

地域在住高齢者における咀嚼機能の評価と運動機能との関連

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

五十嵐 憲太郎  
(指導：河相 安彦 教授)

1. Abstract

2. 緒言

3. 研究方法および結果

3-1. 研究Ⅰ：地域在住高齢者における咬合力と膝伸展トルクとの関連

1) 対象者

2) 調査項目

3) 統計解析

4) 結果

3-2. 研究Ⅱ：疫学調査における検査用グミゼリーを用いた視覚スコア法による咀嚼能力評価の妥当性

1) 対象者

2) 咀嚼能力の評価

3) 統計解析

4) 結果

4. 考察

5. 結論

6. 参考文献

7. Tables and Figures

## 1. Abstract

### **Introduction**

Recent epidemiological studies suggest that decreased masticatory ability in the elderly is a risk factor for frailty and death. The primary factor that affects masticatory function is the number of remaining teeth in an individual. The Japanese 8020 movement for an oral health campaign has helped increase the number of elders with more residual teeth. However, other factors related to masticatory function, such as occlusal force, are also indicators of decreased masticatory function. Therefore, not only the number of teeth but also functional aspects, such as muscular strength, need to be considered while evaluating masticatory function. Also, to secure the importance of masticatory function in our super-aged society, epidemiological surveys are needed to provide objective and quantitative measures of masticatory function.

Previous studies have shown a significant association between occlusal force and grip strength. However, no study has directly examined the relationship between lower extremity strength and occlusal force, which is directly related to daily life.

On the other hand, occlusal force is a static indicator that indirectly evaluates masticatory ability and does not evaluate direct masticatory ability. Therefore, in order to investigate the relationship with the dynamic exercise functional index such as the walking speed, it is necessary to evaluate the masticatory ability with dynamic elements added. Several methods exist for objectively evaluating masticatory function directly by using test foods such as gummy jelly. However, the validity of the subjective visual evaluation of chewing efficiency has not been assessed.

This study aimed to clarify the relationship between occlusal force and knee extension torque (Research I), and to verify with an epidemiological study the validity of a visual scoring method using gummy jelly (Research II).

### Research I

#### **Materials and Methods**

Participants were 742 residents (315 men and 427 women, mean age  $73.3 \pm 5.5$  years) from Itabashi city, Tokyo. The relationship between occlusal force and knee extension torque was analyzed by multiple regression analysis with consideration of age and sex.

#### **Results and Discussion**

The correlation coefficient between the two parameters was significant ( $r = 0.348$ ,  $P < 0.001$ ). Multiple regression analysis revealed that occlusal force was a determinant factor of knee extension torque, in addition to age and sex. A significant correlation was found between the occlusal force and knee extension torque, even after considering other known factors related to knee extension torque. Among the elderly participants, both chewing function and lower limb

motor function were significantly correlated and suggested to be indicators of muscle weakness.

## **Research II**

### **Materials and Methods**

Methods: Community-dwelling elderly individuals ( $n = 1234$ )  $\geq 70$  years old participated. One evaluator measured visual score (VS) consecutively after participants chewed the gummy jelly (i.e., actual-VS). The chewed jelly was photographed. Two evaluators used the photograph to measure the gummy jelly (i.e., photo-VS). To test the validity of both methods, the correlation between actual-VS and masticatory performance (MP) measured by fully automated method and between photo-VS and MP were analyzed. Inter-rater reliability between the evaluators of photo-VS was analyzed.

### **Results and Discussion**

Significant correlations existed between actual-VS and MP and between photo-VS and MP ( $r = 0.86-0.87$ ;  $p < 0.001$ ). The intraclass correlation coefficient of the inter-rater reliability for photo-VS was very high ( $0.93$ ;  $p < 0.001$ ; 95% confidence interval:  $0.877-0.953$ ); however, the distribution of photo-VS deviated slightly from the actual-VS. A large coefficient of variation in the MP for low VSs suggested the influence of incomplete comminution, which was not reflected by the VS, and the accidental swallowing of small pieces during chewing.

### **Conclusion**

We got the following conclusion.

1. Even after considering other known factors related to knee extension torque, a significant correlation was found between the occlusal force and knee extension torque in a cross-sectional survey of community-dwelling elderly individuals.
2. The validity of using the visual scoring method with gummy jelly was confirmed in a large population-based epidemiological study in which the VS had high correlation and consistency with MP measured by a fully automated method, despite some deviation between VS and MP.

## 2. 緒言

咀嚼機能の維持は、寿命の延伸<sup>1)</sup>や高齢者のQOL<sup>2)</sup>と関連があり、咀嚼機能の低下がフレイルや死亡のリスクファクターである<sup>1, 3)</sup>ことも疫学調査で報告されている。これまで我が国では8020運動が推進され、高齢者の残存歯数の向上につながっている<sup>4)</sup>。しかし、咀嚼機能に関連するのは歯数のみではないため、その他の要因、特に口腔に関わる機能低下について疫学調査などで定量的にかつより広く評価・検討する必要があると考えられる。これまで、咀嚼機能の評価方法が種々検討され、それらを用いて全身の運動機能との関連が報告されてきた。

咀嚼機能と全身の運動機能との関連は多くの報告があり、咀嚼機能がサルコペニアと関連するという報告や<sup>5)</sup>、咬筋厚と四肢骨格筋量との関連<sup>6)</sup>も報告されている。間接的な評価法のひとつである咬合力では、握力との関連が報告されている<sup>7)</sup>。しかしながら、歩行など日常生活に直接関係する下肢筋力と咬合力との関係については不明な点が多い。さらに、加齢による筋力低下は上肢よりも下肢のほうが早く起こるとされており<sup>8)</sup>、咬合力と下肢筋力の関係を明確にすることは、筋力の観点から見た健康寿命における咀嚼機能の役割を理解する上で重要であると言える。

一方、咬合力は咀嚼機能を間接的に評価する静的な指標であり、直接的な咀嚼機能を評価していないことから歩行速度など動的な運動機能指標との関連を検討するには、動的要素を加えた咀嚼機能の評価が必要である。咀嚼機能を直接的かつ客観的に評価するため、実際の食物を用いて「咀嚼能力」として評価する方法が検討されおり、これまでにピーナッツ<sup>9)</sup>、チューインガム<sup>10)</sup>、グミゼリー<sup>11, 12)</sup>などが用いられてきた。特に、グミゼリーを用いた咀嚼能力評価は直接的・客観的かつ定量的な評価が可能であり<sup>13)</sup>、これまでにグルコース濃度<sup>12)</sup>やグミゼリー内部の色素の溶出量<sup>13)</sup>から咀嚼能力を算出する方法が報告され、既に疫学調査で用いられている<sup>14-16)</sup>。しかし、これらの方法は計測機器が必要であり、その手法や準備が短時間で多数の者を測定する際に煩雑であることが考えられる。このため、グミゼリーの粉碎程度から目視により視覚的に咀嚼能力を判定する視覚スコア法<sup>17)</sup>が開発された。視覚スコア法は特別に器具を必要としないため、検査時間の短縮が期待できる。また、歯科医師でない者が判定しても、歯科医師とほぼ同等の結果が得られることが報告されている。このことから、多人数を対象とする疫学調査で有効であると考えられる。しかし、実際に視覚スコア法を用いて行った疫学調査は報告されておらず、また機器を使用する方法と比較した評価特性も明らかでない。

そこで本研究では、来場型健診を受診した地域在住高齢者を対象に咀嚼機能の評価方法、および運動機能との関連をより明確にするため、咀嚼機能のうち間接的な評価法である咬合力と下肢筋力の指標である膝伸展トルクとの関連を検討し（研究Ⅰ）、咀嚼機能で直接的に咀嚼能力を評価出来るグミゼリーを用いた視覚スコア法の疫学調査における妥当性の検証を行った（研究Ⅱ）。

### 3. 研究方法および結果

#### 3-1. 研究 I：地域在住高齢者における咬合力と膝伸展トルクとの関連

##### 1) 対象者

2011～2013 年に住民基本台帳から無作為抽出された，東京都板橋区に在住の 65 歳以上の男女両方の 1,380 人を対象とした．対象者から介護施設入居者を除いた者に対し包括的健診への案内を郵送し，最終的に，2013 年 10 月に東京都板橋区にある東京都健康長寿医療センターで健診を受診したのは 791 人であった．このうち，口腔関連検査および膝伸展トルクに関するデータに欠損のない 742 人（男性 315 人，女性 427 人，平均年齢  $73.3 \pm 5.5$  歳）を対象とした．主観的評価の信頼性を確実にするために，認知機能の評価指標である Mini-Mental State Examination (MMSE) が 24 点未満の者を分析から除外した．なお，本研究は東京都健康長寿医療センター倫理委員会（承認番号 2011-H48）および日本大学松戸歯学部倫理委員会（承認番号 EC14-027）の承認を受け，対象者へのインフォームドコンセントの下実施した．

##### 2) 調査項目

###### (1) 口腔関連指標

###### a. 咬合力

感圧シート（Dental Prescale 50H type R, GC Corporation, 東京, 日本）および専用測定機器オクルーザー（Occluzer, Fujifilm Corporation, 東京, 日本）で咬合力を分析した．被験者のフランクフルト平面が床と平行になるよう坐位をとらせ，咬頭嵌合位でできるだけ強くシートを噛むように対象者に指示し測定を 1 回行った<sup>18)</sup>．義歯を使用している対象者は義歯装着状態で測定した．

###### b. 残存歯数・機能歯数

残根を除いた，口腔内に萌出している歯の数を残存歯数とした．機能歯数は，残存歯数にブリッジ，義歯，インプラントなどにより補綴された歯の数を加算したものである<sup>19)</sup>．

###### (2) 身体測定指標

###### a. BMI

対象者の身長および体重を用いて BMI を算出した．

###### b. 四肢骨格筋量（Skeletal Muscle Mass Index: SMI）

生体電気インピーダンス法を用いた体組成分析装置である InBody720（InBody, ソウル, 韓国）にて四肢骨格筋量を測定した<sup>20)</sup>．

###### c. 握力

握力の測定にはスメドレー式ハンドダイナモメーター（アズワン, 大阪, 日本）を用いた．2 回測定し，高い方の値を用いた．

###### d. 膝伸展トルク

膝伸展トルクの測定は簡易型膝伸展筋力測定器 Isoforce GT610S (OG 技研, 岡山, 日本) を用いて行った. 対象者に坐位をとらせ, 膝関節を 90 度屈曲させた開始姿勢から, 等尺性最大膝関節伸展筋力を 2 回測定し, その最大値を採用した. その後, 調査対象者の膝裂隙から外果までの距離をメジャーにて測定し, この距離と重力加速度を等尺性最大膝関節伸展筋力に乗じて膝伸展トルクを算出した<sup>21)</sup>.

膝伸展トルク(Nm)=等尺性最大膝関節伸展筋力×(膝裂隙～外果間距離)×9.8(m/s<sup>2</sup>)

#### e. 歩行速度

対象者を 3m の加速区間, 10m の測定区間, 3m の減速区間の合計 16m の歩行路を一人で歩行させ, 対象者が遊脚層(地面から片足が離れている状態)にあった時点から計測を開始し, 10m 測定区間の起点から終点における秒数を計測した. 測定は 2 回行い, 速い方を各対象者の代表値とした. 計測秒数で 10m を除し, 1 秒あたりの歩行速度を算出した.

### (3) その他の指標

年齢, 性別, および既往歴(高血圧, 脳卒中, 心臓病, 糖尿病, 高脂血症, 骨粗鬆症, 変形性股関節症, 変形性股関節症, 骨折の経験, うつ病)は, 対象者への聴取により収集した. 血液検査にて血液学的検査結果, ヘモグロビンレベル, 総コレステロール, および血清アルブミン量を採取した<sup>22)</sup>. そのほか, MMSE<sup>23)</sup>, 抑うつ状態(Zung Self-Rating Depression Scale: SDS)<sup>24)</sup>, 日常生活機能(老研式活動能力指標(Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology index of competence: TMIG index of competence)<sup>25)</sup>, および転倒不安感尺度<sup>26)</sup>を調べた.

#### 3) 統計解析

使用した各変数には正規性が認められなかったため, Spearman の順位相関分析を用いて各項目間の相関を検討した. 横断研究である本研究デザインの性質上, 因果関係の特定はできなかったが, 膝伸展トルクを目的変数として, 重回帰分析により膝伸展トルクに関連する要因の影響度を把握した. 説明変数として, 膝伸展トルクと有意な相関関係を有する項目を選択した. 統計分析には SPSS20.0J for Windows(IBM 社, 米国)を使用し, 有意確率は 5%未満に設定した.

### 4) 結果

#### (1) 参加者の特徴

各項目の対象者の特性を Table 1 に示す. 膝伸展トルクおよび咬合力の平均±標準偏差は, 男性で 103.0±31.9Nm および 528.0±365.8N, 女性で 64.5±17.7Nm および 312.6±223.9N であった.

#### (2) 膝伸展トルクと他の項目との相関関係

Table 2 に膝伸展トルクと各パラメータの相関係数を示す. 膝伸展トルクと咬合力間の相関係数は 0.348 であり, 有意な正の相関を示した (p<0.001).

Table 3 に膝伸展トルクを従属変数とした重回帰分析の結果と、相関分析において有意な相関を示した項目を独立変数としたものを示す。多重共線性を回避するため、目的変数である膝伸展トルクとおなじ筋力の指標である握力を解析から除外した。重回帰分析の結果は、膝伸展トルクに関連して抽出された因子は年齢、性別、SMI、歩行速度、アルブミン、転倒不安感尺度、および咬合力であった（調整  $R^2 = 0.584$ ）。このことから咬合力は膝伸展トルクと関連があることが示唆された。

### 3-2. 研究Ⅱ：疫学調査における検査用グミゼリーを用いた視覚スコア法による咀嚼能力評価の妥当性

#### 1) 対象者

東京都板橋区高島平地区に在住する住民基本台帳に登録された 70 歳以上の男女全員（7,614 名）に対して基本属性（年齢、性別、日常生活自立度等）・家族状況・健康状態・生活状況等のアンケートを郵送した。2 週間後に調査員が対象者の自宅に訪問し記入された調査票を直接回収し、5,430 名（71.3%）から回収された。調査員が訪問時に来場型検診への参加の意志を確認し、実際に検診に参加し、データの利用について同意が得られた 1360 名（男性 550 名、女性 810 名）が認知機能および既往歴等の調査を受診し、後日そのうち 1248 名（男性 506 名、女性 742 名）が運動機能および口腔機能等の調査を受診した。調査は 2016 年 10 月～12 月に東京都板橋区高島平地区にて実施した。

#### 2) 咀嚼能力の評価

咀嚼能率の評価は、対象者に嚥下せず 30 回自由にグミゼリー（UHA 味覚糖，大阪，日本）を咀嚼した後、紙カップ上に張られたガーゼ上にグミゼリーを吐き出すように指示した<sup>12, 13)</sup>。義歯を使用している者は、義歯を装着したまま測定を行った。グミゼリーの粉砕片は、視覚スコア法を用いて測定した<sup>27)</sup>。続いて、色素濃度の測定のための全自動法を行った<sup>28)</sup>。

##### (1) 視覚スコア法

プラスチック製のスパチュラを使用して、紙コップの上に張ったガーゼ上にグミゼリーの咬断片を広げた。Nokubi ら<sup>17)</sup>による先行研究での方法に従い、結果を安井らによって吐出したグミゼリーから溶出したグルコース濃度の範囲に基づきスコア化された視覚情報と比較した<sup>27)</sup>（図 2）。視覚情報は吐出した咬断片を 10 段階（0～9）に分類されている。判定は他の人と相談せずに、1 人が視覚情報と比較することで 30 秒以内に決定した。調査の際の視覚スコアの判定（実測スコア）は、2 人の歯科医師のうちの 1 名によって決定された。一致度を検証するために、紙コップをカップホルダー（ペーパーカップスタンドクリアキュービック；BSA サクライ，名古屋，日本）に固定し、試験体から 15cm 離れた位置から規格写真をデジタルカメラ（FinePix AX600；



富士フィルム，東京，日本）を用いて撮影した．撮影した写真を用いて，実測時とは異なるの2名の歯科医師によって後日スコアを判定した（写真スコア）．判定者は事前にキャリブレーションを行い判定基準の統一を図っている．

## (2) 全自動法

全自動法では，グミゼリー中に含まれるβカロテン量から咬断片の表面積増加量を測定する専用の測定装置（アズワン，大阪，日本）を用いて行った．スコアを判定するために使用したグミゼリーを，温度35°Cに調整した25 mLの水に入れた専用の測定セルに投入し，得られた混合物を測定装置に挿入して10秒間攪拌・洗浄した．その後，測定セルに緑色光で照射し，セルを透過した光の量を感光体で電圧に変換した．これにより溶出したβカロテンの量を計測した．さらに回帰式を用いて，感光部で発生した電圧に基づき，咬断片の表面積の増加量（mm<sup>2</sup>）を算出した<sup>13, 28</sup>．最終的に算出された表面積増加量を，全自動法の咀嚼能力（MP）として使用した．

## 3) 統計解析

Spearmanの相関分析を用いて，実測スコアおよび写真スコアと全自動法との相関を求めた．また，実測スコアと写真スコアの一貫性を評価するために，評価者間信頼度の級内相関係数を算出した．統計分析は，SPSS23.0J for Windows(IBM社，米国)を使用し，有意確率は5%未満に設定した．

## 4) 結果

### (1) 対象者の情報

受診した1,248人の対象者のうち，6人が口腔機能の検査を拒否した．したがって，1,242人の参加者から咀嚼能力データを収集した．機器の誤動作のため参加者のうちの1人が全自動法による測定を行うことができず，写真の不備のために7人を評価できなかった．その結果，1,234人の参加者（男性504人，女性730人，平均年齢77.1±4.8歳）を測定した．

### (2) 2種類のスコア法の分布とその相関

Table 4に，参加者の視覚スコアの分布を示す．対象者の実測スコアと写真スコアの分布は若干異なり，スコア8と9での写真スコアの対象者の頻度は低かったため，スコアの平均値は写真スコアよりも実測スコアの方が高い結果を示した．実測スコアと写真スコアでの評価者間信頼度の級内相関係数は0.93（p<0.001，95%CI: 0.88-0.95）であった．

### (3) 視覚スコアと全自動法による咀嚼能力の相関

Table 5に各スコアの中央値，範囲およびMPの変動係数を，Fig. 2-a, b, cにスコアごとの全自動法による咀嚼能力の箱ひげ図を示す．スコアごとの全自動法の咀嚼能力は，スコア値が増加するにつれて増加する傾向がみられた．さらに，スコア値の増加に伴い，スコア毎の全自動法の咀嚼能力の変動係数が減少する傾向がみられた．しか

し、スコア値が高いほど全自動法の咀嚼能力の分布範囲は大きい値を示した。

Table 5 に視覚スコアと全自動法による咀嚼能力の相関を示す。両者は有意に強い相関関係を示していた ( $r = 0.86-0.87$ ,  $p < 0.001$ )。

#### 4. 考察

本研究では、咀嚼機能の評価方法、および運動機能との関連をより明確にするため、咀嚼機能のうち間接的な評価法である咬合力と下肢筋力の指標である膝伸展トルクとの関連を検討し (研究 I)、咀嚼機能で直接的に咀嚼能力を評価出来るグミゼリーを用いた視覚スコア法の疫学調査における妥当性の検証を行った (研究 II)。

研究 I では、地域在住の高齢者における咀嚼機能のうち筋力を評価する咬合力と下肢筋力の指標である膝伸展トルクとの関係を明らかにした。高齢者における咀嚼機能と一般的な運動機能との関係は、咀嚼機能とサルコペニア<sup>5)</sup>や、咬筋厚と四肢骨格筋量<sup>6)</sup>のほか、咬合力と握力の間<sup>7)</sup>に関連が報告されている。しかし、咬合力と下肢筋力との間の直接的な関連を報告した研究はこれまでみられなかった。筋肉量や筋力の減少は、加齢とともに観察される<sup>29,30)</sup>。しかし、筋力低下は上肢よりも下肢で早く引き起こされ<sup>8)</sup>、下肢の筋力低下もまた、要介護のリスクファクターとして報告されている<sup>31)</sup>。そのため、咬合力と下肢筋力との関連を明らかにすることは、咀嚼機能と要介護や健康寿命との関連を明らかにすることにつながる。今回の結果は、咬合力と一般的な筋力の指標である握力との関連を示した先行研究の結果とも一致する<sup>7)</sup>

本研究では、膝伸展トルクを下肢筋力の指標として用いた。膝伸展トルクは膝伸展時の下肢筋力の指標であり、歩行などの運動機能と密接に関連する<sup>32)</sup>。さらに、咬合力は咀嚼における筋力の指標であり、先行研究においても咀嚼機能の客観的指標として使用されてきた<sup>33)</sup>。年齢、性別、SMI、歩行速度、アルブミン、転倒関連自己効力感スコアが膝伸展トルクに関連する要因として抽出された。年齢と性別の関与は当然であるが<sup>34)</sup>、下肢筋力と筋量および栄養状態との相関<sup>35)</sup>は結果の信頼性を示し、歩行速度<sup>34)</sup>および転倒<sup>36)</sup>との相関は結果の妥当性を示していると考えられる。

また、咀嚼筋は抗重力筋として頭部位置の安定化に寄与すると考えられており<sup>5)</sup>、膝伸展トルクで評価した下肢筋力も抗重力筋である<sup>37)</sup>。咬合力と膝伸展トルクのいずれも、抗重力筋を評価するための指標であると考えられ、両者の関連は抗重力筋によるものと考えられる。この関連は先行研究とも矛盾しない<sup>5)</sup>。

今回の研究では膝伸展トルクと残存歯数や機能歯数との相関関係はみられなかった。平野らは咀嚼能力の向上には残存歯数が多いだけでなく、欠損の補綴による機能歯数と良好な運動機能も必要とされることが報告されている<sup>19)</sup>。しかし、今回の対象者では、残存歯数と機能歯数の平均はそれぞれ  $20.1 \pm 8.8$  本と  $26.7 \pm 3.8$  本であり、欠損歯数が少ないのみならず、その欠損も義歯やブリッジにより十分に補綴がなされていたといえる。このことから、本研究の対象者は残存歯や機能歯の影響はそれほど大きくないと考えら

れ、同時に残存歯数の増加した現代の日本人の高齢者の現状を反映しているといえる。

咬合力の低下を防ぐことで下肢筋力の低下を防ぐことができる可能性が考えられ、逆に、下肢の筋力を維持することも咬合力を維持するために重要であると考えられる。今回の結果はあくまで横断研究であり、両者の因果関係は明らかにすることはできなかった。そのため、今後縦断研究によって両者の因果関係を明らかにする必要があるといえる。

一方、研究Ⅱでは、実測時と写真による視覚スコア法により多人数の高齢者の咀嚼能力を評価した。視覚スコア法は、実測・写真の相互に強い相関性および高い一致度を示し、両者とも機器を用いた咀嚼能力との強い相関を示した。この結果は、大規模疫学調査における視覚スコア法の妥当性を示し、同時に、全自動法による機器を用いた咀嚼能力との相違を明らかにすることが出来た。

実測および写真による視覚スコア法の級内相関係数は 0.93 であり、実測スコアと写真スコアの相関係数も 0.93-0.95 と非常に強い正の相関を示した。実測スコアと写真スコアの相関関係は実験的環境での咬断片において先行研究で報告されている<sup>17)</sup>。しかしながら、実際のスコアと写真スコア間のスコア分布は本研究ではわずかに異なり、本研究では写真スコアではスコア 4, 5 のより分布が大きくおよびスコア 8, 9 で分布が少ない結果となり、実測スコアでの 3 次元での咬断片とそれらの 2 次元での画像との差に起因したと考えられる。このことから、スコアが高い場合の判定は 3 次元的に咬断片の粉碎の差異を検出可能な実測スコアの方が優れていると考えられる。しかし、臨床的な観点からは隣接するスコアを厳密に区分する必要はなく、いずれの判定方法を用いても咀嚼能力の判定に大きな影響はないと考えられる。そのため、実測スコアと写真スコアのいずれを用いて判定するかは、状況に応じて選択できると考えられる。判定に当たっては、スコアを決定するために適切なキャリブレーションを実施し、判断が一定になるよう配慮したが、視覚スコア法は判定者の視力に影響を受ける可能性があり、この点は視覚スコア法の限界といえる。

本研究では、全自動法による咀嚼能力と各視覚スコア法の相関係数 (0.86-0.87) は、Nokubi らによる先行研究で報告された実験的環境下よりわずかに低い値を示した (0.957-0.96)<sup>17)</sup>。しかし、全自動法と視覚スコア法の定量的測定値の本質的な違いによるものであるため、この結果は大規模疫学調査の状況下では許容範囲内であると考えられる。全自動法での咀嚼能力は粉碎されたグミゼリーの咬断片から溶出した  $\beta$ -カロテン量に基づいて、咬断により増加した表面積として計算される<sup>28)</sup>。これに対し視覚スコア法では、規格化された視覚要素を参考にしてグミゼリーの粉碎状態を目視で観察することによりスコアを判定する<sup>17)</sup>。したがって、不完全な咬断によるグミゼリーの表面積の増加は、全自動法では反映され得るが、視覚スコア法では反映されず、それにより、スコアが低い場合の全自動法の咀嚼能力値の変動係数が大きくなったと考えられる (Table 5)。したがって、咀嚼能力の微細な変化や咀嚼能力の低下した対象者を正確に評

価するには、全自動法の使用が推奨されるといえる。

本研究は、限られた時間と環境で行う疫学調査で行われたことから、条件設定や手順・材料などで制約があった。対象者には 30 回の咀嚼後に粉碎されたグミゼリーを吐出するように指示したが、咬断片の偶発的・非自発的な誤飲の可能性を考慮する必要がある。そのような場合、全自動法で測定される  $\beta$ -カロテンの量が減少し、咀嚼能力の値が低下することが考えられる。しかし、視覚スコア法は判定者がおおよそその粉碎状態を評価してスコアを判定可能なため、測定時には問題とならないと考えられる。また、吐出されたグミゼリーの重量は測定することが出来なかった。したがって、偶発的な誤飲によってグミゼリーが減少したかは不明で、今後詳細に検討する必要があると言える。測定は 1 日 6 時間、連続 26 日間という長期間にわたって継続しており、全自動法の機器での水温設定などが一定に保たれていない可能性がある。また、検査に用いたグミゼリーは現状日本以外では入手が困難であり、他の咀嚼機能検査の方法と視覚スコア法との比較検証が必要であると言える。

以上のような限界はあるが、本研究結果は、疫学調査における咀嚼能力の定量的尺度としてグミゼリーによる視覚スコア法の有効性を確認した。視覚スコア法は、特別な器具や装置を必要とせず、咀嚼機能と全身の健康との関係を明らかにするための種々の調査に簡便に利用可能であるのみならず、咀嚼機能低下を早期に発見することで、包括的な口腔機能低下を示した概念である「口腔機能低下症」<sup>38)</sup>の予防、改善のための介入の促進が期待できるといえる。

## 5. 結論

今回の研究結果より、地域在住高齢者に対する疫学調査において咀嚼機能と全身の運動機能との関連、および咀嚼機能評価法に関して以下の結論を得た。

1. 咀嚼機能の間接的評価法の咬合力と下肢筋力の指標である膝伸展トルクとの関連が明らかとなり、筋力の点での咀嚼機能と運動機能の関連が明らかであることが示された。
2. 咀嚼機能の直接的な評価方法としてのグミゼリーを用いた視覚スコア法は、機器を用いた咀嚼能力とわずかな違いはみられたが、疫学調査において咀嚼能力を評価する上で妥当性を有する方法であることが示された。

## 6. 参考文献

- 1) Nakanishi N, Fukuda H, Takatorige T, et al.: Relationship between self-assessed masticatory disability and 9-year mortality in a cohort of community-residing elderly people, **J Am Geriatr Soc**, **53: 54-58, 2005**.
- 2) Takata Y, Ansai T, Awano S, et al.: Chewing ability and quality of life in an 80-year-old population, **J Oral Rehabil**, **33: 330-334, 2006**.
- 3) Tanaka T, Takahashi K, Hirano H, et al.: Oral Frailty as a Risk Factor for Physical Frailty and Mortality in Community-Dwelling Elderly, **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, **2017**.
- 4) Yamanaka K, Nakagaki H, Morita I, et al.: Comparison of the health condition between the 8020 achievers and the 8020 non-achievers, **Int Dent J**, **58: 146-150, 2008**.
- 5) Murakami M, Hirano H, Watanabe Y, et al.: Relationship between chewing ability and sarcopenia in Japanese community-dwelling older adults, **Geriatr Gerontol Int**, **15: 1007-1012, 2015**.
- 6) Umeki K, Watanabe Y, Hirano H: Relationship between Masseter Muscle Thickness and Skeletal Muscle Mass in Elderly Persons Requiring Nursing Care in North East Japan **Int J Oral-Med Sci**, **15: 152-159, 2017**.
- 7) Iinuma T, Arai Y, Fukumoto M, et al.: Maximum occlusal force and physical performance in the oldest old: the Tokyo oldest old survey on total health, **J Am Geriatr Soc**, **60: 68-76, 2012**.
- 8) Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, et al.: A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women, **J Appl Physiol (1985)**, **71: 644-650, 1991**.
- 9) Manly RS, Braley LC: Masticatory performance and efficiency, **J Dent Res**, **29: 448-462, 1950**.
- 10) Komagamine Y, Kanazawa M, Minakuchi S, et al.: Association between masticatory performance using a colour-changeable chewing gum and jaw movement, **J Oral Rehabil**, **38: 555-563, 2011**.
- 11) Shiga H, Kobayashi Y, Arakawa I, et al.: Validation of a Portable Blood Glucose Testing Device in Measuring Masticatory Performance, **Prosthodonti Res Pract**, **5: 15-20, 2006**.
- 12) Ikebe K, Morii K, Matsuda K, et al.: Reproducibility and Accuracy in Measuring Masticatory Performance Using Test Gummy Jelly, **Prosthodonti Res Pract**, **4: 9-15, 2005**.
- 13) Nokubi T, Nokubi F, Yoshimuta Y, et al.: Measuring masticatory performance using a new device and beta-carotene in test gummy jelly, **J Oral Rehabil**, **37: 820-826, 2010**.
- 14) Ikebe K, Matsuda K, Kagawa R, et al.: Association of masticatory performance with age, gender, number of teeth, occlusal force and salivary flow in Japanese older adults: is ageing a risk factor for masticatory dysfunction?, **Arch Oral Biol**, **56: 991-996, 2011**.
- 15) Kosaka T, Ono T, Kida M, et al.: A multifactorial model of masticatory performance: the Suita study, **J Oral Rehabil**, **43: 340-347, 2016**.

- 16) Kikui M, Ono T, Kokubo Y, et al.: Relationship between metabolic syndrome and objective masticatory performance in a Japanese general population: The Suita study, **J Dent**, **56**: 53-57, **2017**.
- 17) Nokubi T, Yoshimuta Y, Nokubi F, et al.: Validity and reliability of a visual scoring method for masticatory ability using test gummy jelly, **Gerodontology**, **30**: 76-82, **2013**.
- 18) Matsui Y, Ohno K, Michi K, et al.: A computerized method for evaluating balance of occlusal load, **J Oral Rehabil**, **23**: 530-535, **1996**.
- 19) Hirano H, Ishiyama N, Watanabe I, et al.: Masticatory ability in relation to oral status and general health on aging, **J Nutr Health Aging**, **3**: 48-52, **1999**.
- 20) Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al.: Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico, **Am J Epidemiol**, **147**: 755-763, **1998**.
- 21) 解良 武士, 河合 恒, 吉田 英世 ほか: 2年後にフレイルから改善した都市在住高齢者の心身機能の特徴, **理学療法学**, **advpub**, **2015**.
- 22) Zhang Z, Pereira SL, Luo M, et al.: Evaluation of Blood Biomarkers Associated with Risk of Malnutrition in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis, **Nutrients**, **9**, **2017**.
- 23) Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR: "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician, **J Psychiatr Res**, **12**: 189-198, **1975**.
- 24) Aoki A, Nagate M, Utsumi K, et al.: Can we determine depressive conditions on the basis of somatic symptoms? A cross-sectional study of depressive conditions among Japanese patients at a university hospital general medicine clinic, **Intern Med**, **51**: 1335-1340, **2012**.
- 25) Koyano W, Shibata H, Nakazato K, et al.: Measurement of competence: reliability and validity of the TMIG Index of Competence, **Arch Gerontol Geriatr**, **13**: 103-116, **1991**.
- 26) Tinetti ME, Richman D, Powell L: Falls efficacy as a measure of fear of falling, **J Gerontol**, **45**: P239-243, **1990**.
- 27) 安井 栄, 野首孝祠, 吉牟田陽子ほか : 検査用グミゼリーによる咀嚼能率スコア法の臨床活用に向けた信頼性の検討, **日咀嚼会誌**, **22**: 11-17, **2012**.
- 28) Nokubi T, Yasui S, Yoshimuta Y, et al.: Fully automatic measuring system for assessing masticatory performance using beta-carotene-containing gummy jelly, **J Oral Rehabil**, **40**: 99-105, **2013**.
- 29) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al.: Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People, **Age Aging**, **39**: 412-423, **2010**.
- 30) Chen LK, Liu LK, Woo J, et al.: Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian Working Group for Sarcopenia, **J Am Med Dir Assoc**, **15**: 95-101, **2014**.
- 31) Akune T, Muraki S, Oka H, et al.: Incidence of certified need of care in the long-term care insurance system and its risk factors in the elderly of Japanese population-based cohorts: the

- ROAD study, **Geriatr Gerontol Int**, **14**: 695-701, 2014.
- 32) Bean JF, Kiely DK, Herman S, et al.: The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people, **J Am Geriatr Soc**, **50**: 461-467, 2002.
  - 33) Hidaka O, Iwasaki M, Saito M, et al.: Influence of clenching intensity on bite force balance, occlusal contact area, and average bite pressure, **J Dent Res**, **78**: 1336-1344, 1999.
  - 34) Hayashida I, Tanimoto Y, Takahashi Y, et al.: Correlation between muscle strength and muscle mass, and their association with walking speed, in community-dwelling elderly Japanese individuals, **PloS one**, **9**: e111810, 2014.
  - 35) Bartali B, Frongillo EA, Stipanuk MH, et al.: Protein intake and muscle strength in older persons: does inflammation matter?, **J Am Geriatr Soc**, **60**: 480-484, 2012.
  - 36) Society AG, Society BG, Prevention AAoOSPof: Guideline for the prevention of falls in older persons., **J Am Geriatr Soc**, **49**: 664-672, 2001.
  - 37) Suzuki Y, Iwamoto S, Haruna Y, et al.: Effects of 20 days horizontal bed rest on mechanical efficiency during steady state exercise at mild-moderate work intensities in young subjects, **J Gravit Physiol**, **4**: S46-52, 1997.
  - 38) Minakuchi S, Tsuga K, Ikebe K, et al.: Oral hypofunction in the older population: Position paper of the Japanese Society of Gerodontology in 2016, **Gerodontology**, 2018.

## 7. Figures and Tables



Figure 1. Visual data used for the measurement of the scored masticatory ability

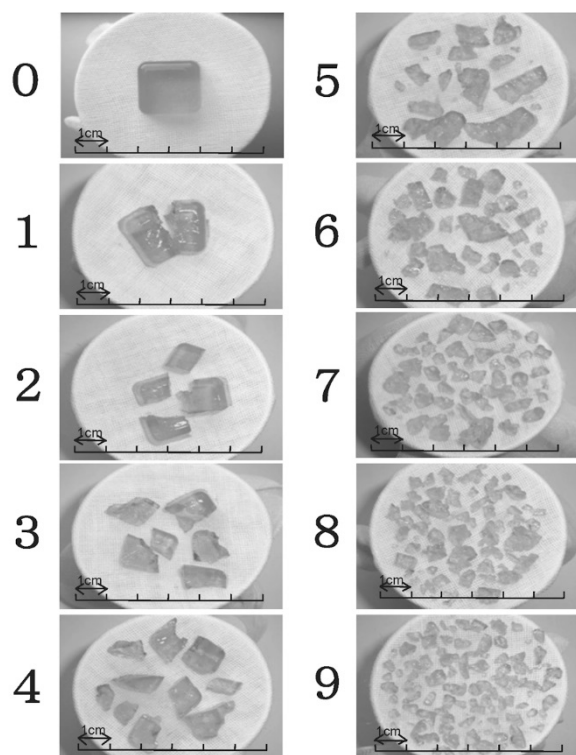


Figure 2. Box-plot diagrams of the actual, photo 1, and photo 2 scores and the fully automated method. (a) Actual score. (b) Photo score 1. (c) Photo score 2.

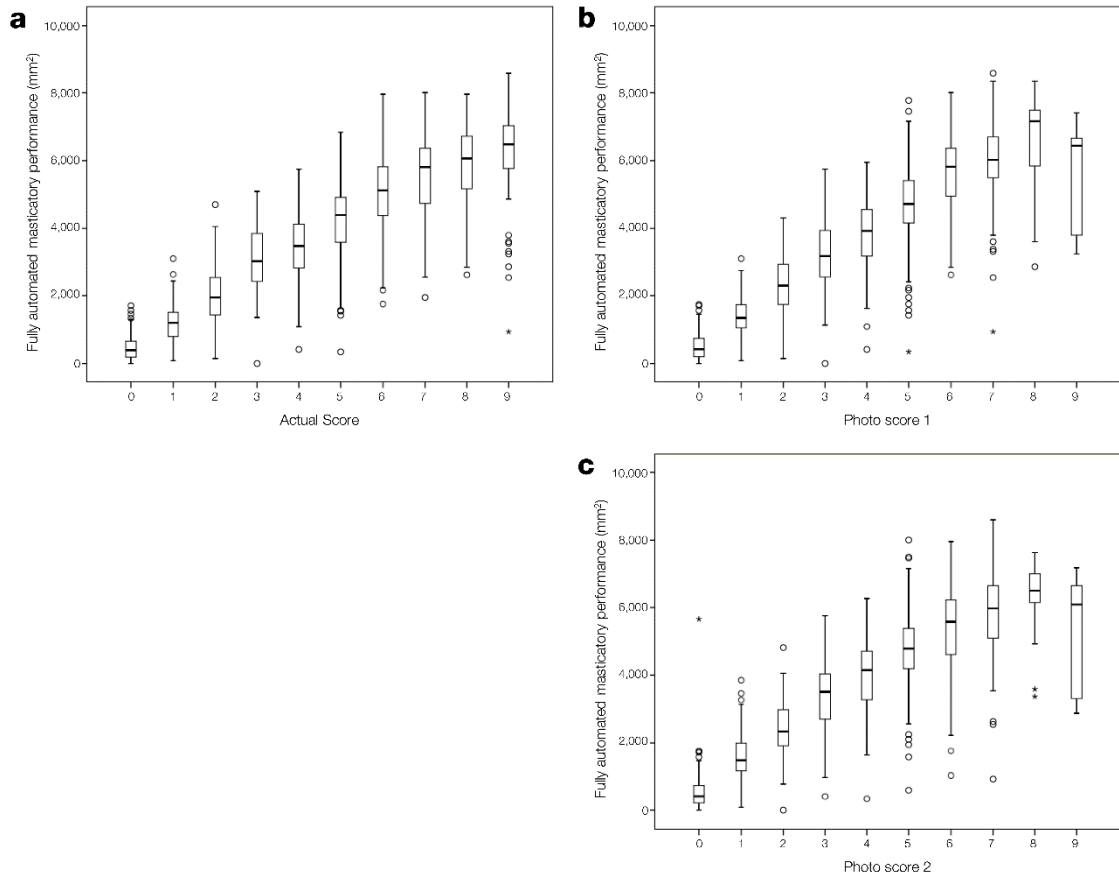


Table 1. Demographic and clinical data of the study subjects

	Men ( <i>n</i> = 315) Mean ± SD n (%)	Women ( <i>n</i> = 427) Mean ± SD n (%)	Total ( <i>n</i> = 742) Mean ± SD n (%)
<b>Demographic characteristics</b>			
Age (years)	73.3 ± 5.8	73.2 ± 5.3	73.3 ± 5.5
<b>Physical measurements</b>			
Knee extension torque (Nm)	103.0 ± 31.9	64.5 ± 17.7	80.3 ± 31.2
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.4 ± 2.9	22.5 ± 3.3	22.9 ± 3.2
SMI (kg/m <sup>2</sup> )	7.3 ± 0.7	5.9 ± 0.7	6.5 ± 1.0
Grip strength (kg)	35.5 ± 7.0	23.5 ± 4.7	28.5 ± 8.3
Walking speed (m/s)	1.4 ± 0.2	1.4 ± 0.3	1.4 ± 0.2
<b>Oral examination</b>			
Occlusal force (N)	528.0 ± 365.8	312.6 ± 223.9	400.2 ± 310.0
Functional teeth	26.7 ± 3.9	26.7 ± 3.3	26.7 ± 3.8
Existing teeth	19.5 ± 9.2	20.7 ± 8.3	20.1 ± 8.8
<b>Nutritional status</b>			
Hemoglobin (g/dL)	14.0 ± 1.2	13.0 ± 1.0	13.4 ± 1.2
Total cholesterol (mg/dL)	181.5 ± 35.7	167.6 ± 32.5	191.8 ± 34.4
Serum albumin (g/dL)	4.3 ± 0.2	4.3 ± 0.2	4.3 ± 0.2
<b>Functional status</b>			
MMSE score	28.2 ± 1.6	28.7 ± 1.4	28.5 ± 1.5
TMIG Index of Competence score	12.2 ± 1.2	12.3 ± 1.3	12.2 ± 1.3
SDS score	30.9 ± 7.8	31.5 ± 7.7	31.2 ± 7.8
Fall-related self-efficacy score	11.6 ± 3.2	12.5 ± 4.5	12.1 ± 4.0
<b>Comorbidities</b>			
Hypertension	154 (48.9%)	186 (43.6%)	340 (45.8%)
Stroke	41 (13.0%)	19 (4.4%)	60 (8.1%)
Heart disease	55 (17.5%)	53 (12.4%)	108 (14.6%)
Diabetes	63 (20.0%)	43 (10.1%)	106 (14.3%)
Hyperlipidemia	81 (25.7%)	149 (34.9%)	230 (31.0%)
Osteoporosis	2 (0.6%)	97 (22.7%)	99 (13.3%)
Hip osteoarthritis	3 (1.0%)	11 (2.6%)	14 (1.9%)
Knee osteoarthritis	12 (3.8%)	63 (14.8%)	75 (10.1%)
Experience of fracture	31 (9.8%)	87 (20.4%)	118 (15.9%)
Depression	7 (2.2%)	12 (2.8%)	19 (2.6%)

SD, standard deviation

Table 2. Spearman's correlation coefficient between the variables

	Knee extension torque	
	r	p-value
Age	-0.623	<0.001
Sex	-0.314	<0.001
BMI	0.271	<0.001
SMI	0.678	<0.001
Grip strength	0.744	<0.001
Gait speed	0.230	<0.001
Occlusal force	0.348	<0.001
Functional teeth	0.067	0.069
Existing teeth	0.025	0.497
Hemoglobin	0.431	<0.001
Total cholesterol	-0.149	<0.001
Serum albumin	0.148	<0.001
MMSE score	0.032	0.385
TMIG Index of Competence score	0.068	<0.001
SDS score	-0.182	<0.001
Fall-related self-efficacy score	-0.310	<0.001
Hypertension	-0.008	0.837
Stroke	0.054	0.225
Heart disease	0.045	0.984
Diabetes	-0.001	0.545
Hyperlipidemia	-0.063	<b>0.048</b>
Osteoporosis	-0.267	<0.001
Hip osteoarthritis	-0.046	0.208
Knee osteoarthritis	-0.150	<0.001
Experience of fracture	-0.150	<0.001
Depression	-0.026	0.467

Table 3. Coefficients of multiple regression analysis

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		
	B	Standardized error	$\beta$	t	P-value
Constant	24.55	26.67		0.92	0.356
Sex (1 = man, 2 = woman)	-20.03	2.80	-0.32	-7.15	<0.001
Age	-1.04	0.15	-0.32	-7.15	<0.001
BMI	0.34	0.35	0.03	0.97	0.331
SMI	11.24	1.51	0.36	7.44	<0.001
Gait speed	9.20	3.67	0.07	2.51	<b>0.012</b>
Occlusal force	0.01	0.00	0.05	2.04	<b>0.042</b>
Hemoglobin	1.07	0.76	0.04	1.41	0.159
Total cholesterol	0.02	0.02	0.02	0.77	0.442
Serum albumin	12.83	3.50	0.10	3.67	<0.001
TMIG Index of Competence score	0.62	0.63	0.03	0.98	0.326
SDS score	-0.19	0.11	-0.05	-1.74	0.082
Fall-related self-efficacy score	0.48	0.22	-0.06	-2.18	<b>0.030</b>
Hyperlipidemia (0 = no, 1 = yes)	-1.80	1.71	-0.03	-1.05	0.292
Osteoporosis (0 = no, 1 = yes)	3.71	2.40	0.04	1.54	0.124
Knee osteoarthritis (0 = no, 1 = yes)	-3.01	2.64	-0.03	-1.14	0.254
Fractures (0 = no, 1 = yes)	1.55	2.15	0.02	0.72	0.470

Dependent variable: knee extension torque; adjusted  $R^2 = 0.584$

Table 4. The frequency of each score

Score	Number of participants					
	Actual score		Photo score 1		Photo score 2	
	[no. (%)]		[no. (%)]		[no. (%)]	
0	185	(15.0%)	206	(16.7%)	207	(16.8%)
1	79	(6.4%)	83	(6.7%)	100	(8.1%)
2	83	(6.7%)	86	(7.0%)	80	(6.5%)
3	81	(6.6%)	103	(8.3%)	130	(10.5%)
4	115	(9.3%)	156	(12.6%)	152	(12.3%)
5	188	(15.2%)	247	(20.0%)	178	(14.4%)
6	212	(17.2%)	236	(19.1%)	229	(18.6%)
7	117	(9.5%)	92	(7.5%)	111	(9.0%)
8	104	(8.4%)	19	(1.5%)	37	(3.0%)
9	70	(5.7%)	6	(0.5%)	10	(0.8%)
Total	1234	(100.0%)	1234	(100.0%)	1234	(100.0%)
Mean ± SD (overall)	4.4 ± 2.8		3.8 ± 2.4		3.8 ± 2.5	

The actual score is the score determined on the day of the survey. The photo score is determined using the obtained photograph.

SD, standard deviation.

Table 5. The median and correlation of variance of each score, compared with the findings from the fully automated method

Score	Median/CV of the fully automated method to each score (mm <sup>2</sup> )								
	Actual score			Photo score 1			Photo score 2		
	Median	Normal range	CV	Median	Normal range	CV	Median	Normal range	CV
0	388.0	0.0–1322.2	0.77	417.0	0.0–1459.1	0.78	417.0	0.0–1549.0	1.02
1	1208.0	158.0–2639.0	0.53	1353.0	165.5–2739.8	0.43	1472.0	152.3–3362.0	0.49
2	1946.0	459.0–4041.3	0.41	2294.5	612.4–4032.5	0.36	2334.5	785.1–4050.9	0.35
3	3026.0	1364.6–5021.4	0.32	3175.0	1384.6–4868.0	0.29	3515.0	1102.5–4987.7	0.29
4	3468.0	1133.1–5351.8	0.29	3919.0	1811.2–5686.4	0.25	4145.5	1990.9–5976.5	0.27
5	4936.0	1612.3–6134.3	0.25	4715.0	2171.8–6731.6	0.23	4796.5	2175.0–6955.3	0.23
6	5110.0	2880.0–7282.0	0.22	5824.0	3123.3–7850.9	0.20	5578.0	3019.0–7572.8	0.22
7	5814.0	2946.5–7656.0	0.21	6024.0	2792.9–8122.6	0.20	5974.0	2608.6–8355.0	0.22
8	6065.0	3177.9–7878.5	0.18	7172.0	2866.0–8355.0	0.23	6508.0	3374.0–7640.0	0.15
9	6476.5	2179.6–8408.6	0.24	6436.0	3236.0–7415.0	0.30	6096.0	2866.0–7172.0	0.33

The actual score is determined on the day of the survey. The photo score is determined using the obtained photograph. The normal range is between the 2.5th percentile and 97.5th percentile.

CV, coefficient of variation: (SD/Mean)

Table 5. The correlation coefficient for each of the masticatory ability measurement items

	Actual score	Photo score 1	Photo score 2	Fully automated method
Actual score				
Photo score 1	0.950*			
Photo score 2	0.930*	0.950*		
Fully automated method	0.860*	0.870*	0.856*	

The actual score is the score determined on the day of the survey. The photo score is the score determined using the obtained photograph.

\* :  $p < 0.001$