

Review (総説)

Exploring food texture perception through behavioral experiments in rats

ラット行動実験による食品テクスチャー認知の探索

Chihiro Nakatomi¹

中富 千尋

¹ Division of Physiology, Kyushu Dental University, Fukuoka.

¹ 九州歯科大学生理学分野, 福岡.

Received: 30 Jul 2025 Accepted: 4 Aug. 2025 Published online: 20 Aug. 2025

Corresponding: Chihiro Nakatomi (E-mail: r20nakatomi@fa.kyu-dent.ac.jp)

2-6-1, Manazuru, Kokurakita-ku, Kitakyushu, Fukuoka 803-8580, Japan

〒803-8580 福岡県北九州市小倉北区真鶴2-6-1

Food texture is a critical sensory attribute that strongly influences food preference, mastication, and swallowing.

The frequent use of texture-related onomatopoeic terms in Japanese, including “mochi-mochi,” “kari-kari,” and “shaki-shaki,” suggests that texture plays a pivotal role in food perception and eating behavior. During mastication, texture is detected via mechanoreceptors in the periodontal ligament, oral mucosa, and jaw-closing muscle spindles. These signals regulate masticatory force and frequency. During swallowing, texture information is used to determine whether the bolus is safe to swallow. Thus, oral texture perception is essential for efficient and safe feeding behavior. Despite its importance, the physiological mechanisms underlying texture perception remain poorly understood, as prior research has primarily relied on instrumental measurements and human sensory evaluation. One major obstacle has been the lack of appropriate animal models for investigating texture perception. To address this, we established behavioral evaluation systems in rats under conditions that exclude gustatory and olfactory cues. Using conditioned aversion and preference learning paradigms, we demonstrated that rats can discriminate various texture features, including viscosity, springiness, hardness, and particulate properties. This review

summarizes our behavioral models and highlights their potential application in combination with neuroscience techniques such as manipulation of neuronal activity, gene-targeted receptor manipulation, and circuit mapping. These approaches offer new opportunities to clarify the neural mechanisms and receptor systems involved in oral texture perception.

Keywords: Food texture, Oral tactile sensation, Conditioned aversion test, Conditioned preference test

日本語には、「もちもち」、「カリカリ」、「シャキシヤキ」などといった、食品テクスチャー（食感）を表す言葉が豊富に存在し、食感は食品のおいしさを左右する重要な要素である。また、咀嚼時には歯根膜、舌口蓋粘膜、閉口筋筋紡錘で食品テクスチャーを感知し、咀嚼力や咀嚼リズムを調節している。嚥下時には、食塊が嚥下可能なテクスチャーかどうかを判断することにより、安全な嚥下を可能にしている。このように、食品テクスチャー認知は、摂食嚥下過程においても重要な役割を担っている。しかしながら、これまでの食品テクスチャー研究は主に機器による物性測定やヒトの官能評価に依存しており、末梢でのテクスチャー刺激の受容や、認知に関わる神経回路といった生理学的メカニズムの解明は進んでいな

い。このように食感認知研究が進まない要因として、動物実験系を用いた食感認知の評価が困難であることが考えられる。

筆者らは、味認知の影響を排除した条件下で、ラットを用いた食品テクスチャー認知評価系の構築を試みてきた。これまでに、嫌悪および嗜好条件付け学習試験を応用することで、粘度、弾力性、硬さ、微粒子の認知が可能であることを実証しており、本総説ではこれらの実験系を紹介する。今後は、神経活動の可視化や操作と組み合わせることにより、口腔感覚情報の中枢処理メカニズムの全容解明が期待される。

キーワード：食品テクスチャー、口腔内触圧感覚、条件付け嫌悪学習、条件付け嗜好学習

1. 諸言

食感(食品テクスチャー感覚)は、食品の摂取過程において味や匂いと並ぶ重要な感覚であり、咀嚼・嚥下のしやすさや嗜好性を左右する因子である。近年の高齢化の進展に伴い、嚥下障害や咀嚼機能の低下を有する患者に対する食支援の重要性が高まり、それに応じてテクスチャー調整食品への関心と需要が高まっている。

これまでの食感研究は主に、ヒトによる官能評価と、テクスチャーアナライザなどの機器を用いた食品の物性測定が中心に行われてきた。官能評価では、訓練を受けたパネリストによって食感が評価されるが、個人差や主観の影響を受けやすい。一方、機器測定では、破断強度、ヤング率、粘度などの物理パラメータを数値化できる利点があるものの、それらがヒトや動物が実際に知覚する食感と直結するとは限らず、感覚の実態を捉えるのには限界がある。特に、これらの手法では、食感知覚に関与する感覚受容器や神経系の活動を直接解析することができず、生理学的基盤の理解には不十分である。

このような背景を踏まえ、筆者らは食品テクスチャー認知を評価できるラット行動モデルの構築に取り組んできた。本総説では、筆者らがこれまでにやってきた研究成果を紹介し、動物モデルを用いた食品テクスチャー認知研究の意義や、今後の応用・発展の可能性について概説する。

2. テクスチャーの分類とオノマトペ

食品テクスチャーは、食品の物理的・機械的特性に基づく感覚であり、消費者の嗜好性や摂食機能に強く影響を及ぼす^{1, 2)}。味覚、聴覚、視覚など他の感覚と比較して、テクスチャー感覚は極めて複雑である。これは第一に、味覚

は化学刺激により、視覚や聴覚がそれぞれ光や空気の振動といった単一の物理刺激によって主に規定されるのに対し、テクスチャー感覚は圧力、摩擦、粘度、弾力、粒状性など、複数の物理的要素の組み合わせによって生じる点にある。第二に、テクスチャー感覚は咀嚼過程と密接に関連しており、時間とともに変化する食塊物性に応じて感覚入力も変化する。このように、テクスチャーは静的な単一刺激では捉えきれない、時空間的に変化する複合感覚であるため、その評価や理解は容易ではなく、物性測定系と主観的な表現からの理解にとどまっている^{3, 4)}。

Szczesniak⁵⁾は1963年に食品テクスチャーを初めて体系的に分類した。この分類において、テクスチャーは食品の力学的特性(硬さ・凝集性・粘性・弾性・付着性)、幾何学的特性(粒子径や粒子の方向性)、その他の物理特性(水分・脂肪含量など)に分けて整理されており、現在でもテクスチャー研究の基本的枠組みとして広く用いられている(表1)。

日本語には、「もちもち」「カリカリ」「シャキシャキ」など、食品のテクスチャーを直感的に表現するオノマトペが数多く存在し、それらは日常的な食体験や調理・摂食の文脈において自然発生的に発展してきたと考えられている⁶⁻⁸⁾。これらの語は、物理的な食品の性状(弾力、硬さ、歯切れ、粘性など)を、聴覚的印象と身体感覚に基づいて表現するものであり、日本人の食感への高い感受性に関心の深さを反映している。また、日本語のテクスチャー表現は、他言語と比較しても語彙数が非常に多いことが報告されており、実際に日本語においては445語ものテクスチャー用語が収集されている⁹⁾。これは、例えば英語の224語、中国語の144語と比べて顕著に多い。

Table 1: Classification of texture attributes and examples of commonly used texture terms, as originally reported by Szczesniak^{1, 5)}

	Primary parameters	Secondary parameters
Mechanical characteristics	Hardness	
	Cohesiveness	Brittleness
		Chewiness
		Gumminess
	Viscosity	
Geometrical characteristics	Springiness	
	Adhesiveness	
	Particle size and shape	
	Particle shape and orientation	
Other characteristics	Moisture content	
	Fat content	

日本語のテクスチャー語はオノマトペ(擬音語・擬態語)を中心とした語彙で構成されており,「カリカリ」「トロトロ」「モチモチ」などの物性に関する語が複数のカテゴリーに整理されている。

近年では,これらのオノマトペと機器測定値の対応関係を解析する研究も進んでおり,食感の定量化や視覚的表現の試みも行われている。しかし,こうした食感がどのような末梢受容器によって感知され,どのような中枢機構により識別・認知されているのかといった神経生理学的理解は未だ不十分である。

3. 食感認知に関わる口腔内機械受容器と触圧感覚の上行性伝導路

食品の「歯ざわり」「なめらかさ」などのテクスチャーは,口腔内に存在する多様な機械受容器で受容され,三叉神経系を介して脳に伝えられる。感覚受容部位としては,舌の糸状乳頭・茸状乳頭,口蓋,頬粘膜,歯根膜,閉口筋の筋紡錘などが挙げられる。これらの組織には,Meissner小体,クラウゼ終末,Merkel触盤,Ruffini小体などの機械受容器が分布しており,テクスチャー刺激の受容を担っている¹⁰⁻¹⁵⁾。近年では,機械刺激の主要なセンサーであるPiezo2チャネルが,ラットおよびヒトの舌乳頭や口腔粘膜に発現していることが報告され,食品テクスチャー受容への関与が示唆されている¹⁵⁾(図1)。

これら受容器からの一次求心性情報は,三叉神経節を経て,主に橋に位置する三叉神経主知覚核に伝えられ,二次ニューロンで中継された後,視床(主に後内側腹側核)に投射される。視床からは,一次体性感覚野や前部島皮質に投射が及び,物理的な特徴の処理が行われると考えられる¹⁶⁻¹⁹⁾。さらに,霊長類での研究では,これら

の情報が眼窩前頭皮質や扁桃体に伝えられ,味覚や嗅覚との統合および,食感の快・不快に関する評価が形成される過程が示唆されている^{20, 21)}。

また,咀嚼筋の筋紡錘からの固有感覚も食感認知に関与する可能性がある。Yoshida^{22, 23)}らは,三叉神経中脳路核からの信号が中継核である中脳三叉神経上核を経由し,視床後内側腹側核の腹尾内側部へ投射される経路を報告した。さらにSato²⁴⁾らは,この三叉神経上核から内側髄板内に位置する視床楕円傍中心核へも投射が存在することを示し,複数の視床領域が咀嚼筋からの固有感覚情報を受け取っていることを明らかにした。これらの経路は,食物の硬さや弾力といった力学的特性の認知にも関与している可能性がある(図1)。

こうした神経回路の詳細は霊長類では直接的に操作するのが困難なため,分子・細胞レベルでの因果関係を明らかにするには,ラットやマウスなどの齧歯類モデルが有用であると考えられる。

4. 齧歯類でのテクスチャー認知試験のこれまで

齧歯類を用いた食品テクスチャーの行動評価は,1990年代から報告されている。Ramirez²⁵⁾はラットに対し,多糖類増粘剤を条件刺激,リチウムクロライド(LiCl)による腹痛を無条件刺激とする嫌悪学習試験を行い,粘度を手掛かりとした識別能力を検証した。その結果,化学構造の異なる複数の増粘剤に対して嫌悪反応が一般化されたことから,ラットが粘性刺激を口腔内で認知している可能性が示唆された。一方,微結晶セルロースを用いた別の研究では,ラットが極微量のセルロース懸濁液を識別したことから,懸濁液中の微量な水溶性成分を味覚・嗅覚刺激として認知している可能性も示唆された²⁶⁾。このようにRamirezによる一連の研究は,ラットが粘性を感知できる可能性を示す一方で,化学的要因が行動の評価に影響を与える可能性を指摘している。この点は,齧歯類モデルで機械的刺激の識別を純粋に検証するうえで重要な課題となる。

Sako²⁷⁾らは,ラットが異なる硬さのペレットを区別できることを示し,硬さが食物選択や摂食行動に与える影響を検証した。特に,硬いペレットまたは粉末餌で育てた群間での弁別能力や,咀嚼筋の筋電図解析により,物理的テクスチャーに対する学習および識別が可能であることが確認された。さらに,硬さが条件付け嫌悪学習による条件刺激として機能することが示されている。

これらの報告は,齧歯類においても粘性や硬さといったテクスチャー特性を区別する能力が存在することを示

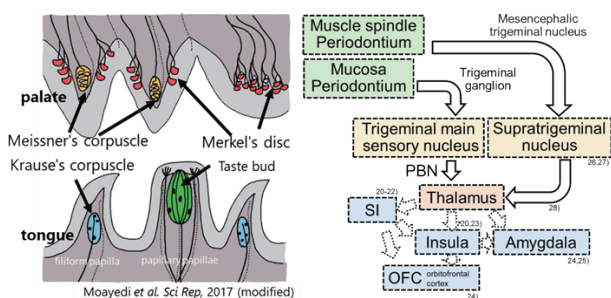


Figure 1: Peripheral receptors and central pathways involved in oral texture perception. Left: Distribution of mechanoreceptors in the oral cavity. Right: Schematic of sensory pathways from the oral periphery to central brain regions.

しているが、その識別の定量化には化学的要因が混在する可能性があり、純粋な物理的刺激としての評価には注意が必要である。以降は、筆者らがこれまでに検討を進めた齧歯類におけるテクスチャー（粘性、弾力性・硬さ、粒子性）認知評価法について紹介する。

5. 粘度認知：CMCを用いた評価系

筆者らは近年、食品の粘性テクスチャーを齧歯類で評価する新たな実験系を構築した²⁸⁾。テクスチャー認知の評価には、多糖類を主成分とする増粘液を用いるが、前述したように、齧歯類はこれら多糖類を味覚刺激として認知できる可能性が示唆されており、味覚による影響を排除した検討が求められる。

この課題を克服するため、筆者らは化学成分が同一ながら、重合度の違いによって粘度が異なる2種のカルボキシメチルセルロース（高粘度型：CMC-H、低粘度型：CMC-L）を用いた。両者は同濃度において味神経応答が同等であることから、味の差異が排除され、粘度の違いのみを反映した刺激設計が可能となった。

二瓶選択テストの結果、ラットは1%以上のCMC-H (63 mPa·s) に対して忌避行動を示したが、同濃度のCMC-Lに対してはそのような行動を示さなかった。このことは、ラットが高粘度を生得的に嫌悪する可能性を示唆している。さらに、低粘度に対する識別を検証するため、腹部不快感を誘発する塩化リチウムを無条件刺激とした条件付け嫌悪学習試験を実施した(図2)。味覚への学習を抑制するため、あらかじめCMCの味に対する慣れ(潜在抑制)を誘導したうえで、0.1%CMC-H (3.6 mPa·s) に対する嫌悪条件付けが成立することを確認した。この結果は、味刺激に依存せず、ラットが極めて低

粘度の刺激を識別できることを示している。なお、3.6 mPa·sはウスターソースと同程度の低粘度であり、数mPa·sレベルの低粘度刺激に対しても、ラットが明確に認知可能であることが示された。

さらに、ニュートン流体であるCMCにより条件付けられた嫌悪反応が、非ニュートン流体であるキサンタンガムにも汎化されたことから、流体特性の違いを超えて、粘度に基づいた識別および一般化が生じることが示された。以上の結果から、本評価系は味の影響を最小限に抑えつつ、粘度認知を行動学的に評価できる有用なモデルであることが示され、今後の粘度刺激の受容機構や中枢処理メカニズムの解明に貢献することが期待される。

6. 硬さ・弾力性認知：寒天ゲルを用いた評価系

食品の硬さや弾力性は、咀嚼や嚥下のしやすさに直結する重要なテクスチャー特性であり、これらの物理刺激に対する認知機構の解明は、嚥下補助食品など介護食品の設計や摂食嚥下機能の評価や対応においても意義が大きい。筆者らは、寒天ゲルの濃度を段階的に変化させることで、弾力性および硬さに関わる物性パラメータを操作し、齧歯類の弁別行動を指標とする認知評価系を構築した。

本評価系では、キューブ状の寒天ゲルを用い、粘性認知試験棟同様に、二瓶選択試験および条件付け嫌悪学習を通じて、ラットが機械的特性に基づいて寒天キューブを識別するか検証した。実際に、寒天キューブに対しては嫌悪学習が成立したが、同じ刺激を100メッシュで裏ごししてペースト状にしたものを条件刺激として提示すると、嫌悪反応が消失した。この結果は、ラットがゲルの弾力性や硬さといった物理特性に基づいて認知していることを示唆している。

さらに、寒天と類似した物性をもつゼラチンゲルや、形状・色調を模した樹脂ブロックなどを対照刺激として用いることで、味覚・嗅覚・視覚といった感覚の影響を排除した設計とし、ゲルの純粋な物理刺激(弾性率や破断特性など)に基づくラットの識別行動を行動学的に評価した。これらの一連の実験結果から、ラットは寒天ゲルの濃度差によって生じる物性の違いを明確に識別することが明らかとなった。

7. 粒子性の認知：セルロース微粒子による評価系

食品に含まれる粒子によって生じる「ざらつき」や「粉っぽさ」といった感覚は、テクスチャーの中でも幾何学的特性に分類され、ヒトの官能評価においても食嗜

Viscosity discrimination test: conditioned aversion test

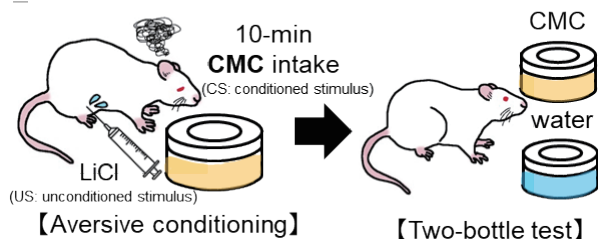


Figure 2: In the aversive conditioning phase, rats were allowed to drink carboxymethyl cellulose (CMC) for 10 minutes, followed by an intraperitoneal injection of LiCl. In the test phase (two-bottle test), rats were given a choice between CMC and water to evaluate the establishment of aversive learning.

好を左右する重要な要素である。ヒトでは、粒子径や濃度、硬さ、形状、さらには分散媒の粘度などがその知覚に影響を与えることが知られているが、齧歯類における粒子認知については報告がない。

我々は、セルロース由来の水不溶性微粒子を用いて、ラットが口腔内で粒子を識別できるかを検証した²⁹⁾。粒子径は20–170 μm の範囲で調整し、水に懸濁させて二瓶選択試験を実施したが、いずれの粒子径・濃度においても、生得的な嗜好性や忌避行動は観察されなかった。

そこで、粒子性認知を確認するために、糖(グルコースとフルクトース)による条件付け嗜好学習パラダイムを応用した。グルコースとフルクトースを交互に呈示すると、ラットはグルコースに対して嗜好性を示すことが知られており、さらにグルコースと匂い刺激を対にして呈示すると、匂い刺激自体にも嗜好学習が成立することが報告されている。これらの知見を基に、本研究では糖と粒子をペアで呈示し、その後、糖を除いた粒子懸濁液同士を選択させることで、粒子への嗜好学習が成立するかを検証した(図3)。

その結果、ラットは170 μm と20 μm の粒子を識別で

きることを、さらに20 μm 粒子とその濾過液との識別も可能であることが示された。加えて、濾過液中に含まれる約1.5 μm の微粒子についても、水との識別が可能であった。

実験に用いたセルロース微粒子のような多糖類については、ラットが味覚により認知する可能性があることが報告されており²⁹⁾、本研究においても、機械刺激ではなく、化学的刺激が行動に影響している可能性を考慮する必要がある。これに対し、本研究で使用したセルロース微粒子は水不溶性であり、濾過液中に含まれるセルロース量も極めて微量であることが確認されている。さらに、顕微鏡観察により、濾過液中には約1.5 μm の微粒子が存在することも明らかとなった。これらの点を踏まえると、観察されたラットの行動は、化学的性質ではなく、粒子の機械的特性に基づく認知による可能性が高いと考えられる。

8. 結論と将来展望

本総説では、食品テクスチャー認知の基礎的理解を深めることを目的に、筆者らが構築してきたラット行動モデルに基づく研究成果を紹介した。粘度、弾力性・硬さ、粒子性といった多様な物理刺激に対し、化学感覚の影響を排除した設計を採用することで、齧歯類においてもこれらのテクスチャー特性を識別できることが明らかとなった。

従来の食感研究は、ヒトの官能評価や機器による物性測定に依存してきたが、それだけではテクスチャー感覚の実態や、その神経生理学的基盤を解明するには限界があった。筆者らの行動モデルは、その課題を補完するアプローチとして、テクスチャー知覚のメカニズム解明に寄与しうるものである。

今後は、これらの行動評価系に、神経活動の操作や特定受容体遺伝子の改変といった神経科学的手法を組み合わせることで、個々の受容器や神経核がテクスチャー認知に果たす役割を分子・細胞レベルで明らかにすることが期待される。たとえば、DREADDs (Designer Receptors Exclusively Activated by Designer Drugs) を用いた化学遺伝学的手法や、神経回路の光遺伝学的制御 (optogenetics)、遺伝子改変動物を用いたPiezo2などの機械刺激受容チャネルの機能解析は、今後の重要な研究の方向性となるだろう。

また、テクスチャー認知の神経基盤の解明は、食品科学のみならず、摂食障害や嚥下機能低下、感覚過敏を伴う発達障害など、臨床的課題の理解と対応にもつながる。

Discrimination test for particles:

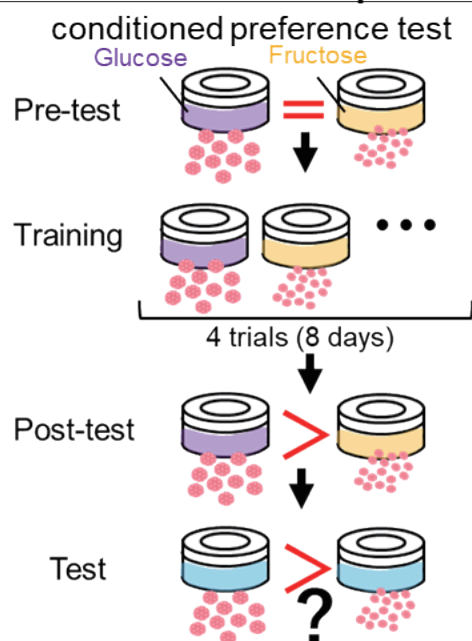


Figure 3: Rats were trained to associate glucose with a specific particle suspension. In the test phase without sugar, a preference for the previously glucose-paired particles indicates recognition of particulate texture.

ヒトでは主観的評価に頼らざるを得ない口腔内の物理的感覚に対しても、齧歯類モデルを用いることで、客観的な検証が可能となる。こうした動物モデルに基づくアプローチは、食品テクスチャーの科学的理解を深めるのみならず、医工学的応用や食品設計にも寄与すると考えられる。

今後も、感覚生理学、行動科学、食品科学が連携する学際的研究の推進により、食品テクスチャーの認知機構とその神経メカニズムの全容解明が進展していくことが期待される。

謝 辞

日本学術振興会科学研究費助成事業 若手研究 22K17006, 24K19844に感謝申し上げます。本論文に関して利益相反はありません。

引用文献

- 1) Szczesniak AS. Texture is a sensory property. *Food Qual Prefer.* 2002 Apr;13(4):215–225.
[http://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](http://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- 2) Pedersen AM, Bardow A, Jensen SB, Nauntofte B. Saliva and gastrointestinal functions of taste, mastication, swallowing and digestion. *Oral Dis.* 2002 Mar;8(3):117–129.
<https://doi.org/10.1034/j.1601-0825.2002.02851.x>
- 3) Nishinari K, Fang Y. Perception and measurement of food texture: solid foods. *J Texture Stud.* 2018 Apr;49(2):160–201. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12327>.
- 4) Engelen L, de Wijk RA, van der Bilt A, Prinz JF, Janssen AM, Bosman F. Relating particles and texture perception. *Physiol Behav.* 2005 Jul;86(1-2):111–117.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.022>
- 5) Szczesniak AS. Classification of textural characteristics. *J Food Sci.* 1963 Jul;28(4):385–389.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>
- 6) Yoshikawa S, Nishimaru S, Tashiro T, Yoshida M. Collection and classification of words for description of food texture. I: Collection of words. *J Texture Stud.* 1970 Nov;1(4):437–442.
<http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1970.tb00742.x>
- 7) Yoshikawa S, Nishimaru S, Tashiro T, Yoshida M. Collection and classification of words for description of food texture. II: Texture profiles. *J Texture Stud.* 1970 Nov;1(4):443–451.
<http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1970.tb00743.x>
- 8) Yoshikawa S, Nishimaru S, Tashiro T, Yoshida M. Collection and classification of words for description of food texture. III: Classification by multivariate analysis. *J Texture Stud.* 1970 Nov;1(4):452–463.
<http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1970.tb00744.x>
- 9) Nishinari K, Hayakawa F, Xia CF, Huang L, Meullenet JF, Sieffermann JF. Comparative study of texture terms: English, French, Japanese and Chinese. *J Texture Stud.* 2008;39(5):530–568.
<http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2008.00157.x>
- 10) Halata Z, Baumann KI. Sensory nerve endings in the hard palate and papilla incisiva of the rhesus monkey. *Anat Embryol (Berl).* 1999 May;199(5):427–437.
<http://doi.org/10.1007/s004290050241>
- 11) Kingsmill VJ, Berkovitz BK, Barrett AW. An immunohistochemical analysis of human Merkel cell density in gingival epithelium from dentate and edentulous subjects. *Arch Oral Biol.* 2005 Oct;50(10):883–887.
<http://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2005.02.004>
- 12) Nunzi MG, Pisarek A, Mugnaini E. Merkel cells, corpuscular nerve endings and free nerve endings in the mouse palatine mucosa express three subtypes of vesicular glutamate transporters. *J Neurocytol.* 2004 May;33(3):359–376.
<http://doi.org/10.1023/B:NEUR.0000044196.45602.92>
- 13) Righi A, Betts CM, Marchetti C, Marucci G, Montebugnoli L, Prati C, Eusebi LH, Muzzi L, Ragazzini T, Foschini MP. Merkel cells in the oral mucosa. *Int J Surg Pathol.* 2006 Jul;14(3):206–211.
<http://doi.org/10.1177/1066896906290053>
- 14) Spassova I. Ultrastructure of the simple encapsulated nerve endings (simple end-bulbs of Krause) in the tongue of the cat. *J Anat.* 1974 Sep;118(Pt 1):1–9.
- 15) Moayed Y, Michlig S, Park M, Koch A, Lumpkin EA. Somatosensory innervation of healthy human oral tissues. *J Comp Neurol.* 2021 Aug 1;529(11):3046–061.
<http://doi.org/10.1002/cne.25148>
- 16) Yamamoto T, Matsuo R, Kiyomitsu Y, Kitamura R. Sensory inputs from the oral region to the cerebral cortex in behaving rats: an analysis of unit responses in cortical somatosensory and taste areas during ingestive behavior. *J Neurophysiol.* 1988 Oct;60(4):1303–1321.
<http://doi.org/10.1152/jn.1988.60.4.1303>
- 17) Kaas JH, Qi HX, Iyengar S. Cortical network for representing the teeth and tongue in primates. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2006 Feb;288(2):182–190.
<http://doi.org/10.1002/ar.a.20267>
- 18) Cerkevich CM, Qi HX, Kaas JH. Thalamic input to representations of the teeth, tongue, and face in somatosensory area 3b of macaque monkeys. *J Comp Neurol.* 2013 Dec 1;521(17):3954–3971.
<http://doi.org/10.1002/cne.23386>
- 19) Verhagen JV, Kadohisa M, Rolls ET. Primate insular/opercular taste cortex: neuronal representations of the viscosity, fat texture, grittiness, temperature, and

- taste of foods. *J Neurophysiol.* 2004 Sep;92(3):1685–1699. <http://doi.org/10.1152/jn.00321.2004>
- 20) Rolls ET. The texture and taste of food in the brain. *J Texture Stud.* 2020 Feb;51(1):23–44. <http://doi.org/10.1111/jtxs.12488>
- 21) Kadohisa M, Verhagen JV, Rolls ET. The primate amygdala: Neuronal representations of the viscosity, fat texture, temperature, grittiness and taste of foods. *Neuroscience.* 2005;132(1):33–48. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2004.12.005>
- 22) Fujio T, Sato F, Tachibana Y, Kato T, Tomita A, Higashiyama K, Ono T, Maeda Y, Yoshida A. Revisiting the supratrigeminal nucleus in the rat. *Neuroscience.* 2016 Jun 2;324:307–20. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.03.026>
- 23) Yoshida A, Fujio T, Sato F, Ali MSS, Haque T, Ohara H, Moritani M, Kato T, Dostrovsky JO, Tachibana Y. Orofacial proprioceptive thalamus of the rat. *Brain Struct Funct.* 2017 Aug;222(6):2655–2669. <http://doi.org/10.1007/s00429-016-1363-1>
- 24) Sato F, Kado S, Tsutsumi Y, Tachibana Y, Ikenoue E, Furuta T, Uchino K, Bae YC, Uzawa N, Yoshida A. Ascending projection of jaw-closing muscle-proprioception to the intralaminar thalamic nuclei in rats. *Brain Res.* 2020 Jul 15;1739:146830. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2020.146830>
- 25) Ramirez I. Chemoreception for cellulose. *Chem Senses.* 1991;16:691–698.
- 26) Ramirez I. Malaise can condition avoidance of high-viscosity fluids. *Physiol Behav.* 1992;52:929–934.
- 27) Sako N, Okamoto K, Mori T, Yamamoto T. The hardness of food plays an important role in food selection behavior in rats. *Behav Brain Res.* 2002;133(2):377–382. [http://doi.org/10.1016/S0166-4328\(02\)00031-1](http://doi.org/10.1016/S0166-4328(02)00031-1)
- 28) Nakatomi C, Sako N, Miyamura Y, Horie S, Shikayama T, Morii A, Naniwa M, Hsu CC, Ono K. Novel approaches to the study of viscosity discrimination in rodents. *Sci Rep.* 2022 Sep 30;12(1):16448. <http://doi.org/10.1038/s41598-022-20441-y>
- 29) Nakatomi C, Wakao T, Yogi T, Hsu CC, Inui T, Ono K. Discrimination of cellulose microparticles in rats. *Physiol Behav.* 2024 Apr 1;277:114486. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2024.114486>



筆頭著者



最終学歴：九州歯科大学大学院(2019年卒)

博士号：博士(歯学)2019年

専門分野：口腔生理学の研究