

咀嚼能力が簡便かつ正確に評価できる 口腔健康管理を目指した新しい時代の到来



研究室紹介

野 首 孝 祠*

The coming of a new age for oral health care as masticatory ability
can simply and exactly be evaluated

Key Words : mastication, test gummy jelly, β -carotene, visual scoring method,
glucose concentration measurement, automatic measurement

1. 咀嚼能力評価法の産声

咀嚼は、ヒトが日常生活を健康に過ごすための重要な口腔機能の一つであることはいうまでもありません。その咀嚼能力を評価する方法としては、1950年に発表されたピーナッツを用いる篩分法（Manly法）があげられ、長い間研究分野で活用されてきました。しかし、その分析には1時間以上要すること、測定操作の煩雑さや食品性状の不安定さ等から、これまで生ニンジン、生米、かまぼこ、ガム、寒天（印象材）、ワックス（キューブ状）等の様々な検査用試料や評価法が提唱されました。それでもなお、定常かつ咀嚼・嚥下可能な食べ物とはいえないことから、日常臨床の現場で活用されるまでには至りませんでした。そこで我々は、歯科医師の一つの使命ともいえる口腔健康管理業務として、誰でも安心して食べられ、一定の形状と物性を備えた検査用グミゼリーを用い、咀嚼による咬断片の「こなれ具合」を、その表面から溶出する一つの構成成分の濃度を測定し、「表面積増加量（咀嚼能率）」で表す咀嚼能力測定法を1993年に提唱しました。これが約20年前の状況を打開するための産声となりました。

当咀嚼評価開発センターは、この咀嚼能力評価法の開発計画を継承するために、2006年4月より歯学研究科の小野高裕准教授と池邊一典講師の支援を受け、産学連携本部の兼松泰男教授の指導により発

足しました。以来、筆者の他に、数名の特任研究員と事務補佐員を擁し、科学研究費の他、複数の企業ならびに歯科医院等から資金援助と研究支援を受けながらのコンソーシアム型研究開発のもと、全国の歯学系大学、保健医療系大学、病院、歯科医院、学校、老人施設等において、咀嚼能力評価法による調査研究を広く展開させているところであります。

2. 当センターが開発した咀嚼能力評価法

当センターでは、私達の研究の活動指針、『いつでも、どこでも、誰でも、誰に対しても簡便かつ正確に評価できること』を礎に、臨床の現場や社会全般の様々な被検者に対して汎用可能な咀嚼能力評価法に関する研究を行っています。ここでは、これまで開発した咀嚼能力評価法について概説します。

1) 咀嚼食材としての検査用グミゼリーの開発

開発のスタートは、山本誠（当時大学院生）が1993年に発表した、グミゼリーの主要成分であるゼラチンに対して発色酵素を用い、分光光度計によりグミゼリー片表面から一定水量の中で溶出するゼラチンの濃度を測定し、表面積増加量を求める方法であり、この基本的理念は現在のすべての測定法に活かされています。しかし、この測定法は測定結果を得るまでの所要時間が45分と長く、研究室の測定環境から脱却できず汎用には至りませんでした。

そこで、測定物質のゼラチンを他の成分に変えることを試みました。その結果、市販の血糖値測定器によりグミゼリーの一成分であるグルコースの濃度を測定し、表面積増加量を求める測定法を森居研太郎（当時大学院生）が2005年に発表し、一つの咀嚼能力評価法の基盤を構築しました。一方、老若男女、健常者や病者、歯科医院等の様々な被検者に対して本測定法を活用していく中で、今後グミゼリーの物性の変化に伴う構成成分等の変更の可能性が想



*Takashi NOKUBI

1942年11月生
大阪大学歯学部卒 歯学博士
現在、大阪大学名誉教授 大阪大学産学
連携本部ベンチャービジネスラボラトリ
ー咀嚼評価開発センター 特任教授
TEL : 06-6879-4865
FAX : 06-6879-4865
E-mail : nokubi@dent.osaka-u.ac.jp

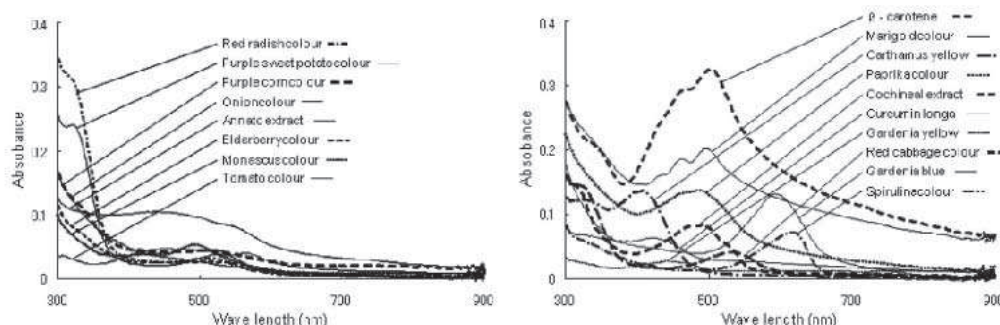


図1 天然色素の吸光度の比較。
 β -カロチンにおいて最も感度よく色調の変化が評価できることを示している。
 (Nokubi T et al. J Oral Rehabil. 2010;37:820-826. より改変)

定されました。これは、測定物質のグルコースを構成成分から除く場合や含有量を変更した場合には、本測定法が適用できなくなることを意味します。

このような想定に対応するために、グミゼリーの物性等に影響を与えない、構成成分以外の物質を新たに添加したグミゼリーの開発研究を野首文公子（当時大学院生）が行いました。すなわち、一定水量の中で溶出した物質によって変化する色に注目し、選択した20種類の天然色素をグミゼリーの中に混入させ、色の均一化や食べ物としての色調の適応性、それに色素濃度を測定する際の発光ダイオードによる吸光度測定の適性の有無（図1）等について検討を行いました。その結果、 β -カロチンを含有したグミゼリーが同じ濃度の中で最も敏感に反応することから、 β -カロチン含有検査用グミゼリーを製作しました。以下、このグミゼリーを用いた3種類の咀嚼能力測定法（図2）について概説いたします。

2) グルコース濃度測定法

従来の測定法を基本とし、新たに開発した β -カロチン含有検査用グミゼリーを用いた本測定法は、咀嚼後、約2分で咀嚼能率が得られる簡便な方法であり、特殊な装置を必要としないことから、様々な疫学調査に活用され、多くの報告がなされています。しかし、本測定法は手動による操作であるため、咬断片の水洗やグルコースの溶出時に使用する水温と水量ならびに操作時間の違いにより測定値が少なからず影響を受けることから、正確な値を得るためには季節ごとに異なる水温に対してテクニカルエラーが生じないように作業手順を十分熟知し、所定の操作条件を厳守する等の熟練度が重要なカギとなります。

3) フルオート色素濃度測定法

私達が掲げる、いつでも、どこでも、誰でも簡単に操作でき、より精度を上げるという測定法の開発理念から、同じグミゼリーを用い、測定工程を自動化した測定装置による β -カロチン色素の濃度を測定する方法を開発しました。

本測定装置（図3）は、外気温や室温の測定環境に応じて水温の可変機能を備えた外付けの恒温水槽と、洗浄・測定部、回転子およびその格納部、ならびに液晶表示部を組み込んだ測定本体で構成されています。

測定の前準備として、空のガラス製測定セルを洗浄・測定部に設置すると、格納部より降下した回転子の底部に設けた4か所の注排水孔（ ϕ 1mm）から35℃の水25mlがセル内に注入されます。10秒間の攪拌と水の吸引排水を行い、最終的に35℃の水25mlがセル内に注入された後、回転子が上部に格納されてスタンバイ状態となります。次に、被検者が咀嚼したグミゼリーの粉砕片をスタンバイ状態のセルの中に投入します。そのセルを洗浄・測定部に再度設置すると、再び回転子が降下し、セルの中で回転（400rpm）しながら、水が吸引排出されて、咬断片の洗浄が終了します。引き続き、回転子の注水孔から35℃の水25mlの注入と、回転子による攪拌を10秒間行い、咬断片表面から溶出した β -カロチンの濃度を均一化させます。ついで、回転子が上部に格納された後、発光ダイオードから緑の光線（波長：509nm）を1秒間に50回発射させ、セル内の水中を透過し、反対側のフォトダイオードで受ける光量を受光部電圧（V）として変換し、液晶表示



図2 当センターが開発したβ-カロチン含有検査用グミゼリーにより、様々な測定環境に応じて実施可能な咀嚼能力測定法（すべて咬断片表面積増加量で表示）

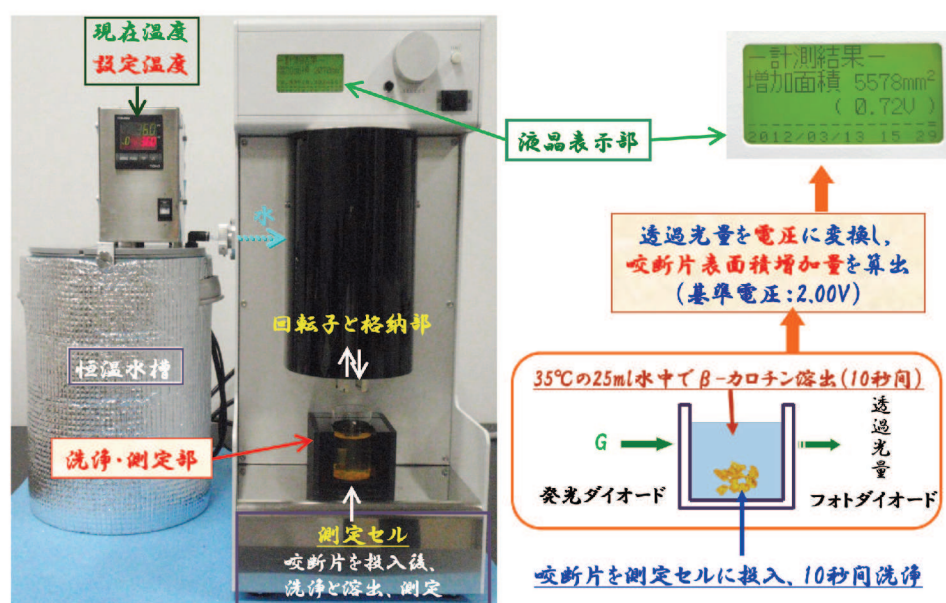


図3 フルオート型測定装置と本測定法の概要。測定セルの中を通過した緑の光線の量をフォトダイオードで電圧 (V) に変換し、咀嚼能率を算出、表示する。

部に表示されます。測定セル内が水の場合の基準電圧は2.00Vに設定し、また日本特有の季節ごとの外気温や室温（例えば、28℃、25℃、22℃）にも、装置の内部温度（それぞれ35.0℃、35.2℃、35.5℃）で対応して、常に一定温度（35℃）の水が供給できる温度可変機能を備えました。

本装置の測定精度を確認するために、表面積の異なる6種分割試料（0、8、16、32、64、98分割）を用い、10秒間の溶出による電圧を測定した結果（図4）、得られた電圧と各分割試料の表面積増加量との間に高い決定係数（ $R^2=0.979$ ）が示され、良好な測定精度が示唆されました。したがって、本フルオー

ト色素濃度測定法においては、咀嚼後、すべての作業が自動化され、約30秒後に咀嚼能力が正確に表示されることから、様々な測定現場の調査研究において広く活用できる状況となりました。

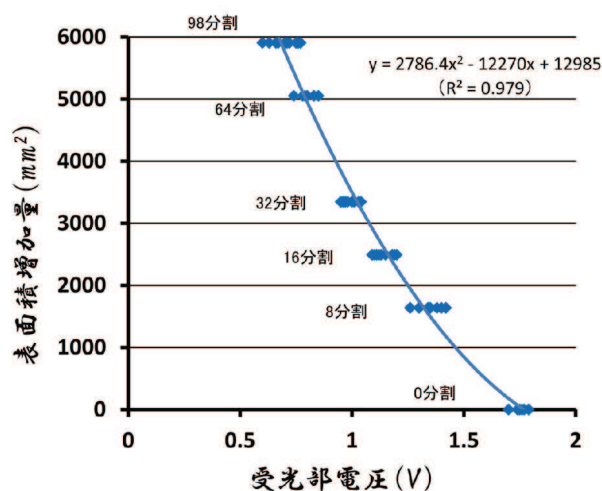


図4 フルオート型測定装置による受光部電圧と表面積増加量（咀嚼能率）との関係。高い精度で咀嚼能力の評価の可能性が示されている。

4) 咀嚼能率スコア法

一方、想定される測定環境の中で、疫学調査や集団検診のように、多数の被検者に対して一斉に咀嚼能力検査を実施する場合や、前記の各濃度測定法に必要な装置の設置が困難な場合においても、対応可能な測定法の開発が必要となります。このような観点から、装置を全く必要としない評価法として、同じグミゼリーを用い、その粉碎状況に応じて10段階にスコア化した視覚資料を作成し、咀嚼能力を視覚的に評価する「咀嚼能率スコア法」を提唱しました（図2）。そこで、作成した視覚資料によるスコア法の妥当性と信頼性がどの程度であるかを確認する必要性から、26名の評価者により検討を行った結果、現行のグルコース法との間で、強い相関（ $R^2 = 0.936$ ）を示し、視覚資料（スコア0～スコア9）を用いるスコア法の妥当性が認められました。また、評価者間の一致度を表す級内相関係数（ICC）においても、0.961を示し、高い信頼性を有する測定法であることが示されました。したがって、本咀嚼能率スコア法の視覚資料に照合して得られた視覚スコアにより、正確な咀嚼能率は得られないものの、一

度に多くの被検者に対し咀嚼能力の概要を即時に評価し得る可能性が示唆され、現在多くの臨床や教育施設等で活用されています。

3. 咀嚼能力評価法の開発による口腔健康管理への新たな挑戦

当センターにおいて開発した検査用グミゼリーと咀嚼能力評価法は、歯科医療の現場はもとより、幼稚園から大学に至る教育の現場において、咀嚼能力の実態を把握したいという要望に応えるべく活用されています。また、10数年前から60歳以上の老人、大学生の歯科検診の実態調査が行われ、さらに一般市民の健康診断の際の歯科検診にも本評価法が組み入れられ、糖尿病やQOL、ADL等、全身の健康状態と咀嚼あるいは口腔内の状況との関連性についての調査結果が報告されています。今後、健康な方々をはじめ、身体に何らかの障害を抱えておられる方々、身体のリハビリテーションに努めておられる方々等の健康維持や回復に向けた咀嚼能力の取り組みとして、本評価法による時系列的なデータの構築が必要となってきます。さらに、全国どこでも、いつでも、誰でも、誰に対してでも簡便かつ正確に測定できること、加えて3種類の評価法の間には高い相関関係を有し、様々な測定環境に応じていずれの測定法も一様に活用が可能になったことから、多様な状況の被検者に対するそれぞれの基準データの作成において、とりわけ有用であるものと考えています。これらのことを勘案して、社会からの様々な要請に応えるべく、当センターの役割はこれからが本番だと痛感しています。

最後に、今回このような研究室紹介の機会を頂いた歯学研究科前田芳信教授に感謝し、これまで当センターにおける検査用グミゼリーならびにフルオート型測定装置の研究開発と調査研究において、多大なご支援とご協力を頂いているユーハ味覚糖株式会社をはじめ、様々な臨床データの収集にご尽力頂いている多くの大学や歯科医院等の皆様方には、心から御礼を申し上げます。今後、咀嚼能力評価法をさらに広く社会に展開していくことを目指しつつ、引き続き新たな開発に向けてスタッフ共々進めてまいります。