

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—

井上 誠

Before you work in dysphagia rehabilitation —Physiology of chewing and swallowing—

Makoto Inoue, DDS, PhD

抄 録

摂食・嚥下障害に対する臨床を行う上で、歯科や口腔機能のもつ可能性を考慮することは非常に重要である。本稿では、周知の摂食・嚥下リハビリテーションにおける機能評価や訓練内容についてではなく、食べることを全身機能と考えること、歯科独自の視点の必要性を理解するための基礎的知識について解説する。また、これまでのほとんどの機能研究が咀嚼または嚥下のみに特化していたが、口腔機能・咀嚼機能と嚥下機能の機能連関に注目することの面白さを考え、臨床への足掛かりとするためのヒントにする。最後に、口腔ケアをどのように考えるかについての更なる知識の整理をしたい。

和文キーワード

咀嚼, 嚥下, 生理学, 嚥下障害, 高齢者

I. はじめに

日本の人口の高齢化は年々進行してきており、2012年の平均寿命は男性で79.6年、女性で86.4年と、世界第一位こそ他国に譲るものの、長寿大国日本の地位はゆるぎない。一方、平均寿命の伸びを死因別に分析すると、長らく日本人の三大死亡原因であった悪性新生物、心疾患、脳血管疾患から、平成23年には肺炎が脳血管疾患にとって代わり第3位となった(図1)。また、高齢者の死亡原因の90%以上が肺炎であることから、肺炎による死亡数の増加は高齢者の数、割合が増えたことと深く関係していると思われる。さらに、高齢者の肺炎の多くは飲み込みの障害(嚥下障害)に伴う窒息や、食物・唾液などの誤嚥などによって発症する誤嚥性肺炎を伴うとされている。

高齢者の嚥下障害は、医療のみならず、看護・介護などの分野においても注目を集めている。ことに日本では、歯科における嚥下障害に対する臨床の参入には目を見張るものがある。これは、小児における摂食機能の発達に関する臨床・研究を行ってきた小児歯科学

分野の努力¹⁾や要介護高齢者に対する口腔ケア実施が肺炎や熱発を抑えたことが広く知られた²⁾ことと大いに関係している。現在、多くの病院、施設では歯科医が嚥下障害の臨床を担い、嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査を導入することで、既存の歯科医の領域を超えた嚥下障害の臨床に踏み込む例が少なくない。しかし、日本における嚥下障害の臨床には、脳梗塞や頭頸部腫瘍などの原因疾患により嚥下機能に障害を来した一般的な嚥下障害とは異なる多くの問題点が存在する。要介護高齢者の嚥下障害の問題は、患者のほとんどが認知機能に障害を来しており、単なる摂食・嚥下に関わる下位脳幹や末梢の神経機構の問題ではないこと、またこれらの患者では多くの疾患を抱えることで嚥下障害の病態も複雑化していること、さらに、患者を支える介護や看護を含んだ周囲の環境によって予後が左右される可能性があること³⁾などが挙げられる(図2)。日本における要介護高齢者の嚥下障害については、これらの周囲因子を抜きに語れないことから、今後、嚥下やその障害を理解し、その臨床を行うためには、既存の知識や技術に加えて新たな視点とストラテジー

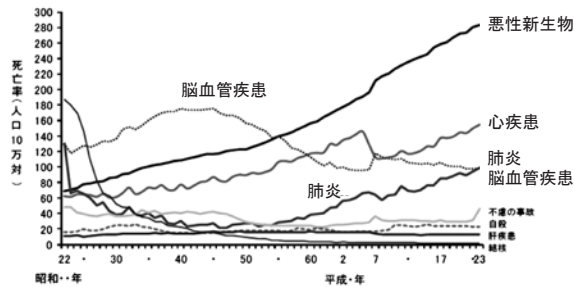


図1 厚生労働省平成23年人口動態統計月報年計(概数)の概況

を必要とする。以上の背景を踏まえて、嚥下障害の臨床に必要と思われる事項に重点をおいた生理学を解説したい。

II. 食えること

摂食機能を改めて全身機能として考えてみたい。わたしたちが摂取する三大栄養素はいずれも口から食えることによって得られる。これらの栄養素が消化・分解された後に、中枢・末梢において様々な機能を発揮し、細胞を形成・維持するために使用される。一方、体全体の約6割を占める水分も口から飲むことによつてのみ得られる。水は体を作る細胞の大半を占めているほかに、体内を循環する血液などを構成している。血液は、体の隅々まで酸素、栄養、ホルモンなどを運ぶ重要な役割を担っていると同時に、老廃物や過剰な物質を体外に運び出す大切な働きをする。さらに、体内の水は、体温を調節する上で大切な役割をもつ。嚥下障害と診断され、経口摂取の機会が失われた人に栄養や水分を摂取する手段として与えられる選択肢は、血管・経管栄養などの非経口的栄養摂取法しかないであろう。しかし、「食べる・飲む」は、これら恒常性維持を目的とするだけでなく、ことにヒトにおいては重要な他の機能をもつと思われる。

摂食・嚥下は5期に分けられており、それは(1)食品を目で見て、手に取って口に入れるまでの先行期、(2)食品を咀嚼して唾液と混ぜ合わせ、飲み込みやすい性状にする準備期(咀嚼期)、(3)飲み込み始めの嚥下口腔期、(4)飲み込んでから食塊が咽頭を通る咽頭期、そして(5)食塊が咽頭を通り過ぎて食道を通る食道期である⁴⁾。経管栄養を選択された患者は、これらの行程をすべてスキップして高カロリー輸液などが直接胃や腸に流し込まれる。私たちの食欲や空腹感は視床下部の摂食中枢や満腹中枢などで制御されており、これらの神経活動が「食べたい」、「食べたくない」という情動を沸き立たせるが、その活動は基本的には

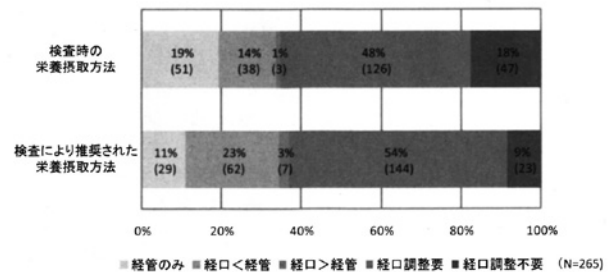


図2 高齢者施設における経口摂取や食形態の現状と真の摂食機能との解離

施設入居者(男性139名、女性126名、平均75.5歳)に対して嚥下内視鏡検査を施行した。検査時の栄養摂取方法(上)と検査によって導き出された推奨される栄養摂取方法(下)との間に不一致を生じている例が要介護度の高い群と低い群で多かった。³⁾より引用。

血中の糖分やホルモン濃度などに依存する。空腹とは、実際には、血糖値などの情報が視床下部に到達して頭で感じるものであり、文字通り「お腹がすいた」ことを感じているわけではない。つまり、経管栄養を介して十分な栄養が血中に与えられれば「空腹」は補完されていることになる。しかし、食事内容を見て、嗅いで、触ることによる情報が脳皮質に集められること、過去に食べたものであるかどうかの情報が海馬から前頭前野を介して集められること、おいしそうなのだから「食べたい」、「食べたくない」、という感情を大脳辺縁系の扁桃体が制御すること、食べる行為の前から条件反射によって唾液を分泌するだけでなく、消化管の動きや消化液の分泌をも促すことなど、これらすべての機能は「口から食べる・飲む」ことを抜きには語れない。そして何といたっても食べたことで得られる「のど越し」の感触や満足感は、内因性のモルヒネ物質であるβエンドルフィンなどを放出させて脳内の報酬系を活性化しさらなる食欲をもたらす。また、家族・友人とともに食事を摂ることで得られる幸福感をもつて、「食べた」という行為が完結する。口から食べる行為が奪われる、というのは上記すべてを失うことを意味する。すなわち、食べることは栄養摂取や水分補給という動物にとって生きていくための最低限の手段だけではなく、私たちがヒトとして生きる意味をもたせる大きな鍵となっている。

III. 摂食行動に関与する神経・筋機構と運動

摂食機能を、食物を口の中に取り込んだ後の咀嚼から嚥下過程を通して考える。食物粉碎と唾液混合によ

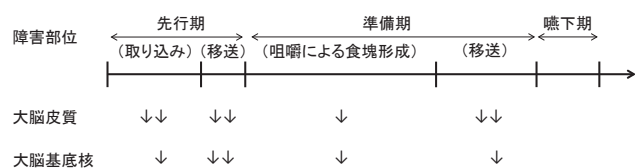


図3 摂食過程における上位脳の働きと障害による影響の概念図

全行程を先行期における食物の取り込みと臼歯部への食物移送、準備期における咀嚼と口腔内後方部への移送、嚥下期と分けた時に、大脳皮質、大脳基底核の障害がどこに影響するか、その程度はどれほどのものかを概念図で示した。

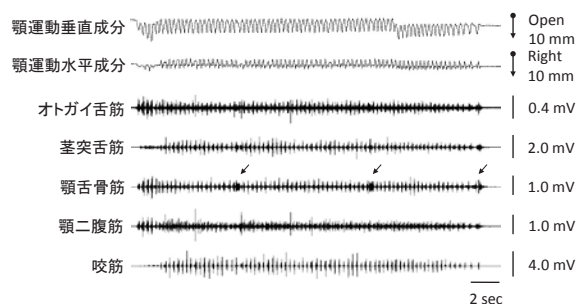


図4 動物の咀嚼・嚥下記録

固形飼料摂取時の顎運動ならびに筋電図の同時記録。一連の咀嚼過程は片側で行われており、嚥下をきっかけに咀嚼側を乗り換える。矢印は嚥下期を示す。¹³⁾より引用(一部改変)。

る食塊形成を目的とする咀嚼運動を担う中枢部位は、(1) 食べ物を口に置いて臼歯部に送り込み、咀嚼運動を開始させる準備をする大脳皮質や連絡する大脳基底核などの皮質下領域、(2) 咀嚼などのリズムカルな運動を行うための指令を出力する大脳皮質咀嚼野、(3) リズムを直接作り出している脳幹の働きによる。摂食時における咀嚼や食塊の口腔内移送における大脳皮質や大脳基底核の重要性は古典的な神経生理学的研究によって明らかにされてきた。大脳皮質咀嚼野の連続刺激によって、麻酔動物においても容易に咀嚼様運動が引き起こされること⁵⁾、サルにおいて外側中心前皮質を両側性に破壊すると食塊の口腔内移送が障害されること⁶⁾、同部位の一過性の障害は咀嚼行動のパターン変化や時間の延長をもたらす、嚥下時の運動パターンをも変化させるものの、その機能は代償性に維持すること^{7,8)}、ウサギの皮質咀嚼野を両側性に破壊すると自ら摂食行動を開始せず、咀嚼時間は延びるものの咀嚼運動パターンに変化はないなどの所見^{9,10)}は、「口腔内への取り込みがうまくできない」、「咀嚼はできるが嚥下ができない」などの大脳皮質における脳血管疾患患

者の臨床症状に類似した所見である。また、大脳基底核が障害されたパーキンソン病における摂食困難例では、咀嚼開始時における食べ物の口腔内移送に問題を来すことが問題となるが、これは、ウサギにおいて大脳基底核内の神経活動の多くが食物の取り込みから咀嚼開始に至る過程において重要であるという報告内容にも一致する¹¹⁾。これらの基礎実験においては、多少の不一致な結果などを包含するものの、大脳皮質や皮質下領域における多くの嚥下障害は、末梢刺激によって引き起こされる嚥下反射の問題ではなく、咀嚼時における食塊形成から口腔内移送、そして嚥下反射に至るまでの感覚・運動の統合機能が問題であることが示唆される(図3)。

咀嚼時、特にヒトにおいては顎口腔顔面領域の多くの筋が食塊の性状や大きさ、味、または食塊の位置の変化に従い、サイクルごとに少しずつその活動パターンを変化させる。動物とヒトの咀嚼を比べると、面白いことに動物は一連の咀嚼から嚥下までの運動の間、ほぼ片側で咀嚼を続け、その運動パターンも一定^{12,13)}なのに対して(図4)、ヒトは左右で交互に咀嚼していることが分かる。健康者を対象とした実験では固形物の自由咀嚼と片側咀嚼時を比べると、一定の条件下では嚥下に至るまでの咀嚼回数は前者の方が10%ほど低く、また食塊の粉碎能力も高いことが示されている^{14,15)}ことから、少なくとも人間では食物を粉碎する咀嚼運動が左右均等に行われることが大切なのである。

咀嚼運動に関わる基本的な末梢の神経・筋機構については、これまでも多くの成書にその詳細が解説されており本稿では省略するが、リズムカルな運動を形成するだけであれば、大脳皮質咀嚼野と脳幹があれば十分であるのに対して、食塊の存在をその食感、味などを通して堪能しながらスムーズな咀嚼を全うすることは脳機能を含めた全身機能であるとの認識が必要である。

IV. そして嚥下

咀嚼によって食塊形成を終えた後に、嚥下反射が引き起こされる(図5)。その第一段階である嚥下口腔期は、食塊を咽頭へ送り出す時期であり、舌の蠕動様運動によって食塊移送が始まる。すなわち、口蓋前方部に接している舌尖部から舌の上方部への運動が始まり、舌と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ゆき、食塊が舌の形態に沿って後方へと押し込まれる。これに伴い、表情筋による口唇閉鎖や頬の内側への押し付け、咀嚼筋による顎の固定、舌骨上筋群による舌骨挙上などが観察される。また、口蓋筋や咽頭筋は食塊を咽頭に送り込む際、

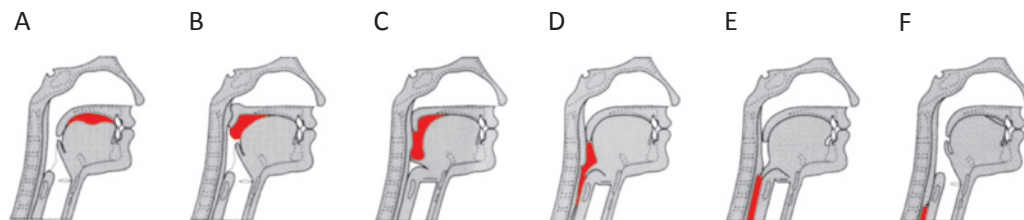


図5 咀嚼期から嚥下期における食塊（赤で示す）の位置
A, 準備期; B, 嚥下口腔期; C, D, 嚥下咽頭期; E, F, 嚥下食道期。
嚥下開始と同時に、舌、軟口蓋、喉頭蓋、喉頭、食道入口部が円滑な食塊の移送と気道の保護のために働く。

口腔と鼻咽腔の遮断に働く（鼻咽腔閉鎖）。口腔期に続く嚥下の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と咽頭収縮筋の蠕動様運動、喉頭の挙上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。食塊が食道の入り口を通過する時には、この部を形成している輪状咽頭筋が約 500 ミリ秒間完全に弛緩し、食塊の通過後に強く収縮する。輪状咽頭筋は安静時には一定の収縮力を保ち、食塊の逆流を防いだり、空気の食道内流入を防ぐ役割ももつ。咽頭期におけるこれら一連の運動は、わずか 1 秒足らずで行われる。また、嚥下時には呼吸停止と声門閉鎖が認められ、誤って喉頭に落ち込んだ食塊や唾液が気管に入り込むのを防ぐ役割を果たす。

食塊を口腔から咽頭、食道を経て胃まで移送する広義の嚥下に対して、嚥下反射による咽頭移送の時期を狭義の嚥下、または嚥下咽頭期と呼ぶ。嚥下反射そのものは随意性にも末梢性にも引き起こすことができることから、半自働運動と捉えられている。嚥下咽頭期の重要性は 3 つの視点からとらえることができる。一つ目は、栄養摂取のために食塊を口腔から食道へと移送する消化管活動の 1 ステージ、二つ目はこの期に起こりうる誤嚥の防止、三つ目は食塊が咽頭を通る際に感じる、いわゆる「のど越し」の感覚である。嚥下反射発現に直接関わっているのは脳幹の延髄にある一連の細胞集団であり、嚥下中枢と呼ばれる（図 6）。その局在は、延髄の孤束核や疑核とその周囲部であり、食塊や唾液による咽頭、喉頭などへの機械感覚、味覚に加えて水分子などによる化学刺激によってその活動が始まり、興奮が閾値を越えると、ししおどしのように、嚥下反射を一気に発動させる。嚥下咽頭期に働く筋活動は嚥下中枢の制御のもとに全か無かの法則に従うものの、その活動パターンは通過する食塊物性や嚥下咽頭期の末梢刺激によって変調を受けるとされる¹⁶⁾。ヒトを対象として嚥下時に活動する筋活動を記録した多くの研究でも、食塊の違いによりその活動を変化させ

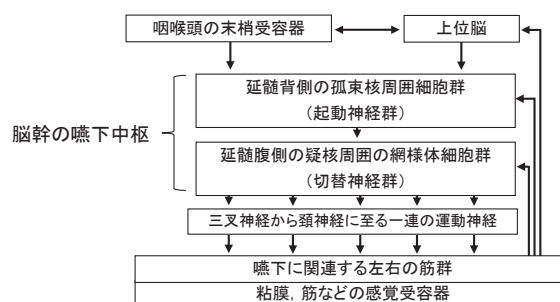


図6 嚥下中枢
脳幹延髄の嚥下中枢には背側と腹側の神経群があり、前者は嚥下運動を誘発するのに直接関わり、嚥下の流れを作り出すのに対して、後者は嚥下パターンを各運動神経に配分する役割をもつとされる。¹⁶⁾より引用（一部改変）。

る（図 7）ことが報告されている¹⁷⁻¹⁹⁾。これらの結果は、嚥下咽頭期における筋活動や運動パターンは、一定の範囲では末梢の環境変化に対して高い適応性をもつことを強く示唆するものである。しかし、嚥下反射に関わる左右の筋は 20 対以上に及ぶとされており、運動自体は一旦始まると途中で止めることはできないこと、その運動パターンは嚥下中枢の制御下で随意性のコントロールが困難なことが、嚥下咽頭期障害に対する治療手段の獲得を難しくしており、危険回避のための代償手段に頼らざるを得ないのが現状である。

孤束核の細胞集団の中には呼吸運動、体温調節機構、循環器系など、自律神経系の活動を制御するものが多く存在している。中でも、嚥下時の呼吸停止は中枢性に引き起こされており、呼吸と嚥下のタイミング取りをして食塊が喉頭や気道に落ち込まないようにするために重要である。ヒトでは、嚥下後の呼吸が呼気からスタートすることが多いとされる²⁰⁾（図 8）。嚥下後に息を吸って咽頭に残った食塊を誤嚥しないために合理的であるとされるが、その神経調節機構の詳細は明らかでない。呼吸と嚥下の協調を加齢変化の観点から見た時に、加齢に伴う呼吸頻度の上昇、嚥下時無呼

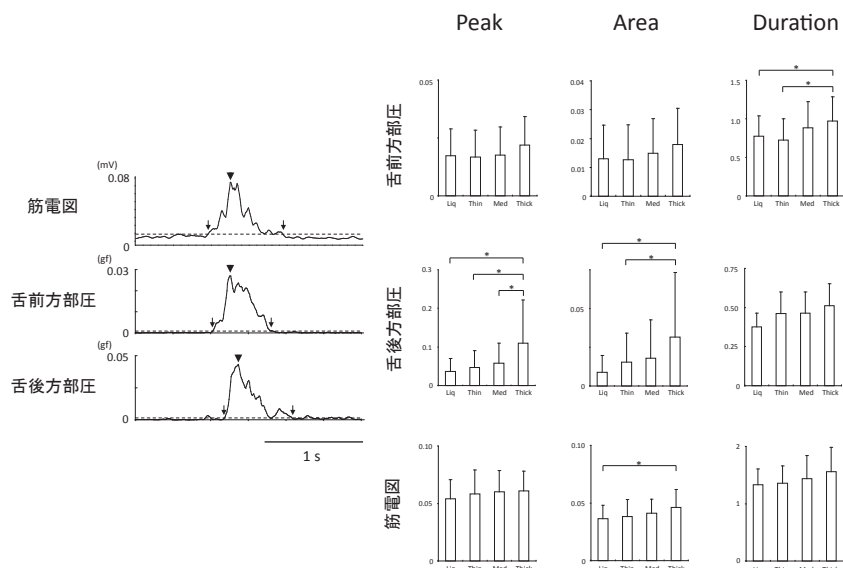


図7 液体から硬めの寒天ペーストという異なる食塊を嚥下した際の舌圧および筋電図記録

筋電図は舌骨上筋群より導出，舌圧は硬口蓋前部ならびに後部より導出した。左は波形の一例を示す。食塊が硬くなる（グラフ左から右へ）に従い，筋電図，舌圧前部，後部では異なる変調を示しており，舌圧前部がその活動時間を延長させるのに対して，舌圧後部は主にピークや積分値の増加が認められている。¹⁷⁾より引用（一部改変）。

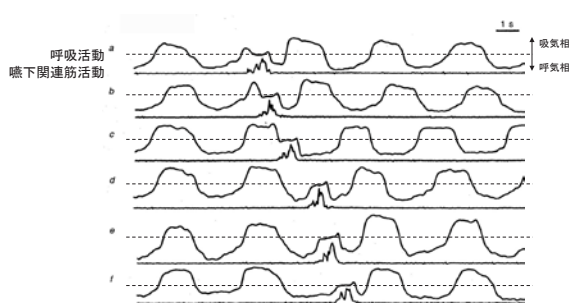


図8 呼吸と嚥下の協調

嚥下はさまざまなタイミングで引き起こされている（a-fは同一人物の呼吸と嚥下の活動例）。嚥下前の呼吸リズムはa-fで一致しているが，嚥下後はずれている。吸気相に嚥下が引き起こされても（a-c）呼吸相であっても（d-f）嚥下後の呼吸リズムは新たに呼吸相から作られている。²⁰⁾より引用（一部改変）。

吸時間の延長が認められ，これが呼吸と嚥下の協調関係を崩す危険をはらむとの報告がある²¹⁾。一方，呼吸器疾患に伴う嚥下障害患者の嚥下時食塊移送と舌骨の動きを調べた我々の研究では，嚥下反射誘発に伴う舌骨移動には健常若年者との違いを認めなかった（未発表データ）。呼吸機能と嚥下機能には多くの共通する器官が関わっており，また，それぞれの中枢からの支配もオーバーラップする。しかし，ヒトの嚥下は胎生12週以降には確認されており，この時期にはまだ呼吸がみられないことから，嚥下と呼吸の協調は生後発育

の中で獲得してゆくのかも知れない。この点において，呼吸と嚥下の協調性には可塑性があり，呼吸訓練が摂食・嚥下リハビリテーションには有効な手段となり得る。

意識的な嚥下運動の発現に関わるのは大脳皮質などの上位脳である。古典的な電気生理学的手法に加えて，近年，脳機能を可視化するfMRIやPET，MEGなど研究技術の発達により，運動野や咀嚼野と呼ばれる運動に特化した領域以外に，前頭弁蓋部，前帯状皮質，後帯状皮質，島皮質なども関わるということが明らかとなってきた²²⁻²⁵⁾。これらの領域の活動は利き手とは関係なく左右差をもつともいわれる^{26, 27, 25, 28)}。前帯状皮質は多くの機能を持つ部位で，その一部は情動に関係している²⁹⁾。さらに，無意識な唾液嚥下時と意識的な嚥下や水嚥下時には前帯状皮質内の異なる部位が活動することが示されており，嚥下運動の区別をこの領域で制御していると思われる。後帯状皮質は，感覚の統合，記憶との関連も深いことから，嚥下に先立つ食物認知機構に関与していると考えられる。島前部は大脳皮質運動野や嚥下中枢との神経連絡がある。島は一次味覚野の一部として味を感じる機能をもつ他，内臓運動・感覚や発声運動制御に関与すると考えられ，嚥下時の活動は左右差を認めるらしい（図9）。我々の実験においても，島皮質の連続電気刺激が嚥下反射のみを容易に誘発でき，さらに島皮質誘発性と末梢性の嚥下では，嚥下関連筋活動に違いが認められている（未発表デー

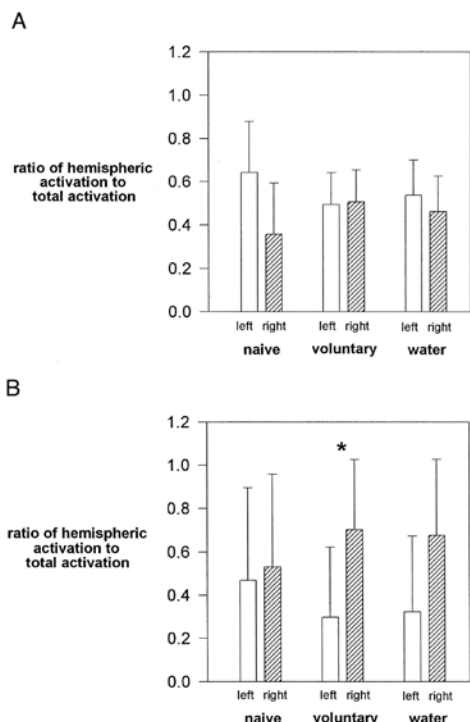


図9 嚥下時の皮質活動の左右差
fMRIにより検証された外側中心前皮質(A)と島皮質(B)の嚥下時活動。不随意の嚥下反射時(naive)にも皮質活動が観察されるが、この時に左右差は認められないのに対して、唾液の随意嚥下時(voluntary)には島皮質において右側有意に活動が認められた。²⁵⁾より引用。

タ)。いずれにしても、島皮質は脳皮質から嚥下中枢への出力を送る最も重要な部位の一部と考えられ、摂食・嚥下リハビリテーションにおける味刺激の効果には期待がもてるということである。

日常において、嚥下中枢の活性化をもたらすのはほぼ末梢刺激である。動物実験においても、片側の感覚神経(上喉頭神経)を電気刺激することで両側性に一連の嚥下運動を引き起こすことが可能である。このことは、末梢であれ上位中枢であれ、片側性の嚥下中枢への入力が増えれば嚥下反射誘発は可能であることを示唆する。しかし臨床現場では、片側の脳皮質に障害をもつ患者においても重篤な嚥下障害(嚥下反射誘発の遅延)が認められることがある。障害をもつ片側半球は、健側によって代償される可能性があることから²⁶⁾、皮質性の嚥下障害にあっても、上位脳への働きかけは重要であることが示唆される。

V. 咀嚼の重要性

一連の摂食行動にとって、咀嚼運動がいかに重要であるかを考えたい。咀嚼は一義的には食物の粉碎にあ

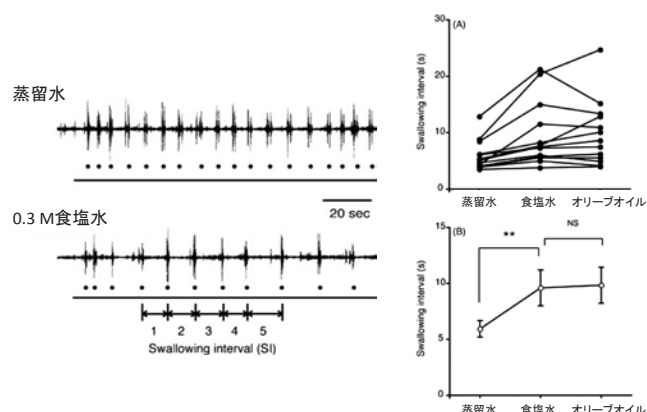


図10 蒸留水嚥下時随意性嚥下促進
左；蒸留水および高濃度(0.3 M)食塩水を咽頭に微量注入(0.2 ml/分)した時の随意性嚥下のしやすさの変化。記録は舌骨上筋筋電図。
右；5回の嚥下間隔の平均値を蒸留水、食塩水、オリーブオイルと比較したところ、蒸留水嚥下時の嚥下間隔が最も短かった。極微量のオリーブオイルは水刺激にも機械刺激になっていないことに注意。³⁰⁾より引用(一部改訂)。

ることに疑問の余地がない。しかし、それだけを考えると、咀嚼力が低下した患者や認知症などにより咀嚼運動に問題があると判断された患者にはペーストやミキサー食が安全、という短絡的な結論にいたってしまう。これらの食事は「飲み込みやすい」「丸飲みできる」という危険回避的な発想で用意されたものであり、近年、消費者庁から呈示された特別用途食品である「えん下困難者用食品」の表示許可基準もこれに基づくコンセプトを感じる(http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin625_2.pdf)。

咀嚼時には様々な刺激により唾液分泌量が劇的に増加する。咀嚼時の唾液は、味覚によって生じる味覚唾液反射、咀嚼中の歯(歯根膜)への刺激によって生じる咀嚼唾液反射、食塊が食道を刺激することによって生じる食道唾液反射に加えて、耳下腺、舌下腺、顎下腺、口蓋や頬粘膜などが刺激されることで導管から直接分泌されるものもある。このことは、咬筋をよく使う＝よく咬むことで末梢性にも反射性にも唾液分泌が促される。唾液は、本来の機能である消化、潤滑、抗菌、緩衝、保護、抗脱灰、洗浄、味覚発現などの作用に加えて、唾液の99%を占める水がもたらす嚥下反射誘発の役割も果たす^{30,31)}ことも期待させる(図10)。

咀嚼時に味覚や嗅覚がもたらす役割も重要である。咀嚼時に食べ物を粉碎して唾液と混ぜ合わせて食塊を形成する際には味覚や嗅覚が発生する。味覚には甘み、塩味、酸味、苦味、旨味の5つの基本味があり、これ

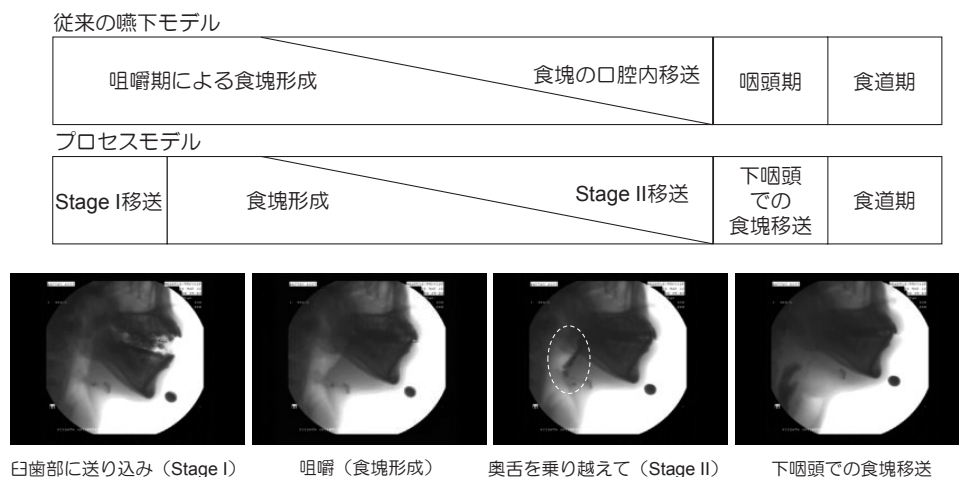


図 11 プロセスモデルで示す固形物咀嚼時の食塊の流れ

従来の嚥下モデルでは、咀嚼中の食塊形成や移送は口腔内で行われており、嚥下反射が始まってから咽頭へと流れるとされてきた。しかし、プロセスモデルによれば、口腔内への食物の取り込みと臼歯部への移送 (Stage I 移送) に続く咀嚼時には、食品は粉碎に伴う食塊形成と同時に咽頭へと流れ込み (Stage II 移送)、嚥下反射惹起時には、すでに下咽頭に流れ込んでいる。

らの入力に延髄孤束核に伝えられる。この部位は、生命維持に必要な基本的な機能 (植物機能) の中枢を多く含むことから、「味」もまた生命を守るために必要な感覚のひとつと捉えられる。実際、味覚入力は唾液や消化液の分泌を促したり、糖を分解するインシュリンの分泌を促進するほか、味を識別するための大脳皮質味覚野や情動系を支配する視床下部、扁桃核といった様々な部位に伝えられることにより、間接的に咀嚼を促し、摂食行為を後押しすると期待される。また、嗅覚と味覚は大脳眼窩回で統合されて、いわゆる食べ物の風味を構成している。ちなみに、鼻腔感覚でも、わさびの「つん」とした味わいや、温かい食べ物から発する湯気などが鼻腔を通して刺激しているのは三叉神経第一枝である眼神経であり、機械感覚である。ヒトは外部からの情報の 7 割を視覚から得ているといわれるが、視力が弱った高齢者であっても、味細胞ならば約 10 日、嗅細胞は約 1 か月間隔で絶えず再生を繰り返して機能しており、いつまでも若い細胞が働いている。これらの情報が要介護高齢者にとって重要であるとされる理由である。唾液分泌量が年齢に依存するかどうかについては議論されるところであるが³²⁻³⁸⁾、補綴治療によって咬合力を回復させることは刺激時唾液のみならず安静時唾液の分泌量をも回復させることから³⁹⁾、咀嚼力と唾液分泌の深い関連は摂食機能を担う歯科にとっては重要なテーマである。

VI. 咀嚼・口腔機能と嚥下・咽頭機能

近年、咀嚼時には食塊の一部はすでに咽頭に流れ込み、口腔と咽頭で食塊形成が行われている (咀嚼におけるプロセスモデル) ことが明らかとなり (図 11)、咀嚼・嚥下や嚥下の口腔期、咽頭期を食塊の位置のみで定義できなくなってきた⁴⁰⁻⁴²⁾。続いて、咀嚼時に嚥下反射を引き起こす条件、咀嚼時の食塊の咽頭への流れ込みの機能的意義について考え、咀嚼と嚥下の機能連関について整理する。

咽頭を通過する食塊の物性や量に対する特性については諸説あるが、一般的には個人で決まった範囲の量と食塊物性があるとされている。ところで、咀嚼から嚥下運動という一連の流れの中では、私たちは無意識のうちに嚥下している。このことから、嚥下閾値なるものが存在するか否かは、嚥下中枢を活性化する随意性と不随意性の 2 系統の入力 (図 6) に対して食塊がどのように作用するかを別々に評価しなければいけないことを示唆する。随意性嚥下時には、主に口腔内に貯留した食塊物性を認知することによって嚥下できるかどうかを判断する。食塊を認知し、その物性や量を捉えて嚥下できるかどうかを判断するという点では、個人の嚥下閾値が存在するかも知れない⁴³⁾。一方、咀嚼中は、主に食塊や唾液による末梢刺激によって反射性 (不随意性) の嚥下反射が惹起されている。咀嚼中の嚥下反射惹起を決める要素としては、口腔・咽頭内の食塊物性、咽頭内への食塊の流れ込みの位置と量、

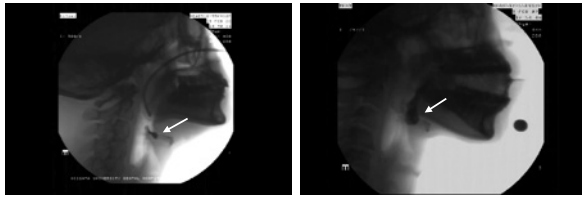


図 12 模擬唾液 (1 ml) の刺激と咀嚼時の食塊停滞
喉頭蓋谷への模擬唾液刺激では潜時 1 秒で嚥下反射が容易に惹起されるのに対して (左), 咀嚼中の同部位への食塊刺激では嚥下までの 6-10 秒, 食塊停滞が観察される (右). 咀嚼中は, 喉頭蓋谷への刺激が嚥下反射を直ちに引き起こさない。

咽頭への化学的刺激などを考えなければいけない。唾液嚥下については、咽頭・喉頭内に水にのみ特異的な応答を示す受容器の存在が示唆されており、これが唾液嚥下に関わる個人差を反映するものと推測されている (図 10)。嚥下咽頭期における生体応答は、単なる運動ではなく、感覚・運動の統合機能として理解されなければいけないが、未だ多くの不明な点が残されている。

ここでひとつの疑問が生じる。それは咽頭への刺激は通常嚥下反射を誘発するにも関わらず、咀嚼時に食塊が咽頭に流れ込んでも嚥下反射がなかなか起きないということである (図 12)。咀嚼運動、口腔内の食塊の存在や、これによる歯根膜への末梢刺激のいずれかが、嚥下反射の誘発を抑えているのか？もしそうだとすればなぜか？この疑問を解くために、我々は受動的に引き起こした嚥下反射惹起の変調を調べた。独自に作製した刺激電極を用いて咽頭への連続電気刺激が随意性嚥下を有意に促進すること、または一定時間で効果的に嚥下反射を誘発することを確認後に、安静時、無味無臭のガム咀嚼時に刺激を与えて嚥下反射の誘発回数を比較したところ、安静時に比べて咀嚼時の嚥下回数は有意に減少した (図 13)。過去に、麻酔動物を対象とした実験において、皮質誘発性のリズム性顎運動時に嚥下反射の誘発が抑えられるという知見が報告されている^{44, 45)}ものの、咀嚼時には嚥下反射が抑制される現象を定量的に評価できた最初の報告といえる。しかし、これだけでは咀嚼行為が嚥下反射誘発を変調したのか、もしくは口腔内に食塊があることが原因なのかが分からない。そこで麻酔下の動物を用いて、皮質誘発性の咀嚼様運動を引き起こし、上喉頭神経の電気刺激による嚥下反射誘発が抑制されることを確かめた上で、木製バーを咀嚼側に挿入し、口腔内の刺激を強めたところ、抑制効果に変化がなかった⁴⁶⁾。このことは、口腔内への刺激の大小ではなく、咀嚼行為その

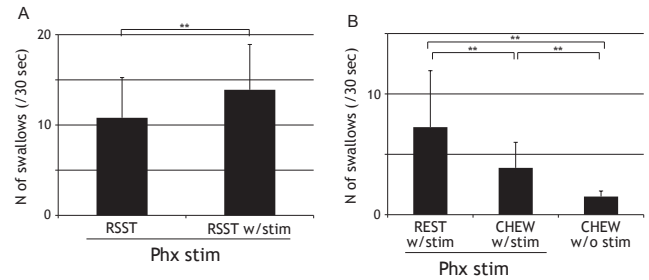


図 13 咀嚼時の嚥下反射誘発の抑制。

A；咽頭への電気刺激により随意性嚥下を促進することを確認した。咽頭電気刺激をしながら 30 秒間の随意性嚥下回数を計測すると、刺激なし時 (RSST w/o stim) に比べて刺激時 (RSST w/ stim) の嚥下回数は有意に増加した。
B；A で用いた咽頭刺激を用いて、刺激を安静時 (REST w/ stim)、咀嚼時 (CHEW w/ stim) に与えた (B)。対照として、咀嚼時刺激なし (CHEW w/o stim) も行った。安静時に比べて、咀嚼時の嚥下反射の誘発回数は有意に減少した。* $P < 0.01$ 。

ものが咀嚼と嚥下の協調にとって重要であることを強く示唆する。安静時では嚥下反射を誘発する末梢刺激が、咀嚼運動時には直ちに嚥下を引き起こす有効な刺激とならないことが生理学的にどのような意味をもつのかについては不明なままである。いずれにしても、咀嚼と嚥下はそれぞれ独立した食塊処理の機能ではなく、互いの機能に影響しながら両立していることは明らかであり、このことは嚥下障害の臨床においても十分に深く考慮されるべきである。

上述した「えん下困難者用食品」は、いわゆる嚥下障害に対して提供されるべき食品物性の基準を定めたものである。そこでは、軟らかいこと、粘りけがないこと、まとまりやすいこと、一部では性状が均一であることなどが条件として挙げられており、これらを踏まえた食品物性の指標として硬さ、凝集性、付着性、粘性などの一定の数値が提供されている。しかし、実際にこれらの数値を適用しようとする、多くの食品がゼリー状になり、丸飲みに近い動作による摂取が可能な状態の食品となる。言い換えれば、嚥下障害者は咀嚼をスキップして丸飲みできればよいという考え方であり、患者が咀嚼機能をどの程度有しているかが考慮されていないことになる。「楽に飲み込める」ことが「安全に飲み込める」ことではなく、嚥んで飲み込むという過程を経るからこそ、私たちの食生活は満たされることを、歯科の立場から発信しなければいけない。歯科や咀嚼などの口腔機能を含めた摂食機能を正しく評価した上で、食の QOL をより高めるためには、既存の嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査などのみに頼る

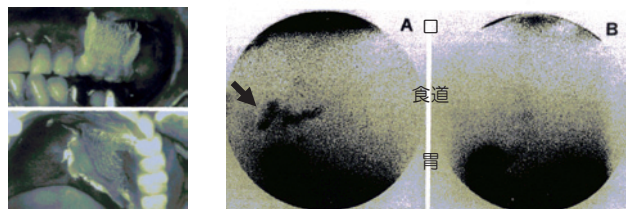


図 14 肺炎既往者の夜間誤嚥比較
インジウムを含んだガーゼを歯科用接着材ユニファーストにて義歯などに固定し (左), 夜間の記録をしたところ, 肺炎既往者では誤嚥を確認した (右図 A の矢印) のに対して健常者では認められなかった (B). ⁴⁷⁾より引用 (一部改変).

ことなく, さらに食品工学, 医学的知識や個人の尊厳といった要素も十分考慮されなければならない。

VII. 口腔ケアの意義

これまでの, 摂食・嚥下とその障害を運動機能の点から解説してきた。最後に, 摂食・嚥下リハビリテーションに欠かせない口腔ケアの意義について解説を加える。

口腔ケアの主たる目的が口腔内の衛生状態の改善にあることはいうまでもない。しかし, それだけが目的であれば, 寝たきりで食事をされていないとか, 口腔乾燥がみられない高齢者の口腔ケアはさほど必要ないと思われてしまうかも知れない。しかし, ことに要介護高齢者における口腔ケアには, 冷水によって与えられる温度刺激効果, それにより覚醒を促し嚥下の意識化を強める効果, さらに食べたり話したりという機会が減ってしまった口腔顔面筋をマッサージする効果があり, その結果, 唾液分泌の促進, 鋭敏な口腔感覚の保持などが期待できるのである。以上のことは, 経口摂取がかなわない人, すなわち日常で「食べる」ことや「話す」機会が減ってしまった要介護高齢者にこそ必要な口腔ケアがあることを強く意味している。

高齢者に多い肺炎の原因として, 夜間の唾液誤嚥に注目している報告がある。肺炎を発症した高齢者と健常者を対象として, 放射性同位元素を含んだガーゼを口腔内に固定したまま就寝してもらい, 次の日に特殊なカメラで肺を観察して放射性同位元素が肺に落ち込んでいるかどうかを調べたところ, 肺炎発症者の 70% に夜間の唾液誤嚥が観察できた (図 14) のに対して, 実は健常者でも 10% に誤嚥がみられたという⁴⁷⁾。唾液の分泌は夜間に減少し, 逆に口腔内の細菌繁殖は盛んになる。また, 睡眠時には全身の機能とともに, 嚥下反射にいたる感覚・運動機能も低下することから, 誤嚥物があっても反応しない (不顕性誤嚥) ことも考えられ

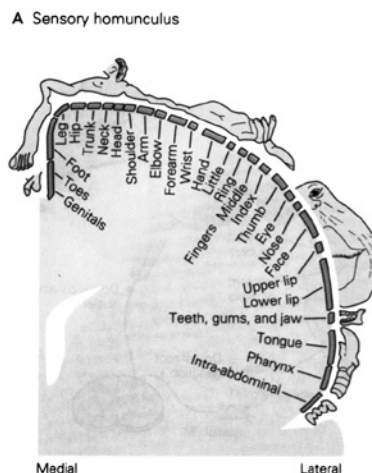


図 15 大脳皮質一次体性感覚野のホムンクルス
感覚領域のほぼ 4 分の 1 を顎口腔顔面が占めている。⁴⁸⁾より引用 (一部改変)。

る。睡眠時の口腔内の環境の良し悪しによって肺炎の発症が影響されることに注意しなければいけない。

三叉神経に支配される口腔領域は, 身体の中でも非常に鋭敏である。口腔ケアに伴う刺激が, 機械刺激, 温度刺激, その他の機能を有する刺激となって脳の様々な部位の活性化に貢献することを意識すべきである。温度刺激という点において, 口腔ケア時に冷水を使うことなどから, 臨床的には, 嚥下障害における口腔ケアとアイスマッサージが同時に行われることもある。アイス = 冷たい刺激という意味では, 口腔内に冷刺激を行うことは生理学的に重要な意味をもつ。本来, 温度を受容する感覚としては冷覚と温覚がある。口腔内に占める両者の割合を点の数として比較すると, 冷点のほうが温点よりも多い。すなわち, 冷たいもののほうが温かいものより感じやすいことが分かる。アイスマッサージというならば, 冷たければ冷たいほうがよいのか, というと神経反応はそれとは異なる。すなわち, 冷たい刺激に応じる冷受容器の応答は 25-30 度で最大になり, 一方温かい刺激に応じる温受容器の応答は 40-45 度で最大になる。15 度以下や 45 度以上で感じているのは, 冷感や温感ではなく, 痛みの受容器が発する感覚であり, 冷痛や熱痛となるので注意が必要である。しかし, 実際には唾液などの緩衝作用が働くので, これらの刺激も一過性となって生体を痛めることなくそれぞれの温度刺激となる。唾液分泌が減少している症例では, 唾液の緩衝作用が働かない可能性も頭に入れる必要があるだろう。

口腔感覚が鋭敏であることは, 大脳皮質の感覚領域に占める顎口腔顔面領域の広さからもうかがえる⁴⁸⁾ (図

15). 大脳皮質を活性化して、刺激を受けたという信号をより効果的に、より多く伝えなければ口腔内を刺激するのが最も効果的ということになる。近年、口腔ケアや口腔内への冷刺激が高次機能にどのような影響をもたらすかについて、画像解析によって評価を行う研究者が出てきた^{49, 28)}。口腔機能を担う歯科医が、口腔のみを診る限りにおいては、既存の歯科治療で十分かも知れない。また、誤嚥、窒息を防ぎたいという思いで嚥下内視鏡や嚥下造影検査のみを施行するのであれば、リハビリテーション医や内科医などと変わらない。口腔機能を全身機能ととらえること、「食べる」ことは栄養摂取だけでない人間としての尊厳を含むQOLを支えるものであることを考えた上で、これからの超高齢社会を支える歯科治療のあり方を考えながら摂食・嚥下障害に対する臨床に取り組んでほしいと願う。

文献

- 1) 向井美恵, 金子芳洋. ヒストリカルレビュー—歯科領域, 日摂食嚥下リハ会誌 2005; 9: 17-22.
- 2) Yoneyama T, Yoshida M, Matsui T, Sasaki H. Oral care and pneumonia. Oral Care Working Group. Lancet 1999; 354: 515.
- 3) 服部史子, 戸原 玄, 中根綾子, 大内ゆかり, 後藤志乃, 三串伸哉ほか. 在宅および施設入居摂食・嚥下障害者の栄養摂取方法と嚥下機能の乖離. 日摂食嚥下リハ会誌 2008; 12: 101-108.
- 4) Leopold NA, Kagel MC. Swallowing, ingestion and dysphagia: a reappraisal. Arch Phys Med Rehabil 1983; 64: 371-373.
- 5) Nakamura Y, Katakura N. Generation of masticatory rhythm in the brainstem. Neurosci Res 1995; 23: 1-19.
- 6) Larson CR, Byrd KE, Garthwaite CR, Luschei ES. Alterations in the pattern of mastication after ablations of the lateral precentral cortex in rhesus macaques. Exp Neurol 1980; 70: 638-651.
- 7) Narita N, Yamamura K, Yao D, Martin RE, Masuda Y, Sessle BJ. Effects on mastication of reversible bilateral inactivation of the lateral pericentral cortex in the monkey (*Macaca fascicularis*). Arch Oral Biol 2002; 47: 673-688.
- 8) Narita N, Yamamura K, Yao D, Martin RE, Sessle BJ. Effects of functional disruption of lateral pericentral cerebral cortex on primate swallowing. Brain Res 1999; 824: 140-145.
- 9) Enomoto S, Schwartz G, Lund JP. The effects of cortical ablation on mastication in the rabbit. Neurosci Lett 1987; 82: 162-166.
- 10) Inoue T, Kato T, Masuda Y, Nakamura T, Kawamura Y, Morimoto T. Modifications of masticatory behavior after trigeminal deafferentation in the rabbit. Exp Brain Res 1989; 74: 579-591.
- 11) Masuda Y, Kato T, Hidaka O, Matsuo R, Inoue T, Iwata K, et al. Neuronal activity in the putamen and the globus pallidus of rabbit during mastication. Neurosci Res 2001; 39: 11-19.
- 12) Thexton AJ, McGarrick JD. The electromyographic activities of jaw and hyoid musculature in different ingestive behaviours in the cat. Arch Oral Biol 1994; 39: 599-612.
- 13) Inoue M, Harasawa Y, Yamamura K, Ariyasinghe S, Yamada Y. Effects of food consistency on the pattern of extrinsic tongue muscle activities during mastication in freely moving rabbits. Neurosci Lett 2004; 368: 192-196.
- 14) 金田 恒, 木戸寿明, 河野正司. 咀嚼機能における片側咀嚼と自由咀嚼の比較. 顎機能誌 1997; 4: 91-98.
- 15) 本間和代, 河野正司, 本間済, 櫻井直樹. 自由咀嚼と片側咀嚼の機能的差異の検討. 補綴誌 2005; 49: 459-468.
- 16) Jean A. Brain stem control of swallowing: neuronal network and cellular mechanisms. Physiol Rev 2001; 81: 929-969.
- 17) Sugita K, Inoue M, Taniguchi H, Ootaki S, Igarashi A, Yamada Y. Effects of food consistency on tongue pressure during swallowing. J Oral Biosci 2006; 48: 278-285.
- 18) Taniguchi H, Tsukada T, Ootaki S, Yamada Y, Inoue M. Correspondence between food consistency and suprahyoid muscle activity, tongue pressure, and bolus transit times during the oropharyngeal phase of swallowing. J Appl Physiol 2008; 105: 791-799.
- 19) Tsukada T, Taniguchi H, Ootaki S, Yamada Y, Inoue M. Effects of food texture and head posture on oropharyngeal swallowing. J Appl Physiol 2009; 106: 1848-1857.
- 20) Paydarfar D, Gilbert RJ, Poppel CS, Nassab PF. Respiratory phase resetting and airflow changes induced by swallowing in humans. J Physiol 1995; 483: 273-288.
- 21) 鎌倉やよい, 杉本助男, 深田順子. 加齢に伴う嚥下時の呼吸の変化. 日摂食嚥下リハ会誌 1998; 2: 13-22.
- 22) Hamdy S, Mikulis DJ, Crawley A, Xue S, Lau H, Henry S, et al. Cortical activation during human volitional swallowing: an event-related fMRI study. Am J Physiol 1999; 277: G219-225.
- 23) Hamdy S, Rothwell JC, Brooks DJ, Bailey D, Aziz Q, Thompson DG. Identification of the cerebral loci processing human swallowing with H2(15)O PET activation. J Neurophysiol 1999; 81: 1917-1926.
- 24) Martin RE, Goodyear BG, Gati JS, Menon RS. Cerebral cortical representation of automatic and voli-

- tional swallowing in humans. *J Neurophysiol* 2001; 85: 938-950.
- 25) Martin RE, Kemppainen P, Masuda Y, Yao D, Murray GM, Sessle BJ. Features of cortically evoked swallowing in the awake primate (*Macaca fascicularis*). *J Neurophysiol* 1999; 82: 1529-1541.
 - 26) Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Crone R, Hughes D, Tallis RC, et al. Explaining oropharyngeal dysphagia after unilateral hemispheric stroke. *Lancet* 1997; 350: 686-692.
 - 27) Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Singh KD, Barlow J, Hughes DG, et al. The cortical topography of human swallowing musculature in health and disease. *Nat Med* 1996; 2: 1217-1224.
 - 28) Teismann IK, Steinstrater O, Warnecke T, Suntrup S, Ringelstein EB, Pantev C, et al. Tactile thermal oral stimulation increases the cortical representation of swallowing. *BMC Neurosci* 2009; 10: 71.
 - 29) West RA, Larson CR. Neurons of the anterior mesial cortex related to faciovocal activity in the awake monkey. *J Neurophysiol* 1995; 74: 1856-1869.
 - 30) Yahagi R, Okuda-Akabane K, Fukami H, Matsumoto N, Kitada Y. Facilitation of voluntary swallowing by chemical stimulation of the posterior tongue and pharyngeal region in humans. *Neurosci Lett* 2008; 448: 139-142.
 - 31) Kitada Y, Yahagi R, Okuda-Akabane K. Effect of stimulation of the laryngopharynx with water and salt solutions on voluntary swallowing in humans: characteristics of water receptors in the laryngopharyngeal mucosa. *Chem Senses* 2010; 35: 743-749.
 - 32) Heft MW, Baum BJ. Unstimulated and stimulated parotid salivary flow rate in individuals of different ages. *J Dent Res* 1984; 63: 1182-1185.
 - 33) Navazesh M, Mulligan RA, Kipnis V, Denny PA, Denny PC. Comparison of whole saliva flow rates and mucin concentrations in healthy Caucasian young and aged adults. *J Dent Res* 1992; 71: 1275-1278.
 - 34) Shern RJ, Fox PC, Li S. H. Influence of age on the secretory rates of the human minor salivary glands and whole saliva. *Arch Oral Biol* 1993; 38: 755-761.
 - 35) Percival RS, Challacombe SJ, Marsh PD. Flow rates of resting whole and stimulated parotid saliva in relation to age and gender. *J Dent Res* 1994; 73: 1416-1420.
 - 36) Wu AJ, Baum BJ, Ship JA. Extended stimulated parotid and submandibular secretion in a healthy young and old population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995; 50A: M45-48.
 - 37) Yeh CK, Johnson DA, Dodds MW. Impact of aging on human salivary gland function: a community-based study. *Aging* 1998; 10: 421-428.
 - 38) Fischer D, Ship JA. Effect of age on variability of parotid salivary gland flow rates over time. *Age Ageing* 1999; 28: 557-561.
 - 39) 池邊一典. 高齢者の唾液分泌障害と口腔機能. In: 野首孝祠, editor. 咬合・咀嚼が創る健康長寿. 吹田: 大阪大学出版会; 2007. p. 69-76.
 - 40) Palmer JB, Rudin NJ, Lara G, Crompton AW. Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia* 1992; 7: 187-200.
 - 41) Thexton AJ. Mastication and swallowing: an overview. *Br Dent J* 1992; 173: 197-206.
 - 42) Palmer JB, Hiimae KM, Matsuo K, Haishima H. Volitional control of food transport and bolus formation during feeding. *Physiol Behav* 2007; 91: 66-70.
 - 43) 島田久寛, 谷口裕重, 井上 誠. 随意嚥下閾値に関わる食塊の物性. *日摂食嚥下リハ会誌* 2010; 14: 106-15.
 - 44) Lamkadem M, Zoungrana OR, Amri M, Car A, Roman C. Stimulation of the chewing area of the cerebral cortex induces inhibitory effects upon swallowing in sheep. *Brain Res* 1999; 832: 97-111.
 - 45) Zoungrana OR, Lamkadem M, Amri M, Car A, Roman C. Effects of lingual nerve afferents on swallowing in sheep. *Exp Brain Res* 2000; 132: 500-509.
 - 46) Tsujimura T, Tsuji K, Ariyasinghe S, Fukuhara T, Yamada A, Hayashi H, et al. Differential involvement of two cortical masticatory areas in modulation of the swallowing reflex in rats. *Neurosci Lett* 2012; 528: 159-164.
 - 47) Kikuchi R, Watabe N, Konno T, Mishina N, Sekizawa K, Sasaki H. High incidence of silent aspiration in elderly patients with community-acquired pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150: 251-253.
 - 48) Amaral DG. Integration of sensory and motor function: The association areas of the cerebral cortex and the cognitive capabilities of the brain. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (eds.). *Principles of neural science*, McGraw-Hill, 2000.
 - 49) Michou E, Mastan A, Ahmed S, Mistry S, Hamdy S. Examining the role of carbonation and temperature on water swallowing performance: a swallowing reaction-time study. *Chem Senses* 2012; 37: 799-807.

著者連絡先: 井上 誠

〒951-8514 新潟市中央区学校町通 2-5274

Tel/Fax: 025-227-0733

E-mail: inoue@dent.niigata-u.ac.jp