

## 総説

## バキューム嚥下の発見と臨床応用

## Discovery and Clinical Application of Vacuum Swallowing

國枝 顕二郎<sup>1,2</sup>, 鈴木 砂織<sup>3</sup>, 棚橋 一雄<sup>2</sup>, 萩原 里恵<sup>3</sup>, 岡本 圭史<sup>3</sup>, 重松 孝<sup>2</sup>, 藤島 一郎<sup>2</sup>

Kenjiro Kunieda<sup>1,2</sup>, Saori Suzuki<sup>3</sup>, Kazuo Tanahashi<sup>2</sup>, Satoe Hagiwara<sup>3</sup>, Keishi Okamoto<sup>3</sup>, Takashi Shigematsu<sup>2</sup>, Ichiro Fujishima<sup>2</sup>

「要旨」筆者らは、嚥下時に食道内に強い陰圧を形成し、食塊を咽頭から食道に一気に流入させることで経口摂取が可能となった延髄外側症候群の一例を経験した。高解像度マノメトリ（以下、マノメトリ）を用いると、嚥下時に食道内に強い陰圧が形成されており、この嚥下法を「バキューム嚥下」と命名した。その後、延髄外側症候群による球麻痺の嚥下障害をきたした40代男性に、バキューム嚥下を指導し咽頭残留除去に有効であった。マノメトリでは、前述の症例と同様の所見を認め、嚥下造影検査ではバキューム嚥下時に梨状窩残留が食道内に流入した。指導では、1、嚥下時の陰圧の作り方と、2、嚥下と陰圧形成のタイミングの合わせ方、の2点が重要である。今後は、多数例や他疾患での有効性の検討と、安全で分かりやすい指導方法の確立が重要である。

**Key Words** マノメトリ, 球麻痺, 食道内圧, 嚥下法, 呼吸筋

## 1. はじめに

球麻痺の嚥下障害では、咽頭収縮力の減弱と食道入口部の開大不全を来すため、咽頭残留が問題となる。ワレンベルグ症候群など延髄の嚥下中枢（central pattern generator, CPG）が損傷される症例では、嚥下時に食道入口部が開かず、逆に輪状咽頭筋が収縮してしまうこともある（incoordination）<sup>1)</sup>。球麻痺の嚥下障害に対して、食道入口部のバルーン訓練や、頭部挙上訓練や嚥下おでこ体操に代表される舌骨上筋群の筋力訓練が広く行われる。これらは、食道入口部を開きやすくするために行われる嚥下訓練である

が、治療に難渋することも多い。

バキューム嚥下（vacuum swallowing）は、嚥下時に強い食道内圧を形成することで、食塊を咽頭から食道内に流入させる新しい嚥下法である<sup>2),3)</sup>。本稿では、バキューム嚥下の発見とメカニズムの解明、今後の臨床応用について述べる。

## 2. 「バキューム嚥下」現象の発見とメカニズムの解明

## 1) 「バキューム嚥下」現象の発見

延髄外側症候群による重度の嚥下障害患者（47歳、男性）が、自ら急に経口摂取が可能となった

## &lt;所属&gt;

- 1) 岐阜大学大学院医学系研究科脳神経内科学分野
- 2) 浜松市リハビリテーション病院リハビリテーション科
- 3) 浜松市リハビリテーション病院リハビリテーション部

- 1) Department of Neurology, Gifu University Graduate School of Medicine, Gifu, Japan.
- 2) Department of Rehabilitation Medicine, Hamamatsu City Rehabilitation Hospital

- 3) Department of Rehabilitation, Hamamatsu City Rehabilitation Hospital

## &lt;連絡先&gt;

住所：〒501-1194 岐阜市柳戸1番1  
 岐阜大学大学院医学系研究科脳神経内科学分野  
 國枝 顕二郎  
 TEL: (058) 230-6254 FAX: (058) 230-6252  
 E メールアドレス: ken2rou.k@gmail.com

症例を経験した<sup>2)</sup>。嚥下造影検査(videofluoroscopic examination of swallowing, VF)を行うと、咽頭収縮は著明に減弱し食道入口部もほとんど開かず、スライスゼリーは梨状窩に残留していた。

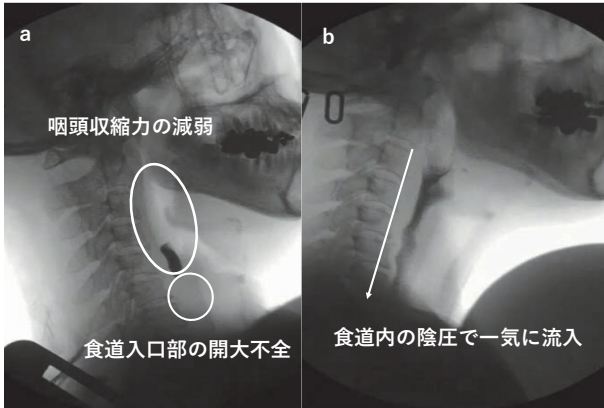


図1 バキューム嚥下(同一患者)  
47歳男性。延髄外側症候群による球麻痺。a) 49病日。重度の嚥下障害をきたし食塊は咽頭を通過しない(FILS 3)。b) 109病日。バキューム嚥下を自身で獲得したあとのVFでは、食塊は咽頭から食道内に一気に流入する(FILS 8)。  
VF, videofluoroscopic examination of swallowing

摂食状況のレベル(Food Intake LEVEL Scale, FILS)<sup>4)</sup>は3であった。バルーン訓練や舌骨上筋群の筋力訓練を含む基礎訓練を継続しながら、少量のゼリーやトロミで嚥下訓練を行ったが、発症して2カ月ほど経過した頃に「お腹に力を入れると飲みやすい」といい、急に経口摂取量が増加した。VFでは、嚥下と同時にあらゆる食塊(ゼリー、トロミ、寒天など)が咽頭から食道内に一気に流入する現象が見られた(図1)。最終的には、時折咽頭に貯留した唾液の喀出は必要ながらも、常食も摂取できるようになった

(FILS 9)。

我々は、咽頭と食道の間に圧勾配を形成し、食塊が食道内に一気に吸い込まれるように流入することから、この嚥下法を「バキューム嚥下(vacuum swallowing)」と命名した。命名にあたってはDr. Michael Groherからご意見も頂き、国際的にも通用する名称とした。嚥下障害の国際誌Dysphagiaの延髄外側症候群の嚥下障害のレビュー論文でも、バキューム嚥下は新しい嚥下法として紹介されている<sup>5)</sup>。紹介した症例は自らバキューム嚥下を獲得している。急に食べられるようになったメカニズムを追求した結果が新たな嚥下法の発見に繋がったわけであり、症例検討の重要性を再確認させられる。

## 2) 高解像度マノメトリを用いたメカニズムの解明

高解像度マノメトリ(以下、マノメトリ)は、1cmごとに全周性の圧センサーがついたカテーテルを、経鼻的に咽頭から食道にかけて挿入・留置することで、咽頭収縮力や食道入口部の開大、食道内圧などを定量的に評価できる(図2)。圧の強さはカラーでも段階的に表示されるため、圧の変化を視覚的にも理解しやすい(赤: 高圧, 青: 低圧)。

マノメトリによる嚥下機能評価では、咽頭収縮は著明に減弱し食道入口部の開大不全を認めるにもかかわらず、嚥下時に食道入口部を含む食道内に強い陰圧が形成されていた。また、嚥下時に下部食道括約筋(lower esophageal

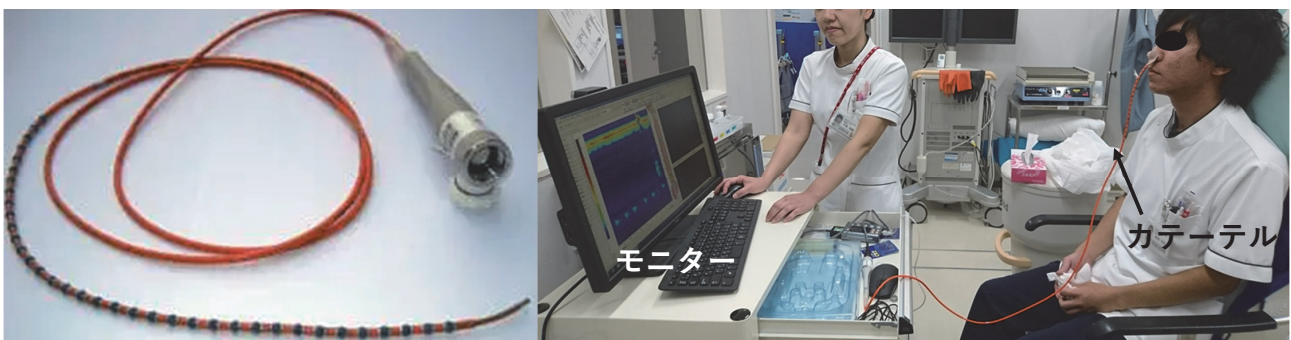


図2 高解像度マノメトリを用いた嚥下機能評価  
全周性の圧センサーがついたセンサーカテーテル(左)。これを経鼻的に挿入し、食道内圧を評価する(右)。圧は、その場でモニターに反映される。

sphincter, LES) 圧が大きく上昇していた (図3). この LES 圧の上昇は, 呼吸筋の一部である横隔膜の収縮を反映している. VF で食道期を評価すると, バキューム嚥下時には横隔膜を含む呼吸筋の収縮が観察された. 胸腔内の強い陰圧形成には, 呼吸筋や呼吸補助筋の収縮を利用しているものと考えた. 例えば, 鼻すすりを行ったときなどにも, マノメトリ上で食道内の陰圧と LES 圧の上昇といった類似の所見が観察される.

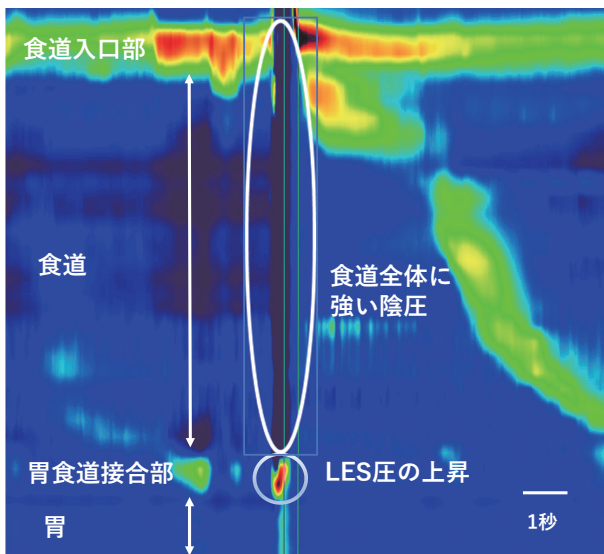


図3 バキューム嚥下時のマノメトリの所見  
嚥下と同時に食道全体に強い陰圧が形成され, LES 圧の上昇を認めている. 通常の嚥下ではこのような所見は観察されない. 嚥下時の食道内の最小圧は  $-74\text{mmHg}$ , LES 圧の最大圧は  $174\text{mmHg}$ .

体表面の観察では, バキューム嚥下時には胸腔内の陰圧を反映し, 気管前や鎖骨上窩が窪み, 相対的に鎖骨や胸鎖乳突筋が浮き出るような所見が観察される (図4). この所見は, 胸腔内に陰圧が形成されているかどうかを確認するために, たいへん重要である. 通常, 胸腔内圧の baseline は  $-4\text{cmH}_2\text{O}$  程度であるが, 吸気努力により生理的に  $-140\text{cmH}_2\text{O}$  の陰圧を形成できる<sup>6)</sup>. バキューム嚥下では, 嚥下と胸腔内圧の陰圧形成のタイミングを合わせることで, 嚥下時に食道内の強い陰圧を形成しているものと思われた. 筆者が自ら被検者となり, マノメトリで嚥下時に食道内に強い陰圧を形成できることを報告した<sup>3)</sup>. 更に, 指導によって他の健常者や球麻痺による嚥下障害患者でも嚥下時に食道内に強い

陰圧を形成できることが分かった<sup>7,8)</sup>.



図4 バキューム嚥下時の頸部の所見  
バキューム嚥下時には, 胸腔内の強い陰圧形成を反映して気管前や鎖骨上窩が窪む (矢印). この所見は, バキューム嚥下を指導する上で重要である.

我々は, 少数ながらバキューム嚥下を指導し, 習得して嚥下に有効だった症例を経験している. 本学会の2019年の学術大会では, その1例を報告した. 指導では, 前述のバキューム嚥下の動画1) (オープンアクセス <http://links.lww.com/PHM/A531>) を供覧しながらバキューム嚥下のメカニズムを説明し指導を行った. VF では, 通常の嚥下や従来への嚥下手技では梨状窩の残留除去が困難であったが, バキューム嚥下を併用することで咽頭残留を除去できた (図5). マノメトリでも, バキューム嚥下に特徴的な嚥下時の食道内の陰圧形成と, LES の圧の上昇を認めていた (図6). バキューム嚥下は, 本症例のように咽頭残留を除去する手技として特に有効なのではないかと考えている.

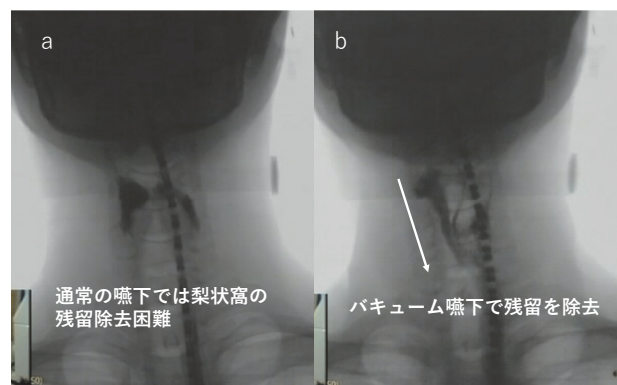


図5 指導により習得したバキューム嚥下で咽頭残留を除去  
40代男性, 右延髄外側症候群による嚥下障害. a) 通常の嚥下では, 梨状窩の残留は除去されない. b) バキューム嚥下を行うと, 両側の梨状窩の残留は食道内に流入した.

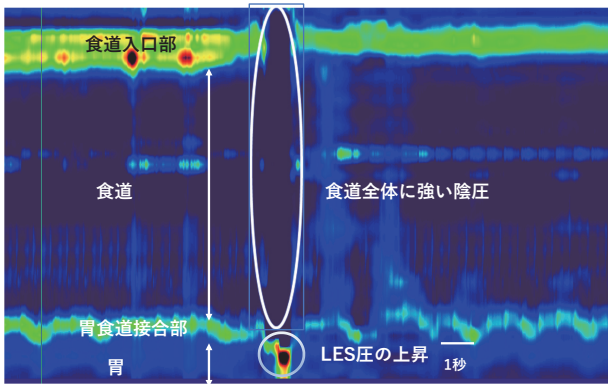


図6 バキューム嚥下の再現  
左の患者では、嚥下時の食道内の強い陰圧形成とLES圧の上昇。嚥下時の食道内の最小圧は $-54\text{mmHg}$ 、LES圧の最大圧は $307\text{mmHg}$ 。  
右の健常者の通常の嚥下では、患者でみられた嚥下時の食道全体の強い陰圧や、LES圧の上昇はみられない。

### 3. バキューム嚥下の安全性の検証

バキューム嚥下では、嚥下前後および嚥下中の誤嚥の防止は重要である。筆者らは、非侵襲的嚥下モニター法（以下、嚥下モニター法）<sup>9)</sup>を用いてバキューム嚥下と呼吸のパターンを評価し、誤嚥のリスクについて検証した。嚥下モニター法では、鼻カニューレタイプのセンサーで吸気と呼気を感じ、喉頭に貼ったフィルムタイプのセンサーで嚥下運動を感じることができる。

健常者の通常の嚥下と呼吸のパターンでは、呼気—嚥下—呼気のパターンとなっており、嚥下中は無呼吸となっている。嚥下モニター法を用いてバキューム嚥下と呼吸の関係を検証す

ると、バキューム嚥下を習得した患者ではすべての嚥下で呼気—バキューム嚥下—呼気のパターンとなっており、更にバキューム嚥下中も無呼吸となることが分かった。バキューム嚥下の前後、とくにバキューム嚥下後の呼吸が呼気で始まることは、咽頭残留を吸引するリスクが少ないことを示している。嚥下中は、舌は口蓋に接着して声門は閉鎖しているため、この状態で口から吸気努力を行っても、気道に吸気が流入することはない。

安全な指導のためには、呼気—バキューム嚥下—呼気のパターンを指導することが重要である。呼気後に一旦息をこらえてからバキューム嚥下を指示し、バキューム嚥下後は呼気となるように指導すると良い。

### 4. 今後の臨床応用

多数例での有効性の検討と適応の拡大、安全で有効な指導法の確立が今後の課題である。

良い適応は、咽頭収縮力が弱く食道入口部が開きにくい球麻痺パターン（輪状咽頭筋弛緩不全例を含む）の嚥下障害と考えている。特に誤嚥リスクを考えると梨状窩残留除去法として良いと考えられる。我々は、前述した延髄外側症候群の症例の他にも、嚥下機能改善術後（脳幹部腫瘍）の患者がバキューム嚥下を自身で習得した症例を経験している。また、指導内容を理解できる認

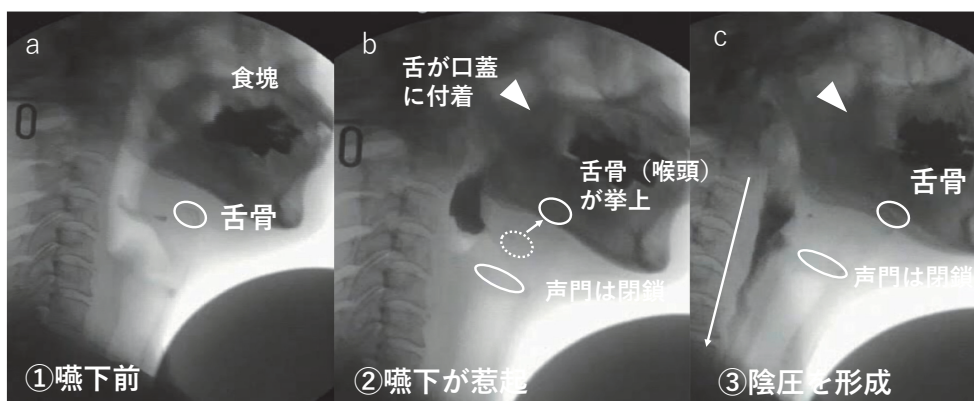


図7 嚥下と陰圧形成のタイミング  
a) 息を吐きつつ、息をこらえて嚥下を指示する（呼気—嚥下のパターンを指示）。b) 嚥下が起こり、舌が口蓋に接触（矢印）し喉頭は挙上する。食塊は咽頭に流入している。c) 嚥下が起こったタイミングで吸気努力を組み合わせる。舌が口蓋に接触し声門は閉鎖しているため、空気は気道に流入しない。バキューム嚥下後は呼気を指示する。  
バキューム嚥下は、梨状窩に残留した食塊を除去する手技としても有効である。

表1 バキューム嚥下の指導 (例)

胸腔内の陰圧の作り方	口を閉じた状態だが、口から息を吸うようなイメージで吸気努力を試みる。胸腔内に作られた陰圧で気管の前や鎖骨上窩の窪みが観察される（鎖骨や胸鎖乳突筋は相対的に浮き出る）。この窪みにより、胸腔内に作られた強い陰圧を確認できる。あらかじめ、嚥下時には口が閉じて舌が口蓋に付着することを確認してもらうとよい。その状態で口から吸気努力をしても空気は気道に流入しない。息をいくらか吐いた状態（呼気の途中）で行うと、呼吸筋を収縮させやすく、吸気努力を行いやすい。鼻もつまんで吸気を行うと胸腔内に陰圧を作りやすいが、嚥下時には鼻から息を吸わないように注意する。
嚥下とのタイミングの合わせ方	嚥下反射が惹起された後（喉頭が挙上するタイミング）で、上記の陰圧形成を組み合わせる。喉頭が挙上したタイミングで気管の前や鎖骨上窩が窪むことを確認する。嚥下が起こり始めた後に吸気努力を組み合わせるという順番を説明する。息こらえ嚥下で、嚥下をしたときに吸気努力を組み合わせるように指導すると理解しやすいことがある。
安全性への配慮	誤嚥防止のために、呼気—バキューム嚥下—呼気のパターンを指導する。とくに、バキューム嚥下の後は呼気で呼吸が再開するようにする。

知機能が保たれていることも重要であろう。

今後は、安全で分かりやすい指導法の確立が重要である。現時点での案を表1および図7に示す。筆者らは、バキューム嚥下による食塊の咽頭通過の改善はVEやVFで確認している。またVFの検査場面でVFの画像を患者と一緒に見ながらフィードバックを行い、指導することもある。バキューム嚥下を従来の嚥下訓練に組み合わせることで、経口摂取の幅が広がることを期待したい。分かりやすい指導法の確立や、有効性の更なる検証のために、更なる検討が必要である。

## 文 献

1. 藤島 一郎, 柴本 勇, 大熊 るり, 小島千枝子, 北條 京子. Wallenberg 症候群における食塊の輪状咽頭部通過側. 神経内科 52: 309-315, 2000.
2. Kunieda K, Kubo S, Fujishima I. New swallowing method to improve pharyngeal passage of a bolus by creating negative pressure in the esophagus—vacuum swallowing. Am J Phys Med Rehabil.97:e81-e84, 2017.
3. Kunieda K, Kubo S, Fujishima I. A new swallowing method to improve pharyngeal passage by creating negative pressure in the esophagus—vacuums swallowing: reproduction in normal subjects. Deglutition : 7:224-230, 2018.
4. Kunieda K, Ohno T, Fujishima I, Hojo K, Morita T. Reliability and validity of a tool to measure the severity of dysphagia: the Food Intake LEVEL Scale. J Pain Symptom Manage.46: 201-206, 2013.
5. Jang SH, Kim MS. Dysphagia in Lateral Medullary Syndrome: A Narrative Review. Dysphagia. 2020 [Online ahead of print]
6. Gross RD, Atwood CW Jr, Ross SB, Olszewski JW, Eichhorn KA. The coordination of breathing and swallowing in chronic obstructive pulmonary disease. Am J Respir Crit Care Med.179:559-565, 2009
7. 國枝 颯二郎, 他. 指導により再現し得たバキューム嚥下の一例, 第15回日本神経筋疾患摂食・嚥下・栄養研究会学術集会, 2019年10月.
8. Kunieda K, Suzuki S, Shigematsu T, Fujishima I. Reproduction of vacuum swallowing: a novel swallowing method based on a strong negative esophageal pressure. 8th Congress of the European Society for Swallowing Disorders, Dublin, Ireland, Sep. 2018.
9. Yagi N, Nagami S, Lin MK, Yabe T, Itoda M, Imai T, Oku Y. A noninvasive swallowing measurement system using a combination of respiratory flow, swallowing sound, and laryngeal motion. Med Biol Eng Comput. 55:1001-1017, 2017.

## Discovery and Clinical Application of Vacuum Swallowing

Kenjiro Kunieda<sup>1,2</sup>, Saori Suzuki<sup>3</sup>, Kazuo Tanahashi<sup>2</sup>, Satoe Hagiwara<sup>3</sup>, Keishi Okamoto<sup>3</sup>, Takashi Shigematsu<sup>2</sup>, Ichiro Fujishima<sup>2</sup>

1) Department of Neurology, Gifu University Graduate School of Medicine, Gifu, Japan

2) Department of Rehabilitation Medicine, Hamamatsu City Rehabilitation Hospital

3) Department of Rehabilitation, Hamamatsu City Rehabilitation Hospital

### Abstract

The authors reported a case of a patient with lateral medullary syndrome (LMS) with severe bulbar dysphagia who developed a unique swallowing method: creating strong negative pressure in the esophagus to improve pharyngeal passage of a bolus. Using high-resolution manometry (HRM), a strong negative pressure was proved in the esophagus during swallowing, and we named this swallowing method "vacuum swallowing". Furthermore, we reported another case of a patient with severe bulbar dysphagia due to LMS who acquired vacuum swallowing by instruction and training. HRM showed the same findings as in the previous case. Videofluoroscopic examination of swallowing revealed that the pyriform sinus residues flowed into the upper esophagus during vacuum swallowing. Two points are important for instructions: 1) how to create negative pressure during swallowing and 2) how to synchronize swallowing and creating negative pressure in the esophagus. Further study is needed to examine the effectiveness of vacuum swallowing in a large number of cases and in other diseases, and to establish a way to learn this swallowing method.

Key words: high-resolution manometry, bulbar dysphagia, intraesophageal pressure, swallowing method, respiratory muscle