

博士論文

口腔テクスチャー感覚の臨床評価法に関する研究

古川 奈緒

平成 30 年度提出

東北大学

要 約

口腔に含んだ食品の表面や実質の機械的・幾何学的特性が呈する感覚をテクスチャーといい、テクスチャーを捉える口腔機能を口腔テクスチャー感覚と呼ぶ。固形・半固形の食品を摂取する際、咀嚼から嚥下への移行を促すのは食品の構造や潤滑性が嚥下に適切であることを捉える口腔テクスチャー感覚であり、この感覚の低下は嚥下の安全性を損ないかねない。一方、テクスチャーは味や香りなどとともにおいしさに関与するため、この感覚の低下は食行動の不活発による低栄養をも招きかねない。口腔テクスチャー感覚はこのように临床上重要だが、その鋭敏さを評価する臨床検査法は未開発である。本研究の目的は、口腔テクスチャー感覚の鋭敏さの評価法の開発にある。口腔テクスチャー感覚の鋭敏さは、刺激強度の異なる二つの試料を呈示し、強度の大小が識別できる最小の刺激強度差を求める識別試験、もしくは種々の刺激強度の試料を呈示し、刺激を認識できる最小の刺激強度を求める検出試験により評価可能である。本研究では咀嚼中の食品テクスチャーの微細な変化を捉える能力を評価すべきとの判断に基づいて識別試験を採用し、その成績と検出試験の成績の関連を検討した。また口腔テクスチャー感覚に関与する舌粘膜の機械感覚を触圧覚試験、2点識別試験により評価し、識別試験の成績との関連をも併せて検討した。被験者には正常有歯顎を有し、口腔感覚に異常のない健康成人 11 名を、識別試験の試験食品には寒天ゲル、キサンタンガム水溶液、微結晶セルロース水懸濁液を、検出試験の試験食品には微結晶セルロース水懸濁液を、それぞれ用いた。触圧覚試験と 2 点識別試験は舌尖後方 20 mmの舌背上で実施した。3 種の試験食品について実施した識別試験の成績は、相互の有意な関連を認めた。一方、検出試験、触圧覚試験、2 点識別試験の成績は相互に有意に関連せず、またいずれも 3 種の試験食品についての識別試験の成績と有意に関連しなかった。以上の知見は、テクスチャー感覚が感覚と運動の多種の情報に基づいて形成されるため、その鋭敏さは特定の感覚の鋭敏さと相関しないことを示すと考えられた。一方、口腔テクスチャー感覚は、それを形成に関与する感覚の一部の低下に

伴い、鋭敏さを損なうと推察されることから、検出試験、触圧覚試験、2点識別試験の成績のいずれかが全被験者の下位 1/4 である被験者 6 名とすべての成績が上位 3/4 である 5 名とで識別試験の成績を比較したところ、3 種の識別試験の総合スコアは後者において有意に高く、さきの推察を裏付ける結果となった。上述の知見は、多種の情報に基づいて形成されるテクスチャー感覚の特性を示すとともに、複数の識別試験の成績を総合したスコアによるテクスチャー感覚の鋭敏さ評価の妥当性をも示唆すると考えられた。

1. 緒言

口腔に摂取した固形・半固形の食品は、咀嚼により食道以遠への移送に適した性状に加工されたのち、嚥下される (Devezeaux de Lavergne *et al.*, 2017)。Hutchings と Lillford の先駆的研究 (1988) よりこのかた、咀嚼中の食品が嚥下に適した物理的性質、具体的には構造と潤滑性とを具えた時点で、嚥下が惹起されるとされてきた (Peyron *et al.*, 2011)。食品の物理的性質を、ヒトはテクスチャーとして捉える。粉碎され唾液と混和された食品の移送する先を再び臼歯咬合面上にするか、それとも咽頭にするかの判断は、捉えたテクスチャー情報に基づいて行われる。つまり口腔テクスチャー感覚は摂食動作の制御における情報入力基盤の一部を担う。一方、しばしば物理的味と呼ばれる (Izutsu & Iwaki, 1985) 食品テクスチャーは、化学的性質である味や香り、視覚・聴覚などその他の情報とともに、おいしさという食行動に対する報酬性の情動的情報の形成に与り (Donini *et al.*, 2009)、食行動そのものの制御にも関与する (Narayanan *et al.*, 2010; Larsen *et al.*, 2016)。つまり口腔テクスチャー感覚は栄養摂取に基づく身体恒常性維持に関与する。

口腔テクスチャー感覚の低下ないし低下の影響に関する知見は乏しい。しかし、咀嚼が不十分で嚥下に適さない状態の食品を誤って咽頭へと移送する機会が増せば、誤嚥の危険が高まると予想される。テクスチャー感覚の低下が食品のおいしさを損なえば、食行動の不活発を介して栄養状態にも悪影響が及ぶと懸念される。フレイル予防が高齢者保健の重要課題とされる今日、食の安全を脅かし、低栄養をももたらしかねない口腔テクスチャー感覚の低下や障害は看過して良い病態ではない。

しかし、口腔テクスチャー感覚の感度を評価する臨床検査法は未だない。先年、舌感覚の臨床評価法の確立に向けて Boliek らが提案したプロトコル (2007) は、2 点識別、触覚、温度覚、口腔立体認知、味覚とともに、テクスチャー感覚の評価法を含んでいた。細い棒に表面形状の異なる樹脂球を取り付けた 3 種の刺激子のいずれかを舌上に呈示する試行を 2 度行い、用いた刺激子の異同を回答させる試験を、3 度繰り返すものだが、論文は健常成人 40 名の試験ごとの正答率が 90% 以上であったと報じるものの、テクスチャー感覚低下の評価の可否には言及していない。

著者は本研究で、食品テクスチャーを捉える口腔テクスチャー感覚の感度評価法の開発を試みた。その際、咀嚼に伴い刻々に変化する食品の性状を捉え、嚥下の時期の判断に関わるという口腔テクスチャー感覚の機能的意義を踏まえ、口腔テクスチャー感覚の鋭敏さを、ある微弱なテクスチャーの試料を呈示してテクスチャー検出の

可否を調べる方法ではなく、テクスチャーがわずかに異なる 2 つの試料を呈示して識別の可否を調べる方法で評価する方針を採用し、方針の妥当性を検討するべく、テクスチャーの検出能力と識別能力の関連を検討した。

また本研究では、口腔テクスチャー感覚の鋭敏さと、舌粘膜の機械感覚の鋭敏さの関連を検討した。ヒトは「もの」の表面性状(たとえば凹凸や摩擦の大きさ)や実質の特性(たとえば柔らかさ)といったテクスチャーを、手指の皮膚や舌の粘膜などで「もの」に触れたり、「もの」を眺めたり、手指で撫でたり、舌で舐めたりして捉える(Lederman & Klatzky, 1987; Hartcher-O'Brien *et al.*, 2008)。「もの」の表面と実質に係る物理的特徴の少なくとも一部をなすテクスチャー像は、皮膚や粘膜の感覚情報、視覚情報、運動に係る情報などが脳で統合されることで形作られる(Longo *et al.*, 2010)。本研究では、口腔の体性感覚とテクスチャー感覚の上述の関係から、特定の感覚の鋭敏さとテクスチャー感覚の鋭敏さは相関しないとの仮説を設けた。口腔テクスチャー感覚の鋭敏さと、舌粘膜の機械感覚の鋭敏さの関連はその検証を目的とする。

一方、既に述べた理由から、特定の感覚の不良は、多種の感覚情報から形成されるテクスチャー感覚の鋭敏さ損なうとの仮説も成立しうる。そこで本研究では、舌の触圧覚試験、2点識別試験、ならびにざらつき感の検出試験の成績がいずれも一定基準以上である被験者群と、いずれかが基準を下回る被験者群で、識別試験の成績を比較した。

2. 方法

1) 被験者

本研究の被験者は、東北大学加齢歯科学分野の医局に属する大学院生ならびに職員から採用した 11 名(男性 6 名、女性 5 名、年齢 31.4 ± 4.1 歳)とした。採用条件を(1)顎口腔領域に疼痛や感覚異常を有さないこと、(2)第 3 大臼歯以外の全永久歯が機能歯であること、(3)治療を要する齲蝕や歯周病、歯列不正を認めないこと、(4)臨床的に舌粘膜の萎縮や感染等の病態を認めないこととし、除外条件には(1)試験食品にアレルギーを有すること、(2)試験に使用する器材にアレルギーがあること、(3)顎口腔に運動異常があること、(4)神経障害を惹起し得る疾患があること、(5)顎口腔領域の疼痛や既知の感覚障害があること、(6)舌背の触刺激により絞扼反射が誘発されること、(7)摂食・嚥下障害があることの各項を設けた。

研究プロトコルは事前に東北大学大学院歯学研究科倫理委員会の承認を得た(受

付番号 2015-3-017)。被験者は研究の目的、方法、研究参加で生じ得る利益・不利益等について事前に文書と口頭で十分な説明を受け、書面で研究参加に同意した。

2) 試験食品

味覚・嗅覚刺激に乏しく、特定のテクスチャーを種々の段階の強度で呈する試験食品として、寒天ゲル、水にキサンタンガムを溶解したとろみのある液体、水に微結晶セルロースを懸濁させたざらつきのある液体の 3 種を用いた。成分濃度はいずれも 9 段階に設定し、濃度が低い順に 1~9 の番号を付した。

a) 寒天ゲル

粉末寒天(北原産業)を熱水中に攪拌、溶解し、100℃で 3 分間加熱した。これを外筒の先端部分を切除した容量 20 ml の樹脂製注射器(SS-20ESZ、テルモ、内径 16 mm)に流して冷却・ゲル化し、冷蔵庫(5℃)で保管した。試験開始 1 時間前に実験室に放置して室温(25℃)に戻し、注射器の押子を操作して規定量(2 ml)毎に切り分け、円柱状の試料を作成した。寒天の濃度は、種々の濃度の寒天ゲルを自由に摂食させ、圧縮粉碎の部位を検討した先行研究(新井, 2000)において、少なくとも 70%以上が舌と硬口蓋間で圧縮粉碎していた濃度値を参考に、水に対する重量比が 0.54%~0.70%の範囲で、0.02%刻みの 9 段階とした。

寒天ゲルのレオロジー特性は、消費者庁の「特別用途食品の表示許可等について」(平成 28 年 3 月 31 日、消食表第 221 号)に準拠して測定した。各重量比の寒天溶液をステンレス製シャーレ(直径 40 mm、深さ 20 mm)に高さ 15 mm まで満たしてゲル化させたものを試料とし、テクスチャー測定装置(テクスチャーアナライザー、EZ-XS、島津製作所)の円柱状樹脂製プランジャー(直径 20 mm、厚さ 5 mm)を速度 10 mm/s で高さ 5 mm まで試料に向けて降下したのち、同じ速度で 25 mm 上昇させる動作を 2 度反復した。試料の初回の降下開始からの時間を横軸、プランジャーが試料から受けた荷重を縦軸にプロットした曲線上で、初回の圧搾に伴う単位面積あたりの荷重の最大値を硬さ、初回の圧搾後にプランジャーを引き上げる行程の負領域の曲線下面積を付着性、初回と 2 回目の圧縮行程(正領域)の曲線下面積の比を凝集性として測定した。なお、上記評価法は、試料温度 20℃、40℃の 2 条件で測定することを定めているが、本研究では試験食品の使用温度である室温(25℃)のみで測定し、試料は各濃度 10 個を作成、使用した。また初回の圧搾で試料が破壊に至るまでのプランジャーの変位と荷重の関係から、弾性係数を求めた。

b) キサンタンガム水溶液

キサンタンガム粉末(八宝商会)を蒸留水に加え、1 分間攪拌したのち、室温中に 5 時間静置したもの、2mL を試料とした。濃度は、嚥下障害者向け食品のレオロジー特性を定めた IDDSI(The International Dysphagia Diet Standardisation Initiative)基準(Cichero et al., 2017)で、液体の Level 2(Mildly thick)に該当する粘度を想定し、水に対する重量比で 0.40%~0.80%とし、0.05%刻みの 9 段階を設けた。なお、IDDSI の Level 2 は米国栄養士会 American Dietetic Association が 2002 年に提案した National Dysphagia Diet の Nectar-thick に相当する。

液体食品の粘度については上述の「特別用途食品の表示許可等について」に記載がない。そこで旧厚生省が「特別用途食品(病者等向け)」のうち「高齢者用食品」の「そしゃく・えん下困難者用食品」向けに定めた評価方法(「高齢者用食品の標示許可の取扱いについて」、平成 6 年 2 月 23 日、衛新第 15 号)を準用し、試料 500 ml の粘度を、B 型回転粘度計(アナログ粘度計 T、英弘精機)と標準スピンドル(LV-2 T、回転速度 12 rpm)を用い、室温下で測定した。

c) 微結晶セルロース水懸濁液

微結晶セルロース(Comprecel S101、伏見製薬所)は局方の食品添加物で、流動性が高く、水に不要な、高純度結晶セルロースの白色粉末で、粒径は平均 50 μm (40~60 μm)である。予備検討に基づき、すべての被験者がざらつきを感じる範囲とするべく、水に対する濃度を 3.4%~6.6%とし、0.4%刻みの 9 段階を設けた。

3) テクスチャー識別試験

緒言の述べた理由で、本研究では口腔テクスチャー感覚の鋭敏さを、テクスチャー識別試験によって評価した。JIS Z8144: 2004(官能評価分析—用語)は、2 つの刺激を識別できる最小の刺激の大きさの差異を識別閾と定義する。識別試験は識別閾を調べる試験の方法をいう。試験食品のうち成分濃度が最大の試料 9 と試料 1~8 のいずれか 1 つと対にし、両者をランダムな順で呈示して、どちらの濃度が高いかを回答させた。

識別試験は、試験食品ごとに実施した。試験に先立って被験者は着座させ、舌上に実験者がスプーンで試料を流し入れることを説明したうえで、アイマスクにより視覚を遮断した。また、テクスチャーを舌と口蓋間で捉え、どちらの濃度が高いかを回答すること、濃度の高低が判断できない場合は「わからない」と回答すること、試料呈示ごとに

水で口を濯ぐことを指示したうえで、試料 9 と試料 1 を呈示し、テクスチャーの相違を被験者に理解させた。

識別試験には、折り返し 4 回の極限法を用いた。すなわち、試料 9 と試料 1 を識別させる試行から始め、正答が続くうちは試料 9 との識別対象を試料 2、試料 3、...の順に変化させて試料間の成分濃度の差を狭め、誤答が生じた時点で濃度差を順次広め、正答が生じた時点で再び濃度差を狭め、さらに濃度差を順次広めた。以上の試行で、最後の誤答の直前の正答における試料 9 との濃度差を識別閾、試料 9 と比較した試料の番号を識別閾値スコアとした。識別閾値スコアは、識別閾である濃度差が小さく、識別能力が高いほど大きい。

識別閾値スコアの確定後、識別の時点や決め手となったテクスチャー、ならびにテクスチャーを捉えた舌の動作や口腔内の部位を、質問票〔表 1〕で調査した。被験者がすべての質問に回答するまで、試料 9 と識別閾の試料を交互に与え、識別を行う試行を繰り返させた。

4) ざらつき感の検出試験

テクスチャーの相違を識別する能力と、微弱なテクスチャー刺激を検出する能力の関連を明らかにする目的で、微結晶セルロース水懸濁液を用いて、ざらつき感の検出閾(JIS Z8144: 2004 は、刺激の存在を識別できる最小の刺激の大きさと定義する)を調べる検出試験を行った。試験食品には微結晶セルロース(UF-F711、旭化成ケミカルズ、平均粒子径 50 μm)の水懸濁液を用い、濃度は重量比 0%、0.1%、0.2%、0.4%、0.8%、1.6%、3.2%、6.4%の 8 段階とした。また重量比が小さい順に 1~8 の試料番号を付した。

試料 8 を口腔に含ませ、ざらつきを感じることを確認したうえで、識別試験と同様、着座でアイマスクを装着した被験者の舌上に実験者が試料をスプーンで流し入れる方法で試料の呈示を行い、舌-口蓋間でざらつきを感じたか否かを回答させた。

検出試験は試料 1 から開始し、ざらつき感が生じるまで順に試料の濃度を高め、ざらつき感を生じた時点で順に濃度を順に低める試行を 2 度繰り返す、折り返し 4 回の極限法を用い、最後にざらつきを感じた試料の濃度を検出閾とした。

5) 口腔体性感覚試験

a) 触圧覚閾値試験

モノフィラメントを用いた静的触圧覚検査器具 (SW 知覚テスター、Touch-Test™ Sensory Evaluator、North Coast Medical) のうち、最もフィラメント径の小さいものから順に 5 種 (フィラメントの handle mark が 1.65、2.36、2.44、2.83、3.22) を用いた [図 1]。本研究では、フィラメント径が小さい順に、1~5 の番号を付した。発売元の資料によれば、測定時の target force は、それぞれ 0.008、0.02、0.04、0.07 および 0.16 gf である。

着座でアイマスクを装着した被験者を開口させ、舌尖から 20 mm の舌背正中部に定めた測定部位に歯垢染色液で着色を施した。ほぼ静的な触圧刺激の付与は、本測定器具を用いた測定の通法に倣って行った。すなわち、測定部位の上方 25 mm の位置から 1.5 秒間をかけて器具を垂直に下降させてフィラメント先端を測定部位の粘膜に接触させ、次の 1.5 秒でフィラメントが撓むまでさらに器具を下降させ、その後の 1.5 秒で器具を元の位置まで上昇させた。被験者には刺激を知覚した時点で挙手するよう指示した。5 種のフィラメントについて各 5 回の試行をランダムな順に行い、3 回以上刺激を知覚したフィラメントの target force を触圧覚閾とした。

b) 2 点識別試験

断面が 5 mm×5 mm、長さ 98 mm のアルミニウム棒材に、ニッケルメッキを施した鉄線 (直径 1 mm、長さ 18 mm) 2 本を既定の間隔を隔てて植立し、刺激子とした自製の刺激装置 [図 2] を用い、舌尖付近の舌背の 2 点識別閾値を測定した。2 本の刺激子間の距離は 0.8~4.0 mm の範囲で、0.2 mm 刻みの 17 段階とし、刺激装置には距離が小さい順に 1~17 の番号を付した。

着座でアイマスクを装着した被験者を開口させ、触圧覚閾値試験の際に歯垢染色液で着色を施した測定部位を挟んで左右方向に刺激子が触れるよう、刺激装置を位置づけた。1 秒間をかけて刺激子を測定部位に押し当て、そのまま 2 秒間保持し、1 秒間で測定部位から離れた。刺激の強さは、舌粘膜のわずかに変形を肉眼で認める程度とし、被験者が触圧刺激を知覚したことを確認したうえで、2 点が同時に刺激されたと感じたか、1 点のみが刺激されたと感じたかを回答させた。距離 4.0 mm の刺激装置から順に距離を狭める下降法の施行を行い、それまで 2 点と感じられていた刺激が 1 点と感じられた時点で、その直前の刺激子の間隔を 2 点識別閾とした。

6) 解析

本研究では、口腔テクスチャー感覚の鋭敏さの評価は、検出試験よりむしろ識別試

験により適切に評価できると推察した。その妥当性を検討する目的で、3種の試験食品で求めた識別閾値スコアの相互の関連、ならびに各試験食品の識別閾値スコアとざらつき感の検出閾の関連を、Spearman 順位相関を用いて検討した。

また、食品テクスチャー像が多種の感覚情報から形成されることに基づいて設けた、特定の口腔感覚の鋭敏さとテクスチャー感覚の鋭敏さは相関しないとの仮説を検証するため、各試験食品の識別閾値スコアと触圧覚閾ならびに2点識別閾との関連を、同様に検討した。

さらに、多様な感覚情報から形成されるテクスチャー感覚の鋭敏さは、特定の感覚機能が低いことによって損なわれうるとの仮説を検証するため、舌粘膜の触圧覚、2点識別、ざらつきの検出に係る試験成績がすべて一定基準以上である被験者の群と、いずれかのスコアが基準以下である被験者の群に被験者を等分し、両群間の識別閾値を、Wilcoxon 順位和検定により比較した。

統計解析には JMP Pro14(JMP Japan Inc.)を用い、有意水準は危険率 5%未満とした。

3. 結果

1) 識別試験に用いた寒天ゲルとキサンタンガム水溶液のレオロジー特性

寒天ゲルの硬さは 8.39~17.27 N、付着性は 0.9×10^{-3} ~ 2.3×10^{-3} J、凝集性は 0.143~0.189 であった〔図 3〕。

キサンタンガム水溶液の粘度は 963~1,975mPa-s に分布した〔図 4〕。IDDSI Flow Test では、すべて Level 2(Mildly thick)に該当した。

2) 舌の触圧覚・2点識別試験

被験者の触圧覚閾値は 0.008~0.07 gf(中央値 0.04 gf)に、また2点識別閾値は 1.2~2.8 mm(中央値 1.8 mm)に分布し、先行研究(Maeyama & Plattig, 1989; Aviv *et al.*, 1992)とほぼ同等の成績を示した。またこれら2つの閾値間に有意な関連を認めなかった(Spearman 順位相関係数、 $\rho=-0.1358$ 、 $p=0.6905$)。

3) ざらつき感の検出試験

被験者のざらつき感の検出閾値はスコア 4~7(中央値 5)に分布した。またざらつき検出閾値のスコアは、舌の触圧覚閾値と2点識別閾値のいずれとも有意な関連を認

めなかった (Spearman 順位相関係数、触圧覚閾値との関係は $\rho=0.0852$ 、 $p=0.8032$ 、2 点識別閾との関係は $\rho=0.4291$ 、 $p=0.1878$)。

4) テクスチャーの識別試験

a) 寒天ゲル

寒天ゲルの識別閾値はスコア 4~8(中央値 7)に分布した。識別の時点は、半数の被験者が破壊以前、残る半数が破壊以降で舌と口蓋の接触が生じる以前と回答した。決め手となったテクスチャーは、10 名が硬さ、6 名が破壊の仕方、3 名が変形の量や速さと回答した。舌運動は、全員が口蓋への押し付けを選択し、1 名のみ口蓋への押し付け後の左右側方運動を併せて選択した。部位は、舌では安静時に口蓋と接する舌前方部とする回答が 7 名、舌尖部との回答が 4 名、舌中央部が 3 名であり、口蓋は安静位に舌と接する部位とその後方の中央部がそれぞれ 6 名および 8 名であった。

b) キサンタンガム水溶液

キサンタンガム水溶液の識別閾値はスコア 2~8(中央値 6)に分布した。2 つの試料のキサンタンガム濃度の相違をテクスチャーに基づいて識別できた時点は、7 名が舌と口蓋の接触以前、5 名が接触以降とした。識別の決め手となったテクスチャーは、11 名が変形の量や速さと答えたが、硬さと付着性という回答が各 1 名から得られた。それを捉えた舌運動は、7 名が口蓋への押し付けを選択し、押し付けに続く前後・左右・上下運動をそれぞれ 1 名、2 名、1 名が選択し、3 名はそれ以外の運動を併せて選択した。部位は、舌では安静時に口蓋と接する舌前方部が 9 名、舌尖部が 2 名、舌中央部が 3 名であり、口蓋は安静位に舌と接する部位とその後方の中央部が各 6 名、側方部が 3 名であった。

c) 微結晶セルロース水懸濁液

微結晶セルロース水懸濁液の識別閾値はスコア 2~8(中央値 6)に分布した。テクスチャーに基づいた識別の時点は、10 名が舌と口蓋の接触以降、残る 2 名はそれ以前と回答した。識別の決め手となったテクスチャーとして全員がざらつきを選び、1 名が変形の量や速さを併せて選択した。舌運動は、口蓋への押し付け後の前後運動が 5 名と最大で、口蓋への押し付けと口蓋への押し付け後の左右運動が各 4 名とそれに続き、口蓋への押し付け後の上下運動とその他の運動も各 1 名が選択した。部位は、舌では安静時に口蓋と接する舌前方部が 8 名と最多で、舌中央部の 3 名がそれに次ぎ、舌尖部と舌根部も各 1 名が選択した。口蓋では安静時に舌と接する部位が 9 名、

その後方中央部が 5 名、側方部が 2 名であった。

d) 3 種の試験食品の識別試験成績の相互関係

2 種の試験食品の識別閾値スコア間の Spearman 順位相関係数は、寒天ゲルとキサンタンガム水溶液では $\rho=0.6688$ 、 $p=0.0174$ 、寒天ゲルと微結晶セルロース水懸濁液では $\rho=0.7728$ 、 $p=0.0079$ 、微結晶セルロース水懸濁液とキサンタンガム水溶液では $\rho=0.5924$ 、 $p=0.0424$ であり、いずれも有意な相関を認めた〔図 5〕。

5) 識別試験とざらつき感の検出試験、舌の触圧覚試験、ならびに 2 点識別試験の成績間の関連

各種試験食品の識別閾値スコアと、触圧覚閾値、2 点識別閾、ならびにざらつき感の検出閾値スコアとの関連を、同様に Spearman 順位相関係数に基づいて検討した。その結果、3 種の試験食品の識別閾値スコアは、いずれとも有意な相関を示さず(すべて $p > 0.05$)、テクスチャー感覚の鋭敏さは舌の機械感覚など特定の感覚の鋭敏さと関連しないという仮説が支持された。

さらに、特定の感覚の鈍麻はテクスチャー感覚の鋭敏さを損なうとの仮説を検証するべく、触圧覚閾値、2 点識別閾、ざらつき感の検出閾値スコアをそれぞれ共通する基準で試験成績の高低 2 群に分類し、すべての試験成績が「高」である者と、いずれか 1 つ以上の試験成績が「低」である者との人数がほぼ同数となる基準を検索したところ、その基準が各試験成績の上位 4 分の 3 と下位 4 分の 1 を分かつ第 1 四分位であり、このとき試験成績がすべて「高」である者が 5 名、いずれかが「低」である者が 6 名であった。

そこで、3 種の試験食品の識別閾値スコアをそれぞれの分布に従って標準化するべく、四分位点に基づいて第 3 四分位以上に 3 点、中央値以上第 3 四分位未満を 2 点、第 1 四分位以上中央値未満を 1 点、第 1 四分位未満を 0 点と点数化し、さらに 3 種の試験食品についての点数の合計をテクスチャー感覚の鋭敏さのスコア(0~9)とした。テクスチャー感覚の鋭敏さのスコアは、触圧覚試験、2 点識別試験、ざらつき感の検出試験の成績がすべて「高」である者 5 名において、いずれかが「低」である者 6 名に比べ、有意に高値であり(Wilcoxon 順位和検定、 $p=0.0417$)、特定の感覚の鈍麻はテクスチャー感覚の鋭敏さを損なうとの仮説が支持された〔図 6〕。

4. 考察

本研究では、舌一口蓋間で食品テクスチャーを捉える感覚の鋭敏さを評価する方法として、3種の試験食品を用いた識別試験の応用を提案した。ヒトが食品テクスチャーを捉える部位は、舌一口蓋間以外に加えて、突出させた舌尖(食品を舌尖で舐めて摂取する場合)、上下顎の切歯間(食品の咬断する場合)、上下顎臼歯咬合面間(食品を咀嚼する場合)などがある。このうち、咀嚼途上の食品をさらに咀嚼するか嚥下に向けて移送するかの判断への寄与が大きいと推察される舌一口蓋間を、本研究の対象部位とした。試験食品は、摂取に咀嚼による破碎を必要とせず、味覚刺激性や嗅覚刺激性が低いものを選択した。

寒天が「ぶるぶる」などと表現される「引き締まった感じの弾力」もしくは「ぷるぷる」などと表現される「柔らかい弾力」を示し、総じて力学的特性に大分類されるテクスチャーを呈する(早川, 2013)一方、キサンタンガム水溶液の主なテクスチャーは「さらさら」や「とろみがある」などと表現される「流動となめらかさ」であり、大分類では寒天ゲルと同様、力学的特性である(早川, 2013)。微結晶セルロース水懸濁液のテクスチャーは「ざらざら」などと表現される「粗さ」であり、大分類では幾何学的特性に属する。

3種の試験食品の主たるテクスチャーの相違は、テクスチャーを捉えるに適した感覚が相違する可能性を推察させるが、本研究で識別試験に付随して行った質問紙調査では、各試験食品の濃度の相違を識別する際、被験者が多様な時点や口腔内部位で、複数のテクスチャーを捉えていたことが判明した。識別閾値スコアの中央値が7で、被験者の半数が試料7もしくは8と試料9の濃度差を識別できた寒天ゲルの場合、ほぼ全員が硬さ(ゲル強度)の相違を識別に用いていたものの、半数以上の被験者はゲルの破壊の仕方にも注目しており、また識別の時点もゲル破壊以前と以後が折半した。とくに後者は、ゲルの弾性係数など、破壊強度である硬さ以外の性状に着目した被験者の存在を示している。じっさい寒天ゲルの硬さは必ずしも濃度依存性の変化を示さず、とりわけ試料7から試料9の範囲の変化が乏しかった。また同一濃度の試料間の測定値の変動は、隣接する濃度間の平均測定値の差に比べてはるかに大きく、ゲル硬さのみに基づいて試料9と試料7や8を識別することは困難である。この知見は、本研究の識別試験で試料の「硬さ」、「とろみ」、「ざらつき」など具体的なテクスチャーの強弱ではなく、成分濃度の大小を解答させるという方法を用いたことの妥当性を示唆している。

寒天ゲル、キサンタンガム水溶液、微結晶セルロース水懸濁液について行った識別試験の成績が相互に有意な相関を示す一方で、ざらつき検出試験や舌粘膜の触

圧覚試験、2点識別試験の成績とは有意な相関を示さないことも判明した。ガラギーンとローカストビーンガムの柔らかなゲルを用いて本研究と同様の識別試験を行った Aktar ら(2015)も、その成績と触圧覚閾値や2点識別閾が相関しないことを報じている。本研究や先行研究の知見は、食品テクスチャー像が多種の情報に基づいて形成されることを裏付けるとともに、テクスチャー感覚の鋭敏さは個別の感覚の鋭敏さを反映しないと仮説を支持すると考えられる。

本研究の結果は、また、口腔テクスチャー感覚の鋭敏さの評価を触圧覚試験や2点識別試験に基づいて行うことの困難を示している。口腔立体認知試験に樹脂板に浮き彫りにした活字の識別を用いた Bangcuyo と Simons (2017) は口腔立体認知試験に基づくテクスチャー感覚の評価の可能性を考察した。口腔立体認知は、テクスチャーの知覚と同様、運動を含む多様な情報に基づいて行われるが、口腔立体認知能力とテクスチャーを捉える能力の関連は今後の検討課題として残されている。

異なる試験食品を用いた識別試験の成績が相互に相関するならば、単一の試験食品を用いた識別試験のみで事足りる可能性も推察されるが、その検討にはより多様な試験食品を用いた識別試験の実施が必要である。本研究からは、用いた識別試験が口腔テクスチャー感覚の鋭敏さの評価に有用な方法であり、個人のテクスチャー感覚の鋭敏さを複数の識別試験成績の総合スコアにより表現することは妥当であろうと述べるにとどめる。ざらつき検出試験、舌粘膜の触圧覚試験、ならびに2点識別試験の成績を一定基準(本研究では第1四分位点)で高低2群に分ち、すべて高の評価である被験者群といずれかが低の被験者群を比較した際、前者の総合スコアが後者を有意に上回ったという本研究の知見は、テクスチャー感覚の総合的性格を示すとともに、総合スコアによるテクスチャー感覚の鋭敏さ評価の妥当性をも示唆する結果であると考えられた。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、懇篤なご指導を賜りました服部佳功教授、田中恭恵助教、加齢歯科学分野の諸先生方に深く感謝申し上げます。

6. 引用文献

Aktar T, Chen J, Ettelaie R, Holmes M. Tactile sensitivity and capability of soft - solid texture discrimination. *J Texture Stud*, 2015; **46(6)**: 429-39.

新井映子. 摂取食物のテクスチャー認知と咀嚼運動様式. 日咀嚼会誌, 2000; **19(1)**: 3-8.

Aviv JE, Hecht C, Weinberg H, Dalton JF, Urken ML. Surface sensibility of the floor of the mouth and tongue in healthy controls and in irradiated patients. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1992; **107(3)**: 418-23.

Bangcuyo RG, Simons CT. Lingual tactile sensitivity: effect of age group, sex, and fungiform papillae density. *Exp Brain Res*, 2017; **235(9)**: 2679-88.

Boliek CA, Rieger JM, Li SY, Mohamed Z, Kickham J, Amundsen K. Establishing a reliable protocol to measure tongue sensation. *J Oral Rehabil*, 2007; **34(6)**: 433-41.

Cichero JA, Lam P, Steele CM, Hanson B, Chen J, Dantas RO, Duivestijn J, Kayashita J, Lecko C, Murray J, Pillay M, Riquelme L, Stanschus S. Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia management: The IDDSI Framework. *Dysphagia*, 2017; **32(2)**: 293-314.

Devezeaux de Lavergne M, van de Velde F, Stieger M. Bolus matters: the influence of food oral breakdown on dynamic texture perception. *Food Funct*, 2017; **8(2)**: 464-80.

Donini LM, Cannella C, Savina C. Appetite and ageing, in Raats MM, de Groot CPGM, van Staveren WA eds., Food for the ageing population, Sawston: Woodhead Publishing, 2009, 43-72.

Hartcher-O'Brien J, Gallace A, Krings B, Koppen C, Spence C. When vision "extinguishes" touch in neurologically-normal people: extending the Colavita visual dominance effect. *Exp Brain Res*, 2008; **186(4)**: 643-658.

早川文代. 日本語テクスチャー用語の体系化と官能評価への応用. 日食科工学会誌, 2013; **60(7)**: 311-22.

Hutchings JB, Lillford PJ. The perception of food texture - the philosophy of the breakdown path. *J Texture Stud*, 1988; **19(2)**: 103-15.

Izutsu T, Iwani K. Food texture and taste: a review. *J Texture Stud*, 1985; **16(1)**: 1-28.

厚生省. 高齢者用食品の標示許可の取扱いについて, 平成 6 年 2 月 23 日, 衛新第 15 号.

Larsen DS, Tang J, Ferguson LR, James BJ. Increased textural complexity in food enhances satiation. *Appetite*, 2016; **105**: 189-94.

Lederman SJ, Klatzky RL. Hand movements: a window into haptic object recognition. *Cogn Psychol*, 1987; **19(3)**: 342-68.

Longo MR, Azañón E, Haggard P. More than skin deep: body representation beyond primary somatosensory cortex. *Neuropsychologia*, 2010; **48(3)**: 655-68.

Maeyama T, Plattig KH. Minimal two-point discrimination in human tongue and palate. *Am J Otolaryngol*, 1989; **10(5)**: 342-4.

Narayanan NS, Guarnieri DJ, DiLeone RJ. Metabolic hormones, dopamine circuits, and feeding. *Front Neuroendocrinol*, 2010; **31(1)**: 104-12.

National Dysphagia Diet Task Force. National Dysphagia Diet: Standardization for Optimal Care. Chicago, IL: American Dietetic Association, 2002.

North Coast Medical Inc. Touch-Test™ Sensory Evaluator (Instruction manual), 2011. (https://www.ncmedical.com/wp-content/uploads/2011/07/Touch-Test-Sensory-Evaluator_11_web.pdf, accessed on 27 August 2018)

Peyron M-A, Gierczynski I, Hartmann C, Loret C, Dardevet D, Martin N, Woda A. Role of physical bolus properties as sensory inputs in the trigger of swallowing. *PLoS One*, 2011; **6(6)**: e21167.

消費者庁. 特別用途食品の表示許可等について. 平成 28 年 3 月 31 日, 消食表第 221 号.

7. 図表



図1 触圧覚閾値試験に用いた刺激装置

触圧覚閾値試験に用いた静的触圧覚検査器具 (SW知覚テスター、Touch-Test™ Sensory Evaluator、North Coast Medical Inc.)を示す。本器具は、フィラメント標記番号 (handle mark) 1.65 から 6.65 の 20 種からなり、本研究では最も番号の小さい 5 種 (1.65、2.36、2.44、2.83、3.22) を用いた。



図 2 2点識別試験に用いた刺激装置

2点識別試験に用いた自製の刺激装置を示す。2本の刺激子間の距離は、0.2 mm 間隔で 0.8~4.0 mm の 17 段階で作成した。

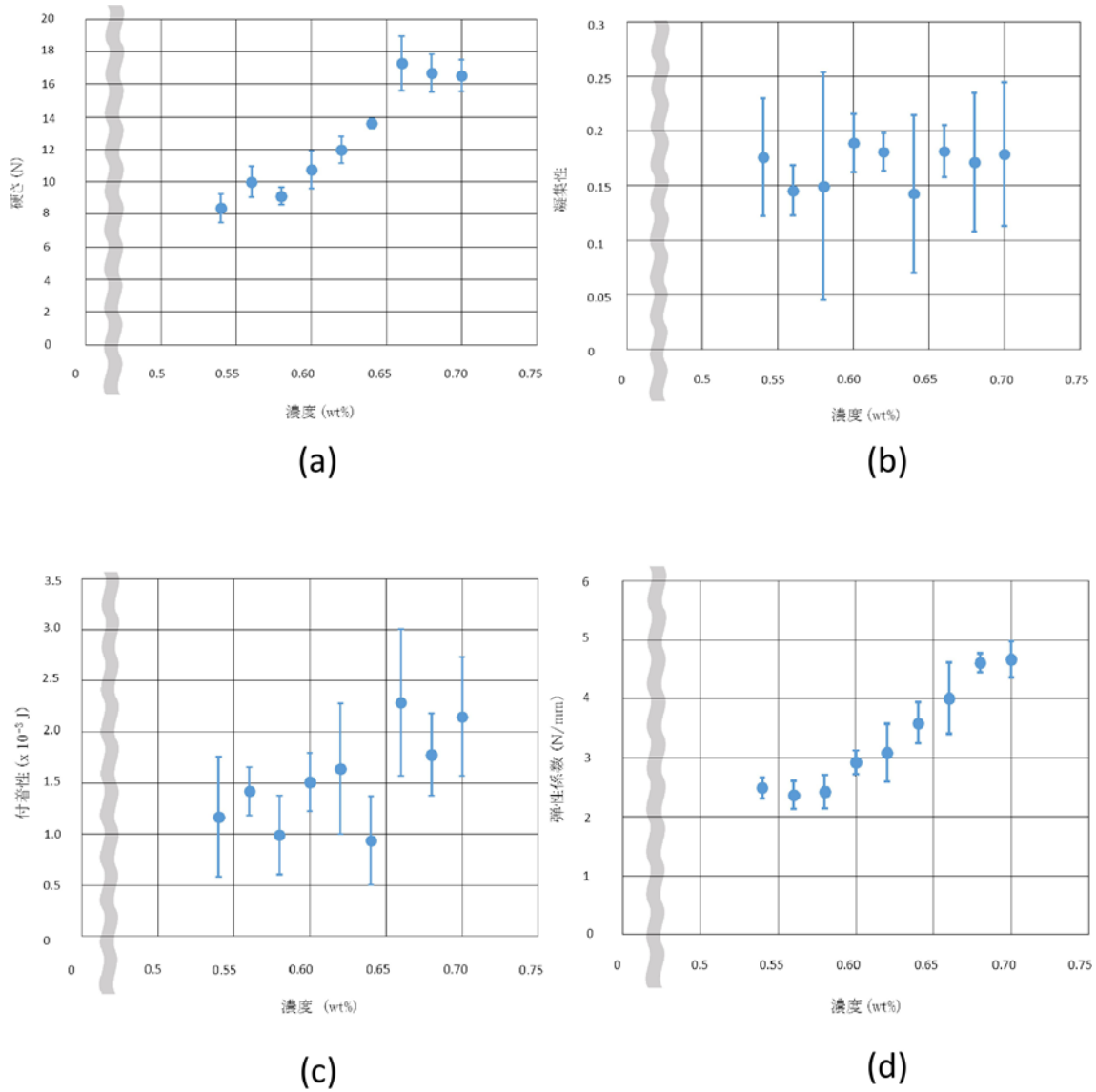


図3 寒天ゲルのレオロジー特性

寒天ゲルのテクスチャーパラメータである硬さ(a)、付着性(b)、凝集性(c)、および弾性係数(d)。10回の反復測定での平均値と標準偏差を示す。測定は、えん下困難者用食品の許可基準に係る測定方法に準じて行った。

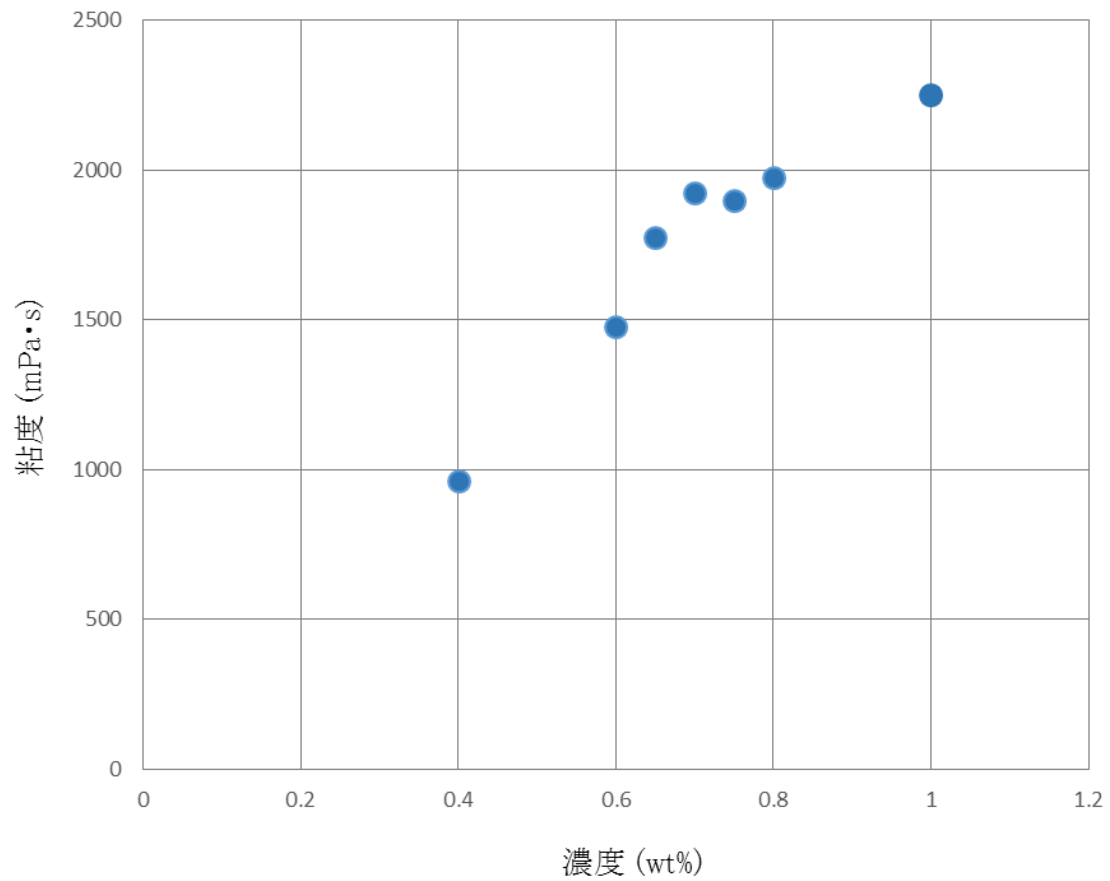
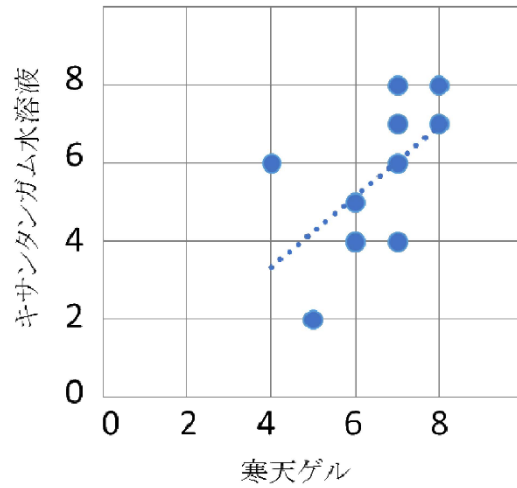
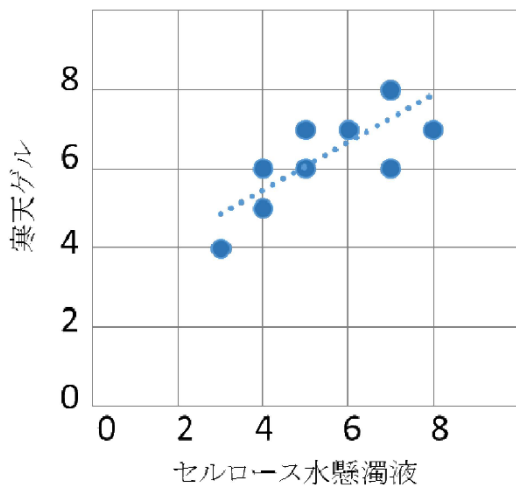


図 4 キサンタンガム水溶液の粘性

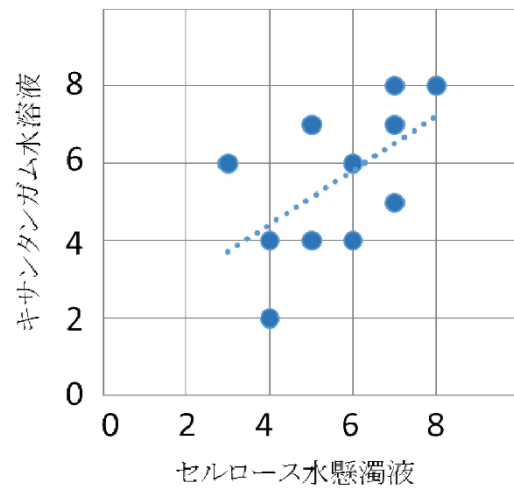
キサンタンガム水溶液の粘性を示す。測定は、旧そしゃく・えん下困難者用食品の許可基準に係る測定方法に準じ、1 回のみ行った。



(a)



(b)



(c)

図 5 3 種の試験食品の識別試験成績の関係

寒天ゲル、キサンタンガム水溶液、微結晶セルロース水懸濁液の3種の試験食品について行った識別試験の成績間の関係を、寒天ゲル—キサンタンガム水溶液(a)、微結晶セルロース水懸濁液—寒天ゲル(b)、微結晶セルロース水懸濁液—キサンタンガム水溶液(c)の散布図により示す。有意な相関(Spearman 順位相関係数、 $p < 0.05$)を示すものについては、回帰直線を点線で示した。

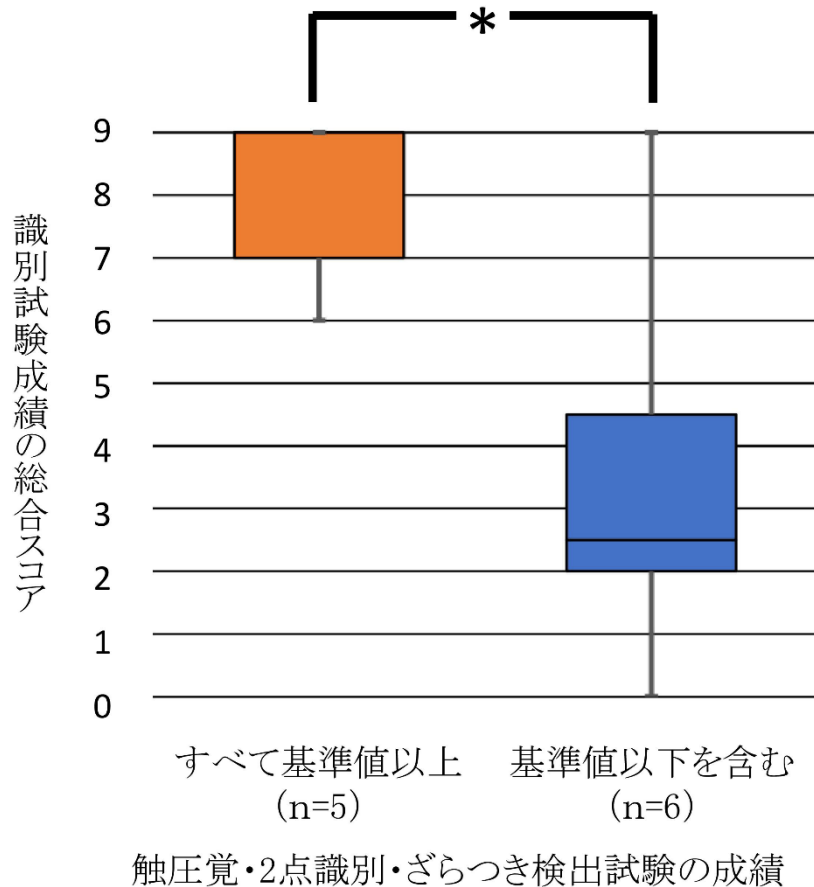


図 6 触圧覚・2点識別・ざらつき検出試験の成績と識別試験成績の関係

被験者を、触圧覚試験、2点識別試験、ざらつき感の検出試験のすべてが一定基準(第1四分位)以上の群(5名)とそれ以外の群(6名)に分け、寒天ゲル、キサンタンガム水溶液、微結晶セルロース水懸濁液の3種の試験食品で行った識別試験の成績の総合スコアを両群間で比較(Wilcoxon 順位和検定)した結果を示す。箱ひげ図は、ひげが総合スコアの最大値と最小値の範囲、箱が第1四分位、中央値、第3四分位を示す、両群間に有意差を認めた($p=0.0417$)。なお、総合スコアの算出方法は本文参照のこと。

表 1 識別試験において用いた質問票

判別した時点	舌の動き	試験食品の性質	感じた舌の部位	感じた口蓋の部位
試験食品の破壊が始まる前	口蓋に押し付ける	硬さ	舌尖	安静時に舌が接する部位
破壊が始まってから、舌が口蓋に触れるまで	口蓋に押し付けたのち、前後に動かす	付着性	安静時に口蓋に接する部位	口蓋中央部
舌と口蓋が触れて以降	口蓋に押し付けたのち、左右に動かす	変形(量、速さ)	舌中央部	口蓋側方部
	口蓋に押し付けたのち、上下に動かす	ざらつき	舌根部	
	その他	砕け方		