

# 歯根膜由来の感覚情報と咀嚼の関係性解明にむけた予備調査

岩濱 汐里<sup>†1</sup> 櫻井 翔<sup>†1</sup> 広田 光一<sup>†1</sup> 野嶋 琢也<sup>†1</sup>

**概要：**歯ごたえや食感といった感覚情報は、豊かな食事体験に欠かせない。この感覚は主に顎を動かす咀嚼筋と、歯の根本にある歯根膜からの触覚情報に基づき生成されている。両者のうち咀嚼筋からの情報についての調査や、またそれを利用したインターフェースは数多く提案されてきたが、歯根膜に関する知見は決して多くはない。歯根膜からの触覚情報は、それが遮断されることで咀嚼機能の低下が指摘されるなど、咀嚼へ大きく影響する情報源である。本研究では、咀嚼行動と歯根膜からの触覚情報との関係性の詳細、さらには歯根膜からの触覚情報の歯ごたえへの関わりについて解明することを目指し、歯根膜を直接外部より刺激することで感覚を生起させ、生起された感覚の内容また咀嚼への影響を調査することを狙う。本報告ではそのための予備調査を実施する。具体的には歯根膜に対する電気刺激装置を試作し、それによって引き起こされる感覚について検証を行った。

## 1. はじめに

食物を食べるときに得られる食感、そのなかでも歯ごたえは、特に触覚情報に関連する情報を表現する用語として使われる。食べものの歯ごたえは、それを美味しく味わい、日常の食事体験を豊かにする上で必要な感覚である。また、食事中の異物、とくに硬いものを検知し、歯や口腔内を傷つけぬよう咀嚼動作を停止させる場合にも重要な情報である。本研究では歯ごたえを、咀嚼時の食物硬さ知覚と定義し、この知覚情報がどのような経路で感知され、またどのように利用されているかについて探ることを目的としている。咀嚼時の食物の硬さを感知する主な口腔組織には、歯根膜と咀嚼筋がある（図 1, 2）。歯根膜とは歯と上/下顎骨を繋ぐ組織で、咀嚼筋は咬筋・側頭筋・内側翼突筋・外側翼突筋からなる顎の運動を司る筋肉である。これらの組織を通じて食べ物の硬さを知覚するまでの流れは、次の通りである。まず咀嚼筋が下顎骨を動かし、口腔内の食物粉砕を試みる。食物は上顎骨・下顎骨にある歯により切断され、すり潰される。このときの咀嚼筋の発揮力、歯を支える歯根膜変形の程度、下顎骨の移動量の各情報を統合し、口腔内の食物の硬さすなわち歯ごたえに関する感覚を得ると考えられる。食物硬さ知覚は、咀嚼筋からの情報と歯根膜からの情報の2つの情報源により認識されると考えられるものの、とくにインターフェース分野では咀嚼筋からの情報が大きく注目されてきた [1][2]。一方、歯根膜からの情報に

ついては検証が十分とは言い難い。

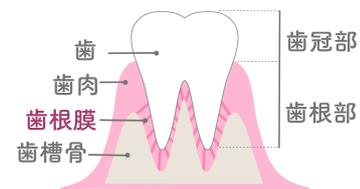


図 1: 歯根膜

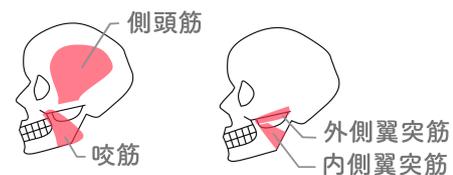


図 2: 咀嚼筋 [3]

歯根膜の中にはルフィニ小体・パチニ小体・マイスナー小体・コイル状神経終末・自由神経終末等の異なる感覚受容器の存在が確認されている [4][6][7]。食物を噛むと、歯に圧力がかかり、それにより歯根膜が変形する。咀嚼に際して歯は単純な上下運動のみをするのではなく、前後左右にも動くことで、食物を切断したりすりつぶしたりしている。このような多方向への歯の運動に伴い、歯を支える歯根膜も変形し、歯根膜中の感覚受容器（以下、歯根膜受容器）が機械的に刺激され、触覚情報として知覚される。またこの歯根膜は、歯の喪失に伴って失われることが知られてい

<sup>†1</sup> 現在、電気通信大学

る。歯根膜を喪失した場合、歯根膜受容器による感覚の入力情報が失われるため、食べ物の硬さの認識および咀嚼筋による硬さに応じた適切な咬合力での咀嚼が困難となることが明らかとなっている [5]。このように歯根膜受容器からの感覚と咀嚼運動との間に一定の関係性があることは判明しているものの、咀嚼時のどのような物理情報が、歯根膜内部の、どの受容器を刺激するのか、またそれが具体的に咀嚼運動に対してどのように影響するのか、細かい部分は明らかになっていない。

本研究では、歯根膜受容器からの感覚情報と咀嚼行動の関係性を明らかにする目的で、その端緒として、電気刺激によって歯根膜に存在する受容器に由来する感覚を自在に生成する手法の実現を目指す。歯根膜受容器に由来する感覚を自在に生成できるようになることで、咀嚼感と咀嚼行動との関係性の検証が容易になると期待される。

## 2. 関連研究

### 2.1 食感を再現する研究

本研究で着目する食物硬さ知覚すなわち歯ごたえは、食感を構成する要素の一つである。これまで、この食感を再現することを目的とした研究が数多く行われてきた。新島ら [2] は、咀嚼筋を電気刺激することによって、バーチャルな食感生成手法を提案している。著者らにより行われた実験結果から、刺激強度で食物の硬さを、刺激時間で食物の弾力を再現可能であることが示唆されている。また岩田ら [9] は圧力センサへの咬合入力に基づいた波形出力を行い、歯ごたえをはじめとした食物の力学的特性を提示する装置を開発している。追加で行われた評価実験では、咀嚼音や味覚の提示により、複合的かつ臨場感の高い食感の提示にも成功している。笹川ら [8] はジャミング転移を利用した食感提示手法を提案しており、粉粒体の入った袋を咀嚼させて食感を提示する実験を行った。実験結果より、ジャミング転移により袋内部の気圧を変化させる事で、異なる食感の提示が可能であることが分かった。このように、とくに食感の再現を目指した研究の場合、硬さの変わる機材を実際に咀嚼させる、咀嚼筋を直接刺激する、複合感覚による錯覚を利用する、といった方法が提案されてきた。歯根膜を通じた硬さ知覚について検討している研究はみられない。

### 2.2 歯根膜感覚と咀嚼機能に関する研究

一方で歯科分野では、歯根膜の構造やその感覚情報の役割に関して古くから研究が実施されてきた。岡ら [10] は歯周組織への麻酔を行ったピーナッツ咀嚼実験において、被験者にピーナッツを咀嚼させ、咀嚼後のピーナッツの残留率を測定した。その結果、歯根膜を含む麻酔を行った場合に著しい咀嚼機能の低下が確認された。また加野らは、歯根膜麻酔下での異なる硬度のガムを用いた咀嚼機能の比較研究 [11] を実施している。この時、硬いガムでは歯根膜感覚

遮断による有意な変化が見られなかった一方で、比較的柔らかいガムでは歯根膜麻酔による影響が確認された。この事から、硬い食物では咀嚼筋による感覚フィードバックが優位に咀嚼動作に貢献し、柔らかい食物では歯根膜感覚が咀嚼動作に重要な役割を果たすのではないかと考えられている。このように歯根膜からの情報と咀嚼の関係についての調査自体は行われているが、手段として麻酔による感覚遮断を用いているため、歯根膜からの感覚情報の量的な影響、たとえば少し減衰する、少し増強されることによる咀嚼への影響といった観点での検証は行われていない。

以上を踏まえて本研究では、非侵襲で歯根膜受容器を刺激するための手法構築し、歯根膜受容器に由来する触力覚情報が咀嚼動生において果たす役割について検証を行う。本報告では複数の感覚受容器への選択的な刺激が行える電気刺激手法 [12] を活用し、歯根膜に存在する複数受容器の選択的な刺激の実現にむけた試行を実施する。

## 3. 予備調査

歯根膜受容器に由来する触力覚情報の生成にむけた、電気刺激手法の開発を目指す。予備調査として、歯肉部への電気刺激により生成される感覚について、刺激方法及び刺激場所による影響を調査した。

### 3.1 実験方法

検証に用いたのは、図 3(a) に示す刺激装置 [13] と導線電極 3 本および導電性シリコンゲルである。刺激は、歯根膜受容器が多く分布するとされる下顎歯列の犬歯間 (図 4) に対して行った。導線電極をセロハンで 5mm 間隔で固定し、3.5cm × 5.5cm の導電性ゲルで挟んだ。電気刺激には一点陽極刺激・陰極刺激を用い、電流値とパルス幅をそれぞれ 5.36mA と 50.0us ・ 4.63mA と 50.0us に固定した。刺激時には歯肉へゲル部を当て、セロハン下辺が常に歯と歯肉の間に来るように刺激場所を歯肉に沿って移動させた。そして、図 3(b) に示すように歯肉への電気刺激を行い、生起する感覚と場所を調査した。感覚生起箇所の探索では 1 回おきに 7 時間をおき、同一条件の下で計 7 回行った。実験参加者は 1 名である。



(a) デバイスの外観



(b) 刺激の様子

図 3: 刺激デバイス

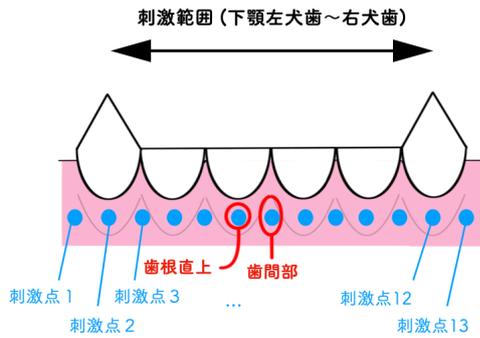


図 4: 予備検証での刺激範囲

### 3.2 結果

歯肉部への電気刺激により、痛覚と、触覚様感覚（明確に痛覚とは異なる、触覚に関連すると推測される感覚）の 2 種類の感覚が確認された。各部位での感覚の生起頻度を図 5 に示す。

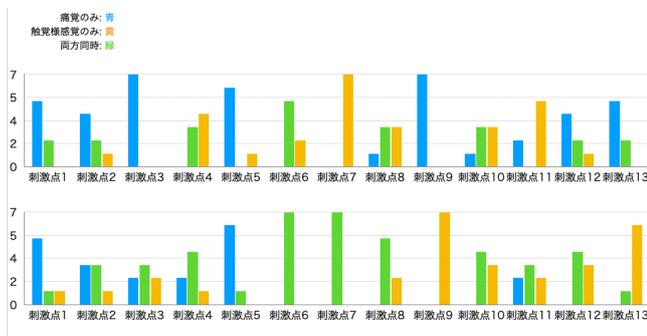


図 5: 各部位における生起感覚と明瞭性（上図：陽極刺激，下図：陰極刺激）

### 3.3 考察

刺激電極を歯間部に配置した場合（刺激点番号が奇数）は、痛覚と触覚様感覚の発生頻度が大きく偏っている傾向が観察された。例えば陽極刺激（5 上）の刺激点 3 の場合、痛覚が 7 回発生しているのに対して触覚様感覚は 0 回である。このような傾向が陽極刺激では刺激点 3, 7, 9、陰極刺激では刺激点 9 にて観察された。まだ偶然の域をでないものの、刺激点 9 については、陰極・陽極の刺激極性の変更で生成される感覚が変更できる、という可能性が示された。また刺激点 7 の場合、陽極刺激では痛覚がでるものの、陰極刺激では痛覚以外が混在する感覚となった。このことも、刺激極性が生成される感覚に影響を与えるという考察につながる。一方刺激電極を歯根直上に配置した場合（刺激点番号が偶数）は、計 7 回の刺激の中で、どちらかに大きく偏るという傾向は観察されなかった。このことは、歯根直上と歯間部という刺激場所の違いが生起される感覚に対して影響を与える可能性あることを示していると考えられる。歯間部に対する刺激の場合、痛覚もしくは触覚様感覚のどちらか一方の感覚が明確に生起されやすい傾向があ

り、歯根直上に対する刺激の場合は、生起される感覚がどちらか一方に偏ることがなく、曖昧な感覚生起となりやすい。その理由について、電流の知覚閾値、受容器分布という 2 つの観点から検討を行った。

- 電流知覚閾値の違い

参考文献 [14] によれば、電流知覚閾値は、歯肉の厚さとの間には相関が見られず、もっぱら刺激する神経の髄鞘の有無や太さに影響を受けるとされている。歯根直上、歯間部で走行する神経の本数や太さの違いが、生成される感覚の違いに影響したのではないかと考えられる。

- 各部位に分布する受容器の種類の違い

参考文献 [15] では、歯肉にはマイスナー小体やパチニ小体、自由神経終末などが分布していることが分かっているが、各歯間部では特定の限られた受容器が高い割合で支配的に分布し、各歯根直上では複数の受容器が同程度の割合で分布している為、生起する感覚の種類や二つの部位での感覚生起の明瞭さに違いが出たのではないかとと思われる。

今回刺激を提示した領域には、歯根膜内部のみならず、歯肉表面部の触力覚受容器からの感覚神経がともに走行していた可能性があり、明確に両者を分離して刺激できたかどうかは定かではない。今後はとくに歯根膜内部の触力覚受容器からの神経走行について調査を行い、より確実な歯根膜触力覚受容器の刺激実現を狙う。

## 4. おわりに

今回の実験では、電極とシリコンゲルを用いて歯肉を電気刺激する事により、生起する感覚と刺激場所の関係の調査を行った。その結果、生成する感覚には主に 2 種類が確認され、刺激極性、刺激部位ごとに感覚の明瞭さに違いが見られることが分かった。今後はまず、場所による影響の詳細調査にまとを絞りを、電極密度を向上させた電極を開発し、電気刺激に対する反応を調査する。

### 参考文献

- [1] 村上 藍加, 佐藤 哲司, 筋電位による食感分類と電氣的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する研究, 2021, DEIM Forum 2021 C25-3
- [2] 新島 有信, 小川 剛史, 電氣的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2016, 21 巻, 4 号, pp. 575-583
- [3] ベン・パンスキー, トーマス・R・ジェスト, 解剖学基礎と臨床に役立つ III 頸部・頭部・脳と脳神経, 西村書店, 2016, pp.141-143
- [4] 下地 勲, 須貝 昭弘, 千葉 英史, 月刊「歯界展望」別冊歯と歯列を守るための歯根膜活用法, 医歯薬出版, 2011, pp.88
- [5] 中村 嘉男, 歯を失うということーその生物学的・人間学的意味, 日本歯周病学会会誌, 1995, 37 巻, Supplement2 号, pp. 31
- [6] Takeyasu Maeda and Koichi Kannari and Osamu Sato and

Toshihiko Iwanaga, Nerve terminals in human periodontal ligament as demonstrated by immunohisto- chemistry for neurofilament protein (NFP) and S-100 protein, Archives of histol- ogy and cytology, 1990, Volume 53, Issue 3, pp.259-65

- [7] 脇田稔, 前田健康, 中村浩彰, 網塚憲生, 口腔組織・発生学第2版, 医歯薬出版, 2015, pp.203
- [8] 笹川 真奈, 新島 有信, 青木 良輔, 渡部 智樹, 山田 智広, ジャミング転移を利用した食感提示システム, 情報処理学会インタラクシオン 2018,2018,pp.386-388
- [9] 上村 尚弘, 森谷 哲朗, 矢野 博明, 岩田 洋夫, 食感呈示装置の開発 (特集:VR のための計測技術), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2003, 8 巻, 4 号, pp. 399-406
- [10] 岡 卓爾, 食物の粉碎能に及ぼす口腔粘膜および歯根膜の感覚の影響について, 歯科基礎医学会雑誌, 1977, 19 巻, 4 号, pp. 524-533
- [11] 加野 精一, ヒトの咀嚼運動の調節における歯根膜感覚の関与, 日本補綴歯科学会雑誌, 1991, 35 巻, 5 号, pp. 997-1006
- [12] 梶本 裕之, 川上 直樹, 前田 太郎, 館 章, 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 映像情報メディア学会技術報告, 2000, 24.35 巻, pp. 75-8
- [13] H. Kajimoto, ” Electro-Tactile Display Kit for Fingertip,” 2021 IEEE World Haptics Conference (WHC), 2021, pp. 587-587
- [14] 小倉 京子, 口腔粘膜における電流知覚閾値の応用に関する研究, 松戸歯学部教育・研究紀要, 2007, 11 巻, 11 号, pp. 113-129
- [15] 岩崎 庄市, ヒト歯肉の神経分布に関する研究, 九州歯科学会雑誌, 1971, 25 巻, 1 号, pp. 39-57