9 摂食嚥下障害における 神経生理学的評価

—高解像度マノメトリーと筋電図検査—

*Neurophysiological Evaluation of Swallowing Disorder with
High-resolution Manometry and Electromyography*

青柳陽一郎*

Yoichiro Aoyagi

Key Words

高解像度マノメトリー／嚥下圧／筋電図検査／脱神経電位／上部食道括約筋

要旨 摂食嚥下障害の検査としては、嚥下造影検査、嚥下内視鏡検査が標準的であり、誤嚥の有無や咽頭残留の評価に適しているが、神経生理学的側面に関しては情報が得にくい。摂食嚥下障害の神経生理学的評価を行うときには、マノメトリー、筋電図検査が用いられる。高解像度マノメトリー（high-resolution manometry : HRM）を用いると、上咽頭から舌根部、下咽頭、上部食道括約筋（upper esophageal sphincter : UES）、食道へと協調的かつ連続的に嚥下関与筋が活動する際に発生する咽頭内圧、食道内圧の時間的・空間的データを圧波形もしくは圧トポグラフィーとしてリアルタイムで得ることができる。食塊輸送時の咽頭内圧の低下、上部食道括約筋の弛緩障害、咽頭内圧上昇と上部食道括約筋のタイミングの異常はしばしば神経筋の障害に関与しており、咽頭残留や誤嚥のリスクを見極めるのに重要な所見である。針筋電図検査では、嚥下関与筋の安静時電位と嚥下時の運動単位電位を記録することにより神経原性変化、筋原性変化を鑑別できる。多チャンネル筋電図測定を行うことで嚥下関与筋の一連の協調運動を評価する。

はじめに

食事は、高齢者や障害者の生活の質（quality of life, 以下 QOL）を考えるうえで重要なキー

ワードとなる。超高齢社会の到来に伴い、摂食嚥下障害による誤嚥性肺炎の発症は増加の一途をたどっており、その治療ニーズは年々高まっている。

嚥下障害の評価としては、嚥下造影検査（videofluorography, 以下 VF）、嚥下内視鏡検査（videoendoscopy, 以下 VE）が標準的であ

* 藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学 I 講座
（〒470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98）
E-mail : yyy@rc5.so-net.ne.jp

図1 嚥下障害評価の流れ

る¹⁻⁴⁾。これらの検査は、本邦のみでなく世界的に臨床場面で広く用いられており、食塊の通過の確認、すなわち誤嚥の有無や咽頭残留を評価する標準的検査である。しかし、嚥下障害の神経生理学的メカニズムならびに原因を正確に捉えるには不向きである。嚥下障害の神経生理学的背景を評価するツールとしては、マノメトリーや筋電図検査がある⁵⁾。本稿では、これらの検査の生理学的意義と実際について述べる。さらに症例を提示し、どのように治療に応用するかについても言及する。

摂食嚥下障害評価の流れ

外来もしくは入院患者で、病歴聴取、問診、診察により摂食嚥下障害の可能性があるかと判断すれば、嚥下スクリーニング検査を行う(図1)。嚥下スクリーニング検査で摂食嚥下障害が疑われれば、嚥下精査に進む。精査では通常、VEもしくはVFを行う。VEでは、誤嚥・咽頭残留の有無、嚥下反射遅延、ホワイトアウトを評価する。VFではさらに口腔準備期・送り込み期、食道期の評価が可能である。これらの検査で、嚥下障害の原因・病態が特定でき治療方針が問題なく確定できる場合、さらなる精査は必要ない。

しかし、嚥下障害の病態が特定できない場合にしばしば遭遇する。例えば、梨状窩への残留が咽頭収縮不全のためなのか、嚥下関与筋の協

調運動不全によるものなのか、上部食道括約筋(upper esophageal sphincter, 以下UES)の弛緩障害のためなのかを断定することはVE、VFのみからは困難なケースがある。そのような場合、嚥下マノメトリーや筋電図などの神経生理学的情報が得られる精査を行うことが望ましい。

嚥下マノメトリー

嚥下マノメトリーは、圧トランスデューサーを備えたポリウレタンあるいはシリコン製のカテーテルを経鼻的に咽頭から食道に挿入し、咽頭内圧、食道内圧を測定する検査法である。従来のマノメトリーで用いられている圧トランスデューサーにはカテーテルに数個(3~4個程度)の圧センサーが数cm間隔に搭載されており、嚥下障害の病態を簡便かつ定量的に評価するのに適している。しかし、1回の嚥下運動の圧動態を詳細に(例えば1cm刻みで)評価するには、センサーの位置を少しずつ移動させて複数回の嚥下を繰り返すなどの工夫が必要であった。

最近、圧センサーが1cm間隔で36個(36チャンネル)搭載されている高解像度マノメトリー(high-resolution manometry, 以下HRM)が用いられつつある。HRMを用いると、嚥下関与筋が活動する際に、上咽頭から舌根部、下咽頭、UES、食道へと協調的かつ連続的に発

図2 正常嚥下時の高解像度マノメトリーデータ

aは1 cm 間隔で搭載された圧センサーから得られた圧波形 (pressure waveform), bは圧波形から構成された圧トポグラフィー (pressure topography) を表す. モニターにはリアルタイムで圧トポグラフィーが表示されるため, 視覚的に嚥下病態を把握することができる.

生する咽頭内圧, 食道内圧の時間的, 空間的データを一度で得られる⁶⁻⁹⁾. HRM カテーテルから測定された圧データは圧波形もしくは圧トポグラフィーとしてリアルタイムで表示される(図2). 保存されたデータは, 専用の解析ソフトを用いて, 圧, 時間, 距離などに関して詳細な計測が可能である.

食塊輸送時の咽頭内圧の低下は, しばしば神経筋の障害に関連しており, 咽頭残留や誤嚥のリスクを見極めるのに重要な所見である. 最も高い圧は食塊輸送終了後に記録され, それはクリアランス能力を意味する. 低圧のみでなく, 異常に高い圧は臨床的に重要な場合がある. タイミングも重要であり, 正常嚥下では咽頭内圧の上昇にほぼ同期して輪状咽頭筋が弛緩する. すなわち UES 圧がゼロ前後まで低下する. UES 障害 (UES dysfunction) では, 圧の低下が生じないもしくは不十分である, あるいは咽頭圧上昇と UES 圧低下が同期しないなどの所見がみられる.

嚥下筋電図

嚥下関与筋評価において, 四肢筋と同様に安静時電位と嚥下時の運動単位電位 (motor unit potential, 以下 MUP) を記録することにより神経原性変化, 筋原性変化を鑑別できる. 筋電図検査は必ずしも一般的な検査法ではなく, すべての嚥下障害患者に行う必要はないが, 球麻痺や多発性神経炎などの評価や予後判定, 治療方針決定に役立つ. 球麻痺の場合, 針筋電図検査により下部脳神経核の障害の有無および程度を鑑別できる.

輪状咽頭筋は嚥下関与筋の中でも特殊な筋肉であり, 括約筋としての役割を持っている. 輪状咽頭筋も他の嚥下関与筋と同様に針電極で記録できる. 安静時は常時収縮し, 嚥下時に弛緩する. そのため頸部がリラックスできている状態では, 針先が輪状咽頭筋内に入れば安定した MUP が得られる筋が輪状咽頭筋であると同定できる⁵⁾. 輪状咽頭筋の針筋電図は, 神経原性変化, 筋原性変化以外に弛緩の有無や長短を鑑

図3 嚥下障害患者（50代女性）の下顎部の表面電極と輪状咽頭筋部の針電極から得られた筋電図

左右ともに、輪状咽頭筋弛緩は正常に得られており、舌骨上筋群と輪状咽頭筋の活動のタイミングも問題ない。

図4 嚥下障害患者（50代女性）の輪状甲状筋針筋電図

別するのに役立つ^{10, 11)}。

多チャンネル筋電図測定を行うことで嚥下関与筋の一連の協調運動を評価することができる¹²⁻¹⁴⁾。延髄背外側部の梗塞によって生じるWallenberg症候群では、しばしば嚥下関与筋の協調運動不全による通過障害が生じる。すなわち、舌骨上筋群の収縮から輪状咽頭筋の弛緩という一連の協調的（coordinated）かつ連続的（sequential）な運動が妨げられる¹⁰⁾。

症例紹介

HRM, 筋電図検査が病態診断と治療方針決定に有効であった症例を紹介する。50代女性で発熱と咽頭痛、嚥下困難にて発症し入院。その後、全身脱力、右声帯麻痺を合併するも原因不明。日常生活動作（activities of daily living, 以下ADL）は自立するも、5カ月後にも嚥下障害が残存し、嚥下精査・訓練目的で大学病院へ入院となった。VE, VFにてUES部での食塊通過がわずかにしか得られず、摂食・嚥下障害重症度分類（Dysphagia Severity Scale: DSS）は2レベルであった。通過障害の原因が確定できず、筋電図検査、HRMを施行した。下顎部と輪状咽頭筋から得られた2チャンネルの筋電図記録では、輪状咽頭筋弛緩は正常に得

図5 嚥下障害患者（50代女性）のHRM

咽頭内圧はほとんど得られず、UES弛緩は正常に得られている。

られており、舌骨上筋群と輪状咽頭筋の活動のタイミングは協調していた（図3）。一方、輪状甲状筋の安静時の針筋電図は右で脱神経電位を呈し、随意収縮時は右で神経原性変化を示した（図4）。この結果より、右迷走神経の障害が示唆された。HRMでは咽頭内圧がほとんど得られず（図5）、UES弛緩は問題なかった。右迷走神経障害と矛盾しない所見であった。本症例では、左側傾位にて直接嚥下訓練を開始し、最終的には全量経口摂取に至った。

おわりに

HRMの時空間的なパターン認識を人工ニューラルネットワークを用いて行うことにより、VF所見（嚥下反射遅延、喉頭挙上障害、UES弛緩障害、喉頭侵入・誤嚥）を90%以上

の正確性で予測できるという報告¹⁵⁾も出てきている。HRMは今後マノメトリーの主流になると思われる。本稿では触れなかったが、空間的・時間的变化を3次元的に捉えることができる嚥下CTは空間分解能に優れており、嚥下造影検査を補完できる検査法として期待される^{16, 17)}。これらの検査は、嚥下障害の評価・診断の精度を高め、マネジメントや訓練法の選択に有用な臨床的ツールとなることが期待される。

文 献

- 1) 才藤栄一, 木村彰男, 矢守 茂: 嚥下障害のリハビリテーションにおける videofluorography の応用, リハビリテーション医学 1986; **23**: 121-124
- 2) 才藤栄一, 水野雅康, 小口和代, 馬場 尊, 菅沼宏之: 摂食・嚥下障害への多面的アプローチ 摂食・嚥下リハビリテーション・アップデート, Journal of Clinical Rehabilitation 1997; **6**: 635-639
- 3) 柴田斉子, 才藤栄一: 消化器系の異常 嚥下困難, 総合臨床 2011; **60**: 1145-1150
- 4) 青柳陽一郎: 知っておきたい! 摂食・嚥下評価と治療の進歩 嚥下造影検査の歴史と進歩, MEDICAL REHABILITATION 2014; **167**: 7-12
- 5) 青柳陽一郎: 摂食・嚥下の運動学 筋電図と嚥下圧からみた摂食・嚥下の運動学, Jpn J Rehabil Med 2010; **47**: 703-707
- 6) McCulloch TM, Hoffman MR, Ciucci MR: High-resolution manometry of pharyngeal swallow pressure events associated with head turn and chin tuck, Ann Otol Rhinol Laryngol 2010; **119**: 369-376
- 7) Takasaki K, Umeki H, Enatsu K, Tanaka F, Sakihama N, Kumagami H, Takahashi H: Investigation of pharyngeal swallowing function using high-resolution manometry, Laryngoscope 2008; **118**: 1729-1732
- 8) Matsubara K, Kumai Y, Samejima Y, Yumoto E: Swallowing pressure and pressure profiles in young healthy adults, Laryngoscope 2014; **124**: 711-717
- 9) Hoffman MR, Mielens JD, Ciucci MR, Jones CA, Jiang JJ, McCulloch TM: High-resolution manometry of pharyngeal swallow pressure events associated with effortful swallow and the Mendelsohn maneuver, Dysphagia 2012; **27**: 418-426
- 10) 青柳陽一郎, 嘉村雄飛, 佐藤新介, 畠 二郎, 山口若水, 椿原彰夫: 重度の嚥下障害を呈した Wallenberg 症候群患者の筋電図所見, 耳鼻と臨床 2009; **55**: S158-S163
- 11) Shemirani NL, Halum SL, Merati AL, Toohill RJ, Jaradeh S: Cricopharyngeal electromyography: patterns of injury based on etiology, Otolaryngol Head Neck Surg 2007; **137**: 792-797
- 12) Perlman AL, Palmer PM, McCulloch TM, Vandaele DJ: Electromyographic activity from human laryngeal, pharyngeal, and submental muscles during swallowing, J Appl Physiol 1999; **86**: 1663-1669
- 13) Tanaka E, Palmer J, Siebens A: Method and Procedures Update: Bipolar Suction Electrodes for Pharyngeal Electromyography, Dysphagia 1986; **1**: 39-40
- 14) Palmer JB, Tanaka E, Siebens AA: Electromyography of the pharyngeal musculature: technical considerations, Archives of physical medicine and rehabilitation 1989; **70**: 283-287
- 15) Hoffman MR, Jones CA, Geng Z, Abellhalim SM, Walczak CC, Mitchell AR, Jiang JJ, McCulloch TM: Classification of high-resolution manometry data according to videofluoroscopic parameters using pattern recognition, Otolaryngol Head Neck Surg 2013; **149**: 126-133
- 16) Inamoto Y, Fujii N, Saitoh E, Baba M, Okada S, Katada K, Ozeki Y, Kanamori D, Palmer JB: Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part II: kinematic analysis of laryngeal closure during normal swallowing, Dysphagia 2011; **26**: 209-217
- 17) Okada T, Aoyagi Y, Inamoto Y, Saitoh E, Kagaya H, Shibata S, Ota K, Ueda K: Dynamic change in hyoid muscle length associated with trajectory of hyoid bone during swallowing: analysis using 320-row area detector computed tomography, J Appl Physiol 2013; **115**: 1138-1145