

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

マノメトリー

総説▶

松原慶吾¹⁾

Keigo Matsubara

熊井良彦²⁾

Yoshihiko Kumai

要旨 嚥下圧検査は、咽頭収縮力や食道入口部の弛緩状態を圧力の変化として評価することができるため、嚥下障害の病態の把握に非常に有効である。咽頭収縮力と食道入口部の弛緩状態を評価できる嚥下圧検査は、食道入口部の開大不全の原因を明らかにできる有用な検査法である。近年では高解像度マノメトリー(HRM: high resolution manometry)が開発され、全周性の36個の圧センサーが1 cmごとに配置されていることから、1回の嚥下で嚥下圧動態を詳細に評価できるようになった。本稿では、HRMを活用した嚥下圧検査の手法を紹介し、リハビリテーション手技の効果を検証したわれわれの研究成果をもとにHRMのアプローチ方法について述べる。

キーワード 嚥下圧検査, HRM, 嚥下時最大内圧, 上部食道括約筋の弛緩時間

I. はじめに

嚥下咽頭期には、鼻咽腔が閉鎖され、喉頭腔が閉じることとで食塊が咽頭から食道へと導かれる。そして、舌根部の後下方への移動と上方から下方に向かって生じる協調的かつ連続的な上・中・下咽頭収縮筋の収縮によって、食塊は咽頭から食道へ向かって送り込まれる。さらに、上部食道括約筋(UES: upper esophageal sphincter)である輪状咽頭筋の弛緩・弛緩した輪状咽頭筋を拡張する喉頭挙上および嚥下圧によって駆出される食塊圧により、食道入口部が開大することで食塊は食道に送り込まれる¹⁾(図1)。

嚥下圧検査は、これらの咽頭収縮力や食道入口部の弛緩状態を圧力の変化として評価することができるため、嚥下障害の病態の把握に非常に有効な検査法である²⁾。特に咽頭収縮力と食道入口部の弛緩状態を評価できる嚥下圧検査は、食道入口部開大不全が生じている原因を明らかにする有用な検査法といえる。以前は嚥下圧検査機器のセンサー数が少なかったため、上咽頭からUESまでの圧動態を1回の嚥下で評価することができなかったが、近年では高解像度マノメトリー(HRM: high resolution manometry)が開発され、全周性の36個の圧センサーが1 cmごとに配置されていることから、1回の嚥下で嚥下圧動態を詳細に評価できるようになった³⁻⁶⁾。本稿では、まずHRMを活用した嚥下圧検査の手法を紹介し、リハビリテーション手技の効果を検証したわれわれの研究成果をもとにHRMのア

プローチ方法について述べる。

II. 高解像度マノメトリー(HRM)を用いた検査方法

HRMを用いた嚥下圧検査では、まず圧センサーが搭載されたカテーテルを被験者の前鼻孔から挿入する(図2)。そして、カテーテルが挿入された状態で被験者が嚥下した

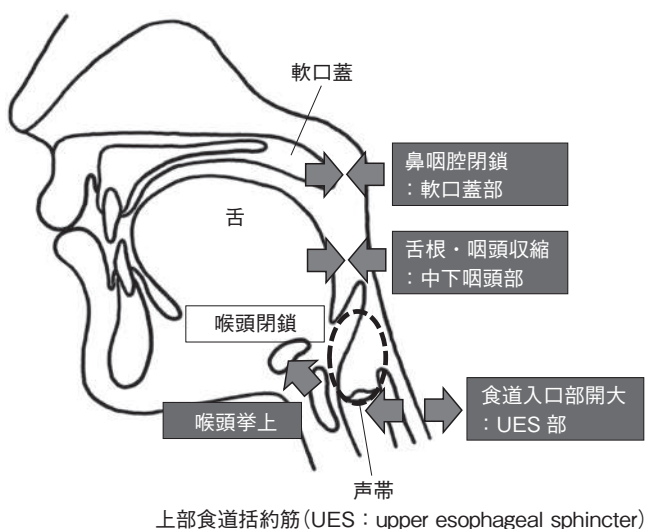


図1 嚥下咽頭期

嚥下反射により、食塊は鼻咽腔閉鎖と喉頭閉鎖の働きによって咽頭から食道方向へ導かれる。この際、舌根部の後方運動と咽頭の収縮により、食塊は食道方向に向けて押し出されると同時に、食道入口部が開大する。

¹⁾ 熊本保健科学大学 保健科学部 リハビリテーション学科 言語聴覚学専攻

²⁾ 長崎大学 医学部 耳鼻咽喉科 頭頸部外科

[連絡先] 松原慶吾: 熊本保健科学大学 保健科学部 リハビリテーション学科 言語聴覚学専攻 (〒861-5533 熊本県熊本市北区和泉町 325)

TEL: 096-275-2111 FAX: 096-245-3126 Email: matubara-ke@kumamoto-hsu.ac.jp

受稿日: 2023年8月31日 受理日: 2023年9月1日



図2 圧センサーが搭載されたカテーテルの挿入

医師が、圧センサーが搭載されたカテーテルを被験者の前鼻孔から挿入する。カテーテルが挿入された状態で被験者が嚥下した時の嚥下圧を計測する。

時の嚥下圧を計測する。ここでは、われわれが実施してきた HRM を用いた嚥下圧検査について、1. カテーテル挿入、2. 検査方法、3. 解析方法に分けて説明する。

1. カテーテルの挿入

カテーテル挿入および留置による不快感は異常な嚥下運動を誘発する可能性があるため、これらの症状を軽減する目的で鼻腔に軽い麻酔を使用する。まず、塩酸リドカイン 4 % (v/v) を含浸したガーゼを鼻腔内に 5 分間留置し、続いて塩酸リドカイン 4 % (v/v) を含浸した綿棒を 5 分間留置して、鼻腔の表面麻酔を行う。さらに、カテーテルをスムーズに食道へ通過させるために、カテーテルに 2 % (w/v) リドカインゼリーを塗布する。被験者の前鼻孔からカテーテルを鼻腔内へ挿入し、被験者の嚥下のタイミングに合わせて、検者はカテーテルを送り込み、咽頭から食道へと挿入する。われわれは、カテーテルを 41 cm 挿入するようにしている。被験者に顎を引かせ喉頭入口部を狭くした状態にして、カテーテルを食道へ送り込むと、喉頭・気管内への誤挿入を防止できる。挿入後は、前鼻孔の位置でカテーテルをテープで止めて、カテーテルの位置を固定する。その後、カテーテルの存在に慣れるまで 5 分程度待ち、検査を開始する。

2. 検査方法

カテーテルの存在に慣れてきたら、被験者に「パパパ」と発音をするように促す。非鼻音である「パ」の発音時には鼻咽腔閉鎖による圧が生じる。その圧は、後述する圧トポグラフィ上にみられ、その位置から、嚥下圧の評価に必要な軟口蓋部の位置を同定することができる⁵⁻⁶⁾。その後、評価したい嚥下試料を、被験者に嚥下するように指示し、嚥下圧を計測する。

3. 解析方法

1) 圧トポグラフィと嚥下圧原波形

嚥下圧データは、嚥下圧が色で示される圧トポグラフィ

と嚥下圧原波形で表現される (図3)。圧トポグラフィでは、縦軸が前鼻孔からの距離、横軸が時間で、圧力は色の变化で表現される。圧トポグラフィ上では、任意の 2 点を指定すれば、それらの 2 点を対角線とする矩形に囲まれる領域の最大内圧が自動的に計測される。また、嚥下圧原波形は縦軸が圧力、横軸は時間で表現される。

2) 評価項目

HRM では、嚥下咽頭期に生じる i) 軟口蓋部・中下咽頭部・UES 部の嚥下時最大内圧、ii) UES の弛緩時間、iii) 上咽頭から UES へ向かう嚥下圧の伝播を評価できる。

i) 軟口蓋部・中下咽頭部・UES 部の嚥下時最大内圧

圧トポグラフィの中央にみられる高压帯は UES 部の静止時圧を示している (図3)。嚥下時には高压が現れ、これが嚥下圧である (図3)。嚥下圧の解析は、「パ」の発音時の鼻咽腔閉鎖の圧を基にまず軟口蓋部を同定する。同定できた軟口蓋部と UES 部の高压帯の間の領域が中下咽頭部である。ただし、UES 部は嚥下時の喉頭挙上とともに上昇するため、留意する必要がある。これらの軟口蓋部・中下咽頭部・UES 部の領域を圧トポグラフィ上で囲み、各部位の最大内圧を計測する。

ii) UES の弛緩時間

圧トポグラフィ上には任意の圧の等圧輪郭線を描出することができる (図4)。UES の弛緩時間については、圧トポグラフィに 0 mmHg の等圧輪郭線を描出し、食塊通過前後の UES 部の輪郭間が最も長い時間を UES 部弛緩時間と定義して解析する⁷⁾。ただし、摂食嚥下障害者では、嚥下時に 0 mmHg まで弛緩する例は少ない。そのため、われわれは圧トポグラフィ上に 20 mmHg の等圧輪郭線を描出し、食塊通過前後の UES 部の輪郭間が最も短い時間を、UES 部の弛緩時間として評価している⁸⁾ (図4)。

iii) 上咽頭から UES へ向かう嚥下圧の伝播

嚥下咽頭期においては、上咽頭から UES までの上方か

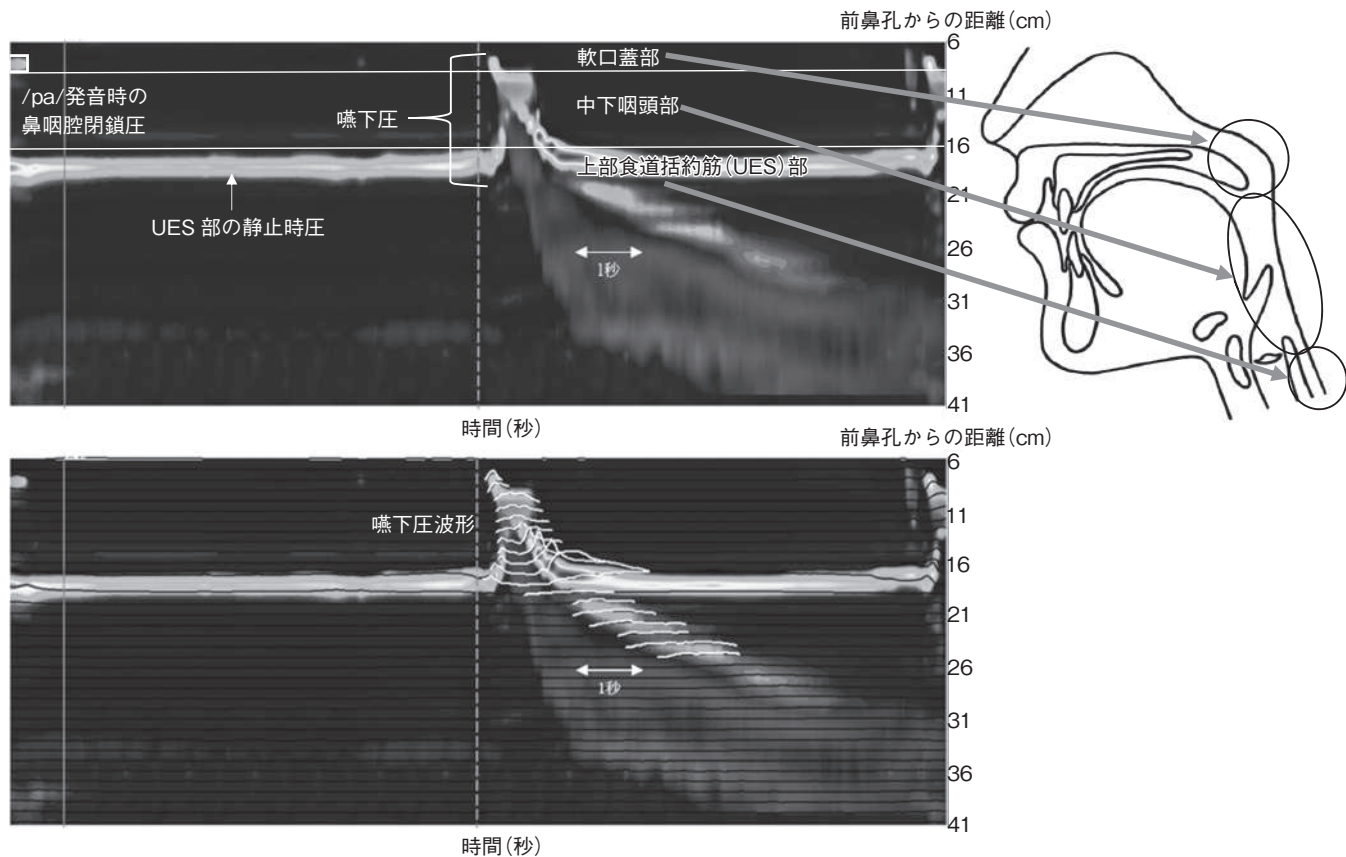


図3 圧トポグラフィと圧波形の重ね合わせ
上段が圧トポグラフィを示し、下段が圧トポグラフィに圧波形を重ね合わせたものである。

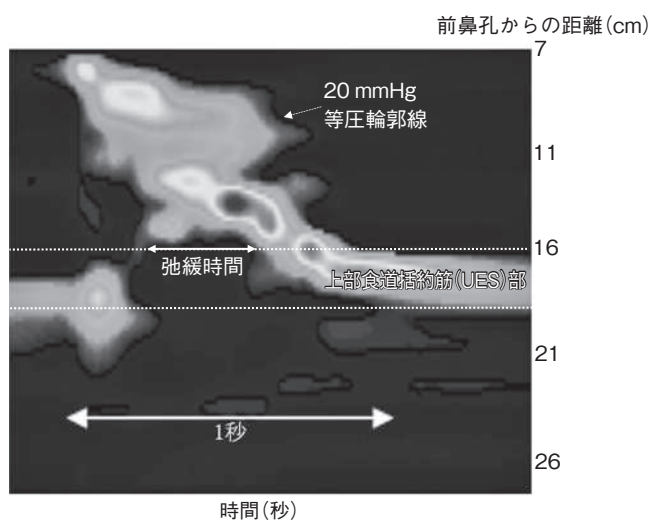


図4 上部食道括約筋(UES)部の弛緩時間(文献8)より引用一部改変)
圧トポグラフィ上に20 mmHgの等圧輪郭線を描出し、食塊通過後のUES部の輪郭間が最も短い時間を、UES部の弛緩時間として評価する。

ら下方へ向かう協調的で連続的な収縮が生じる。これらの収縮は嚥下圧波形により、上から順に時間差を持つ波形のピークの伝播として表現される。これらの波形を基に、嚥下圧伝播曲線が作成できる^{9, 10)}。この曲線は、嚥下時の軟

口蓋の波形のピークがみられた時間から、軟口蓋とUES部間の1 cmごとの波形のピークまでの時間を計測し、その時間を前鼻孔からの距離でプロットして作成する(図5)。嚥下圧伝播曲線の縦軸は前鼻孔からの距離で、横軸は軟口蓋のピークからそれぞれの位置でみられる波形のピークまでの時間である。若年健常者の正常な嚥下圧伝播曲線は、軟口蓋部ではやや急峻、中下咽頭部は急峻、UES部では緩徐な曲線となり、高い再現性を示す¹⁰⁾。嚥下圧伝播曲線の作成は、脳幹障害などに伴う異常な嚥下パターンの評価に有用であると考えられる。

Ⅲ. HRM を活用したアプローチ

1. HRM を活用したリハビリテーション手技の効果の検証

摂食訓練で用いられる代表的な代償的手技の一つに「顎引き嚥下(Chin-Down)」がある。この手技は、咽頭腔の形状や喉頭の位置、嚥下動態を変化させ、喉頭閉鎖を促進して誤嚥を軽減する効果がある。そのため、嚥下時の喉頭閉鎖が十分でない患者や喉頭閉鎖のタイミングが遅延する患者の誤嚥を軽減することを目的に活用される¹¹⁾。

一方で、「Chin-Down」の頭頸部の屈曲位の方法には、3つの方法がある。1つ目に上位頸椎(C1-C2)のみを屈

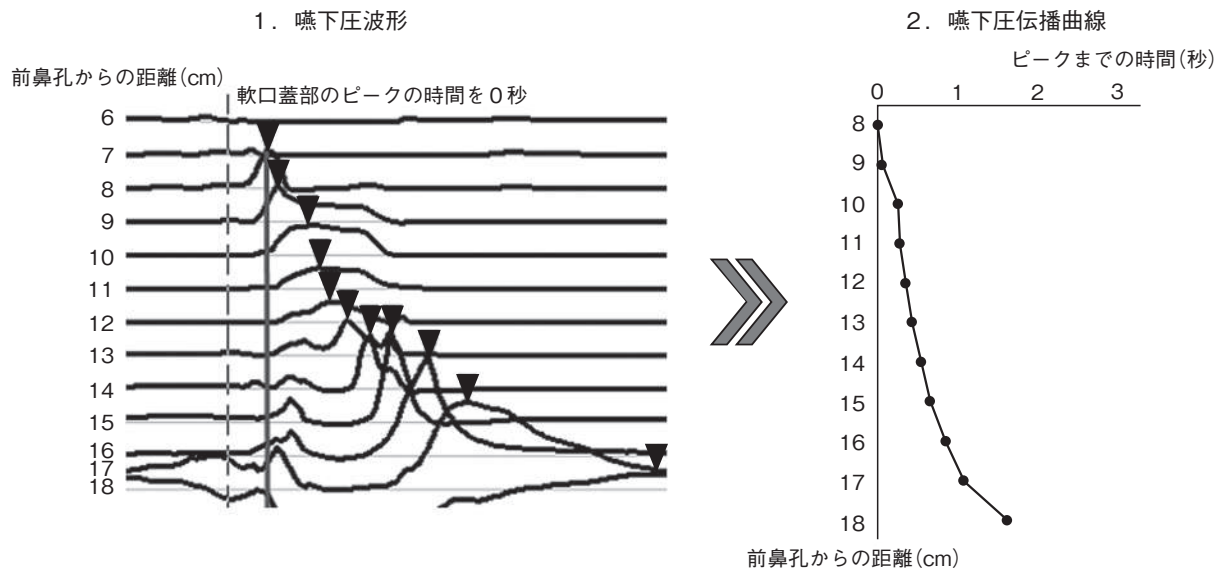


図5 嚥下圧伝播曲線

左図の嚥下圧波形に基づいて、軟口蓋の波形のピークを 0 秒と基準とし、それから前鼻孔からの 1 cm ごとの波形のピークまでの時間を計測し、これらの時間を前鼻孔からの距離にプロットして右図の嚥下圧伝播曲線を作成する。

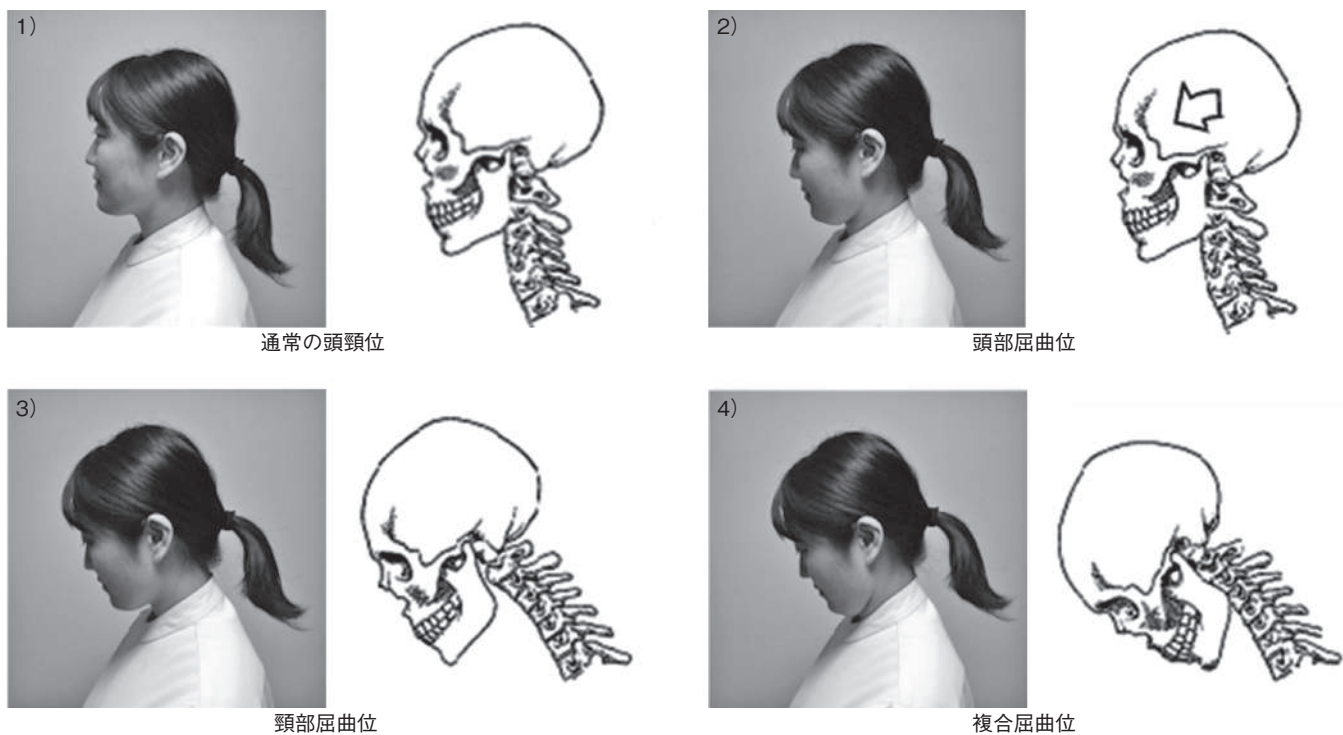


図6 顎引き嚥下の頭頸位の屈曲位(文献7, 12)より引用一部改変)
3つ頭頸位の屈曲位(頭部屈曲位, 頸部屈曲位, 複合屈曲位)を示す。

曲する頭部屈曲位, 2つ目に下位頸椎 (C2-C7) のみを屈曲する頸部屈曲位, そして3つ目に上位と下位頸椎の両方を屈曲する複合屈曲位がある¹²⁾(図6)。これらの屈曲位の違いは, 咽頭腔の形状や喉頭の位置の変化だけでなく, 嚥下動態に影響を及ぼす可能性がある。Chin-Down による誤嚥軽減効果とその機序を明らかにするためには, Chin-Down の頭頸位の屈曲位を区別した検討が必要である¹³⁾。

われわれの研究グループは, 若年健常者を対象に, これら3つの頭頸部の屈曲位が嚥下圧に与える影響について調査した。調査の結果, それぞれの Chin-Down を区別して実施した嚥下は, UES の嚥下圧動態に影響を及ぼすことが示唆された。特に頸部屈曲位では UES の弛緩時間が延長し, UES 内の食塊通過を促進する可能性が示唆された。それとは対照的に, 頭部屈曲位では UES の弛緩時間が短縮

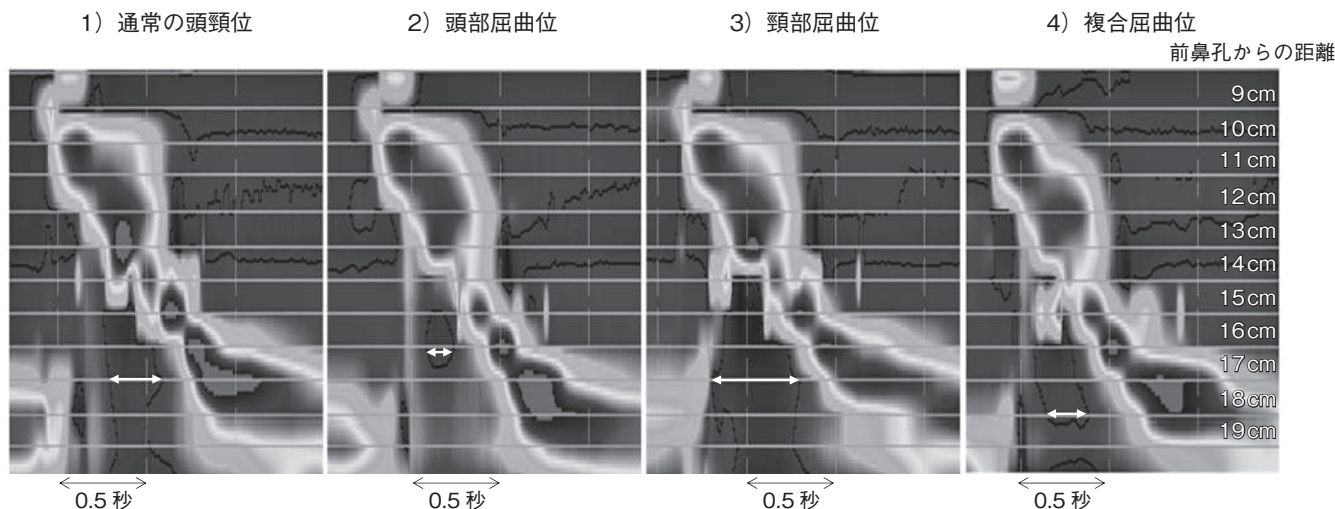


図7 顎引き嚥下時の圧トポグラフィ(文献7)より引用一部改変)

3つ頭頸位の屈曲位(頭部屈曲位、頸部屈曲位、複合屈曲位)における嚥下時の0mmHgの等圧輪郭線を描出している圧トポグラフィを示す。「⇔」はUESの弛緩時間を示している。

し、UES内の食塊通過が阻害される可能性が示唆された(図7)⁷⁾。この研究の結果から、頭部屈曲位においては、嚥下後に咽頭残留量が増加することで、嚥下後の誤嚥のリスクが高まる可能性が考えられる。そのため、Chin-Downを臨床で用いる場合は、3つの頭頸部の屈曲位を区別した嚥下についてそれぞれ評価をし、Chin-Downの適応には慎重な検討が必要であると考えられた。

このように、HRMを用いて嚥下圧を評価することによって、Chin-Downが喉頭閉鎖の促進だけでなく、UESの圧動態にも影響を及ぼすことが明らかになった。HRMを用いたアプローチによって、嚥下圧動態の観点からリハビリテーション手法の効果を評価することができ、加えてその効果についてより明確に検証することが可能である。

2. HRMと嚥下造影検査の組み合わせによる総合的解釈に基づいたリハビリテーション手技の効果の検証

食道癌の手術、頸部リンパ節郭清に伴う舌骨下筋の切離や瘢痕形成によって舌骨・喉頭挙上障害が発生し¹⁴⁾、その結果として食道入口部の開大が制限されることがある。また、手術に伴う咽喉頭粘膜の感覚低下による嚥下反射の惹起遅延も観察されることがある¹⁵⁾。これらの理由から、食道癌手術後には嚥下機能が低下する。食道癌手術後に摂食嚥下障害を認める場合、誤嚥性肺炎や低栄養のリスクが生じるため、早期のリハビリテーション治療が重要とされている¹⁶⁾。特に、食道癌手術後患者の嚥下障害に対しては、頸部屈曲位が有効であるケースが多い。

このような背景から、食道癌手術後患者(N=14)を対象に、頸部屈曲位の効果を嚥下造影検査にて評価した¹⁷⁾。この評価により、頸部屈曲位は通常の頭頸位と比較して、咽頭収縮が強化され、食道入口部の開大距離・時間が増加することで、梨状窩残留量が減少し、喉頭前庭閉鎖時間が

延長することが明らかになった。食道入口部の開大は、輪状咽頭筋の弛緩、喉頭挙上、嚥下圧によって駆出される食塊圧の3つの機序によって生じる¹⁾。したがって、頸部屈曲位による食道入口部の開大促進のメカニズムを明らかにするためには、嚥下圧検査を通じて食道入口部の弛緩と嚥下圧について評価する必要がある。

次に、食道癌手術後患者(N=9)を対象に、通常の頭頸位と頸部屈曲位の2つの姿勢において、HRMを用いた嚥下圧検査を実施した⁸⁾。この検査によって、頸部屈曲位では軟口蓋部の最大内圧が低下し、UESの弛緩時間が延長することが明らかになった。図8には代表的な2例の圧トポグラフィを示す⁸⁾。通常の頭頸位と頸部屈曲位の嚥下圧を比較すると、通常の頭頸位では嚥下時にUESの圧が残存しているのに対し、頸部屈曲位では嚥下時にUESの圧が低下していることがわかる。さらに、嚥下後のUES部の嚥下圧の上端の位置は、頸部屈曲位では通常頭頸位と比べて上昇しており、嚥下時の喉頭挙上が促進されたことを示唆している。

嚥下造影検査と嚥下圧検査の検査結果を総合的に検討することにより、食道癌手術後の患者における頸部屈曲位の効果については、以下の2つのポイントが示唆される。まず、第一に食道癌手術後患者における頸部屈曲位は、喉頭挙上を促進し、その結果、喉頭前庭閉鎖が強化され、嚥下中の誤嚥を予防できる可能性がある。第二に喉頭挙上の促進とUESの弛緩時間の延長によって、食道入口部の開大が促進されることで、梨状窩残留量が減少するため、嚥下後の誤嚥を防ぐ効果があることも考えられる。

このように、嚥下造影検査の結果とHRMを用いた嚥下圧検査の結果を組み合わせることで、総合的に効果を検証することで、リハビリテーション手技の効果のメカニズムをより詳

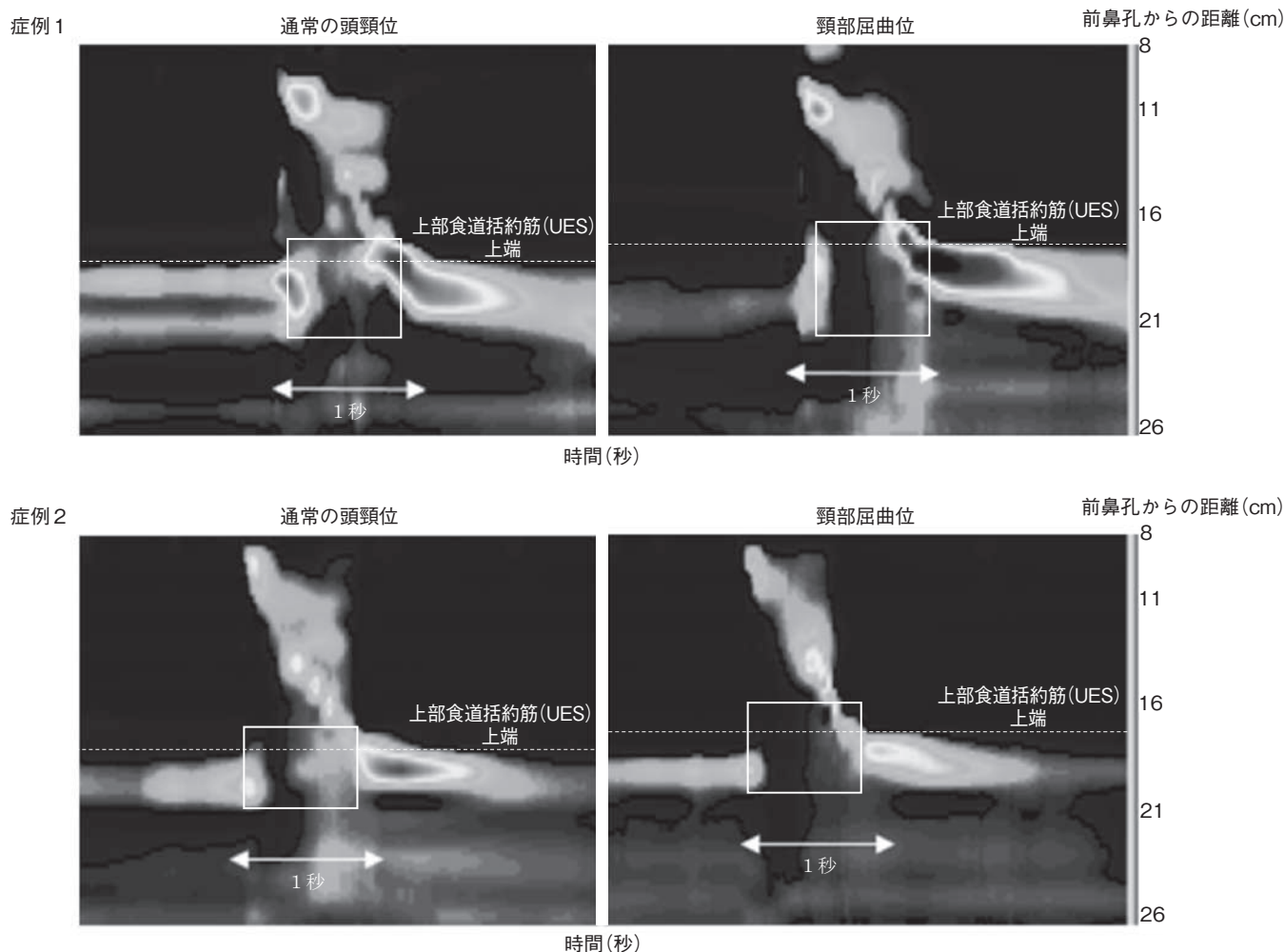


図8 食道癌手術後2症例の通常の頭頸位と頸部屈曲位の圧トポグラフィ(文献8)より引用一部改変)

症例1と2ともに、通常の頭頸位では嚥下時に上部食道括約筋(UES)の圧が残存し、頸部屈曲位ではUESの圧が低下している。嚥下後のUES部の嚥下圧の上端の位置は、通常頸位と比べて頸部屈曲位では上昇している。

細に解明することが可能となり、どのような効果が得られるのか深く理解することができる。特に食道入口部の開大に対するリハビリテーション手技の効果を明らかにするには、HRMを用いた嚥下圧検査が不可欠であると考えられる。

IV. おわりに

本稿では、HRMを活用した嚥下圧検査の手法を紹介した。さらに、リハビリテーション手技の効果についてわれわれの研究成果を基に検証し、HRMを用いた嚥下圧検査のアプローチ法について詳しく述べた。特に、食道入口部開大不全の機序を評価するには、HRMを用いた嚥下圧検査が有用であることが示唆された。ただし、今回紹介した評価方法に限らず、多様なアプローチ法が存在する。そのため、HRMを活用した嚥下圧検査の評価法が確立され、臨床応用がより一層進展することを期待する。

文 献

- 1) Cook IJ, Dodds WJ, Dantas RO, et al : Opening mechanisms of the human upper esophageal sphincter. Am J Physiol, 257(5 Pt 1) : G748-759, 1989.
- 2) 湯本英二 : 嚥下圧検査法, 日気食会報, 50 : 313-314, 1999.
- 3) Kunieda K, Fujishima I, Wakabayashi H, et al : Relationship between tongue pressure and pharyngeal function assessed using high-resolution manometry in older dysphagia patients with sarcopenia : a pilot study. Dysphagia, 36(1) : 33-40, 2021.
- 4) Diver EM, Regan J : Use of Pharyngeal High-Resolution Manometry to Evaluate Dysphagia in Adults with Motor Neurone Disease : A Scoping Review. Dysphagia, 37(6) : 1697-1714, 2022.
- 5) Takasaki K, Umeki H, Enatsu K, et al : Investigation of pharyngeal swallowing function using high-resolution manometry. Laryngoscope, 118(10) : 1729-1732, 2008.
- 6) Matsubara K, Kumai Y, Samejima Y, et al : Swallowing pressure and pressure profiles in young healthy adults. Laryngoscope, 124(3) : 711-717, 2014.
- 7) Matsubara K, Kumai Y, Kamenosono Y, et al : Effect of

- three different chin-down maneuvers on Swallowing pressure in healthy young adults. *Laryngoscope*, 126(2) : 437-441, 2016.
- 8) Matsubara K, Kumai Y, Miyamoto T, et al : The effect of a chin-down maneuver after esophagectomy on oropharyngeal swallowing pressure measured using high-resolution manometry. *Auris Nasus Larynx*, 47(1) : 141-147, 2020.
 - 9) 森 敏裕, 丘村 熙, 稲木匠子 : 嚥下圧伝播速度の評価法. 耳鼻臨床, 82 : 1441-1445, 1989.
 - 10) Matsubara K, Kumai Y, Samejima Y, et al : Propagation Curve and Velocity of Swallowing Pressure in Healthy Young Adults. *Dysphagia*, 30(6) : 674-679, 2015.
 - 11) 兼岡麻子, 二藤隆春, 芳賀信彦 : 摂食嚥下臨床における頭頸部の屈曲位―「顎引き嚥下」の効果とその機序―. 言語聴覚研究, 16(1) : 28-33, 2019.
 - 12) Hislop HJ, Montgomery J : Daniels and Worthingham's muscle testing : techniques of manual examination. 8th ed: WB Saunders : Philadelphia, 2007.
 - 13) Okada S, Saitoh E, Palmer JB, et al : What is the chin-down posture? A questionnaire survey of speech language pathologists in Japan and the United States. *Dysphagia*, 22(3) : 204-209, 2007.
 - 14) Yasuda T, Yano M, Miyata H, et al : Evaluation of dysphagia and diminished airway protection after three-field esophagectomy and a remedy. *World J Surg*, 37(2) : 416-423, 2013.
 - 15) Kim SJ, Cheon HJ, Lee HN, et al : Kinematic analysis of swallowing in the patients with esophagectomy for esophageal cancer. *J Electromyogr Kinesiol*, 28 : 208-213, 2016.
 - 16) 兼岡麻子, 二藤隆春, 芳賀信彦 : 頭頸部癌術後の摂食嚥下リハビリテーションの次の一手! : 代償法を用いた経口摂取支援. *MB Medical Rehabilitation*, 259 : 53-58, 2021.
 - 17) Kumai Y, Yoshida N, Kamenosono Y, et al : Effects of Chin-Down Maneuver on the Parameters of Swallowing Function After Esophagectomy With 3-Field Lymphadenectomy Examined by Videofluoroscopy. *Arch Phys Med Rehabil*, 98(6) : 1174-1179, 2017.