

一 総説 一

口腔機能をスキャンする

堀 一浩, 村上和裕, 大川純平, 吉村将悟

新潟大学大学院医歯学総合研究科包括歯科補綴学分野 (主任: 堀 一浩教授)

Scan oral functions

Kazuhiro Hori, Kazuhiro Murakami, Jumpei Okawa, Shogo Yoshimura

Division of Comprehensive Prosthodontics, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences (Chief: Prof. Kazuhiro Hori)

令和6年4月30日受付 令和6年5月7日受理

キーワード: 口腔機能, 評価, 舌圧, 咀嚼行動

Key words: Oral Function, Assessment, Tongue Pressure, Mastication behavior

【はじめに】

高齢人口の急速な増加に伴い、本邦は超高齢社会を迎えている。高齢者は自身の歯を多く残すようになってきているが、高齢人口が増えているために、歯を失い義歯を使用する高齢者は依然として多くみられる。また、歯を失うだけでなく、口腔周囲器官の筋力や巧緻性の低下などにより、咀嚼嚥下発音などの口腔機能が低下している高齢者も存在する。特に咀嚼嚥下機能の低下は、重症であれば誤嚥性肺炎や窒息などの重篤な症状を引き起こす。また軽度の機能低下においても摂取する食品の種類や摂取量が少なくなるなど、栄養摂取に問題が起きる可能性がある。古くより粉碎能力に注目して咀嚼機能の評価が行われてきたが、摂食には舌をはじめとした軟組織も重要な役割を果たしている。そのような観点から、近年では口腔機能低下症やオーラルフレイルが注目され、舌や口唇などの動きや筋力を測定する手法が検討されてきた。

我々は、咀嚼嚥下をはじめとした口腔機能を評価する手法を開発検討し、報告してきた。本総説では、我々が報告してきた口腔機能を評価する手法について紹介し、その内容について解説する。

【舌圧測定】

舌は、咀嚼嚥下発音時に重要な役割を果たしている。特に、舌は口蓋と接触することによりその機能を発揮することが多いことから、舌と口蓋との接触圧、つまり舌圧を測定する試みが行われてきた。我々も舌圧測定に注目して、圧力センサ埋入した実験用口蓋床を用いて健常若年者の嚥下時¹⁾・咀嚼時²⁾の舌圧を測定した。この圧力

センサを埋入した口蓋床は、精密に舌と口蓋との接触様相を測定することができるものの、製作には個々の被験者にあわせた非常に複雑かつ精密な工程を必要とするため多大な時間とコストが必要であった。そこで、既製品として口蓋に貼付して簡便に使用でき、しかも馴化期間を要さない舌圧測定装置として、ニッタ株式会社と共同で舌圧センサシート (swallow scan, ニッタ) を開発した³⁾。舌圧センサシートは、厚さ約 0.1mm と非常に薄く、5か所の感圧点を持つ。5か所の感圧点の詳細を図1に示しており、口腔内の解剖学的な指標を参照として、Ch1は正中前方部、Ch2は正中中央部、Ch3は正中後方部、Chs4,5は側方後方部に位置するように設計されている。本センサシートは義歯用接着剤を用いて直接口腔内に貼付することができるため、特別なアライアンスを製作する必要はない。また、導線を最後方臼歯の遠心を通すことにより、被験者は咬合することができ、咀嚼運動や押しつぶし運動が阻害されることはない。センサシートの大きさは3種類あり、被験者の口蓋の大きさに合わせて貼

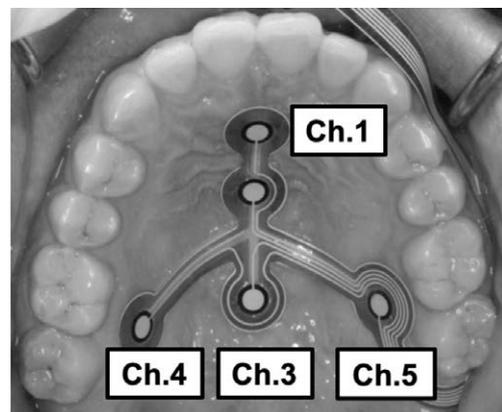


図1 swallow scan センサシートと感圧点

付する。口腔内に貼付してからキャリブレーションを行うことにより、センサの個性や口蓋の形態などによる計測誤差を可及的に減らすようにしている。このセンサシートは、伝導性のインクが印刷された2枚の薄いシートにより作られており、圧が加わるときの抵抗の変化をスキャンすることにより圧を測定する。さらに、本システムには同期信号を発生する機構が付随しており、それを用いて様々な測定装置との同期計測を行うことができる。感圧部位の設定については、実験用口蓋床ほど厳密な規格性はないが、我々は実験用口蓋床と同様に口蓋各部の舌圧パター

ン（発現順序、持続時間、最大値）の評価が可能でありその舌圧計測結果もほぼ同等であることを確認した³⁾。

我々は、本舌圧計測システムを活用することにより、咀嚼嚥下時の舌運動の詳細な解析や、食品のテクスチャーと生体運動との関連性の分析、嚥下障害を有する各種疾患の臨床データの収集が可能になると考え、これらの結果を報告してきた。

咀嚼嚥下時の生理学的な舌運動の解析においては、舌圧だけでなく様々な装置と同時に計測することが有用であった。舌圧と嚥下造影との同時測定の結果を図2に示

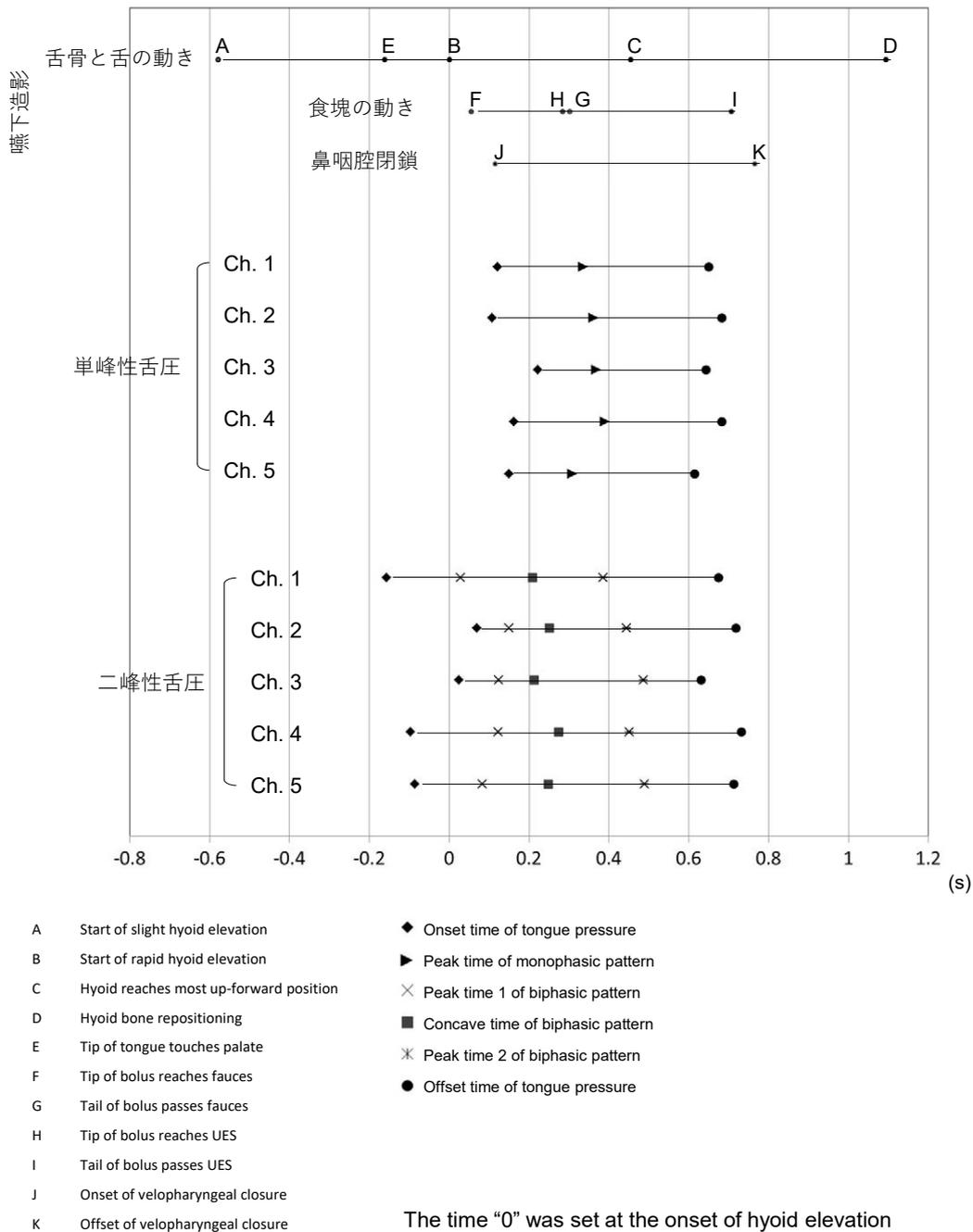
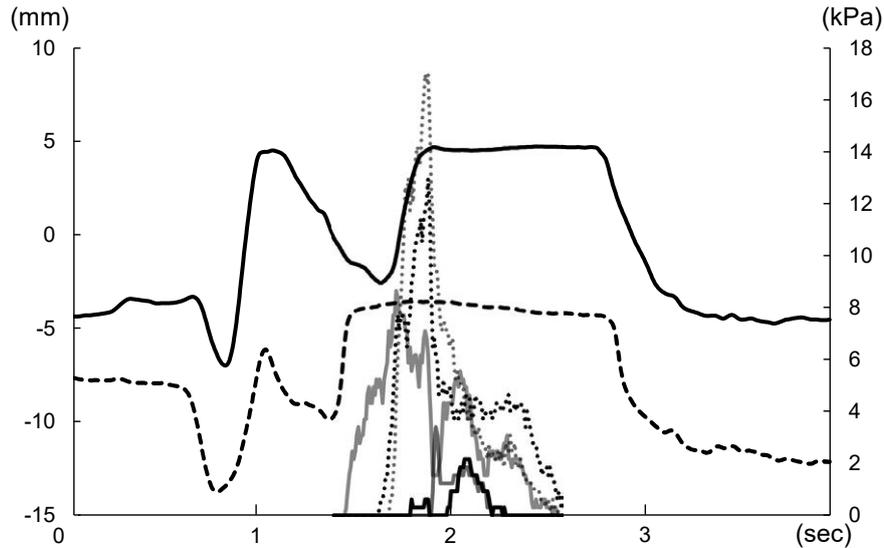


図2 舌圧、嚥下造影の同時測定結果



舌運動：----- 舌前方部 —— 舌後方部
 舌圧：—— Ch.1 —— Ch.2 —— Ch.3 Ch.4 Ch.5

図3 舌運動と舌圧の同期波形例

す⁴⁾。若年健常者15名(平均年齢 27.3 ± 2.5 歳)を対象とした4mlバリウム嚥下の結果から、嚥下時の舌圧は単峰性と二峰性の2種類が観察され、正中前方部のCh1、後方側方に設置されたChs4,5には二峰性の波形が多く見られた一方で、正中後方に設置されたCh3には単峰性の波形が多かった。単峰性の波形は、二峰性の波形と比べて開始が遅く、嚥下動作の開始を原点とした時間軸上において二峰性の2つめの波形とほぼ重なっていた。一般的に、舌は前方部のCh1もしくは左右側方部のChs4,5から接触を開始し、最後に正中後方部にあるCh3が接触する。このように、舌が食塊を保持して送り込む動作を行っていることが舌圧発現様相にも現れている。水嚥下時の液体量は、この舌圧発現様相に影響を与えており、摂食量が少ない時にはChs4,5の開始が早くなった⁵⁾。一方、嚥下造影で観察すると、舌骨は嚥下時にはまずゆるやかに、次に急速に上方に挙上し、その後前方へ移動して、嚥下終了後元の位置に復位する。嚥下造影と舌圧を同時記録して分析したところ、Ch1の舌圧開始は舌骨のゆるやかな挙上開始時とほぼ同時であり、Chs4,5の消失は舌骨が最前上方位をとる期間と関係していた⁴⁾。

さらに、我々は舌運動を3次的にモーションキャプチャすることができる電磁アーティキュログラフ(EMA)との同時計測システムを構築した⁶⁾。舌圧は、舌と口蓋が接触している時間のみ発現する一方、EMAは舌と口蓋が接触する前後の舌の動きを観察することができる。健常成人男性12名(平均年齢 30.8 ± 4.2 歳)を対象に3ml液体嚥下時のEMAと舌圧との同時

計測を行った⁶⁾。その結果、まず嚥下動作開始時から舌は全体的に降下を開始し、最降下点に達した後挙上に転じ、最上昇点で一旦停止した。この動きは、口腔底にある食塊を舌によりすくいあげている動作と考えられた。その後、さらに再度降下して最降下点に至ると、再度急速に挙上して口蓋接触開始点に至った。この際、舌前方部と舌後方部には時間的な差異があり、舌が食塊を咽頭方向へ送り込んでいる動きをしていた。口蓋と舌が接触している間、舌にはほとんど動きは見られないが、舌圧が発揮され、舌圧消失後に舌は降下して安静位に復位した(図3)。

これらのことより、二峰性の舌圧の最初の波形、また単峰性においてもChs1,4,5の開始からCh3までの開始の時間帯は主に送り込みに関与しており、舌圧の後半は咽頭期嚥下中に持続していることが示唆された。また、舌が食塊を送り込む働きをしているだけでなく、咽頭期、つまり食塊が咽頭を通過している間も食塊が逆流してこないように持続して働いていると推測された。

嚥下障害患者に対しては、歯でかむことなく、舌で押しつぶして摂取することのできる介護食などのムース状やゼリー状の食品が提供されることが多い。舌で押しつぶして摂取する際には舌圧が発現する。そこで我々はゲル試料を舌で押しつぶして摂取する際の舌圧の分析を行った⁷⁾。押しつぶし動作は、嚥下までの間に複数回行われ、その動作回数は、ゲルが硬く、大きいほど多くなった。また、その動作中にも咽頭へ食塊が送り込まれている様子が嚥下内視鏡検査にて観察できた(図4)。これは、咀嚼嚥下におけるStage II Transportと似たような運

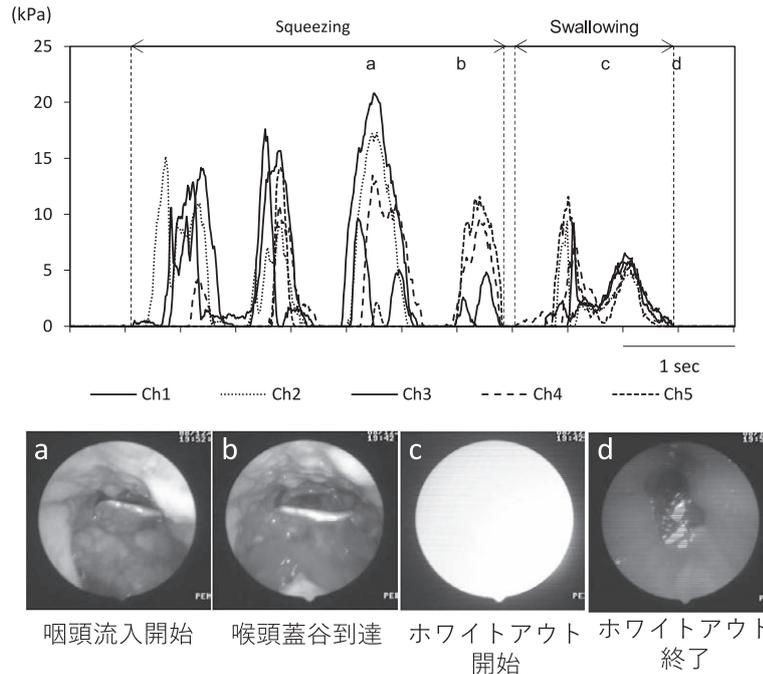


図4 ゲル試料押しつぶし時の舌圧波形例と嚥下内視鏡画像

動が起こっているものと考えられた。さらに、舌が緊張してゲルを押しつぶして口蓋と接触する様相を観察すると、その時の舌圧は、正中中央部 (Ch2) から発現を開始し、そののち前後正中部 (Chs1, 3) が続き、最後に側方後方部 (Chs4, 5) の舌圧が発現した。これらの動きは嚥下時・咀嚼時の舌圧発現様相とは異なるものであり、機能特異的な舌の動きを表していた。また、ゲルの硬さに応じて押しつぶし舌圧は高くなったが、舌圧発現の勾配を変えるのではなく押しつける時間を調整してゲルを破壊していた。このように舌の動きを定量的に表現することは、食品摂取に関わる口腔機能を評価する上で有力なパラメータになるとともに、食品の性状・物性と関連づけて考察することは食品開発にも有効であろう。

口腔内の器質的、機能的な疾患は舌運動に影響を与える。これまでに、高齢者⁸⁾や全部床装着患者⁹⁾の他に、脳血管障害患者^{10,11)}やパーキンソン病患者^{12,13)}、筋ジストロフィー患者¹⁴⁾、開咬症患者¹⁵⁾、骨格性下顎前突症患者^{16,17)}などを対象とした報告を行っている。脳血管障害患者の嚥下時舌圧測定では、脳卒中急性期患者64名を対象に嚥下時舌圧測定を行い、嚥下障害と舌圧発現様相の異常との関連について検討した¹⁰⁾。脳血管障害患者に見られる異常波形として、舌圧の発現と消失のタイミングが各部位で異なる「非同期性パターン」と、舌圧のピークが3つ以上見られる「多峰性パターン」が認められた。この2種類の異常パターンの出現率を経口摂取不可と診断された嚥下障害群 (n=33) と非嚥下障害群 (n=31) との間で比較したところ、嚥下障害を予

測する敏感度は前者では63%、後者では87%で、特異度は前者では91%、後者では71%であった。また、各感圧部位における舌圧最大値を嚥下障害の有無で比較したところ、嚥下障害群はすべての部位において非嚥下障害群と比べて舌圧が小さく、特に後方周縁部の麻痺側において低下していた。

また、パーキンソン病患者における計測¹²⁾では、30名 (男性14名、女性16名、平均年齢69.4歳) のパーキンソン病患者のデータを健常高齢者と比較した。その結果、舌圧は健常高齢者ではまず正中前方部 (Ch1) より発現し、次いで左右周縁部 (Chs4, 5) と正中中央部 (Ch2)、そして最後に正中後方部 (Ch3) の順に発現したのに対し、パーキンソン病患者では、正中中部における順序性 (Ch1 → Ch2 → Ch3) の消失や、正中中部 (Chs1, 2, 3) もしくは左右周縁部 (Chs4, 5) のいずれか片方にしか舌圧が発現しない症例が見られた。これら異常パターンの出現率は、重症度が高くなるにつれて上昇する傾向が見られた。また、パーキンソン病患者の舌圧最大値は、健常高齢者と比較して、ほとんどの部位で有意に小さかった。

このような舌圧測定による機能時の舌運動の解析や嚥下障害の徴候の解析は、咀嚼嚥下障害の治療における診断の効率化やリハビリテーションの効果の判定だけでなく、口腔機能に応じた介護食の開発などさまざまな可能性が考えられる。

【咀嚼行動評価】

咀嚼とは、食物を摂取して粉碎し、だ液と混和して食塊を形成することである。健全な咬合支持を維持し必要な歯科治療を行うことにより咀嚼能力を改善すれば、食物を効率よく粉碎して、良好な食塊を作ることができる。一方で、食物を十分な回数を伴って咀嚼して良好な食塊を形成することも重要である。近年、食生活の変化によって咀嚼回数が減っていることが指摘されており、それに伴う「早食い」が肥満・糖尿病などの生活習慣病に与える影響が報告されている^{18,19)}。実際の臨床においても食事に関する行動療法の一つとして咀嚼法の指導が行われることがある。しかし、いまだに実効性を伴う行動変容効果が得られているとは言えない。その原因は、いくつか考えられるが、最も大きな問題は、日々の食事をモニタするツールがないことであり、そのために咀嚼回数に関するエビデンスが不足しているため、確固たる目標を持った指導プログラムが立案できず、仮に指導を受けても自身の咀嚼回数を把握することができないため、目標に到達したかどうかすらわからない。

このボトルネックを解決するためのデバイスとして、シャープ株式会社は耳掛け式の咀嚼回数計（bitescan[®]、図5）を開発し、我々とともに研究を進めてきた。Bitescan[®]は、被験者の右耳にかけることにより咀嚼運動をモニタリングする。咀嚼運動時には下顎骨の関節頭が前方へ動き、その際に、耳介裏部分の皮膚の形状が変化する。本デバイスは、先端に赤外線距離センサを備えており、耳介裏部の形状変化をスキャンしている。様々な耳介の大きさや形状に対応できるように3種類の大きさのパーツ（S, M, L）があり、被験者に合わせて適切なサイズのものを選択する。一般的に、耳介の大きさは学童期以降に大きな変化はないと言われており、子供でも

計測が可能である。また、本デバイスには3次元加速度センサも備えており、食事中の姿勢や動きを検出することも可能である。本デバイスはスマートフォンとBluetoothを介して連携しており、データをリアルタイムで見ることや過去の結果との比較を行うことができる。

我々は、bitescan[®]の精度を検討したのち²⁰⁾、成人における咀嚼行動とBMIとの関連を検討した²¹⁾。対象は健常成人365名（男性203名、女性162名、平均年齢36.6 ± 12.1歳）とした。Bitescan[®]を装着させた状態でおにぎり1個（100g）を自由に摂取させ、咀嚼回数、咀嚼スピード、取込回数、咀嚼時間を計測した。また、グミゼリーの咬断片の表面積増加量を計測することで咀嚼能率を算出した。その結果、咀嚼回数は咀嚼スピード、取込回数、咀嚼時間との間に有意な正の相関を認めしたが、咀嚼能率との間には相関は認めなかった。また、BMIは咀嚼回数、取込回数、咀嚼時間、咀嚼能率との間に負の相関を認めしたが、咀嚼スピードとの間には有意な関連性は認めなかった。重回帰分析により、BMIは性別、年齢、咀嚼回数、咀嚼能率、歩行速度、取込回数と関連していることが認められた。これらの結果は、咀嚼行動と咀嚼能率が独立して肥満と関連していることを示したものであり、ひと口の取込量が少なく（取込回数が多く）、咀嚼回数が多いこととともに咀嚼能力が良いことが肥満ではないことと関連していた。

Bitescan[®]の優位性のひとつに対象者自身が装置を装着し、咀嚼行動を計測できる点がある。我々はこの利点を生かして日常の食事における咀嚼行動の計測を行った²²⁾。99名の健常成人（男性50名、女性49名、平均年齢36.4 ± 11.7歳）を対象に、研究室において100gのおにぎり摂取時の咀嚼行動を評価した。さらに、普段の生活の一日の食事における咀嚼行動と、食事内容についての分析を行った。その結果、研究室での咀嚼行動と日常の食事時の咀嚼行動には中等度の相関があり、環境が

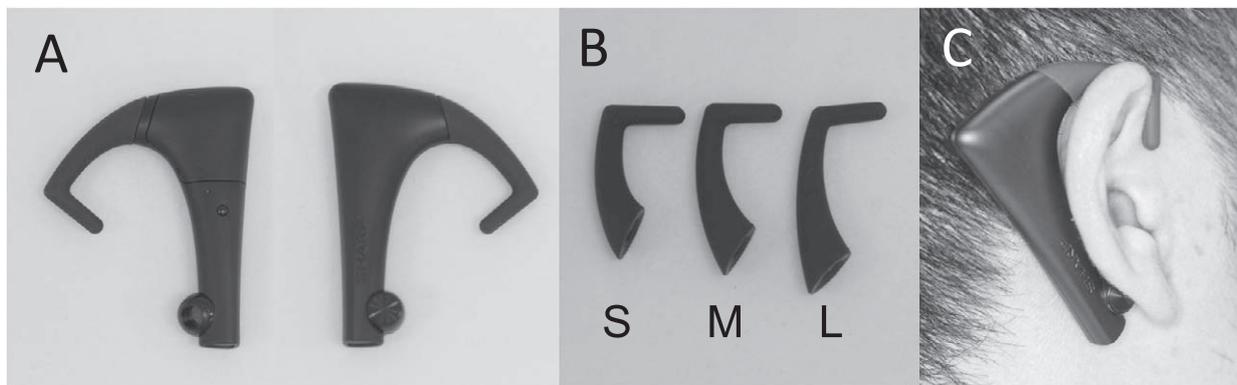


図5 bitescan[®]

- A：本体
- B：3種のイヤーフック
- C：bitescan[®]装着時



図6 bitescan[®] アプリケーション画面
 A : 食事開始時に目標咀嚼回数を提示する
 B : 食事中のリアルタイム咀嚼回数
 C : 食後咀嚼行動結果表示

変わっても咀嚼習慣はあまり変わらないことが示唆された。さらに、一日の食事量が多い対象者は一日の食事における咀嚼回数も多くなるが、摂取カロリーあたりの咀嚼回数は少ないことが明らかとなった。したがって、単位量あたりの咀嚼回数の多い者は食事摂取量が少なく、このことが過剰な食事摂取を抑制してBMIと関連する可能性が示唆された。

また、連携するスマートフォンにインストールされているアプリケーションを必要に応じて変更することもできる。我々は、よく噛むことを習慣づけるための咀嚼行動変容アプリケーション(図6)を考案し、その効果を検討するために健常成人を対象に4週間のランダム化比較試験を行った²³⁾。対象者をA・B・C群に分け、A群は初回時の咀嚼指導のみを受ける群とし、B・C群は、介入期間中bitescan[®]を使用する群とした。B群は毎食食事中にアルゴリズムなしのbitescan[®](食後のみ咀嚼回数を通知)を使用し、C群は咀嚼行動変容アルゴリズムありのbitescan[®](咀嚼回数の目標値を設定し、食事中にリアルタイム咀嚼回数を表示、目標達成時にはアラートを提示)を使用した。初回・再評価時に、おにぎり1個(100g)摂取時の咀嚼行動項目(咀嚼回数・食事時間)を測定し、介入前後における各項目の変化率を算出した。244名が本研究に応募し、最終的にA群78名、

B群77名、C群80名の計235名(男性:139名、女性:96名、年齢:35.0 ± 10.0歳)を分析対象とした。おにぎり摂取時咀嚼回数および食事時間ともに、介入前は3群間で有意差は認められなかったが、介入後は、C群はA群・B群と比べて、咀嚼回数は有意に多く、食事時間は有意に長くなった。また、介入前後の咀嚼回数変化率はC群がA群・B群と比較して、食事時間変化率はB群がA群と比べ、C群がA群・B群と比べ有意に大きい結果となった。これらのことよりウェアラブル咀嚼回数計を用いて咀嚼回数を意識させることに加え、行動変容アルゴリズムにより咀嚼回数目標値やその達成度を通知することで、効果的な咀嚼行動変容を促し、咀嚼回数増加に繋がることを示された。

【口腔機能評価の今後】

歯科治療の目標の一つは口腔機能の回復である。そのためには口腔機能を適切に評価する必要がある。これまで、簡便に行える口腔機能評価は少なく、広く定着することはなかった。しかし、口腔機能低下症に関する管理や有床義歯装着前後の咀嚼機能に関する評価が保険収載されるとともに、これらの検査は徐々に行われるようになってきている。今後高齢社会の進行とともに、歯科が

全身に与える影響を検討するために、さらに口腔機能評価は必要となるだろう。

口腔機能検査がより広く行われるためには、その手法が煩雑ではなく、行いやすく、結果の理解がしやすいものでなければならない。情報工学技術が進んでおり、モバイル機器などを用いてどこでも評価できる手法や、AIや機械学習応用して結果を提示する手法が開発されはじめている。

例えば我々は、グミゼリーを用いた咀嚼能力評価法について、咬断されたグミゼリーの写真を撮ることにより簡便かつ定量的にグミゼリー咬断片の表面積増加量を評価することができる画像法を開発した²⁴⁾。この手法は咀嚼したグミゼリー咬断片を規格箱に入れ、スマートフォンで写真を撮ることによりグミゼリーの表面積増加量を推定することができる。

また、スマートフォンで舌の写真を撮ることで舌苔評価を行うことができるアプリケーションの開発を行っている²⁵⁾。このアプリケーションでは、機械学習を用いて舌を同定するためのアルゴリズムと、舌苔を評価するアルゴリズムを組み合わせている。その結果、歯科医師が視覚的に評価する場合と遜色ない精度で舌苔付着度を評価できる様になった。

このような技術を用いることによりさらに口腔機能評価は身近になるであろう。また、モバイル機器を用いることにより、日常生活における介入や機能改善のためのアプローチが行えるようになると考えられる。また、患者にこれらの機器を用いて自身の口腔機能や習慣に興味を持たせることもできるかもしれない。これらの機器が医療機器として扱えるようになるためには医療機器等の法律が現在の状況に合致したものになることが望まれる。

上述したとおり、口腔機能評価は今後さらに必要とされるだろう。求められる口腔機能評価法を開発するとともに、使いやすく改変していくことが重要である。また、これらの手法を使用してもらえようようなビジネスモデルを検討することも必要である。さらに、検査結果を適切に解釈するためのデータを蓄積し、低下した口腔機能を回復するための治療やリハビリテーションの提案が今後求められる。

【文 献】

- 1) Ono T, Hori K, Nokubi T. Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia*, 19(4):259-64, 2004.
- 2) Hori K, Ono T, Nokubi T. Coordination of tongue pressure and jaw movement in mastication. *J Dent Res*, 85(2):187-91, 2006.
- 3) Hori K, Ono T, Tamine K, Kondo J, Hamanaka S, Maeda Y, Dong J, Hatsuda M. Newly developed sensor sheet for measuring tongue pressure during swallowing. *J Prosthodont Res*, 53(1):28-32, 2009.
- 4) Hori K, Taniguchi H, Hayashi H, Magara J, Minagi Y, Li Q, Ono T, Inoue M. Role of tongue pressure production in oropharyngeal swallow biomechanics. *Physiol Rep*, 1(6):e00167, 2013.
- 5) Hori K, Tamine K, Barbezat C, Maeda Y, Yamori M, Müller F, Ono T. Influence of chin-down posture on tongue pressure during dry swallow and bolus swallows in healthy subjects. *Dysphagia*, 26(3):238-45, 2011.
- 6) Shitara S, Fujiwara S, Okawa J, Kodama S, Hori K, Ono T. Coordination between lingual motion and pressure production during dipper/tipper type swallows. *J Oral Rehabil*, 47(12):1479-1488, 2020.
- 7) Hori K, Hayashi H, Yokoyama S, Ono T, Ishihara S, Magara J, Taniguchi H, Funami T, Maeda Y, Inoue M. Comparison of mechanical analysis and tongue pressure analyses during squeezing and swallowing of gel agents. *Food Hydrocoll*, 44:145-155, 2015.
- 8) Tamine K, Ono T, Hori K, Kondoh J, Hamanaka S, Maeda Y. Age-related changes in tongue pressure during swallowing. *J Dent Res*, 89(10):1097-101, 2010.
- 9) Kondoh J, Ono T, Tamine K, Fujiwara S, Minagi Y, Hori K, Maeda Y, Kreissl M, Nitschke I. Effect of complete denture wearing on tongue motor biomechanics during swallowing in edentulous older adults. *Geriatr Gerontol Int*, 15(5):565-71, 2015.
- 10) Konaka K, Kondo J, Hirota N, Tamine K, Hori K, Ono T, Maeda Y, Sakoda S, Naritomi H. Relationship between tongue pressure and dysphagia in stroke patients. *Eur Neurol*, 64(2):101-7, 2010.
- 11) Hirota N, Konaka K, Ono T, Tamine K, Kondo J, Hori K, Yoshimuta Y, Maeda Y, Sakoda S, Naritomi H. Reduced tongue pressure against the hard palate on the paralyzed side during swallowing predicts Dysphagia in patients with acute stroke. *Stroke*, 41(12):2982-4, 2010.
- 12) Minagi Y, Ono T, Hori K, Fujiwara S, Tokuda Y, Murakami K, Maeda Y, Sakoda S, Yokoe M, Mihara M, Mochizuki H. Relationships between dysphagia and tongue pressure during

- swallowing in Parkinson's disease patients. *J Oral Rehabil.* 45(6) :459-466, 2018.
- 13) Fukuoka T, Ono T, Hori K, Wada Y, Uchiyama Y, Kasama S, Yoshikawa H, Domen K. Tongue Pressure Measurement and Videofluoroscopic Study of Swallowing in Patients with Parkinson's Disease. *Dysphagia.* 34(1) :80-88, 2019.
 - 14) Hamanaka-Kondoh S, Kondoh J, Tamine K, Hori K, Fujiwara S, Maeda Y, Matsumura T, Yasui K, Fujimura H, Sakoda S, Ono T. Tongue pressure during swallowing is decreased in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord.* 24(6) :474-81, 2014.
 - 15) Kurihara K, Fukui T, Sakaue K, Hori K, Ono T, Saito I. The effect of tongue thrusting on tongue pressure production during swallowing in adult anterior open bite cases. *J Oral Rehabil.* 46(10) : 895-902, 2019.
 - 16) Sakaue K, Fukui T, Sasakura C, Hori K, Ono T, Saito I. Tongue pressure production during swallowing in patients with mandibular prognathism. *J Oral Rehabil.* 43(5) :348-55, 2016.
 - 17) Nagasaki T, Kurihara-Okawa K, Okawa J, Nihara J, Takahashi K, Hori K, Fukui T, Ono T, Saito I. Tongue pressure and maxillofacial muscle activities during swallowing in patients with mandibular prognathism. *J Oral Rehabil.* 2024. Epub ahead of print.
 - 18) Otsuka R, Tamakoshi K, Yatsuya H, Murata C, Sekiya A, Wada K, et al. Eating fast leads to obesity: findings based on self-administered questionnaires among middle-aged Japanese men and women. *J Epidemiol.* 16(3) :117-24, 2006.
 - 19) Maruyama K, Sato S, Ohira T, Maeda K, Noda H, Kubota Y, et al. The joint impact on being overweight of self reported behaviours of eating quickly and eating until full: Cross sectional survey. *Bmj.* 337: a2002, 2008.
 - 20) Hori K, Uehara F, Yamaga Y, Yoshimura S, Okawa J, Tanimura M, Ono T. Reliability of a novel wearable device to measure chewing frequency. *J Prosthodont Res.* 65(3) :340-345, 2021.
 - 21) Yoshimura S, Hori K, Uehara F, Hori S, Yamaga Y, Hasegawa Y, Akazawa K, Ono T. Relationship between body mass index and masticatory factors evaluated with a wearable device. *Sci Rep.* 12 (1) : 4117, 2022.
 - 22) Uehara F, Hori K, Hasegawa Y, Yoshimura S, Hori S, Kitamura M, Akazawa K, Ono T. Impact of Masticatory Behaviors Measured with Wearable Device on Metabolic Syndrome: Cross-sectional Study. *JMIR Mhealth Uhealth.* 10(3) : e30789, 2022.
 - 23) Hori S, Hori K, Yoshimura S, Uehara F, Sato N, Hasegawa Y, Akazawa K, Ono T. Masticatory Behavior Change with a Wearable Chewing Counter: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res.* 102(1) :21-27, 2023.
 - 24) Salazar S, Hori K, Uehara F, Okawa J, Shibata A, Higashimori M, Nokubi T, Ono T. Masticatory performance analysis using photographic image of gummy jelly. *J Prosthodont Res.* 64(1) :48-54, 2020.
 - 25) Okawa J, Hori K, Izuno H, Fukuda M, Ujihashi T, Kodama S, Yoshimoto T, Sato R, Ono T. Developing tongue coating status assessment using image recognition with deep learning. *J Prosthodont Res.* 2023. Epub ahead of print.