

## 高齢者の口腔機能の評価

野首孝詞 小野高裕 池邊一典 古谷暢子 堀 一浩

大阪大学大学院歯学研究科

顎口腔機能再建学講座 歯科補綴学第二教室

歯科治療の最終的な目標は、症状を取り除くことや、欠損した組織の形態的な回復だけではなく、「噛む・味わう・話す」などの口腔機能の回復である。本節では、健康長寿を目指した口腔機能（咀嚼、嚥下、味覚）の評価について、現在検討を続けている最新の知見を概説する。

まず、咀嚼能率の客観的検査法については、これまでの評価方法はいずれも測定方法が複雑で時間を要した。そこで、検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法を開発し、測定条件についての検討を行い、正確かつ簡便な評価方法を確立した。次に、味覚機能については、ろ紙ディスク法を用いて4基本味の閾値を評価し、高齢者は、若年者に比べて著しく高いこと、また味に対する不満は、味覚閾値の上昇よりも、硬口蓋を被覆する義歯の装着や義歯への違和感が重要な因子であることが明らかになった。さらに、嚥下口腔期の指標として重要な硬口蓋部における舌圧について、その発現様相、最大値ならびに発現時間を簡便に評価できる舌圧測定システムを開発した。本法は、嚥下機能の診断やリハビリテーションにおける評価において有用なツールとなり得ることが示唆された。

### 【キーワード】

咀嚼能率 masticatory efficiency, 味覚 taste, 高齢者 elderly, 義歯 removable denture, 嚥下機能 swallowing

## I 検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法

はじめに

咀嚼機能の回復は、補綴治療の最も重要な目的の一つであり、その客観的評価法の確立は、根拠に基づいた治療を行い、患者に対して説明責任を果たす上で欠かせないものとなってきている。

咀嚼能力の評価法については、これまで、ピーナッツ、生米、シリコーン印象材、寒天印象材などを被験試料とし、主に有歯顎者を被験者として検討が行われてきた。しかし、これらの方法は、いずれも測定手順が複雑であり、時間もかかり、チェアサイドでルーチンに咀嚼能力の評価を行うには問題点が多かった。したがって、未だ多人数のデータを比較検討するまでには至っておらず、実際の臨床の現場では、正確かつ簡便に咀嚼能力の客観的評価を行える方法が求められてきた。

そこでここでは、我々が開発した、正確かつ簡便に咀嚼能力の客観的評価を行える検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法について概説する。

### 咀嚼能力の評価法

咀嚼する試料より咀嚼能力を直接判定する方法のうち、粉碎能力に着目した評価法は、咀嚼能率検査とも呼ばれ<sup>1)</sup>、その代表が篩分法である。これは、上下顎歯の咬合面で粉碎された食物片を回収し、篩によりその粉碎度を評価する方法である。Manly<sup>2)</sup>は、ピーナッツを用いて、一定の粗さの篩を通過した食品の乾燥重量%を咀嚼値として規格化した。ピーナッツを用いた篩分法は、現在でも広く認知されており、咀嚼能率検査の一つの

スタンダードとなっている。しかし天然食品は、均質化や管理が難しく、近年では、シリコーン印象材、寒天印象材などの人工試料が篩分法の被験試料として用いられている。さらに、篩分法は、一般に乾燥する装置が必要であり、検査結果が出るまでの時間が長いことから、日常臨床において、チェアサイドで患者に対する説明を行う上で、適切な方法であるとはいえない。

従来の篩分法の問題点を解決するために、粉碎された食物からの成分溶出量を測定する方法が開発された。これは、咀嚼によって試料が細分化されるに従って成分溶出量が増加することに着目したものである。これまで、生米を被験食品とし、咀嚼によって溶出されるグルコース量を吸光度測定により求める方法<sup>3)</sup>や、被験食品中に含まれ、咀嚼によって遊離される ATP 腸溶顆粒を指標とした方法<sup>4)</sup>などが開発されている。

咀嚼の生理学的意義は、摂取した食品を細分化してその表面積を増加させ、消化酵素と十分に反応させて分解し、必要な栄養素の吸収を促進することである。成分溶出量を測定する方法は、篩分法に比べ、咀嚼の生理学的意義を反映したものであるといえる。しかし、生米、ATP 腸溶顆粒などは、いずれも通常の食品に比べ小さな粒状であり、特に義歯装着者において、これらの被験食品の細分化の程度から咀嚼能力を評価することは困難といえる。

#### 検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法の開発

当教室では、咀嚼能率の検査用食品としてグミゼリーを用い、グミゼリーから溶出するグルコース濃度が、その表面積に比例することを利用して、咬断片表面積を推定する方法を開発した。検査用グミゼリーは、麦芽糖、ソルビトール、グルコース、ゼラチンなどを成分とし、その寸法は 20×20×10mm、重量は 5.5g である。検査用グミゼリーは、食品としての形状や寸法が適切であり、粘弾性の食品であることから、義歯床下に入ったとしても、疼痛を引き起こすことがなく、義歯装着者

に応用しやすいという利点がある。

1993 年山本は<sup>5)</sup>、検査用グミゼリーから溶出するタンパク質であるゼラチンの濃度を、分光光度計を用いて比色法によって測定し、咬断片表面積を推測する方法を開発した。同研究において、20 回の咀嚼後のグミゼリーの回収率は、有歯顎者、全部床義歯装着者でともに約 90% であり、十分な回収率であること、検査用グミゼリーからのゼラチン溶出量の変動率は 2~8% と低いこと、またゼラチン溶出量は咀嚼回数の増加に伴って増加することを示した。

沖山らは<sup>6,8)</sup>、硬さの異なる 4 種類の検査用グミゼリーを用い、有歯顎者を対象に咀嚼能率を検討し、グミゼリーの硬さが増加するに伴って咬断片表面積増加量すなわち咀嚼能率は低下し、顎運動も不安定になること、またグミゼリーの硬さが増加するに伴って咀嚼能率と咬合接触面積ならびに最大咬合力との相関関係がより高くなることを報告した。さらに、梅原らは<sup>9)</sup>、全部床義歯装着者に対しては、通常の半分の体積の検査用グミゼリーによる咀嚼能力測定法が有効であることを示した。

しかし、これまでの研究において採用していたゼラチン濃度の測定には、発色剤や分光光度計などの特殊な薬品・器材と時間を要した。したがって、日常臨床において、チェアサイドで短時間に咀嚼能率の検査結果が得られるような、より汎用性の高い方法の開発が必要であった。

#### 検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法の改良

今回改良した検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法は、溶出するゼラチンの濃度を、分光光度計を用いて測定する方法の代わりに、溶出するグルコースの濃度を、簡易型血糖値測定器を用いて測定する方法である。糖尿病患者が家庭で使用する簡易型血糖値測定器は、分光光度計に比べ著しく安価であり 30 秒以内にグルコース濃度が測定できる。

本法では、まず咀嚼後のグミゼリー咬断片を水

洗し、蒸留水中で咬断片からグルコースを溶出させ、その上清のグルコース濃度を、簡易型血糖値測定器（グルテスト、三和化学社）を用いて測定する。水洗時間が短い場合、咀嚼中にグミゼリー表面に付着したグルコースも溶出液に含まれ、検査用グミゼリーの表面から溶出される以上にグルコース濃度が高くなる。したがって、咀嚼後のグミゼリーの水洗を十分行う必要があり、その結果、溶出液中のグルコース濃度は安定した値が得られた。また、グルコースの溶出温度が高く、また溶出時間が長くなるに従って、グルコース濃度は有意に上昇した。これは、溶媒である蒸留水の温度が高くなると、溶質であるグルコースの溶出速度が上昇するためであり、また溶出時間を長くした場合も、グルコース溶出量が比例的に増加したためであると考えられる。

以上のことから、本法の測定結果を安定させるためには、検査用グミゼリーの水洗時間、溶出温度、溶出時間を厳密に規定することの重要性が明らかとなった。

#### 検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法の正確性

上記の方法で測定した検査用グミゼリーの表面から溶出したグルコース濃度から、正確に咬断片表面積を推測できるかを検討したところ、グミゼリーの表面積 (mm<sup>2</sup>) とグルコース濃度 (mg/dl) は極めて強い相関 ( $r = 0.993$ ) を示し (図1)、直線回帰式より、後者より前者を、極めて高い精度で算出することが可能であることが示された。

#### 検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法の再現性

グミゼリーによる咀嚼能率検査法の再現性について、粉砕片を10メッシュの篩で篩分けし、残留ピーナッツ量を評価する篩分法による咀嚼能率検査と比較したところ、それぞれの方法によって得られた咀嚼能率の変動係数 (標準偏差/平均値) は、いずれも5回咀嚼に比べ、10回咀嚼の場合の方が低い値を示した。また、両方法を比べると、咀嚼回数が同じ場合、同一被験者の咀嚼能率の変動係

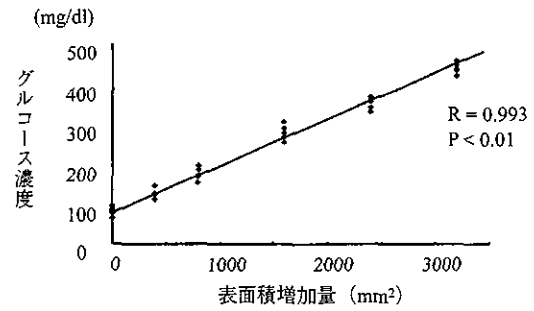


図1 検査用グミゼリーの表面積増加量と溶出グルコース濃度との関係  
(常温で30秒間水洗後、35℃で20秒間溶出)

数は、グミゼリーがピーナッツに比べ低い値を示した (図2)。ピーナッツを用いた篩分法による咀嚼能率の個人内変動の方が、検査用グミゼリーを用いた咬断片面積増加量より得られた咀嚼能率のそれより大きくなった理由としては、咀嚼前の被験食品自体の不均一性に加え、咀嚼後の試料の形態もばらつきが大きく、比較的大きな咬断片も回収されることがあり、結果の再現性が低くなったことが考えられる。また、立体的な咬断片を、正方形の篩の枠を通過するか否かという二次元的寸法で分類し、その重量で比較することも、検査結果の再現性が低くなった要因として考えられる。一方、検査用グミゼリーは、咀嚼によって咬断されない場合でも、表面に微細な亀裂が生じ、咀嚼による表面積の増加が検査結果により正確に反映

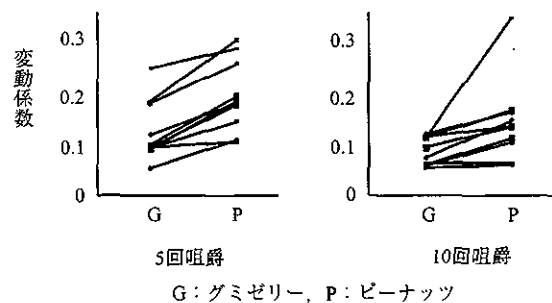


図2 検査用グミゼリーの咬断片表面積増加量ならびにピーナッツを用いた篩分法による咀嚼能率の個人内変動の比較  
(変動係数 = 標準偏差/平均)

することから、再現性の高い結果が得られたものと考えられた。

これらのことから、検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率検査法は、ピーナッツを用いた篩分法による咀嚼能率検査と比べ、咀嚼能率が低い人に対しても結果の再現性が高い方法であることが示唆された。

#### おわりに

歯科治療の目的は、痛みなどの症状を取り除くことや、人工物や再生組織で単に口腔や顔面領域の欠損を形態的に回復することにとどまらない。「フロンティアバイオデンティストリーの創生」のプロジェクトの一つに掲げられている「噛む・味わう・話す」などの口腔機能の回復があって、初めて歯科治療の目標が達成され、ADLやQOLの向上という国民の要請に応えることができるものといえる。今回は紙面数の関係から割愛したが、我々は既に、検査用グミゼリーを用いた咀嚼能率について、1000名以上の高齢者のデータを集め、その妥当性を確認している。

今回紹介した方法の汎用性を活用して、咀嚼機能回復の数値目標を定め、広く国民に対して啓発し、その目標を目指して邁進することが、「フロンティアバイオデンティストリーの創生」の成果をいち早く、また現実的な社会貢献に結びつけられるものと確信している。

## II 高齢者と味覚

### はじめに

我が国では一般に65歳以上を高齢者といい、75歳以上を後期高齢者と呼んでいるが、高齢になると、老化や疾病あるいは薬物の影響などで様々な機能に多くの障害が発生しやすくなる。口腔の感覚や運動機能もその例外ではなく、これらは咀嚼と直結しており、ヒトが生命を維持する上で、咀嚼を行い食物から栄養を摂取することは必要なことである。咀嚼とは、食物を細分化し、舌や頬

粘膜によって食塊を形成する過程であり、単に食物を細分化し栄養を摂取するだけでなく、味覚を感知する上でも重要な役割を果たしている。味覚は、口腔特有の感覚の一つであり、食物中から溶出した味物質が主として舌や軟口蓋に分布する味蕾を刺激することによって認識される。また、一般に基本的な味の種類は、甘味、塩味、酸味、苦味の4種類にうま味を加えた5種類（五基本味）と考えられており、多くの味はこの5種類のいずれか、あるいはその組み合わせで表現される。しかし、食物を味わうには、その食物がもつ匂い（嗅覚）、温度（冷温覚）、形状や色彩（視覚）、歯ごたえ（触覚）、スパイス（痛覚）、咀嚼音（聴覚）などが総合され、広義の味覚として認識される。食物をおいしいと感じるかどうかは、この広義の味覚によるところが大きい。この、“おいしく食べられる”ということは食生活を豊かにし、QOLを向上するためにも非常に重要である。そこで本総説では、高齢者における味覚への不満の現状とそれを改善することについて著者らの研究結果を中心に紹介する。

### 老化（加齢現象）について

老化とは、“加齢とともに臓器の機能が次第に衰えて、ついに環境に適応できなくなり、個体死に至る過程”であり、老化は常に進行形で不可逆なものであると定義される。一般に、身体各臓器の機能は20歳前後をピークに、以降は低下する。

老化の研究が困難である理由として、純粋に老化を考える場合には、疾病あるいはその影響による変化や、薬物の摂取による影響を取り除いた、生理的な変化のみをとらえる必要がある。そしてその上ではじめて老化に対する疾病や薬物の影響を正しくとらえることが可能となるが、高齢者において厳密に区別して調査することは困難である。

また、もう1つ問題となる点は、ヒトは高齢になればなるほど、個体差が大きくなることである。この場合、加齢変化を年齢群で比較する横断的（cross-sectional）な調査よりも、同一個人について

その生理的変化を経年的に長期にわたってみていく (longitudinal evaluations) 方がよいことは、当然である。しかし、これも困難であり、大部分の研究は横断的なものである。

我々は横断的な調査ではあるが、可及的に正確に分析を行うために、これまで数年にわたり、大阪府老人大学講座受講生を対象として対面調査を行い、高齢者を分析している。

### 高齢者の味覚と口腔内状況

加齢によって嗅覚が減退すること、特に60歳代以上ではその減退が著しいことはよく知られている。一方、味覚においても、高齢者では若年者と比較すると認知閾値が上昇することはこれまで報告されている<sup>10)</sup>が、若年者と比較して個体差が大きく、嗅覚と比較すると近年の文献からみても明確な結果は得られていない。高齢者における味覚の減退は、味蓄の加齢変化だけではなく、口腔内状況の変化や全身疾患、またそれに伴う服用薬剤の増加など様々な要因が考えられる<sup>11,12)</sup>が、詳細は明らかではない。また、日常臨床において、硬口蓋を被覆する義歯の装着によって咀嚼機能や外観などが回復される反面、“食物の味が変わった”あるいは“食事がおいしくなくなった”という訴えに時々遭遇する。このような味覚の変化の原因として、義歯により舌房が侵害され咀嚼リズムが乱れるため味刺激が味蓄に伝わりにくくなることなどが考えられるが、これについても詳細は明らかではない。高齢者における味覚の現状を探り、硬口蓋を被覆することによって味覚が変化する原因を明らかにすることは、満足度の高い義歯を設計する上においても重要な課題であると考えられる。

高齢者において各味質の認知閾値と各人が訴えている味覚低下との間の相関関係について調べた結果、高齢者は若年者に比べて味覚低下を訴える割合が高いが、各味質の認知閾値とは関係ないとの報告がある<sup>13)</sup>が、我々が行った調査でも同様の結果が得られている<sup>14)</sup>。すなわち、高齢者におい

ては約30%が、味覚に対して満足していないと回答しており、味覚への満足度は、夜間や起床時の口腔乾燥感、硬口蓋全体を被覆する義歯の装着との有意な関連が認められたが、年齢、性別、唾液分泌量およびいずれの味質の認知閾値とも有意な関連は認められなかった。また、義歯装着者では、義歯に対する違和感の有無と味覚の満足度との間においても関連が認められた。さらに、いずれの味質においても、高齢者では、若年者と比較して有意に認知閾値が高くなった (図3)。

### 義歯と味覚

義歯と味覚との関係について考えられる因子としては、大きく分けて心理的因子と生理的因子がある。

#### ①心理的因子

ゆっくりと生じる感覚機能の低下には気づかないことが多いが、同じ程度感覚機能の低下であっても、短期間に生じた場合は、強く感覚障害が生じたように感じる。義歯装着の味覚に対する影響を考えた場合、このようなヒトの心理的な要素を考慮する必要がある。義歯装着によって、顎堤や口蓋部分が被覆されると、これらの部分の触・圧覚や温度感覚などが鈍くなり、そのため、その食物本来の感覚刺激作用が弱められ、味蓄からの情報である狭義の味覚が減退しているという錯覚が生じると考えられる。

また、一般に違った種類の刺激が同時に同一部分に加えられると、本来の刺激に対する意識がえって弱められる場合もある。これは末端受容器における対比や感応現象だけでなく、注意が分散することによる心理的要素も強く関係している。義歯を装着して咀嚼を行った場合に生じる義歯の動揺は、天然歯の場合には存在しない刺激因子で、食物の味わいを阻害することが考えられる。特に義歯が口腔内に異物感を生じさせている場合にはこの可能性が高い。

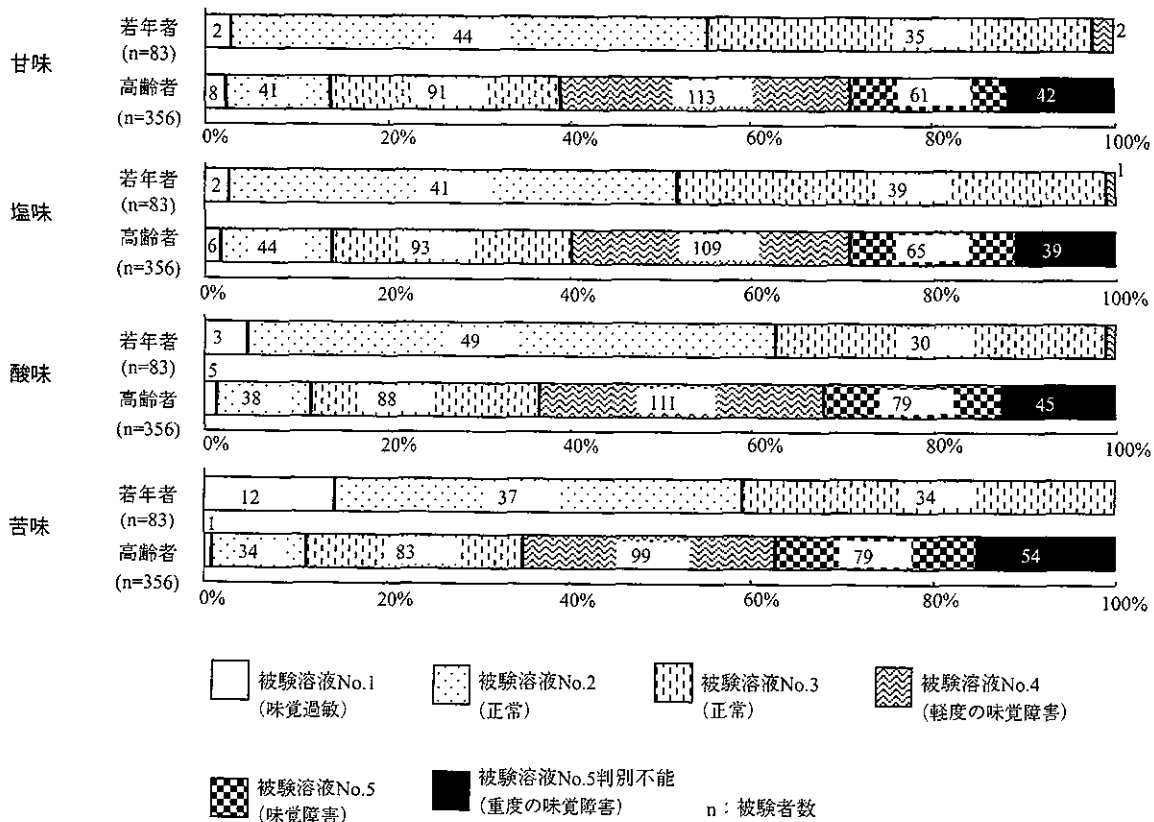


図3 各味質の認知閾値における高齢者と若年者の比較

②生理的因子

味覚の感度は、一般にはっきりとその味を感じる最小濃度（認知閾値：recognition threshold）と水と比べて味の違いを認知しうる最小濃度（検知閾値：detection threshold）といった味覚閾値で判定される。しかし、味覚閾値には個人差や年齢差があり、また味覚閾値そのものに変化がなくても、味を弁別するのに時間がかかる場合がある。さらに日常の食事の場合、それぞれの認知閾値で判断しているのではなく、その食品の主體的な味の濃度が認知閾値より濃い場合が多いため、味覚のわずかな変化に気づかないことも多い。

このように、義歯装着によって味覚がどのような影響を受けるかを検討するには、同一人物について義歯装着前後を比較する必要があるが、現在行われている研究の多くは、天然歯をもつ被験者

群と義歯装着者群の味覚閾値の差を比較していることが多く、結果の判断は慎重にすべきである。

一方、唾液は食物中の味刺激物質を溶解し、味蕾を刺激しやすくする働きがあるため、味覚を認識するためには十分な唾液量が必要となる。しかし、高齢者では唾液分泌量が減少するため、間接的に味覚に影響すると考えられる。また、食物は粉碎されればされるほど、食物中の味刺激物質が唾液に溶解しやすくなり、味蕾を刺激しやすくなるため、義歯装着時の咀嚼能率が天然歯と比較してかなり低い場合、義歯の装着によって味覚に影響が生じたように誤解される場合もある<sup>15)</sup>。著者らの研究においても、有歯顎者に対して硬口蓋全体を被覆した口蓋床を装着させ、検査用グミゼリーを用いて単位時間あたりの咬断片表面積増加量測定を行った結果、口蓋床の装着直後では非装着

時と比較して低い値を示しており<sup>16)</sup>、このことが味覚に影響を及していることが考えられる。

#### 硬口蓋を被覆することが味覚に与える影響

高齢者において、味覚の認知閾値の上昇は確かに認められるが、実際の食生活における“味覚の満足度”に大きな影響を与える因子として、硬口蓋を被覆する義歯の装着や、その義歯の違和感があげられる。Murphy<sup>17)</sup>は、義歯装着後は味覚の認知閾値が上昇し、感覚が鈍くなると報告している。Henkinら<sup>18)</sup>は、上顎全部床義歯装着者において、酸味と苦味の認知閾値は上昇するが、甘味と塩味には変化がないことから、口蓋部は酸味と苦味に対して、また舌は甘味と塩味に対してより積極的な味覚の受容部位となっていることが考えられるとしている。

我々の研究では、甘味は口蓋床装着の影響を受けにくいものの、その他の味質では認知閾値は上昇し、装着2週間後では各味質の認知閾値は非装着時と近い値となった<sup>19-21)</sup>。

これらのことから、硬口蓋を被覆することは認知閾値の上昇につながることを示され、今後、被覆部位の違いによる影響や実験床の材質や厚さを変化させることによる影響についても検討する必要があると考えられる。

#### おわりに

豊かな食生活をおくる上で、歯を喪失しないということは重要ではある。しかし、超高齢社会においては、歯の欠損に伴う義歯による補綴治療の必要性は高いと考えられる。味に対する不満は、加齢による味覚閾値の上昇よりも、硬口蓋を被覆する義歯の装着や義歯への違和感が重要な因子であることから、今後、より心理的な味の対比効果を起こしにくく、また咀嚼運動を変化させにくい義歯の形態を検討していくことは、QOLを高めるためにも必要であると考えられる。

### Ⅲ 咀嚼・嚥下機能評価を目的とした舌圧測定システムの開発

#### はじめに

近年、高齢者や口腔腫瘍術後患者の口腔機能障害がクローズアップされている。「食べる」、「話す」といったヒトの社会生活上必須の能力を維持することは、生命維持だけではなく、より積極的に質の高い生活を送ること、すなわちADLとQOLの問題に直結している。この分野において、口腔機能をあずかる歯科医療に対する国民の期待は大きく、「フロンティアバイオデンティストリーの創生」においても「話す・咬む」は重点課題の一つに位置づけられている。

口腔器官としての舌の役割が極めて重要であることは一般の人にも理解されているが、これまで歯科領域における舌機能の研究はあまりさかんであったとはいえない。特に咀嚼においては、顎機能(顎運動、咀嚼筋活動)の面での研究がさかんに行われてきたことと比較すれば、はなはだ遅れているとさえいえるが、これは広範囲かつ複雑な筋の走行によって構成されている舌という器官の特異性、その動きを客観的に評価することの困難さが原因していると思われる。本研究は、舌が機能時に口蓋と接触して生じる圧に注目し、特に客観的評価法の開発が待望されている咀嚼・嚥下障害の診断と治療において役立つ舌圧測定システムの開発を目的としたものである。

#### 研究の背景

咀嚼、嚥下、構音などの重要な口腔機能において、舌は口蓋と接触することによって重要な役割を果たしており、高齢者に多い脳血管障害<sup>22)</sup>や神経筋疾患<sup>23,24)</sup>、あるいは舌切除患者<sup>25,26)</sup>においては舌の機能低下による口腔機能障害が多く見られることが報告されている。特に、嚥下障害は、高齢者の自宅復帰やQOLの回復の大きな妨げとなり、誤嚥性肺炎は高い頻度で高齢者の死亡原因となり

うるにもかかわらず、舌機能評価法は肉眼的診察や Videofluorography (VF)<sup>27-31)</sup> や超音波診断装置<sup>32)</sup> による定性的評価にとどまっていた。

嚥下時の舌機能の指標として舌圧を用いる研究は1980年代から国内外において散見されるが、最近では主として口蓋床や義歯に圧力センサを埋め込んだ装置を用いる方法が行われている<sup>33-37)</sup>。我々のグループでもその方法を用いて健常者10名の硬口蓋部7点の水嚥下時舌圧を計測し、舌圧発現順序、舌圧発現時間、舌圧最大値の3つのパラメータにより健常者の水嚥下時舌圧の正常パターンを明らかにした<sup>37)</sup>。すなわち、舌圧発現順序においては、水嚥下時の舌圧は、まず口蓋正中前方部において発現し、その後正中中部においては前方から後方の順に発現し、正中後方部における舌圧発現は他の6点と比較して最も遅いこと、各点の舌圧は開始から0.03~0.73秒の間にピークに達してからゆるやかに減少し、ピークから0.31~0.87秒後に7点がほぼ同時に消失することが明らかとなった。したがって、舌圧発現時間は正中前方部が $0.90 \pm 0.17$ 秒と最も長く、正中後方部が $0.62 \pm 0.11$ 秒と最も短かった。さらに、舌圧のピーク値は正中前方部で $25.6 \pm 6.6$ kPaと最も大きく、周縁部の測定点間に左右差は見られなかった。以上のことから、健常者においては、硬口蓋各部における舌圧の発現順序だけでなく、舌圧発現時間や最大値の差が生じることによって、正常な嚥下が行われていることがわかった。

この結果より、我々は舌圧を計測しそのパラメータを分析することで嚥下障害の口腔相の問題を客観的に診断できるのではないかと考えた。しかし同時に、圧力センサを用いた方法は、装置の製作が極めて煩雑でコストがかかり、臨床応用は難しいと思われた。そこで、極薄の感圧フィルムを用いた面圧分布測定システム (I-Scan System, ニッタ社製) に着目し、これを応用した舌圧センサ・シートを開発することにした。

### 舌圧センサ・シートの設計

口腔内に入れて使用するセンサは、生理的な機能運動を妨げるものであってはならないため、できるかぎりコンパクトで違和感が小さいことが望ましい。著者らが注目したセンサ・シートは厚さ約0.1mmと極薄であり、口腔内に挿入した場合の違和感をできる限り小さくする上で有利であった。また、障害をもった高齢者に使用するためには、計測時の験者・被験者双方の負担ができるだけ小さく、ベッドサイドでも簡単に使用できるものであってほしい。その点についても、ノートパソコンに接続するだけで使用でき、特別な測定室を必要としないセンサ・シートは条件に適していた。そこで、まず著者らは、このセンサ・シートを舌圧測定用に用いるためのカスタマイズに着手した。

まず、圧力センサを用いた実験結果<sup>37)</sup>をもとに、舌圧発現様相を評価する上で必要と考えられる5カ所の測定点を硬口蓋上に設定した。すなわち、正中中部において前方、中央、後方の3点、周縁部後方に左右各1点の合計5点である。各測定点をT字型の導線部でつなぐことにより、曲面である口蓋の形態に沿って貼付することができるようにした(図4)。また、様々な口蓋の大きさに可及的に対応するために、S、M、Lの3種類の大きさを設定した。この大きさは、実際の上顎全部床義歯30症例と天然歯列有歯顎30症例、合計60症例の顎模型の寸法を計測することにより決定した。導線部は、最後臼歯の遠心から口腔前庭を通過される形態とし、機能時に咬合を阻害することなく、生理的な咀嚼・嚥下が可能となるように設計した。

センサの測定容量・測定精度については、これまでに行った圧力センサを用いた研究結果から、測定容量70kPa、測定精度0.27kPaに設定した。

### 舌圧センサ・シートの使用方法と臨床応用例

#### (1) 使用方法

実際の測定においては、患者が普段使用してい



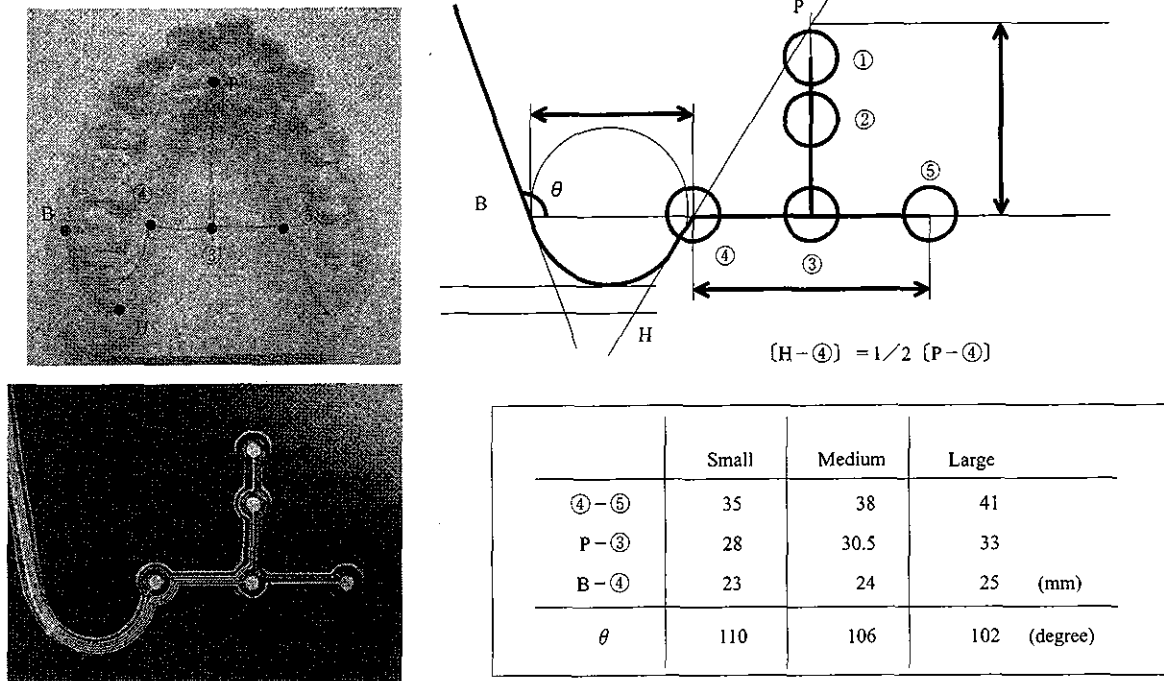


図4 舌圧センサ・シートの設計

る上顎義歯もしくはあらかじめ製作しておいた口蓋床に、接着剤を用いて舌圧センサ・シートを貼付する。センサ・シートの位置決めは、正中前方部の測定点 (Ch1) を切歯乳頭部の 5mm 後方とし、正中後方部 (Ch3) と周縁部 (Ch4 と Ch5) が左右第一大臼歯遠心を結んだ線上に位置することが目安となる。しかし、舌接触補助床 (Palatal Augmentation Prosthesis; PAP) の効果の確認など任意の部位における舌圧を計測する場合は、この限りではない。センサ・シートは測定終了後簡単に除去し、薬液消毒することができる。再度測定する場合にはもう一度そのシートを使用することが可能である。

#### (2) 舌がん患者の術後機能評価への応用

舌の部分的切除を受けた舌がん術後患者の咀嚼・嚥下機能のリハビリテーションは、術直後は創面を保護するために局所の安静を保つが、約1週間後より舌を動かす訓練を開始し、通常まず少量の水分摂取から開始して、流動食、軟飯・軟菜など次第に食事の調理形態を通常に近づけていく

というものである。術後の時間経過とともに舌の可動性は回復するが、舌の形態的・運動的障害と、歯列、顎骨、唾液腺への侵襲、また頸部郭清術や放射線治療の影響により、術前と同じ咀嚼・嚥下能力を取り戻すことは困難である。我々は、これまで口腔腫瘍術後患者の食事内容に関する咀嚼能率検査<sup>38)</sup>やアンケート調査<sup>39,40)</sup>から、能力低下に繋がる因子の検索を試み、舌、歯列、顎骨などへの手術侵襲の大きさが影響することを確認したが、こうした患者個々の口腔機能を最大限に回復するには、形態レベル、能力レベルの評価だけでなく、機能レベルの詳細な評価が必要である。例えば舌においては、嚥下や咀嚼の際にどのように口蓋と接触するのか、その時生じる接触圧の大きさ、接触時間はどのようにになっているか、など能力に結びつく客観的な指標を見出すことによって病態を解明し、より効率的なリハビリテーションを実現することができるのではないだろうかと考えた。

そこで、まず、舌がん患者2名(症例1:57歳男性、症例2:72歳男性)を対象に、術前・術後の機能評価

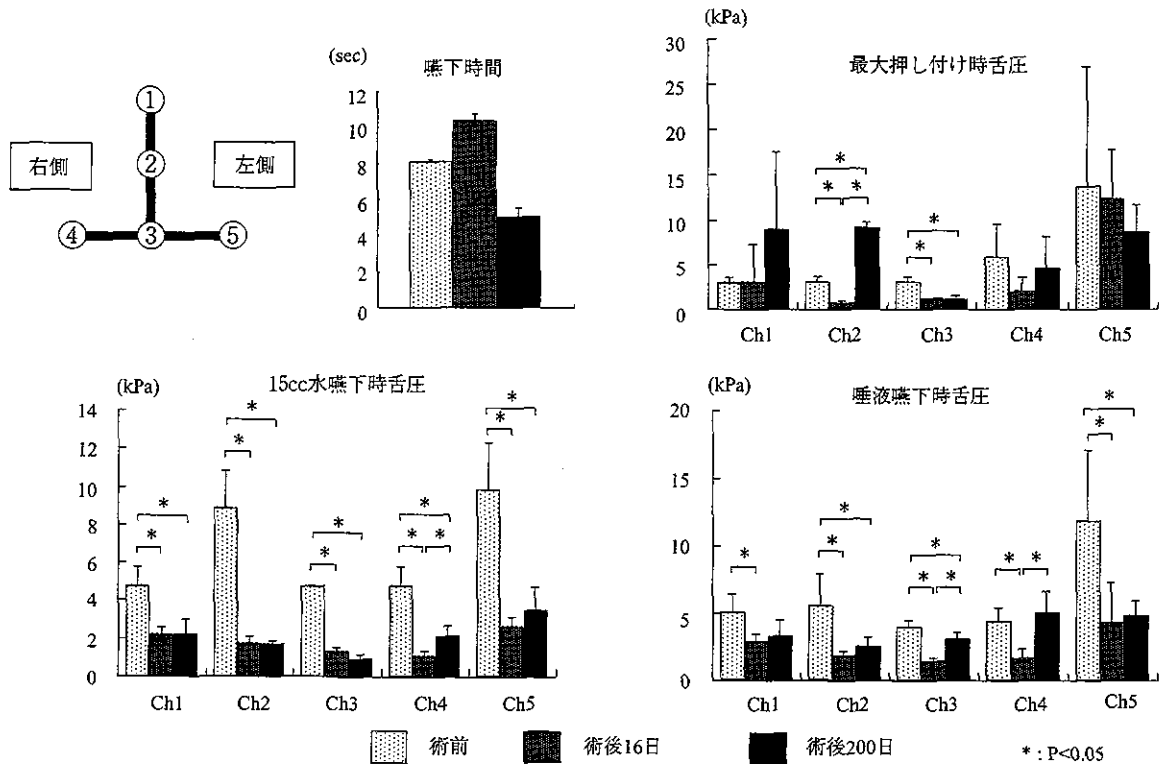


図5 症例2の舌圧測定ならびに水飲みテスト（嚥下時間）結果

において舌圧測定を行った。測定は、症例1ではあらかじめ製作しておいた厚さ1.2mmの舌圧測定用口蓋床、症例2では患者が使用している上顎義歯に、シアノアクリレート系接着剤を用いてセンサ・シートを貼付して行った。測定項目は最大押し付け時、唾液嚥下時、15cc水嚥下時の舌圧とした。また、嚥下障害のスクリーニングテストである窪田の水のみテスト<sup>4)</sup>に準じて、水30ccの嚥下時間を計測した。

右側舌部分切除後前腕皮弁にて再建された症例1では、手術4日前のデータと比較して、手術23日後のデータでは最大押し付け時にCh1-3の正中部分3カ所で舌圧の減少が見られたものの、15cc水嚥下時、唾液嚥下時にはCh2、Ch5を除いて舌圧に有意差は認められなかった。水のみテストの結果は、術前が3.95秒、術後が3.03秒と嚥下能力の低下は認められなかった。

一方、右側舌部分切除後非再建（単純縫縮）であ

った症例2においては、水のみテストにおける嚥下時間は、術前は8.18秒であったのに対し、手術16日後には10.46秒と若干延長が見られた。しかし、手術200日後には5.12秒と術前よりも短くなっており、嚥下能力の回復が認められた。術前術後の舌圧測定結果の比較では、15cc水嚥下時にも、唾液嚥下時においても、ほとんど全ての測定点で手術直後には舌圧の有意な減少が見られた（図5）。特に切除部位である右側に相当するCh4は、術前の22%まで舌圧が減少していた。また、その他の部位においても舌圧は術前の30%まで減少しており、舌切除の影響が切除部位以外にも及んでいることがわかった。一方で、手術後約6ヵ月後には、舌圧は切除部位であるCh4において若干の回復傾向を示したものの、手術前よりも低い値となっていた。なお、両患者とも食物摂取においては制約はあるものの、日常生活に支障を及ぼさないところまで嚥下能力は回復していた。

これらの結果より、舌切除術直後には術式により舌圧が小さくなる可能性があり、舌圧の低下により嚥下機能に影響を及ぼすことがあること、逆に、術後の舌圧が小さくとも日常生活上支障のない嚥下能力を再獲得できる場合があることが示唆された。

### (3) 脳梗塞患者のリハビリテーションへの応用

嚥下時における舌と口蓋との接触が著しく低下した患者は、口腔から咽頭への食品の送り込みが悪くなるだけでなく、十分な嚥下圧が形成できず、しばしば口腔残留、咽頭早期流入、咽頭残留、誤嚥などの問題が生じる。こうした問題は、舌がん切除による実質欠損<sup>42)</sup>だけでなく、脳血管障害の後遺症である運動神経の麻痺<sup>43,44)</sup>によっても引き起こされる。このような症例に対して、舌と口蓋との接触を回復するために上顎に装着される補綴装置がPAPである。PAPは口蓋床や上顎義歯の口蓋部を利用して製作されるが、どのようにして適当な形態を付与するかは経験的あるいは試行錯誤によって行われていることが多い。我々は、個々の症例の機能障害に応じた設計基準を設けることができれば、さらに治療効果を挙げることができるのではないかと考え、PAPを用いて嚥下障害のリハビリテーションを行っている患者の舌圧測定を試みた。

対象は、嚥下障害のためリハビリテーション病院に入院中の脳梗塞患者1名(68歳男性)であり、測定は、嚥下リハビリテーションのために製作されたPAPならびにあらかじめ製作しておいた厚さ1.2mmの舌圧測定用口蓋床にシアノアクリレート系接着剤を用いてセンサ・シートを貼付して行った。測定項目は最大押し付け時、ゼリー嚥下時の舌圧とした。Ch1, Ch4では、いずれの測定項目においても、口蓋床装着時と比較してPAP装着時において舌圧の増加が見られなかったが、Ch2, Ch3, Ch5において舌圧の増加( $P < 0.05$ , Mann-Whitney's U検定)が認められ、特に奥舌部が接触するCh3で高い舌圧が認められた。本症例に

おいては、口腔周囲筋や舌の運動機能が低下しているため、口腔前方から後方への食品の搬送が難しく、食品を最初から口腔の奥に挿入し奥舌によって咽頭へ送り込むという摂取形態で訓練が行われていたが、その狙いはPAP装着によって達成されていることが確認された。しかし、側方のCh4とCh5において舌圧が低かったため、PAPのその部位にさらに厚みをもたせ舌との接触を緊密にすることを提案した。調整後、VF検査によって咽頭残留が減少したことが確認され、PAPの設計における舌圧測定の有用性が示された。

おわりに

以上の研究成果から、我々が開発した舌圧センサ・シートを用いた舌圧計測システムは臨床において所期の簡便性と精度を発揮することができ、咀嚼・嚥下障害の診断・治療・リハビリテーションにおいて有用な客観的嚥下機能評価法を構築するためのツールとなる可能性が示唆された。これを受けて、国立大学法人大阪大学とニッタ株式会社は本センサ・シートを特許出願中である(特願2004-17519)。現在著者らは舌圧発現と嚥下関連筋群、嚥下音との協調性について探索を進めており、その結果をもとに、将来本システムを顎運動・口腔・咽頭の筋活動と連動した包括的な咀嚼・嚥下機能診断システムに発展させたいと考えている。

### 謝 辞

舌圧測定システムの臨床応用の機会を与えて頂きました聖霊三方原病院リハビリテーションセンター 藤島一郎センター長、聖霊クリストファー大学リハビリテーション学部小島千枝子教授に感謝します。また、本研究の遂行に協力頂いた森戸研太郎、松田謙一、吉仲正記、島貫靖士、中屋真理子、岩田久之はじめ教室員各位に深く感謝の意を表します。

本研究は文部科学省21世紀COEプログラム「フロンティアバイオデンティストリーの創生」

科学研究費補助金基盤研究 B (#1370631) および厚生科学研究費助成金 (長寿科学総合研究事業) のサポートを受けて行った。

## 文 献

- 1) 日本補綴歯科学会ガイドライン作成委員会 (2002) : 歯科医療領域 3 疾患の診療ガイドライン (河野正司編). 1 版, 日本補綴歯科学会, 東京, 35-41, 平成 14.
- 2) Manly R. S., Braly L. C. (1957) : Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.*, 29, 448-462.
- 3) 渡辺誠, 今村太郎, 鹿沼晶夫, 根本一男 (1982) : 比色法を用いた咀嚼能率の簡易測定法の開発: 義歯装着者における咀嚼能率. 補綴誌, 26, 687-696, 昭和 57.
- 4) 増田元三郎 (1981) : ATP 顆粒剤を用いた吸光度法による新しい咀嚼能力測定法. 日口科誌, 30, 103-110, 昭和 56.
- 5) 山本誠 (1993) : 全部床義歯装着者の咀嚼能率, 咀嚼筋活動および下顎運動による咀嚼機能評価. 阪大歯学雑誌, 38, 303-331, 平成 5.
- 6) 沖山誠司, 吉田実, 山本誠, 森井まどか, 野首孝祠 (1996) : 試験用グミゼリーの物性と咬合接触状態が咀嚼能率に及ぼす影響. 補綴誌, 40, 710-717, 平成 8.
- 7) 沖山誠司 (1998) : 試験用グミゼリーの硬さの違いが咀嚼機能に及ぼす影響. 阪大歯学雑誌, 43, Thesis 1-16, 平成 10.
- 8) Okiyama S., Ikebe K., Nokubi T. (2003) : Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men. *J. Oral Rehabil.*, 30, 278-282.
- 9) 梅原亜紀, 野首孝祠, 安井 栄, 中村喜美恵, 沖山誠司, 山本 誠 (1997) : 全部床義歯装着者において試験用グミゼリーを用いる咀嚼能率診査法の改良. 補綴誌, 41, 平成 9.
- 10) Mojat, J., Hazelhof, E. C. and Heidema, J. (2001) : Taste Perception with Age: Generic or Specific Losses in Threshold Sensitivity to the Five Basic Taste?. *Chemical Senses*, 26, 845-860.
- 11) Arey, L. B., Tremaine, M. J., Monzingo, F. I. (1935) : Numerical and topographical relations of taste buds to human circumvallate papillae throughout life span. *Anat. Rec.*, 64, 9-25.
- 12) Henkin, R. I., Keiser, H. R., Jaffe, I. R., Sternlieb, I., Scheinberg, I. H. (1967) : Decreased taste sensitivity after D-penicillamine reversed by copper administration. *Lancet*, 2, 1268-1271.
- 13) Cohen, T., Gitman, L. (1959) : Oral complaints and taste perception in the aged. *J. Gerontol.*, 2, 294-298.
- 14) Furuya, M., Yoshinaka, M., Ikebe, K., Shimanuki, Y., Nokubi, T. (2004) : Association of taste sensation with oral status in older adults. *82th. IADR general session*. 1959.
- 15) Manly, R. S., Vinton, P. (1951) : A survey of the chewing ability of denture wearers. *J. Dent. Res.*, 30, 314-321.
- 16) 古谷暢子, 野首孝祠 (1999) : 実験用口蓋床が味覚閾値に及ぼす影響 —形態的な要因について—. 補綴誌, 43, 236-243, 平成 11.
- 17) Murphy, W. M. (1971) : The effect of complete dentures upon taste perception. *Br. Dent. J.*, 130, 201-205.
- 18) Henkin, R. I., Christiansen, R. I. (1967) : Taste thresholds in patients with dentures. *J. A. D. A.*, 75, 118-120.
- 19) 古谷暢子, 池原晃生, 野首孝祠 (1995) : 実験用口蓋床が味覚閾値に及ぼす影響 —装着直後の変化—. 補綴誌, 39, 662-669, 平成 7.
- 20) 古谷暢子, 池原晃生, 野首孝祠 (1996) : 実験用口蓋床が味覚閾値に及ぼす影響 —装着直後 2 週間後の変化—. 補綴誌, 40, 718-724, 平成 8.
- 21) 古谷暢子, 野首孝祠 (1998) : 実験用口蓋床が味覚閾値に及ぼす影響 —心理的な要因について—. 補綴誌, 42, 875-880, 平成 10.
- 22) Umaphathi T., Venketasubramanian N., Leck K. J., Tan C. B., Lee W. L., Tjia H. (2000) : Tongue deviation in acute ischaemic stroke: a study of supranuclear twelfth cranial nerve palsy in 300 stroke patients. *Cerebrovasc. Dis.*, 10, 462-465.
- 23) Schneider J. S., Diamond S. G., Markham C. H. (1986) : Deficits in orofacial sensorimotor function in Parkinson's disease. *Ann. Neurol.*, 19, 275-282.

- 24) Leopold N. A., Kagel C. K. (1996) : Pharyngeal dysphagia in Parkinson's disease. *Dysphagia*, 11, 14-22.
- 25) Davis J. W., Lazarus C., Logemann J., Hurst P. S. (1987) : Effect of a maxillary glossectomy prosthesis on articulation and swallowing. *J. Prosthet. Dent.*, 57, 715-719.
- 26) Logemann J. A., Kahrilas P. J., Hurst P., Davis J., Krugler C. (1989) : Effects of intraoral prosthetics on swallowing in patients with oral cancer. *Dysphagia*, 4, 118-120.
- 27) Palmer J. B., Rudin N. J., Lara G., Crompton A. W. (1992) : Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia*, 7, 187-200.
- 28) Hiiemae K. M., Heath M. R., Heath G., Kazazoglu E., Murray J., Sapper D., Hamblett K. (1996) : Natural bites, food consistency and feeding behaviour in man. *Arch. Oral Biol.*, 41, 175-189.
- 29) Palmer J. B., Hiiemae K. M., Liu J. (1997) : Tongue-jaw linkages in human feeding: a preliminary videofluorographic study. *Arch. Oral Biol.*, 42, 429-441.
- 30) Hiiemae K. M., Palmer J. B. (1999) : Food transport and bolus formation during complete feeding sequences on food of different initial consistency. *Dysphagia*, 14, 31-42.
- 31) 小野高裕, 堀 一浩, 野首孝詞, 角田 明, 古川惣平 (2003) : Digital Subtraction Angiography を用いたグミゼリーの咀嚼・嚥下動態評価. 補綴誌, 47, 107-116.
- 32) Koshino H., Hirai T., Ishijima T., Ikeda Y. (1997) : Tongue motor skills and masticatory performance in adult dentates, elderly dentates and complete denture wearers. *J. Prosthet. Dent.*, 77, 147-152.
- 33) Shaker R., Cook I. J., Dodds W. J., Hogan W. J. (1988) : Pressure-flow dynamics of the oral phase of swallowing. *Dysphagia*, 3, 79-84.
- 34) 齋藤洋子, 本吉 満, 有本方恵, 糸井健太郎, 嶋崎隆壽, 納村晋吉 (1999) : 正中口蓋部に生じる嚥下時の舌圧について. 日矯歯誌, 58, 303-308, 平成 11.
- 35) 横山美加, 道脇幸博, 小澤素子, 衣松令恵, 道 健一 (2000) : 嚥下時の舌圧測定に関する基礎的研究. 口腔科誌, 49, 171-176, 平成 12.
- 36) 萬屋 陽, 田村文登, 向井美恵 (2002) : 口蓋部舌圧測定による舌運動評価—口蓋床の厚みが嚥下時舌運動に与える影響—. 日摂食嚥下リハ誌, 6, 93-103, 平成 14.
- 37) Ono T., Hori K., Nokubi T. (2004) : Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia*, 19, 259-264.
- 38) 耕田英樹 (1999) : 試験用グミゼリーを用いた上顎顎義歯装着者の咀嚼機能評価. 阪大歯学誌 44, (Thesis), 平成 11.
- 39) 小野高裕, 耕田英樹, 堀 一浩, 寺内美智子, 長島正, 野首孝詞 (1999) : 補綴治療を行った口腔腫瘍術後患者の摂食機能に影響を及ぼす因子 (第1報) 摂食時における問題点. 顎顔面補綴, 22, 7-17, 平成 11.
- 40) 小野高裕, 耕田英樹, 堀 一浩, 寺内美智子, 長島正, 野首孝詞 (1999) : 補綴治療を行った口腔腫瘍術後患者の摂食機能に影響を及ぼす因子 (第2報) 食品摂取能力について. 顎顔面補綴, 23, 87-97, 平成 11.
- 41) 窪田俊夫 (1982) : 脳血管障害における麻痺性嚥下障害—スクリーニングテストとその臨床応用について. 総合リハ, 10, 271-276, 昭和 57.
- 42) 小野高裕, 野首孝詞 (2000) : 摂食・嚥下障害のリハビリテーション／術後早期の咀嚼・嚥下訓練と歯科補綴的アプローチ. 『口腔中咽頭癌のリハビリテーション』, 医歯薬出版, 東京, 171-184, 平成 12.
- 43) 小野高裕, 野首孝詞 (2000) : リハビリテーションの進め方／歯科補綴的アプローチ. 『医師・歯科医師のための摂食・嚥下障害ハンドブック』, 医歯薬出版, 東京, 139-145, 平成 12.
- 44) 濱村真理, 小野高裕, 野首孝詞, 本田公亮 (2004) : 補綴装置とバイオフィードバック法を用い会話明瞭度が改善した dysarthria の1例. 音声言語医学, 45, 276-282, 平成 16.

## Association between masticatory performance and maximal occlusal force in young men

S. OKIYAMA, K. IKEBE & T. NOKUBI *Division of Oromaxillofacial Regeneration, The Course for Integrated Oral Science and Stomatology, Osaka University Graduate School of Dentistry, Osaka, Japan*

**SUMMARY** The purpose of this study was to examine the relationship between masticatory performance and maximal occlusal force in dentate subjects, using test foods of varying hardness. Subjects were 20 young males with natural dentitions. Gummy jellies with two different degrees of hardness have been used as test foods to evaluate masticatory performance. Masticatory performance was evaluated by the increase of the surface area of expectorated pieces of comminuted gummy jelly that was calculated from the concentration of gelatin.

Maximal occlusal force was measured with pressure sensitive sheets (DENTAL PRESSCALE™ 50H R type). The results suggested that maximal occlusal force had a significant positive correlation to the masticatory performance both with soft gummy jelly and hard gummy jelly. The correlation coefficient ( $r$ ) with hard gummy jelly tended to be larger than with soft gummy jelly.

**KEYWORDS:** dental prescale, food's hardness, gummy jelly, masticatory performance, maximal occlusal force

### Introduction

The aim of mastication is to comminute food and to increase the surface area of the food to be exposed to digestive juices. There have been several objective measures of masticatory functions, such as masticatory performance, swallowing threshold and occlusal force. While Geertman *et al.* (1999) reported that an improvement in masticatory performance does not imply the same improvement in chewing experience and vice versa, measurement of masticatory performance and maximal occlusal force may provide essential information that could make an appropriate diagnosis regarding masticatory function.

Previous studies have reported on the associations between masticatory performance and maximal occlusal force (Tate *et al.*, 1994; Fontijn-Tekamp *et al.*, 2000). However, it has not been determined whether an individual's masticatory performance varies according to a food's hardness.

Real foods, including carrots (Tate *et al.*, 1994; Fontijn-Tekamp *et al.*, 2000), peanuts (Manly, 1951), almonds (Huggare & Skindhøj, 1997) and color-changeable chewing gum (Hayakawa *et al.*, 1998), have been used

to measure masticatory performance. But it is difficult to change hardness with real foods. In other studies, artificial products (e.g. Silicone impression materials as Optocal™\*) with different hardness were used (Slagter, Bosman & Van der Bilt, 1993), however, they were not real foods. Gummy jelly (Fig. 1) can provide different hardnesses with the same shape and taste (Yamamoto, 1993; Yoshida *et al.*, 1995). Since its suitability has been demonstrated, gummy jelly has become one of the optimal foods for measuring masticatory performance with different degrees of hardness.

The purpose of this study was to examine the relationship between masticatory performance and maximal occlusal force in dentate subjects, using test foods of varying hardness.

### Subjects and methods

#### Subjects

Subjects were 20 males ( $28.3 \pm 1.9$  years old) with natural dentitions and Angle Class I orthodontical normal

\*Bayer AG, Leverkusen, Germany.

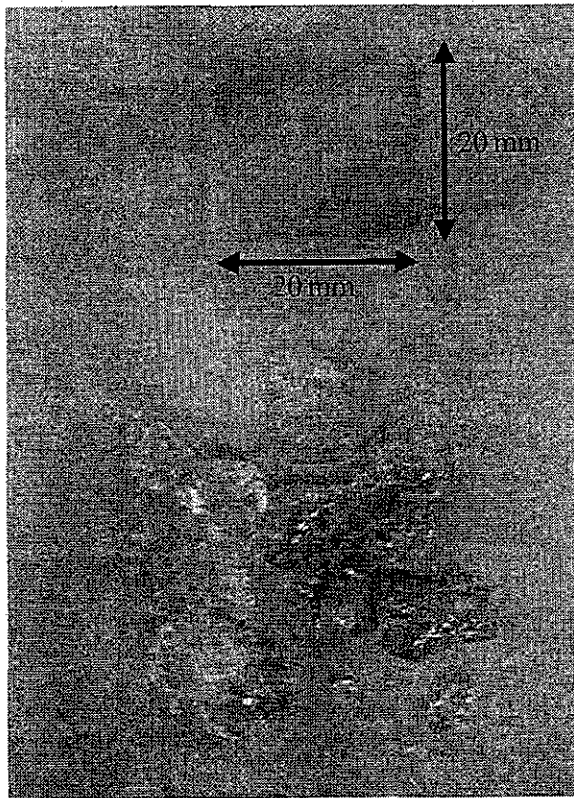


Fig. 1. Original gummy jelly and the gummy jelly after mastication by 20 strokes.

occlusion, who did not have clinical stomatognathic dysfunction. All subjects were volunteers and fully informed about the purpose and procedures of this study.

*Maximal occlusal force*

Maximal occlusal force was measured with pressure sensitive sheets (DENTAL PRESCALE 50H R type<sup>†</sup>) (Suzuki *et al.*, 1997; Kumagai *et al.*, 1999). The subjects performed maximal clenching with a pressure sensitive sheet placed between the maxilla and the mandibular dental arch, and the occlusal force was measured with special analytical equipment (Occluzer FPD703<sup>TM‡</sup>).

*Masticatory performance*

In this study, masticatory performance was determined by the increase of dissolved gelatin from the surface

Table 1. Size, weights, hardness, relative weight ratio of ingredients of the gummy jelly

Testing gummy-jelly	Soft	Hard
Size (mm)	20 × 20 × 10	20 × 20 × 10
Weight (g)	5.5	5.5
Hardness	82.1	576.3
(Bloom strength*: gf)		(*: JIS K 6503-1977)
Ingredients (wt%)		
Starch syrup	25.1	20.8
Granulated sugar	25.1	20.8
Maltose	25.1	20.8
4.5-3% gelatin solution	11.3	26.5
Others	13.4	11.1

of the soft or hard gummy jellies that are the standardized foods for measuring masticatory performance (Fig. 1, Table 1). Subjects were instructed to chew the gummy jelly using 20 strokes on their preferred chewing side (left or right) and to expectorate the bolus of masticated gummy jelly from their mouths on a sheet of gauze as thoroughly as possible. The collected pieces of the masticated gummy jelly were washed with running water for 30 s to remove saliva. The temperature of the water was 20 °C, which was cool enough to prevent the dissolution of the gelatin. Then the pieces were soaked in 100 mL of distilled water (soft gummy jelly in 30 °C, hard gummy jelly in 35 °C) and stirred for 60 s. The supernatant fluid of the solution was sampled and diluted to 20 times as much as its volume with distilled water. The concentration of dissolved gelatin from the masticated testing gummy jelly was measured with a spectrophotometer (UV-1200<sup>§</sup>). First, 0.3 mL of sodium dodecyl sulfate (SDS, 400 µg mL<sup>-1</sup>) was added to each sample (2.4 mL) in order to increase the sensitivity to collagen by the Bradford dye-binding protein assay method. Then, 0.6 mL of protein assay dye reagent<sup>¶</sup> was added to the sample solution. Distilled water (2.4 mL) was used in the same way as a control. After incubation at room temperature for 30 min, the concentration of each dyed sample with a wavelength of 650 nm was measured with the spectrophotometer (Yoshida *et al.*, 1995).

The accuracy of this assay had been established in our pilot study as follows: the relationship between the concentration of the dyed solution and the concentration of gelatin was linear within the range of

<sup>†</sup>FUJI Photo Film Co. Ltd, Tokyo, Japan.

<sup>‡</sup>Ezaki Glico Co. Ltd, Osaka, Japan.

<sup>§</sup>Shimadzu Co. Kyoto, Japan.

<sup>¶</sup>Bio-rad Co, Hercules, USA.

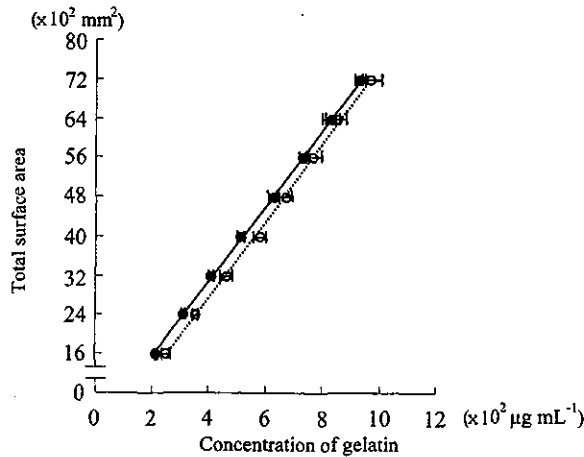


Fig. 2. These two regression lines represent the relationship between the surface area of gummy jelly and the amount of gelatin from it. The dots and error bars represent the means and standard deviations among five data calculated by means of statistical analysis software SPSS®. (● soft gummy jelly:  $Y = 77.5X + 22.1$  and ○ hard gummy jelly:  $Y = 7.9X - 442.5$ ).

2.5–4.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  (correlation coefficient:  $r = 0.997$ ,  $P < 0.01$ ) (Yamamoto, 1993). The concentration of the dyed solution increased in proportion to the enlargement of the total surface area of the gummy jellies. The gummy jelly was divided into the surface areas of 1600, 2400, 3200, 4000, 4800, 5600, 6400 and 7200  $\text{mm}^2$ . Then the concentration of gelatin dissolved from both the soft and hard gummy jellies was measured. After that, a regression analysis of the relationship between the total surface area of gummy jelly and the concentration of gelatin ( $X \mu\text{g mL}^{-1}$ ) dissolved from it was conducted (Fig. 2). The increase of the surface area ( $Y \text{mm}^2$ ) was measured by subtracting the original surface area (1600  $\text{mm}^2$ ) from the total surface area of the masticated gummy jelly.

The formula was:

$$\text{Soft gummy jelly : } Y = (77.5X + 22.1) - 1600 \text{ (original surface area)}$$

$$\text{Hard gummy jelly : } Y = (7.9X + 442.5) - 1600 \text{ (original surface area)}$$

The increase of the surface area ( $Y \text{mm}^2$ ) was used as the parameter of masticatory performance. At each trial, both masticatory performance and maximal occlusal force were measured three times, and their means were used as representative values.

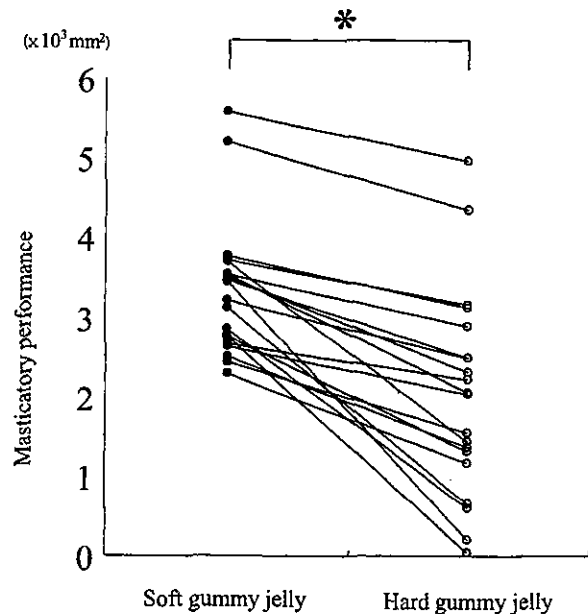


Fig. 3. Twenty paired data represent masticatory performances with soft gummy jelly and hard gummy jelly. The masticatory performances with soft gummy jelly (●) in all 20 subjects were higher than with hard gummy jelly (○) ( $n = 20$ ,  $P < 0.05$ , by paired Student's *t*-test).

#### Statistical analysis

Differences in paired data were tested by paired *t*-test in the case of normal distributions, or by Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test in the case of non-normal distributions. Association between the masticatory performance and maximal occlusal force was tested by Pearson's coefficient of correlation tests in the case of normal distributions, or by Spearman's rank order correlation tests in the case of non-normal distributions. All statistical tests were performed using the SPSS®\*\* statistical package software. A probability level of  $P < 0.05$  was considered significant.

#### Results

Mean and standard deviation of the maximal occlusal force was  $727 \pm 270 \text{ N}$ , and those of the masticatory performance were  $3332 \pm 848 \text{ mm}^2$  in soft gummy jelly and  $2015 \pm 284 \text{ mm}^2$  in hard gummy jelly.

The masticatory performance with soft gummy jelly (Fig. 3) was significantly greater than that with hard gummy jelly ( $P < 0.05$ ).

\*\*SPSS Co. Ltd, Chicago, USA.



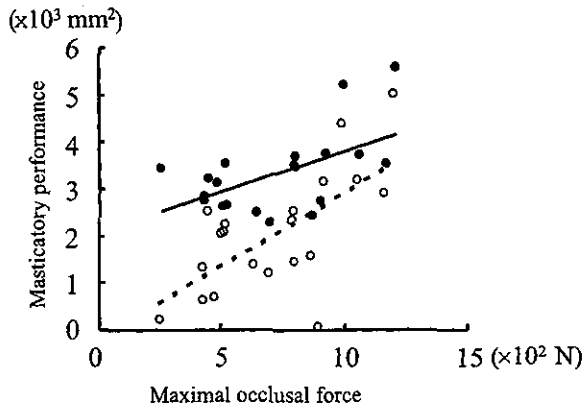


Fig. 4. The scatter diagram shows the relationship between the maximal occlusal force and the masticatory performance ( $n = 20$ , Soft gummy jelly:  $r = 0.55$ ,  $P < 0.05$  and  $\circ$  hard gummy jelly:  $r = 0.66$ ,  $P < 0.05$  by Pearson's correlation test). These two lines represent regression lines (solid line indicates soft gummy jelly and dotted line indicates hard gummy jelly).

Maximal occlusal force had a significant positive correlation to the masticatory performance (Fig. 4) both with soft gummy jelly ( $r = 0.55$ ,  $n = 20$ ,  $P < 0.05$ ) and with hard gummy jelly ( $r = 0.66$ ,  $n = 20$ ,  $P < 0.05$ ). Pearson's correlation coefficient ( $r$ ) with hard gummy jelly tended to be larger than with soft gummy jelly.

## Discussion

In this study, we used one of the pressure sensitive sheets, the Dental Pre-scale System, to measure maximal occlusal force. Suzuki *et al.* (1997) reported that the Dental Pre-scale System has the following advantages: (i) the thin material induced only a small change in the occlusal vertical dimension, making measurements at a position near the intercuspal position possible; (ii) it is not necessary to use special measurement equipment; (iii) many patients may be evaluated in a short period of time.

This gummy jelly is an experimental food product developed for our masticatory test. Gummy jelly can be defined according to its ingredients, physical properties, and form, moreover, it can be packed separately for hygienic purposes. Quality control is much easier to achieve than in real food, such as peanuts, carrots or almonds (Slagter *et al.*, 1992). In addition, gummy jelly is an edible product whose shape can remain the same while its hardness varies (Table 1).

Masticatory performance has been evaluated by measuring comminuted particle size through the use of foods, such as peanuts or carrots, or a silicone impression material (Optcal<sup>TM</sup>). Our method for examining masticatory performance is based on the calculation of the surface area of the gummy jelly increased by mastication, which was obtained by the measurement of the glucose dissolved from the surface of the gummy jelly. Increasing the surface area of foods is important in helping digestive enzyme create efficient nutrition uptake. Because we used the increase of the surface area of gummy jelly to measure masticatory performance, we were able to compare masticatory performance in different degrees of hardness, showing the many advantages of gummy jelly in evaluating masticatory performance.

It is important to investigate the association of a test food's degree of hardness with masticatory performance. Slagter *et al.* (1993) reported that the influence of differences in the textual properties of the test foods and differences in occlusal force on breakage during mastication should be investigated more thoroughly, choosing the appropriate hardness of test food necessary for effectively assessing masticatory performance.

Our study showed that masticatory performance, as measured by an increase of surface area with soft gummy jelly, was significantly greater than that with hard gummy jelly. This result suggests that more effort is needed to masticate or digest harder foods. Shiao Peng and Hsu (1999) also reported that harder foods required stronger muscle force to break and chew the food.

In a previous study, Tate *et al.* (1994) reported that correlations were generally not present or were weak between masticatory performance, estimated masticatory force, and muscle efficiency, suggesting that muscle efficiency and force generated during mastication are not the primary factors that determine masticatory performance. However, Fontijn-Tekamp *et al.* (2000) reported a significant correlation between maximal bite force and chewing efficiency among all subjects combined (overdentures, full dentures and natural dentitions). But they investigated only the association between maximal occlusal force and masticatory performance with a single food such as carrots.

The results of this study indicated a positive correlation between masticatory performance and occlusal force. In addition, this positive correlation coefficient was likely to be higher with harder gummy jelly. These

findings suggest that cutting the harder food required larger occlusal force to compensate for the stronger load of food during mastication. While Pearson's correlation coefficients between masticatory performance and maximal occlusal force were 0.55 or 0.66, masticatory performance was not explained by maximal occlusal force alone. Further investigation will be needed in future study.

In conclusion, it was suggested that a larger maximal occlusal force was associated with a higher masticatory performance, especially with harder foods.

## References

- FONTJN-TEKAMP, F.A., SLAGTER, A.P., VAN DER BILT, A., VAN'T HOF, M.A., WITTER, D.J., KALK, W. & JANSEN, J.A. (2000) Biting and chewing in overdentures, full dentures, and natural dentitions. *Journal of Dental Research*, **79**, 1519.
- GEERTMAN, M.E., SLAGTER, A.P., VAN'T HOF, M.A., VAN WAAS, M.S. & KALK, W. (1999) Masticatory performance and chewing experience with implant-retained mandibular overdentures. *Journal of Oral Rehabilitation*, **26**, 7.
- HAYAKAWA, I., WATANABE, I., HIRANO, S., NAGAO, M. & SEKI, T. (1998) A simple method for evaluating masticatory performance using a color-changeable chewing gum. *International Journal of Prosthodontics*, **11**, 173.
- HUGGARE, J. & SKINDHÖJ, B. (1997) A new method for assessing masticatory performance: a feasibility and reproducibility study. *Journal of Oral Rehabilitation*, **24**, 490.
- KUMAGAI, H., SUZUKI, T., HAMADA, T., SONDANG, P., FUJITANI, M. & NIKAWA, H. (1999) Occlusal force distribution on the dental arch during various levels of clenching. *Journal of Oral Rehabilitation*, **26**, 932.
- MANLY, R.S. (1951) Factors affecting masticatory performance and efficiency among young adults. *Journal of Dental Research*, **30**, 874.
- SHIAU, Y.Y., PENG, C.C. & HSU, C.W. (1999) Evaluation of biting performance with standardized test-foods. *Journal of Oral Rehabilitation*, **26**, 447.
- SLAGTER, A.P., BOSMAN, F. & VAN DER BILT, A. (1993) Comminution of two artificial test foods by dentate and edentulous subjects. *Journal of Oral Rehabilitation*, **20**, 159.
- SLAGTER, A.P., VAN DER GLAS, H.W., BOSMAN, F. & OLTHOFF, L.W. (1992) Force-deformation properties of artificial and natural foods for testing chewing efficiency. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **68**, 790.
- SUZUKI, T., KUMAGAI, H., WATANABE, T., UCHIDA, T. & NAGAO, M. (1997) Evaluation of complete denture occlusal contacts using pressure sensitive sheet. *International Journal of Prosthodontics*, **10**, 386.
- TATE, G.S., THROCKMORTON, G.S., ELLIS, E III & SINN, D.P. (1994) Masticatory performance, muscle activity and occlusal force in preorthognathic surgery patients. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **52**, 476.
- YAMAMOTO, M. (1993) Evaluation of masticatory function in complete denture wearers by masticatory efficiency, electromyographic activities and mandibular movement. *The Journal of Osaka University Dental Society*, **38**, 303.
- YOSHIDA, M., YAMAMOTO, M., NOKUBI, T. & FURUYA, M. (1995) Evaluation of masticatory performance in denture wearers by using the testing Gummy jelly. In: *Brain and Oral Functions* (eds T. Morimoto, T. Matsuya & K. Takada), pp. 411–415. Elsevier Science, Amsterdam.

Correspondence: Dr Kazunori Ikebe, Division of Oromaxillofacial Regeneration, The Course for Integrated Oral Science and Stomatology, Osaka University Graduate School of Dentistry, 1-8 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan.  
E-mail: ikebe@dent.osaka-u.ac.jp

## Relationship between Masticatory Ability and Gastrointestinal Disease in Independently Living Older Adults

Kazunori Ikebe\*, Takashi Nokubi\*, Takahiro Ono\* and Hidenori Sajima\*

The purpose of this study was to determine associations of dental status and masticatory ability with general diseases, especially gastrointestinal disease in independently living elderly persons. The study sample consisted of independently living people from 60 to 84 years old. In this study, the "dentate" group (Dentate, n = 671), which had natural dentition, the "partial denture" group (PD, n = 671) and the "complete denture" group (CD, n = 187), which wore dentures in both jaws, were selected for analysis. Subjects were classified into three groups by masticatory ability based on acceptances of apples, baked beef and hard rice crackers. Significance of difference among groups was tested with chi-square test of independence. Cardiovascular disease, diabetes and osteoporosis showed a significant lower prevalence in the dentate group than the CD or PD groups. The prevalence of persons without a chronic health condition was likely to be higher in the well mastication group in any kind of dental status. On the other hand, the prevalence of gastrointestinal disease was significantly higher in the impaired mastication group. These results suggested that self-assessed masticatory ability was associated with gastrointestinal disease.

*Dentistry in Japan*  
Vol. 39 pp. 158-163, March, 2003

**Key words:** Masticatory ability—Dental status—Gastrointestinal disease—Independently living elderly

### INTRODUCTION

Since the end of World War II, economic growth in Japan has led to improved public health and medical systems, which have increased Japanese life expectancy. In 2001, Japan's average life expectancy reached 78.1 years for males and 84.9 years for females, which is the highest in the world (Ministry of Health, Labor and Welfare<sup>1</sup>). As a result, the proportion of older people has dramatically increased during the past few decades. In 2001, the Japanese population aged 65 years or older rose to 17.4% of the country's entire population. In 2010, this group is projected to be 22.0%, which is expected to be the highest in the world (National Institute of Population and Social Security Research<sup>2</sup>).

Preventing disease and improving quality of life are very important, not only for the health of the elderly but also in order to reduce national medical

expenses. Oral conditions are reported to affect quality of life in many ways (Hollister and Weintraub<sup>3</sup>; Reisine *et al.*<sup>4</sup>; Ettinger<sup>5</sup>; Locker<sup>6</sup>; Slade and Spencer<sup>7</sup>; Shay and Ship<sup>8</sup>). Masticatory disorder, or the mere perception of compromised function, as may occur with dentures, can lead individuals to avoid foods considered difficult to chew in favor of soft, easily chewed foods (Wayler *et al.*<sup>9</sup>; Ekelund<sup>10</sup>; Hildebrandt *et al.*<sup>11</sup>). Such food selection habits may result in poor diets, which are high in calories but low in fiber, vitamins and protein (Hildebrandt *et al.*<sup>11</sup>; Greksa *et al.*<sup>12</sup>; Joshipura *et al.*<sup>13</sup>), causing certain diseases, debilitation and shortened life expectancy in some elderly persons (Chen and Lowenstein<sup>14</sup>; Willett<sup>15</sup>; Diehr *et al.*<sup>16</sup>).

In Japan, most elderly people (95.5% of those 75 to 79 years, 90.8% of those 80 to 84 years, and 79.1% of those 85 years and over) are functionally independent and have no limitations in their daily activities (Ministry of Health, Labor and Welfare<sup>1</sup>). Although it is well known that oral disease affects the general health of poor, dependent or frail old people (Loesche *et al.*<sup>17</sup>; Mojon *et al.*<sup>18</sup>), there have been fewer studies on how the dental status of independently living elderly persons influences food acceptance and overall general health.

The purpose of this study was to determine associa-

Accepted on September 30, 2002

\* Division of Oromaxillofacial Regeneration,  
Osaka University Graduate School of Dentistry  
1-8 Yamadaoka Suita, Osaka 565-0871

This article is a translation of part of an article in Japanese, "Oral and General Health in the Independent Elderly. Part 2: Relation between Mastication and General Disease" in *Japanese Journal of Gerodontology* 14: 131-138, 1999.

tions of dental status and masticatory ability with general diseases, especially gastrointestinal disease in independently living elderly persons in Japan.

**METHODS**

**I. Study sample**

The subjects in this study were 2,474 participants of the Senior Citizen's College of Osaka Prefecture who attended the program from 1995 to 1997. This college is one of the adult education systems supported by the government of Osaka Prefecture, which enrolls volunteers for a period of one year. The study sample consisted of community-dwelling, independently living people from 60 to 84 years old, of which the mean age was  $66.6 \pm 4.3$  years. About half of the study sample (49.4%) was male.

**II. Data collection**

The questionnaire to measure dental status, food acceptance, and general diseases was developed by using specific questions from previous publications. Based on responses by participants in the years before 1995, minor alterations were made to the questionnaire to improve the reliability and validity of the questions.

A lecture on oral health and dental care for the elderly was presented to the participants of the College once yearly. Immediately after the lecture, we explained the purpose and procedure of the questionnaire to the audience and solicited volunteers to participate; however, individuals were free to go away after the lecture. After obtaining informed consent, subjects were given opportunities to ask questions while completing the questionnaire or to refuse to answer any question. The questionnaires were numbered to protect the privacy of the participants.

**III. Dental status**

The maxillary and mandibular jaws were classified separately into five categories by dental status, which were: an edentulous arch wearing a complete denture (CD); an edentulous arch without a replacement; a partially edentulous arch wearing a removable partial denture (PD); a partially edentulous arch without a replacement; and natural dentition. It has been reported that there is close agreement between self-examination and clinical examination with regard to the number of remaining teeth and/or the presence of removable dentures (Kononen *et al.*<sup>19</sup>; Axelsson and Helgadottir<sup>20</sup>; Douglass *et al.*<sup>21</sup>).

**IV. Chewing ability and systemic disease**

Food acceptance was evaluated from responses to three questions: "Can you chew apples without difficulty?," "Can you chew baked beef without difficulty?" and "Can you chew hard rice crackers?" (Osterberg *et*

*al.*<sup>22</sup>). These foods were identified as three of the most difficult to chew among 20 common Japanese foods (Sato *et al.*<sup>23</sup>), which had been determined from answers to preliminary questions in the pre-testing of the questionnaire. In addition, these three foods are eaten in different ways; that is, apples must be bitten with the anterior teeth, hard rice crackers must be crunched, and beef must be ground. The volunteers were asked to answer these questions as a "Yes, without difficulty," "Yes, but with difficulty" or "No, impossible." Each response was scored as 1, 2, or 3, respectively. Subjects were classified into three groups by masticatory ability based on the total scores of the three kinds of food. Group 1 consisted of subjects with 3 as the total score, group 2 with 4 to 6, and group 3 with 7 or more.

Information was also gathered about the prevalence of chronic diseases, i.e., cardiovascular disease, hypertension, gastrointestinal disease, diabetes, skeletal disease and psychiatric disease. Responders were asked whether during the previous year their physician had ever told them that they had any of the listed conditions.

**V. Data analysis**

The data analyses were done by using the SPSS 9.0 for Windows. The initial evaluations were frequency distribution tables followed by chi-square tests of independence. *p*-values  $\leq 0.05$  were considered to be statistically significant.

**RESULTS**

In this study, the "dentate" group (Dentate, *n*=671, 27.1%), which had natural dentition (including fixed prostheses in both maxilla and mandible), the "partial

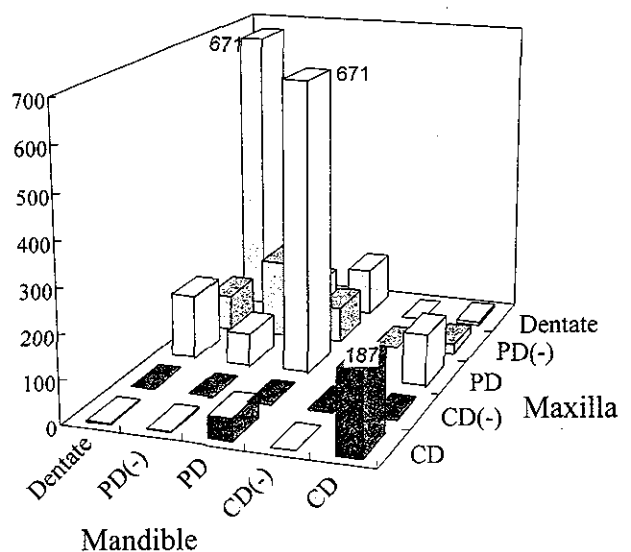


Fig. 1 Dental status of subjects (*n*=2,474)