

先進医療に導入されたチェアサイドで簡便に行える咀嚼機能検査

志賀 博 日本歯科大学生命歯学部 歯科補綴学第1講座 教授
小林義典 日本歯科大学生命歯学部 歯科補綴学第1講座 主任教授

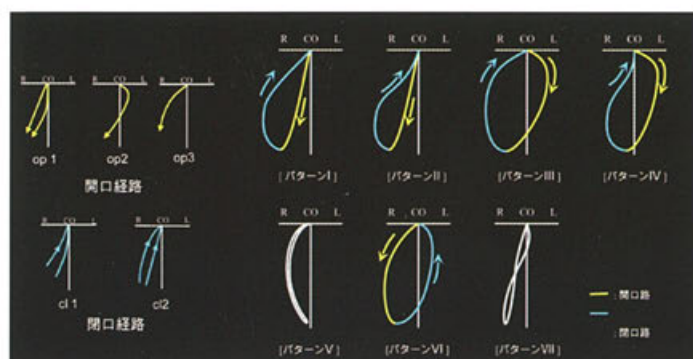


図1 パターン分類のための目録と咀嚼運動経路のパターン分類

分類のための目録 咀嚼運動経路のパターン分類

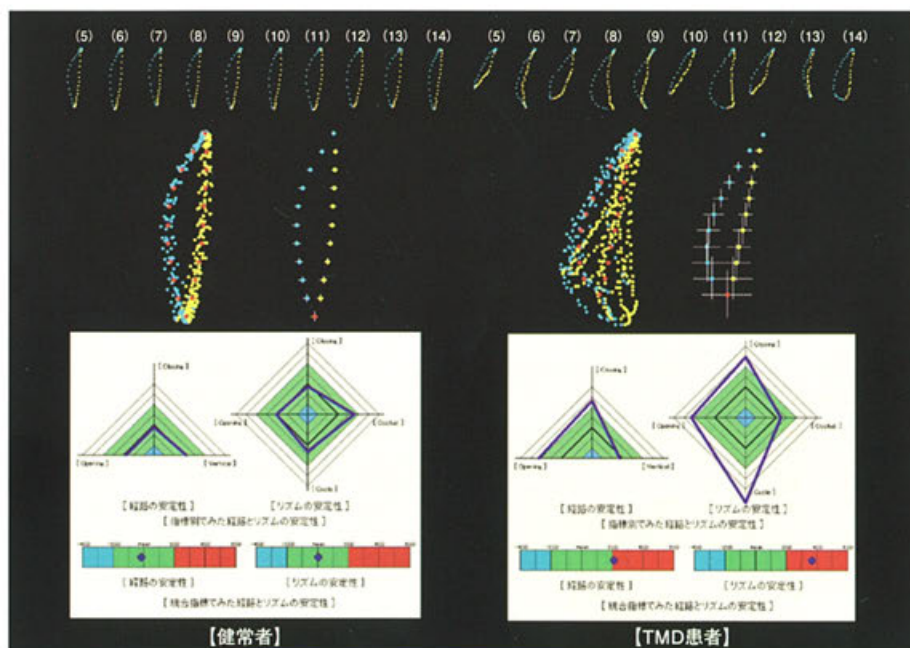


図2 健常者とTMD患者の咀嚼運動経路と安定性の評価 (右咀嚼, 咀嚼開始後5サイクルからの10サイクル)

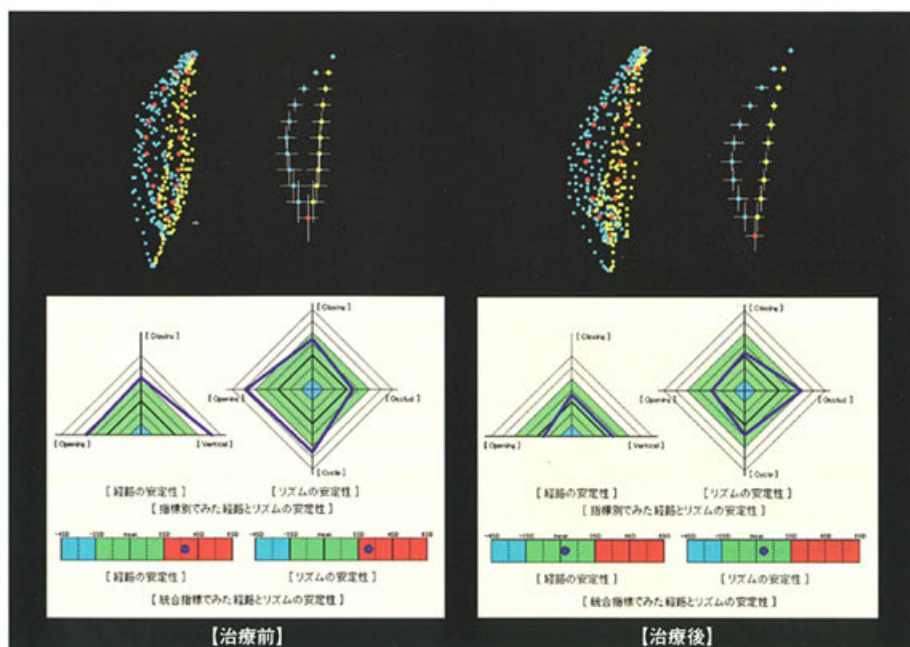


図3 TMD患者の治療後の咀嚼運動経路と安定性の評価 (右咀嚼, 咀嚼開始後5サイクルからの10サイクル)

先進医療に導入された チェアサイドで簡便に 行える咀嚼機能検査

志賀 博

日本歯科大学生命歯学部 歯科補綴学第1講座 教授

小林義典

日本歯科大学生命歯学部 歯科補綴学第1講座 主任教授

咬合問題や歯の欠損に伴う咀嚼障害を有する患者に応用でき、治療前の障害程度、治療後の回復程度、定期検査時の維持状況を客観的に評価できる咀嚼機能の検査法について解説する。

しが ひろし

■1979年 同志社大学工学部電子工学科 卒業
■1986年 日本歯科大学歯学部 卒業
■1990年 日本歯科大学大学院歯学研究科 修了
■2004年 日本歯科大学歯科補綴学第1講座 教授

こばやし よしのり

■1967年 日本歯科大学歯学部 卒業
■1971年 日本歯科大学大学院歯学研究科 修了
■1981年 日本歯科大学歯科補綴学第1講座 教授

はじめに

歯科臨床は、損なわれた咀嚼機能の回復とその維持を主な目的として標榜してきたが、肝心な咀嚼機能の診断は、一般に主観的または経験的な評価に拠っているのが現状である。もちろん、食品摂取のアンケート調査^{1,2)}、咀嚼能力³⁻⁵⁾、咬合力^{6,7)}、咬合接触面積^{8,9)}、咀嚼筋筋活動¹⁰⁾、咀嚼運動¹¹⁻¹⁶⁾などの分析が試みられ、少なからぬ成果も報告されている^{11,12,11)}が、操作や分析の煩雑性、装置の経済性、あるいは分析の妥当性や信頼性の面などでさらなる検討の余地が残されている。

これらをふまえ、筆者らは、臨床の現場で簡便に活用できる客観的な咀嚼機能検査法として、咀嚼運動の分析による下顎運動検査法とグミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の分析による咀嚼能力検査法を開発した。これらは、装置が小型・軽量かつチェアサイドでの応用が容易であり、短時間で咬合・咀嚼機能を客観的に評価できる方法として、平成23年3月に有床義歯装着患者に対し、先進医療（技術名：有床義歯補綴治療における総合的咬合・咀嚼機能検査）として採用された。

そこで、両検査法について、あらましを説明してみたい。

1. 咀嚼運動の分析による下顎運動検査

咀嚼運動は、脳幹のパターンジェネレータによって基本的な咀嚼リズムが形成され、また上位中枢における運動制御系によって調節されるが、同時に歯根膜、咀嚼筋、顎関節などの末梢の感覚受容器からのフィードバック信号によっても調節され、これらの構成単位のいずれかが障害されても他の構成単位の機能に悪影響が誘発され、咀嚼系全体の機能異常が発現する¹⁷⁾。したがって、咀嚼系の機能を評価するために咀嚼運動を分析することはきわめて重要であると考えられ、数多くの研究が行われている。すでに、咀嚼運動は、各人固有のパターンを呈するが、いくつかのパターンに分類される^{13,16,18-21)}こと、また健常者では、個々のサイクルが規則的で安定しているが、不正咬合者や顎関節症（TMD）患者では、個々のサイクルが不規則で不安定である^{18,22-24)}ことなどが明らかにされている。一方、記録・分析時の咀嚼条件は、咀嚼運動に強い影響を及ぼすので留意すべきことが確認されている¹⁵⁾。

1) 咀嚼条件（被験食品、咀嚼側、分析区間）

(1) 被験食品

被験食品は、パン、カマボコ、チューインガム、生ニンジン、ピーナッツ、ビーフジャーキー、生米、煎餅などが用いられており、食品別にみた咀嚼

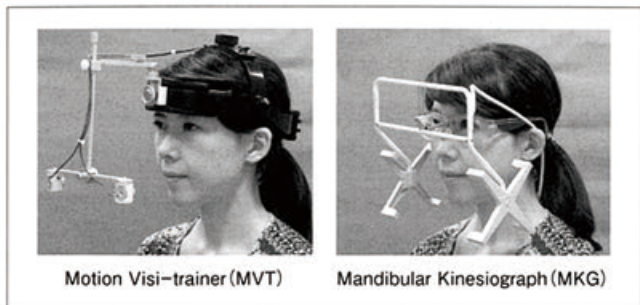


図1 下顎運動記録装置（センサー部の装着状態）
MVTは発光ダイオード（LED）、MKGは磁石を下顎切歯点に付着させ、その動きをセンサーで検出する装置であり、臨床の場で容易に下顎運動を記録できる。

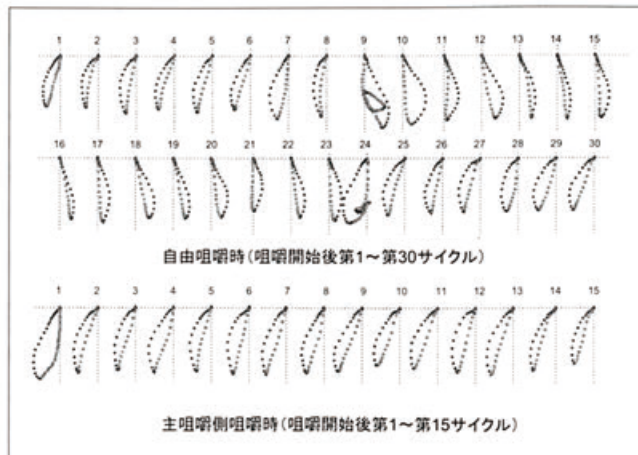


図2 軟化したガムの自由咀嚼時と片側咀嚼時の運動経路

運動を分析するためには、一般的な食品で、可及的に性状が異なることが望ましいが、被験食品数を多くすると、疲労が生じたり、記録時の随意的要素が加わるので注意しなければならない。一方、運動機能、すなわち運動の安定性を分析するためには、硬さや量が変化しやすい食品では、咀嚼の進行に伴って運動が変化するため、健全な被験者でも不安定になることがあるので、咀嚼の進行に伴う硬さや量の変化が少ない被験食品を選択しなければならない。咀嚼運動の安定性の分析では、軟化したチューインガムが最適であり、筆者らが開発した被験食品：グミゼリーがそれに準じることが明らかにされている²⁵⁾。また、被験食品の重量は、2gにすると、安定した咀嚼を営むことが確認されている¹⁵⁾。

(2) 咀嚼側

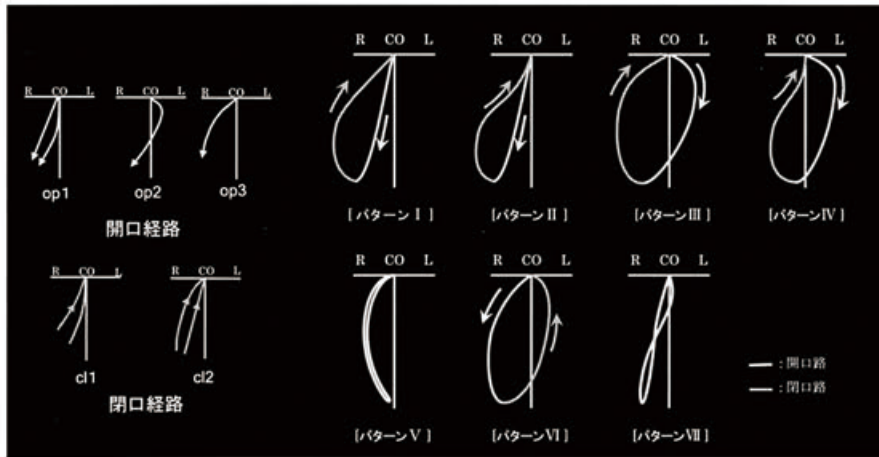
咀嚼側は、主咀嚼側（習慣性咀嚼側）のみ、自由咀嚼時における主咀嚼側のみのデータの抽出、あるいは自由咀嚼が選択されている。これらのうち、自由咀嚼は、咀嚼の進行に伴う運動の変化の分析では、有用であるが、咀嚼中に右側から左側、左側から右側へと咀嚼側が変化して咀嚼運動が大きく変わる（図1，2）ために、咀嚼運動が安定している健全者でも不安定と評価されてしまい、機能的評価が誤認されやすい。また、咀嚼時の運動経路、運動リズム、咀嚼筋筋活動は、主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時とを比較すると、いずれも主咀嚼側咀嚼時の方が非主咀嚼側咀嚼時よりも安定し、両咀嚼側間に機能的差異のあることが明らかにされている²⁶⁻²⁸⁾。したがって、機能的な評価のための咀嚼運動の安定性の分析に際しては、咀嚼側は、主咀嚼側が望ましい。

(3) 分析区間

咀嚼運動の分析区間は、咀嚼中の全サイクル、咀嚼開始後の第1サイクルからの一定区間、咀嚼が安定してから的一定区間、咀嚼開始直後の数サイクルを除いた一定区間、咀嚼開始直後と後半を除いた区間など^{11, 13, 21, 23, 29-32)}が報告されている。これらのうち、咀嚼中の全サイクルや咀嚼開始後の第1サイクルからの一定区間は、咀嚼の進行に伴う運動の変化や咀嚼能力の分析では、有用といえるが、咀嚼開始直後では、意識的要素が加わり、また後半では、唾液の貯留による咀嚼の中断や嚥下の準備動作が加わり、咀嚼運動が不安定になるために安定性の評価が難しくなる。したがって、咀嚼開始直後と後半を除いた区間が咀嚼運動の安定性の分析に好ましいといえる。この区間を明確にするため、筆者ら¹²⁾は、軟化後のガム咀嚼時の分析区間を詳細に分析したところ、咀嚼開始後の第5サイクルからの10サイクルが運動経路、運動リズムともに最も安定し、分析に最適であることが確認できた。

2) 咀嚼運動経路のパターンの分析

少数例の健全者とTMD患者における咀嚼運動経路のパターンを調べたFeineら³³⁾は、健全者では、ランダムにgood, fair, poorの3種類に分類できたが、TMD患者では、多くがgoodに分類されたので、パ



分類のための目録

咀嚼運動経路のパターン分類

図3 パターン分類のための目録と咀嚼運動経路のパターン分類

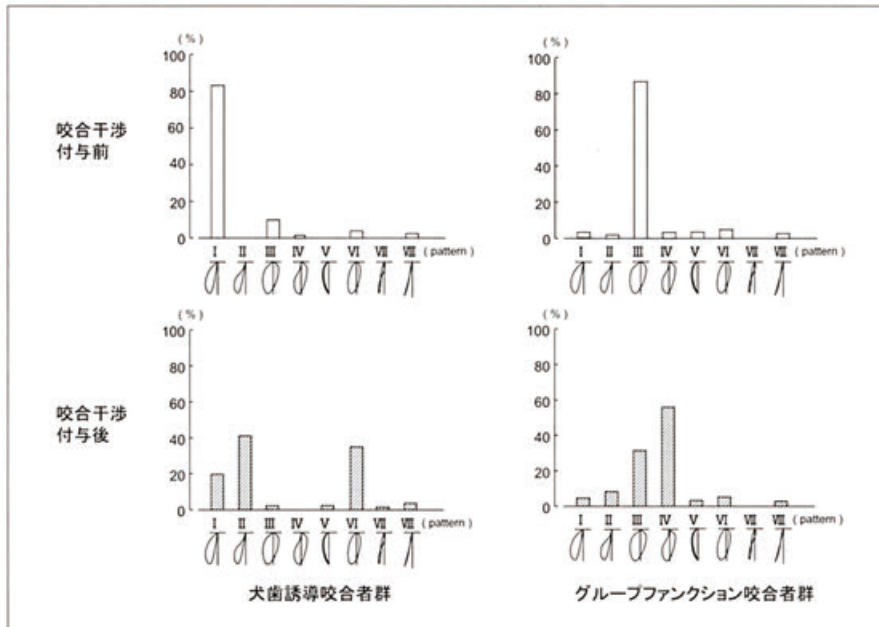


図4 咬合干渉付与前後の咀嚼運動経路のパターン

ターンの分析が診断の指標にならないのではないかと述べている。しかしながら、多数例の健常者とTMD患者における咀嚼運動経路のパターンを詳細に分析した筆者らの研究^{16,31)}では、健常者のパターンは、I～VIIの7種類に分類でき(図3)、そのうち中心咬合位から作業側へ向かってスムーズに開口し、その後中心咬合位へconvex(凸型)を呈して閉口するパターンIと中心咬合位から非作業側に向かって開口後作業側へ向かい、その後中心咬合位へconvex(凸型)を呈して閉口するパターンⅢの2種類を代表的なパターン

とみなせるが、TMD患者のパターンは、健常者のそれとは明らかに異なり、代表的なパターンが存在せず、種々なパターンを呈し、健常者と明らかに異なる分布を示すことが確認されている。また、実験的咬合干渉付与前後におけるパターンは、付与前に70～80%を占めたパターンIが、実験的咬合干渉付与後に減少するとともに、逆にパターンⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅶが増加することが観察されている³⁵⁾。平衡側に咬合接触があると、主にパターンⅤとパターンⅥ、あるいは閉口路がconcave(凹型)を呈するパターンが発現し^{36,37,38)}、平

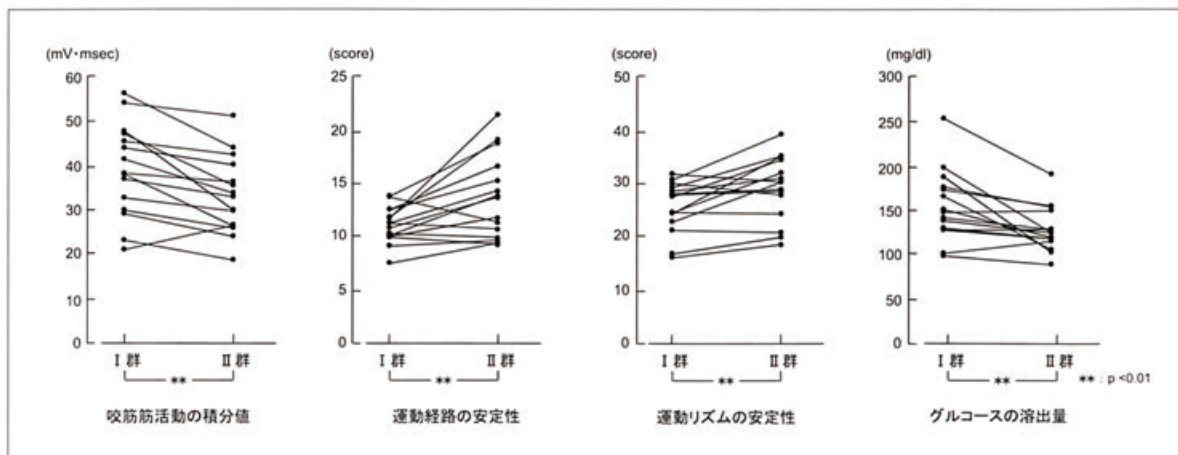


図5 各被験者のパターン別にみた咬筋活動の積分値、運動経路の安定性、運動リズムの安定性、グルコースの溶出量

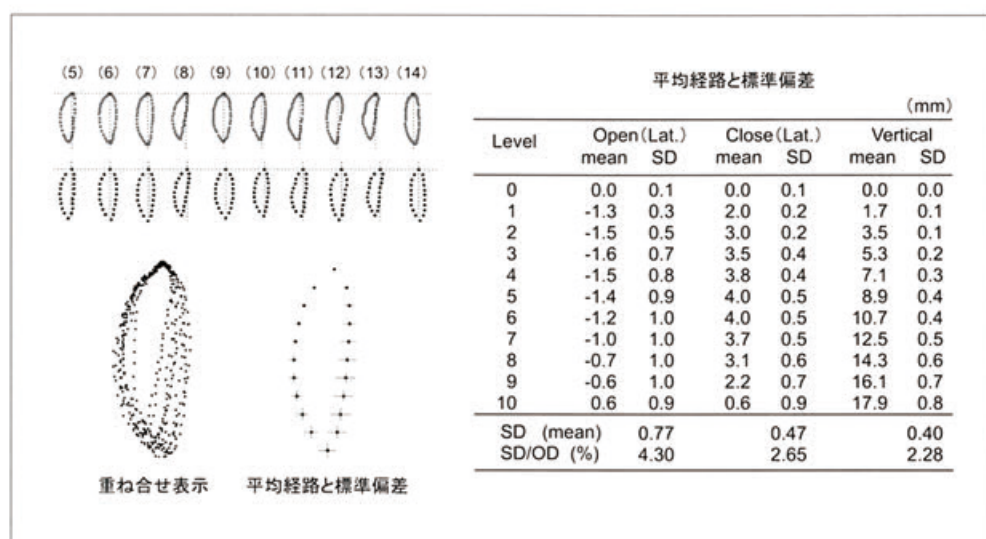


図6 咀嚼開始後第5サイクルから第14サイクルまでの各サイクルと重ね合わせ表示、ならびに平均経路と標準偏差

衡側の咬合接触を除去すると、パターンⅥが消失する³⁹⁾ことなども報告されている。さらに、片側性交咬合者の反対側では、正常咬合者と同様のパターンを呈するが、交叉咬合側では、正常咬合者とは異なるパターンを呈する⁴⁰⁾こと、また不正咬合を是正すると、正常咬合者のパターンⅠとⅢが増加する^{11, 42)}ことも報告されている。

パターンⅠとⅢは、ともに中心咬合位付近の閉口路がconvex（凸型）を呈するという共通の特徴があるが、両パターンにそれぞれ概形が同じであるものの、中心咬合位付近の閉口路が異なり、concave（凹型）を呈するパターンⅡとⅣが観察されている。これらは、発現率が少ないことから、ⅠとⅡ、あるいはⅢと

Ⅳとをそれぞれ区別しないで、同一パターンとする考え方もある^{13, 20, 21, 43)}。しかしながら、実験的咬合干渉付与前後の運動経路のパターン³⁵⁾を観察すると、犬歯誘導咬合者のパターンは、干渉付与前では、パターンⅠが著明に多いが、干渉付与後では、パターンⅡが増加し、またグループファンクション咬合者のパターンは、干渉付与前では、パターンⅢが著明に多いが、干渉付与後では、パターンⅣが増加（図4）する。これは、運動経路の概形が咬合干渉の付与により変化せず、閉口路のみがconvex（凸型）からconcave（凹型）へと変化することを示している。筆者ら¹⁴⁾は、閉口路の違いが咀嚼機能に及ぼす影響を明らかにするため、パターンⅠとパターンⅡの両方を有する被験者の

咬合接触状態と咀嚼機能を比較したところ、パターンⅠ群は、作業側では、犬歯部と小白歯部での接触誘導があり、平衡側では、咬合接触がないのに対し、パターンⅡ群は、作業側では、パターンⅠ群と同様な接触誘導があるものの、平衡側では、咬合接触があること、また両パターン間には機能的差異が認められ、パターンⅠ群のほうが有意に良好な咀嚼機能を有することが確認されている(図5)。これは、パターンⅠとⅡとを区別すべきであり、健全な咀嚼を営むためには、中心咬合位付近の閉口路がconvex(凸型)を呈することを明示している。

これらのことから、咀嚼機能が健全で咬合に問題がない場合には、咀嚼運動経路は、パターンⅠとⅢに代表される健全パターンを呈するが、不正咬合や咬合干

渉が存在する場合には、パターンⅠとⅢ以外の異常なパターンを発現するといえる。

3) 咀嚼運動の安定性の分析

咀嚼運動における運動経路の安定性について、下顎切歯点の平均経路とその各平均点の標準偏差を算出して定量的な評価を試みたMonginiら²³⁾は、健全者のほうがTMD患者よりも安定した運動経路を呈することを観察したが、両者間に統計的差異を見出すことができなかった。しかしながら、この研究では、被験食品として咀嚼中に大きさや硬さが変化してしまうcrispy bread(硬パン)を自由咀嚼させ、全サイクルを分析区間に設定しており、前述の咀嚼条件を満たしていない。この問題に対応し、筆者ら¹²⁾は、被験食品として

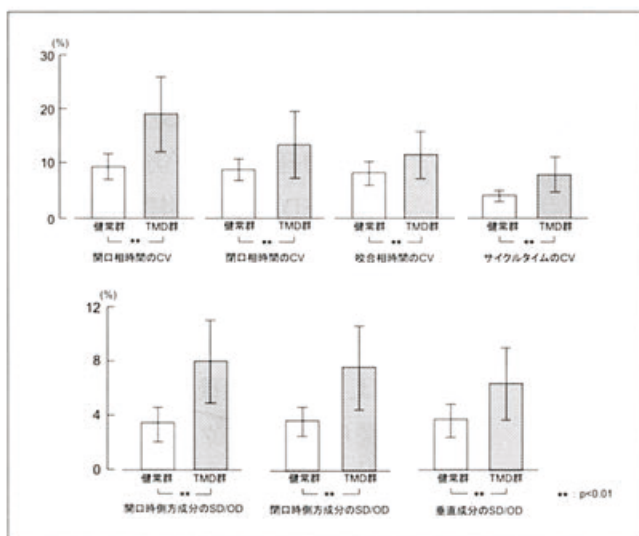


図7 健常群とTMD患者群における運動リズムと運動経路の安定性

表1 リズムと経路の安定性を表す各指標でみた特異度と敏感度 (%)

| | 開口相時間 | | 閉口相時間 | | 咬合相時間 | | サイクルタイム | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 |
| 健常群 | 98 ^a | 2 | 98 ^a | 2 | 96 ^a | 4 | 100 ^a | 0 |
| TMD群 | 30 | 70 ^b | 46 | 54 ^b | 54 | 46 ^b | 26 | 74 ^b |

| | 開口側方成分 | | 閉口側方成分 | | 垂直成分 | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 |
| 健常群 | 96 ^a | 4 | 96 ^a | 4 | 92 ^a | 8 |
| TMD群 | 30 | 70 ^b | 30 | 70 ^b | 46 | 54 ^b |

(a: 特異度, b: 敏感度)

(正常: 健常群のmean+2SD以下)

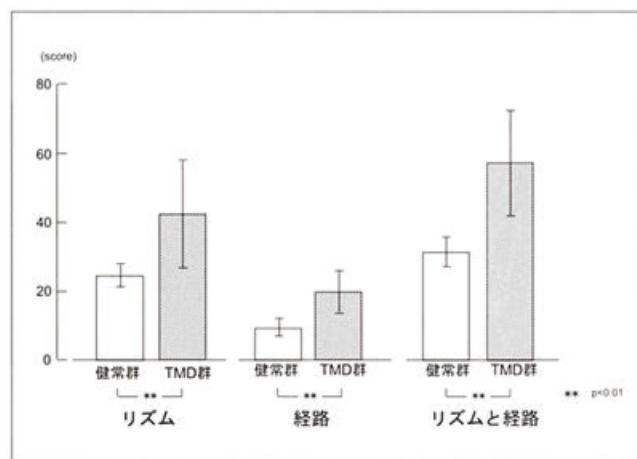


図8 統合指標でみた健常群とTMD患者群における運動リズムと運動経路の安定性

表2 リズムと経路の安定性を表す統合指標でみた特異度と敏感度 (%)

| | リズム | | 経路 | | リズムと経路 | |
|------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 | 正常 | 異常 |
| 健常群 | 100 ^a | 0 | 98 ^a | 2 | 100 ^a | 0 |
| TMD群 | 12 | 88 ^b | 14 | 86 ^b | 4 | 96 ^b |

(a: 特異度, b: 敏感度)

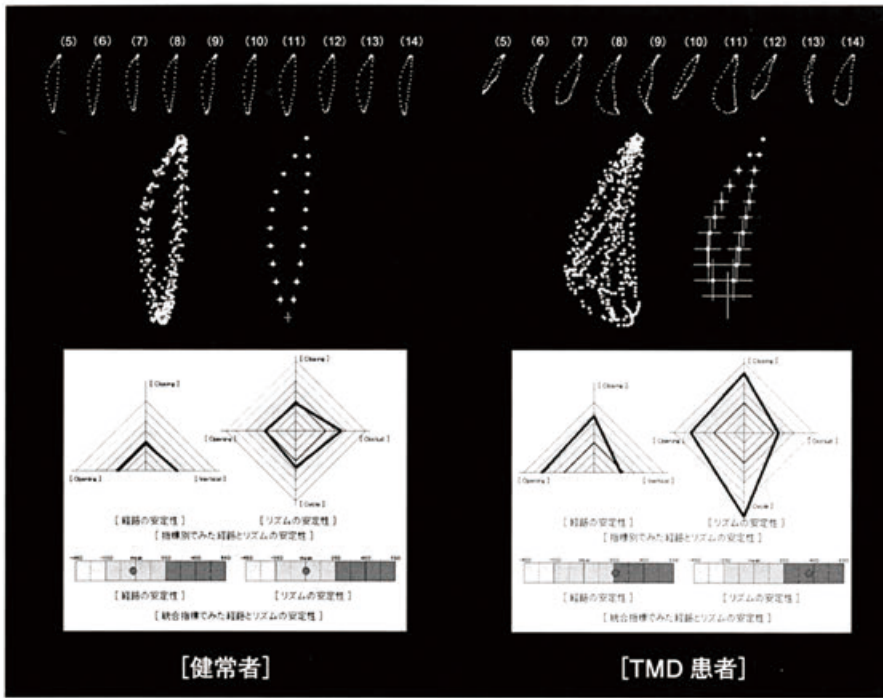


図9 健康者とTMD患者の咀嚼運動経路と安定性の評価
(右咀嚼, 咀嚼開始後第5サイクルからの10サイクル)

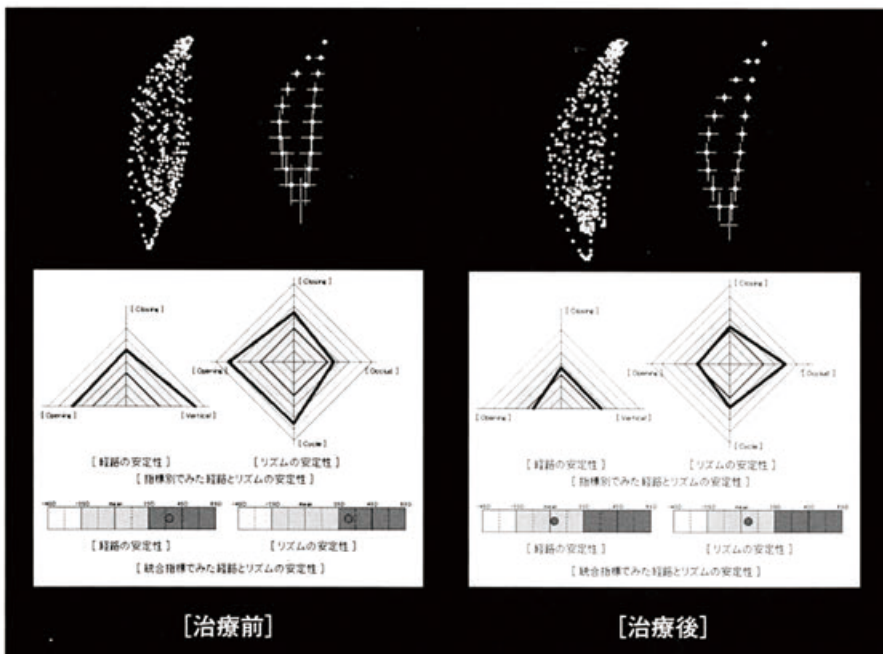


図10 TMD患者の治療前後の咀嚼運動経路と安定性の評価
(右咀嚼, 咀嚼開始後第5サイクルからの10サイクル)

咀嚼の進行に伴う大きさや硬さの変化の少ない軟化後のチューインガム, 咀嚼側として主咀嚼側での片側咀嚼, 分析区間として最も安定する咀嚼開始後の第5サイクルからの10サイクルに規格化し, 運動経路と運動リズムの安定性を表す定量的な指標を求め, 健康者群

とTMD患者群間で比較して分析した。

運動経路については, 咀嚼開始後の第5サイクルから第14サイクルまでの10サイクルについて, 各サイクルの中心咬合位を基準にして, 前頭面に投影した開閉口路を上下的に10分割し, 各分割点の座標値を求めた後, 各分割点における10サイクルの平均と標準偏差を算出し, この平均点を連ねる平均経路(図6)で表す。この平均経路上の各平均点における開口時と閉口時の水平方向, 開閉口時の垂直方向の各標準偏差の平均を算出し, それぞれ開口時側方成分, 閉口時側方成分, 垂直成分とし, これらの各成分を開口量(平均経路の最下方点)で除算するSD/OD値(標準偏差/開口量)を求めることによって, 安定性を表す客観的な指標とした。また, 運動リズムについては, 咀嚼開始後の第5サイクルから第14サイクルまでの10サイクルにおける開口相時間, 閉口相時間, 咬合相時間, サイクルタイムの平均と標準偏差から算出した変動係数を求めることによって安定性を表す客観的な指標とした。

運動経路の安定性を表す3指標と運動リズムの安定性を表す4指標について, 健康者群とTMD患者群の咀嚼運動の安定性を評価したところ, いずれの指標も両群間に高度な有意差が認められ, TMD患者の咀嚼運動が極めて不安定であることが確認できた(図7, 表1)^{12, 11)}。しかしながら, 健康者群の平均値+2SD(標準偏差)以内を正常範囲とし, 敏感度と特異度を求めると, 特

異度は90%以上であったが、敏感度は46%~70%となり、低い値を示す指標も認められた。そこで、主成分分析を応用し、運動経路の3指標と運動リズムの4指標からそれぞれ統合指標⁴⁵⁾を作成したところ、敏感度が86%以上となり、極めて高い値を示すことが確認できた(図8, 表2)。つまり、この咀嚼運動の安定性の分析は、咀嚼機能の健常と異常との識別に十分な信頼性があるといえる(図9, 10)。

2. グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の分析による咀嚼能力検査

咀嚼能力は、咀嚼機能を客観的に評価するための重要な指標の1つにあげられており、古くから一定量の被験食品を一定回数咀嚼させた後、粉碎された被験食品を口腔内から回収し、粉碎度に応じて篩分けをする篩分法^{3, 4, 51)}が用いられている。しかしながら、この方法は、操作が煩雑で、かつ分析に時間がかかることが難点となっている。近年では、より簡便な方法として、ATP 顆粒剤¹³⁾、シリコーン印象材^{46, 47)}、チューインガム^{48~50)}、パラフィンワックス⁵¹⁾、グミゼリー^{52~55)}などが用いられている。

筆者らは、物性や形状を規格化でき、衛生管理が簡

単で、かつ日常生活と同等の咀嚼の進行に伴う変化を表すことができる被験食品としてグミゼリーに着目し、重量と硬さの異なる円柱状のグミゼリーを試作し、摂食状況、硬度性、付着性、弾力性、違和感、意識性、噛みやすさに加え、咀嚼運動の安定性を検討したところ、ゼラチン含有量8%、重量2gにすると、無意識的に最も安定した咀嚼をできることが確認できた⁵⁶⁾。また、グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量は、咀嚼時間、すなわち仕事量に比例して増加し⁵⁷⁾、咀嚼能力を評価できることがわかった。さらに、このグルコースの溶出量の測定による咀嚼能力と篩分法による咀嚼能力との間に高度に有意な正の相関が認められ、篩分法と同等な評価をできることがわかった⁵¹⁾。ちなみに、この溶出量は、運動経路、運動リズム、運動速度、咀嚼筋筋活動との間にも有意な相関が認められているので、粉碎度のみならず、運動機能と筋活動を含めた咀嚼機能の定量的な評価も可能である。

方法は、被験者にグミゼリーを主咀嚼側で20秒間咀嚼させた後、蒸留水10mlで洗口し、グミゼリーとともに濾過付きコップに吐き出させ、得られた濾液中のグルコース濃度をグルコースの溶出量として測定する(図11)。測定は、新たに開発された咀嚼能力測定用



図11 グルコースの溶出量の測定手順

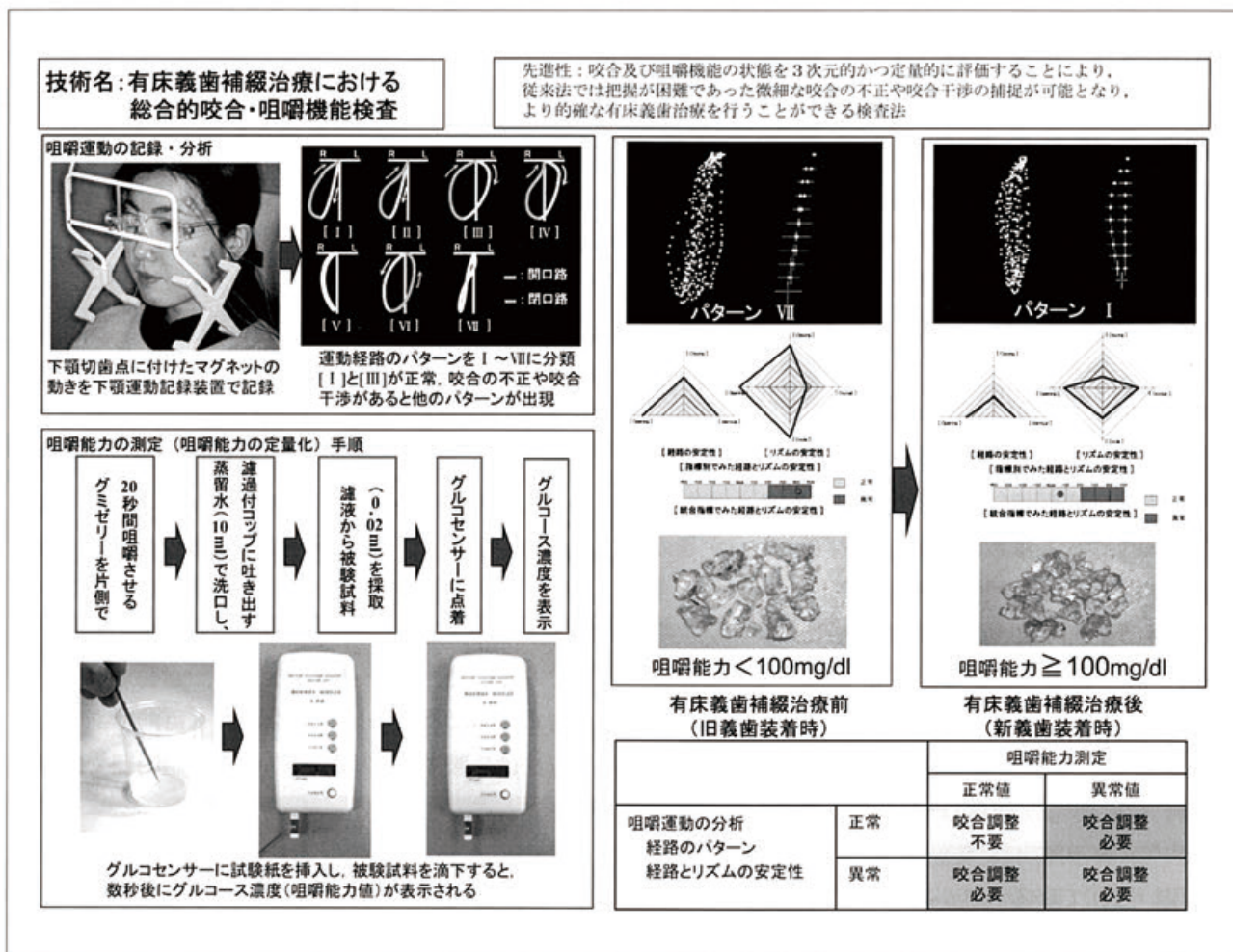


図12 有床義歯補綴治療における総合的咬合・咀嚼機能検査

のグルコース測定機器（グルコセンサー GS1）を用いて1分以内で行える。

3. 先進医療に導入された有床義歯補綴治療における総合的咬合・咀嚼機能検査

本検査は、有床義歯装着患者を対象に行う下顎運動検査と咀嚼能力検査であり、装置は、小型・軽量かつチェアサイドでの応用が容易であり、短時間で咬合・咀嚼機能を定量的に評価できる（図12）。

咀嚼時の運動経路は、有床義歯補綴治療前では、パターンⅠとⅢ以外が多いが、治療後では、パターンⅠかⅢに修正されることが確認されている¹¹⁾。下顎運動の安定性は、運動経路の安定性を表す3指標と運動リズムの安定性を表す4指標を用い、指標値により評価する。有床義歯補綴治療では、指標値は有意に小さくなることを確認されている⁵⁸⁾。また、運動経路と運動

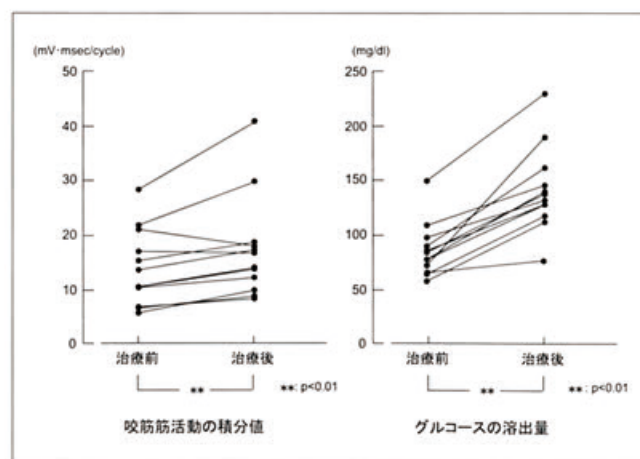


図13 有床義歯補綴治療前後における咬筋活動の積分値とグルコースの溶出量

リズムの安定性を表す指標から主成分分析により求めた統合指標から、より信頼性の高い評価が可能であ

る⁴⁵⁾。図12に示すように、有床義歯補綴治療により各指標値が小さくなり、下顎運動の安定性が確認できる。

咀嚼能力は、高くなるに従って測定されるグルコースの溶出量の値が大きくなる。有床義歯補綴治療では、グルコースの溶出量が有意に大きくなることが確認されている(図13)⁵⁰⁾。

本先進医療は、平成23年8月の時点では、日本歯科大学附属病院のみで行われているが、すでにいくつかの病院で先進医療の届出の準備が進められており、近い将来に保険収載される可能性が高いと考えられる。なお、本技術は、先進医療として専門医や経験年数等の施設基準が求められているが、臨床の現場で容易に咀嚼機能の客観的な評価が可能であることから、保険収載時には、専門医資格要件が除外され、一般開業医の先生方に簡便に応用いただけることになろう。

おわりに

咀嚼機能を客観的に評価できる検査法のあらましを述べた。

本検査法は、有床義歯装着者のみならず、咬合問題や歯の欠損に伴う咀嚼障害を有するすべての患者に適用でき、治療前の障害程度、治療後の回復程度、定期検査時の維持状況を客観的に評価できる。損なわれた咀嚼機能の回復とその維持を客観的に評価することにより、信頼性ある歯科臨床による健康増進を期待できよう。

【参考文献】

- 1) Sato Y, Minagi S, Akagawa Y, Nagasawa T. An evaluation of chewing function of complete denture wearers. *J Prosthet Dent* 62 : 50~53, 1989.
- 2) Koshino H, Hirai T, Toyoshita Y, Yokoyama Y, Tanaka M, Iwasaki K, Hosoi T. Development of new food intake questionnaire method for evaluating the ability of mastication in complete denture wearers. *Prosthodontic Res Pract* 7 : 12~18, 2008.
- 3) Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. *J Dent Res* 29 : 448~462, 1950.
- 4) Kapur K, Soman S, Yurkstas A. Test foods for measuring masticatory performance of denture wearers. *J Prosthet Dent* 14 : 483~491, 1964.
- 5) Hatch JP, Shinkai RS, Sakai S, Rugh JD, Paunovich ED. Determinants of masticatory performance in dentate adults. *Arch Oral Biol* 46 : 641~648, 2001.
- 6) Fontijn-Tekamp FA, Slagter AP, Van Der Bilt A, Van 'T Hof MA, Witter DJ, Kalk W, Jansen JA. Biting and chewing in overdentures, full dentures, and natural dentitions. *J Dent Res* 79 : 1519~1524, 2000.
- 7) Sato S, Ohta M, Sawatari M, Kawamura H, Motegi K. Occlusal contact area, occlusal pressure, bite force, and masticatory efficiency in patients with anterior disc displacement of the temporomandibular joint. *J Oral Rehabil* 26 : 906~911, 1999.
- 8) 長澤 篤. チューインガム法による乳歯列期の咀嚼能力と咬合接触面積について. *日大歯学* 65 : 957~965, 1991.
- 9) 齊藤 実. 咬合形態の基準化に関する研究. 咀嚼能率に及ぼす影響より. *愛院大歯誌* 27 : 153~167, 1989.
- 10) Sato S, Ohta M, Goto S, Kawamura H, Motegi K. Electromyography during chewing movement in patients with anterior disc displacement of the temporomandibular joint. *Int J Oral Maxillofac Surg* 27 : 274~277, 1998.
- 11) 瑞森崇弘. 咀嚼運動分析による顎口腔機能診断に関する研究. *阪大歯学誌* 32 : 105~136, 1987.
- 12) 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の分析による咀嚼機能の客観的評価に関する研究. *補綴誌* 34 : 1112~1126, 1990.
- 13) Murai K, Okimoto K, Matsuo K, Terada Y. Study on masticatory movement and its ability: efficacy of a test capsule in the evaluation of masticatory movement. *J Oral Rehabil* 27 : 64~69, 2000.
- 14) Miyazaki J, Shiga H, Kobayashi Y. The reliability of evaluating masticatory function by masticatory analysis. *Dent in J* 39 : 57~62, 2003.
- 15) Wintergerst AM, Buschang PH, Hutchins B, Throckmorton GS. Effect of an auditory cue on chewing cycle kinematics. *Arch Oral Biol* 51 : 50~57, 2006.
- 16) Kobayashi Y, Shiga H, Arakawa I, Yokoyama M, Nakajima K. Masticatory path pattern during mastication of chewing gum with regard to gender difference. *J Prosthodont Res* 53 : 11~14, 2009.
- 17) 河村洋二郎. 歯科学生のための口腔生理学. p158~232. 永末書店, 京都, 1966.
- 18) Ahlgren J. Mechanism of mastication, a quantitative cinematographic and electromyographic study of masticatory movements in children, with special reference to occlusion of the teeth. *Acta Odontol Scand* 24 (Suppl44) : 1~109, 1966.
- 19) Pröschel P, Hofmann M. Frontal chewing patterns of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion. *J Prosthet Dent* 59 : 617~624, 1988.
- 20) Kuwahara T, Bessette RW, Maruyama T. Chewing pattern analysis in TMD patients with and without internal derangement: Part I. *Cranio* 13 : 8~14, 1995.
- 21) Sato S, Nasu F, Motegi K. Analysis of kinesiograph recordings and masticatory efficiency after treatment of non-reducing disk displacement of the temporomandibular joint. *J Oral Rehabil* 30 : 708~713, 2003.
- 22) Gibbs CH, Messerman T, Reswick JB, Derda HJ. Functional movements of the mandible. *J Prosthet Dent* 26 : 604~620, 1971.
- 23) Mongini F, Tempia-Valenta G. A graphic and statistical analysis of the chewing movements in function and dysfunction. *J Craniomandibular Pract* 2 : 125~134, 1984.
- 24) Shiga H, Stohler CS, Kobayashi Y. The rhythmicity of the chewing movements between CMD patients and normal subjects. In: Morimoto T, Matsuya T, Takada K eds. *Brain and oral functions, oral motor function and dysfunction*. Amsterdam: Elsevier, 1995 : 479~482.
- 25) 千綿一郎, 志賀 博, 小林義典. 咀嚼運動の機能的分析. 安定性の評価のための被験食品の検索. *補綴誌* 42 : 857~866, 1998.

- 26) 仁村秀由喜, 小林義典, 咀嚼運動における主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との差異, 補綴誌 34:1127~1139, 1990.
- 27) 志賀 博, 小林義典, 村上義和, 山内昭典, 確井耕一, 児玉秀夫, EMGの咀嚼リズムにおける主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との差異, 歯学 80:439~446, 1992.
- 28) 梶倉純, 志賀博, 小林義典, 主咀嚼側咀嚼時と非主咀嚼側咀嚼時との間の機能的差異, グミゼリー咀嚼時の運動機能 日咀嚼誌 9:57~64, 2000.
- 29) 越智 寛, 平川光彦, 加登 剛, 小山栄三, 咬合異常者の補綴改善例とEMG的観察, 阪大歯学誌 19:226~233, 1974.
- 30) 森 隆司, 咀嚼運動経路の研究, 空口側方滑走運動路および食品の影響, 補綴誌 26:274~297, 1982.
- 31) 尾崎佳孝, 顎関節症にみられる顎運動異常に関する研究, 歯科学報 83:937~980, 1983.
- 32) 米沢功至, 沢田 明, 金野 勇, 内山洋一, 筋電図咀嚼リズムを用いた顎関節症患者の治療効果の判定方法, 顎機能 2:59~64, 1984.
- 33) Feine JS, Hutchins MO, Lund JP, An evaluation of the criteria used to diagnose mandibular dysfunction with the mandibular kinesigraph, J Prosthet Dent 60:374~380, 1988.
- 34) 三橋博之, 志賀 博, 小林義典, 側頭下顎障害患者における咀嚼運動経路のパターンと安定性, 日咀嚼誌 11:55~63, 2001.
- 35) 伊藤陽介, 志賀 博, 児玉秀夫, 小林義典, 実験的咬合干渉が咀嚼運動に及ぼす影響, 第6報前頭面における干渉付与前後の咀嚼パターンの変化, 顎機能 7:165~170, 1989.
- 36) 相馬季世子, 山田真一, 日野絵里, 瑞森崇弘, 丸山剛郎, 非作業側咬合干渉が咀嚼運動に及ぼす影響に関する研究, 日顎誌 1:291~300, 1989.
- 37) 中島久仁子, 松尾浩一, 沖本公繪, 寺田善博, 非作業側コンタクトが咀嚼運動に及ぼす影響について, 日顎誌 5:392~403, 1993.
- 38) 小此木富美子, 志賀 博, 小林義典, 咀嚼運動経路における中心咬合位付近の閉口路の違いからみた側方咬合位の接触状態, 咀嚼誌 11:47~54, 2001.
- 39) 西川啓介, 顎運動と咀嚼筋活動に及ぼす咬合接触の影響, 補綴誌:33:822~835, 1989.
- 40) Rilo B, da Silva JL, Mora MJ, Cadarso-Suárez C, Santana U, Unilateral posterior crossbite and mastication, Arch Oral Biol 52:474~478, 2007.
- 41) Takeda H, Nakamura Y, Handa H, Ishii H, Hamada Y, Seto K, Examination of masticatory movement and rhythm before and after surgical orthodontics in skeletal Class III patients with unilateral posterior cross-bite, J Oral Maxillofac Surg 67:1844~1849, 2009.
- 42) Yashiro K, Miyawaki S, Takada K, Stabilization of jaw-closing movements during chewing after correction of incisor crossbite, J Oral Rehabil 31:949~956, 2004.
- 43) Rilo B, Fernandez J, Da Silva L, Martinez Insua A, Santana U, Frontal-plane lateral border movements and chewing cycle characteristics, J Oral Rehabil 28:930~936, 2001.
- 44) Watanabe A, Shiga H, Kobayashi Y, Occlusal contacting condition and masticatory function of 2 types of pattern that differ in the closing path of the mandibular incisal point during chewing, J Prosthodont Res 2011, doi:10.1016/j.jpor.2011.03.004.
- 45) 志賀 博, 小林義典, 荒川一郎, 横山正起, 雲野美香, 咀嚼機能の客観的評価, 咀嚼運動のリズムと経路の安定性の主成分分析, 顎機能誌 11:146~147, 2005.
- 46) Van der Bilt A, Van der Glas HW, Olthoff LW, Bosman F, The effect of particle size reduction on the jaw gape in human mastication, J Dent Res 70:931~937, 1991.
- 47) English JD, Buschang PH, Throckmorton GS, Does malocclusion affect masticatory performance? Angle Orthod 72:21~27, 2002.
- 48) Hayakawa I, Watanabe I, Hirano S, Nagao M, Seki T, A simple method for evaluating masticatory performance using a color-changeable chewing gum, Int J Prosthodont 11:173~176, 1998.
- 49) Prinz JF, Quantitative evaluation of the effect of bolus size and number of chewing strokes on the intra-oral mixing of a two-colour chewing gum, J Oral Rehabil 26:243~247, 1999.
- 50) Anastassiadou V, Heath MR, The development of a simple objective test of mastication suitable for older people, using chewing gums, Gerodontology 18:79~86, 2001.
- 51) Sato H, Fueki K, Sueda S, Sato S, Shiozaki T, Kato M, Oh-yama T, A new and simple method for evaluating masticatory function using newly developed artificial test food, J Oral Rehabil 30:68~73, 2003.
- 52) Okiyama S, Ikebe K, Nokubi T, Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men, J Oral Rehabil 30:278~282, 2003.
- 53) Shiga H, Kobayashi Y, Arakawa I, Yokoyama M, Unno M, Validation of a portable blood glucose testing device in measuring masticatory performance, Prosthodont Res Pract 5:15~20, 2006.
- 54) Kobayashi Y, Shiga H, Arakawa I, Yokoyama M, The effectiveness of measuring glucose extraction for estimating masticatory performance, Prosthodont Res Pract 5:104~108, 2006.
- 55) Ikebe K, Matsuda K, Morii K, Furuya-Yoshinaka M, Nokubi T, Renner RP, Association of masticatory performance with age, posterior occlusal contacts, occlusal force, and salivary flow in older adults, Int J Prosthodont 19:475~481, 2006.
- 56) 栗山 聡, 志賀 博, 小林義典, 咀嚼運動の分析のための被験食品の性状, グミゼリーの硬さ, 補綴誌 45:592~601, 2001.
- 57) Shiga H, Kobayashi Y, Arakawa I, Yokoyama M, Namba N, Effects of Saliva Secretion on the Assessment of Masticatory Performance, Prosthodont Res Pract 6:127~131, 2007.
- 58) 荒川一郎, 志賀 博, 小林義典, 水内一恵, 渡邊篤士, 羽村章, 有床義歯補綴治療前後における咀嚼運動経路のパターンと安定性, 顎機能誌 17:1~5, 2010.
- 59) 横山正起, 志賀 博, 小林義典, 藤井重壽, 上濱 正, 平賀泰, 354, 有床義歯補綴治療前後における咀嚼能力と咬筋活動, 顎機能誌, 17:6~10, 2010.