med, 227

- (2) : 109-117, 2012.
- 14) Lichtenstein DA : Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care*, 4(1) : 1, 2014.
 - 15) Miura Y, Nakagami G, Yabunaka K, et al : Method for detecting aspiration based on image processing-assisted B-mode video ultrasonography. *J Nurs Sci Eng*, 1(1) : 12-20, 2014.
 - 16) Yanagida R, Hara K, Iida T, et al : Jaw-Opening Force as a Useful Index for Dysphagia : A Cross-Sectional and Multi-Institutional Study. *Gerontology*, 68(11) : 1258-1265, 2022.
 - 17) Feng X, Todd T, Lintzenich CR, et al : Aging-related geniohyoid muscle atrophy is related to aspiration status in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 68(7) : 853-860, 2013.
 - 18) Kim AM, Keenan BT, Jackson N, et al : Tongue fat and its relationship to obstructive sleep apnea. *Sleep*, 37(10) : 1639-1648, 2014.
 - 19) Yu JL, Wiemken A, Schultz SM, et al : A comparison of ultrasound echo intensity to magnetic resonance imaging as a metric for tongue fat evaluation. *Sleep*, 45(2) : zsab295, 2022.
 - 20) Estai M, Walsh J, Maddison K, et al : Sleep-disordered breathing in patients with stroke-induced dysphagia. *J Sleep Res*, 30(3) : e13179, 2021.