原	著
---	---

ヒト顎関節支配の単一感覚単位の応答特性

石 川 剛

東京医科歯科大学歯学部歯科矯正学第1講座（指導：三浦不二夫教授）

（1989年9月29日 受付）

Response Properties of Single Sensory Units Innervating Human Temporomandibular Joint

Tsuyoshi Ishikawa

1st Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry,

Tokyo Medical and Dental University

(Chief : Prof. Fujio Miura)

The purpose of this study was to examine the response patterns of single sensory units innervating the human temporomandibular joint to the displacements of the mandibular head. 13 single sensory units were recorded from the auriculotemporal nerves of five adult subjects by the method of microneurography and the response patterns were analyzed.

The results obtained were as follows : (1) The response patterns of the same unit to the directions of the mandibular movements were classified as Slowly Adapting Type and Fast Adapting Type according to the characteristics of their adaptation. (2) The threshold value of the Fast Adapting Type was higher than that of the Slowly Adapting Type. (3) Increasing the rate of the mandibular opening movements in the initial stage, the firing frequency of the units increased in the response pattern of the Slowly Adapting Type.

It was concluded that the sensation in the directions of the displacements of the mandibular head can be induced by the response patterns of the impulses in the nerve fibers innervating the temporomandibular joint.

I. 緒 言

咀嚼、発音、嚥下などに際し、下顎の運動方向に対応して、ヒト顎関節からどのような神経情報が中枢に伝達されているかを検討することは、歯学において重要な課題の一つと考えられる。

従来、顎関節支配の神経に関して解剖学的には、顎関節は、後深側頭神経、咬筋神経および耳介側頭神経により支配されており、耳介側頭神経

の支配領域がその大部分を占めていることが報告されている^{1~3)}。また、耳介側頭神経の走行に関しては、卵円孔より頭蓋底に出た下顎神経が、顎関節内方にて耳介側頭神経として分岐し、顎関節包に枝を出した後、顎関節後方より皮膚に分布すると報告されている^{4,5)}。

一方、下顎運動による機械的刺激により、主として顎関節包に存在する機械受容器が興奮し、耳介側頭神経を通じて求心性に活動電位が生じること、そして、その応答特性から、遅順応性の応

答, 速順応性の応答に分類されることが, ネコ^{6~11)}, ウサギ¹²⁾などの実験動物において, 電気生理学的に報告されている。

他方, microneurography 法(微小神経電図法)の開発^{13, 14)}が, ヒトの四肢の皮膚, 筋, 関節を支配する単一感覚単位の応答の観察を可能にし, 顎口腔領域においては, 歯根膜, 口腔粘膜を支配する単一感覚単位の応答の記録を可能にし, ヒトの体性感覚の末梢神経機序を解明する報告へと発展させてきた^{15~28)}。ヒトの指関節においては, その単一感覚単位が, 皮膚の遅順応性Ⅱ型の単一感覚単位に類似し, 受動的および随意的な関節の運動時に関節の角度に対応した応答を示すことが報告され²⁸⁾, また, 刺激の方向を変化させた際, 歯根膜の単一感覚単位の応答特性に変化が生じることが報告されている¹⁶⁾。さらに, 口腔粘膜において, 刺激強度-反応曲線に関して検討を行った報告^{17, 18)}がある。しかし, ヒトの顎関節支配の単一感覚単位に関してはこの種の報告はなされていない。

そこで, 本研究では, microneurography 法^{16, 29, 30)}を用い, ヒトを対象として, 下顎運動に対する顎関節支配の単一感覚単位の応答様式を調べる

目的で, 耳介側頭神経と考えられる神経の活動電位の導出を試み, 下顎の運動方向に対する応答特性について解析を行った。

Ⅱ. 研究方法

成人男子5名(年齢23~28歳, 平均25.4歳)を被験者とし, 下顎を特定の方向に動かした際にみられる顎関節支配の単一感覚単位の活動を記録し, 解析を行った。

1. 実験方法

1) 活動電位の記録方法(図1)

まず, 記録電極としては, 藤田¹⁶⁾の方法に準じて, 長さ80mm, 先端抵抗約10M Ω (1kHz測定)のタングステン微小電極(米国Federick Haer社製: metal microelectrode, Type 25-10-1)を用いた。また, 不関電極としては, 直径10mmの皿電極(日本電気三栄社製: 生体計測用銀塩化銀皿電極)を用い, 電極糊(日本光電社製: カルディオオクリム)を介し, 記録電極近傍に貼付した。これには, 下顎運動の妨げにならないよう配慮した。

活動電位の導出に際しては, 卵円孔注射法^{31, 32)}を参考にして, 内径2mmの鍼治療用導管を用

図1 実験方法

A: 耳介側頭神経から導出した活動電位

記録電極先端は卵円孔付近

B: 下顎運動

切歯部前方約10mmの位置のターゲットの変化

図2 圧刺激による顎関節支配の単一感覚単位の活動電位

- A : 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位
 B : 発火頻度の時間的変化
 C : 速い掃引速度でのAのトレース

図3 体軸方向より撮影した頭蓋底のX線写真
 a : 卵円孔 b : 破裂孔 c : 棘孔
 d : 下顎骨 e : 上顎骨
 A : タングステン微小電極

い、記録電極を頬骨弓の中央部下方の皮膚上から刺入した。次に、電極をさらに進めつつ、顎関節部に圧刺激を加え、活動電位の応答が得られる部位で刺入を止め、その部位からの活動電位を導出した(図2)。

活動電位を導出した際には、被験者は顎関節部に paresthesia を訴えた。

各被験者において、活動電位の導出が確認された後、ただちに、体軸方向からのX線テレビ(SIEMENS 社製: OPTIPLANIMAT)による透視法とX線撮影を行い、記録電極先端が卵円孔付近にあることを確認した(図3)。

以上のことから、導出した活動電位は、耳介側頭神経からのものとして扱った。

導出した活動電位は、前置増幅器[日本光電社

図4 右側顎関節の変位を中切歯の約10mm前方の位置の変化で表した

- A : 受容野
 x, y, z : 下顎運動の成分

製: RM 600AG, 621G (時定数; 0.003秒, High-cut; off)] に誘導し、サウンドモニターでインパルスを音として聴取しながら、同時にブラウン管オシロスコープ上で、振幅が不変で、波形が同一であることを確認した。

2) 顎運動の記録方法

下顎運動の記録は、顎運動解析装置³³⁾を用い、下顎前歯部前方約10mmの位置に設置したターゲットの変化を、図4に示すように、前後方向の成分であるX成分(前方方向を正方向)、上下方向の成分であるY成分(下方向を正方向)、左右方向の成分であるZ成分(左方向を正方向)に分けて、2次元の表示座標上で記録した。

下顎を特定の方向に動かす基本運動としては、中心咬合位から5方向(開口、側方<記録側、非記録側>、前方、後方)に、可及的に一定の速度で下顎を変位させるランプ状の運動を行わせ、任意の位置で下顎の変位を約20秒間維持させ、ふたたび中心咬合位にもどる運動を行わせた。

データはすべて、FM データレコーダ[TEAC 社製: R-260 (テープ速度; 19.05 cm/s, 周波数特性; DC~2.5 kHz)]により磁気テープ(TEAC 社製: DT-400)に記録した。

2. データの解析

磁気テープに記録されたデータは、ビシグラフ

図5 遅順応型の応答パターンの例

(開口運動時の unit 1 の応答)

A: 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位

B: 発火頻度の時間的変化

C, E: 矢状平面上での開口運動

x は前後方向の成分 (前方方向を正方向)

y は上下方向の成分 (下方方向を正方向)

D: 速い掃引速度での A のトレース

矢印は発火閾値を示す

(三栄測器社製: 5 L 42) を用いて書出し (紙送り速度; 100cm/m), 得られたデータを以下のように解析した。

(1) まず, 下顎の 5 方向の運動に対する顎関節支配の耳介側頭神経の応答パターンについて, 検討を行った。

(2) ついで, 下顎運動に対する顎関節支配の耳介側頭神経の応答様式をみるために, 開口初期における顎関節支配の単一感覚単位の, 発火閾値ならびに開口量と発火頻度について, 定量的に解析した。

なお, 開口量の解析は, フランクフルト平面に垂直な Y 成分をパラメーターとした。

Ⅲ. 研究結果

1. 単一感覚単位の応答パターン

下顎の運動方向を 5 方向に変化させると, 耳介

側頭神経と考えられる単一感覚単位の応答パターンに差異がみられた。図 5, 6 に, 開口初期において観察された異なる 2 個の応答パターンの典型的な例を示す。

まず, 第 1 例は, 下顎を一定の位置で開口させた際, 持続した発火が観察されたものである (図 5)。その際の単一感覚単位の活動電位は, 時間軸を拡大掃引すると, 頂点間振幅約 300 μ V, 持続時間約 2 ms, かつその波形は, 陽性→陰性→陽性の振れからなる 3 相性のものであった (図 5-D)。このように, 下顎を特定方向に移動させ, 一定の位置を維持した際, 5 秒以上発火が持続した応答パターンを遅順応型 (Slowly Adapting Type; 以下 SA Type とする)¹⁶⁾ とした。

第 2 例は, 下顎の開口を行わせている際に 4 発, および閉口後に 1 発の活動電位の発火が観察されたものである (図 6)。このとき観察された

図6 速順応型の応答パターンの例
(開口運動時の unit 9 の応答)

- A: 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位
 B: 発火頻度の時間的変化
 C, E: 矢状面上での開口運動
 xは前後方向の成分(前方方向を正方向)
 yは上下方向の成分(下方方向を正方向)
 D: 速い掃引速度でのAのトレース
 矢印は発火閾値を示す

単一感覚単位の活動電位は、時間軸を拡大掃引すると、頂点間振幅約 $250 \mu\text{V}$ 、持続時間約 2 ms 、かつその波形は、陽性→陰性→陽性の振れからなる3相性のものであった(図6-D)。このように、下顎の特定方向への移動の開始時や終了時に数発の活動電位の発火がみられる応答パターンを速順応型(Fast Adapting Type; 以下FA Typeとする)¹⁶⁾とした。

以上、5方向、それぞれの下顎運動において観察された耳介側頭神経からの応答パターンを、すべての記録しえた13個の単一感覚単位についてまとめると、表1のようになる。

13個のうち、9個の単一感覚単位(unit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12)においては、SA Typeの応答パターンのみ観察され、4個の単一感覚単位(unit 9, 10, 11, 13)においては、SA, FA Type 両方の応答パターンがみられた。

なお、図5, 6で示した典型例は、それぞれ表1で示したunit 1, unit 9である。

2. 単一感覚単位の発火閾値および発火頻度

1) 発火閾値

開口方向に下顎をランプ状に運動させた際の発火閾値を、開口量(Y成分)において検討したところ、図5のSA Typeの応答パターンを示した単一感覚単位では約4 mm(矢印)、図6のFA Typeの応答パターンを示した単一感覚単位では約8 mm(矢印)となり、図5, 6の開口量において差異がみられた。

そこで、本研究において、開口初期の下顎運動時に応答がみられた11個の単一感覚単位(表1)のそれぞれの開口量の発火閾値の平均値を求めた(図7)。その値は、SA Typeの応答パターンを示した9個の単一感覚単位において7 mm以下に分布し、FA Typeの応答パターンを示した2

表1 下顎の運動方向の変化に対する顎関節支配の単一感覚単位の応答パターン

subject	unit	jaw movement				
		open	record. side	unrecord. side	protrusion	retrusion
K. K.	1	SA	SA	SA	SA	—
	2	SA	SA	SA	SA	—
	3	SA	SA	SA	SA	SA
	4	SA	SA	SA	SA	—
S. S.	5	SA	SA	SA	SA	—
	6	SA	—	SA	SA	—
	7	SA	SA	SA	SA	—
	8	SA	SA	SA	SA	—
T. I.	9	FA	SA	FA	—	SA
	10	FA	FA	SA	SA	SA
M. Y.	11	—	FA	SA	SA	—
	12	—	—	SA	SA	—
S. H.	13	SA	SA	FA	FA	SA

(5名の被験者から記録された13個の単一感覚単位)

SA : Slowly Adapting Type, FA : Fast Adapting Type

— : no response

図7 顎関節支配の単一感覚単位の応答パターンと発火閾値

開口運動時に応答のみられた11個の単一感覚単位についてそれぞれの発火閾値の平均をまとめたもの

個の単一感覚単位において約7~8 mm に分布した。

2) 発火頻度

次に、単一感覚単位が、SA Type の応答パターンを示したときの開口量と発火頻度との関係をみた。その結果、図8で示すとおり、開口量の増大に伴い発火頻度も増大する傾向が観察され、かつ、開口量の増大の割合に対する発火頻度の増加の割合は、各単一感覚単位によって差異がみられた。

IV. 考 察

1. 研究方法について

1) 単一感覚単位活動の導出部位

耳介側頭神経からの活動電位の導出にあたり、解剖学的に導出可能な記録部位として、顎関節後方部および卵円孔付近の二つの部位が考えられた。予備実験として、両者から活動電位の導出を試みた結果、前者においては耳介側頭神経の走行

図8 開口量と顎関節支配の単一感覚単位の発火頻度

遅順応型の応答パターンを示した際、8個の単一感覚単位において、開口量の増大に伴い単一感覚単位の発火頻度が増大した

の把握が困難なため、活動電位を導出することができなかった。

したがって、本研究では、耳介側頭神経の活動電位を導出できる確率が高くなるという理由から、後者の卵円孔付近を選択した。

しかしその反面、この導出部位は危険性を伴うが、電極の刺入による中硬膜動脈などの血管の損傷は生じなかった。

2) 耳介側頭神経の活動電位の同定

本法の記録電極の刺入部位を考えた際、外側翼突筋および側頭筋の活動電位および下歯槽神経、舌神経の活動電位を導出する可能性が考えられる。しかし、これらの筋に関しては、下顎を閉口状態に固定して、その位置で咀嚼筋の等尺性収縮を行わせた際に、活動電位の応答がみられないことから、筋由来の活動電位ではないことを確認した。

また、これらの神経に関しては、歯、口腔粘膜、および舌の触刺激ならびに圧刺激を行った際

図9 記録側に下顎を側方運動させた際の顎関節支配の単一感覚単位の応答
(図5と同じ unit 1 の応答)

A: 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位

B: 発火頻度の時間的变化

C, E: 前頭断平面上での記録側への側方運動

zは左右方向の成分(左方向を正方向)

yは上下方向の成分(下方方向を正方向)

D: 速い掃引速度でのAのトレース

に、活動電位の応答がみられないことから、神経由来の活動電位ではないことを確認した。

一方、電極刺入時に被験者が顎関節部付近に paresthesia^{14, 16, 30)} を訴えたこと、体軸方向からの X 線撮影により電極先端が卵円孔付近にあったこと、ならびに顎関節部の皮膚上に圧刺激を加えた際に活動電位の応答を示したことから、以上の理由から、導出した活動電位は耳介側頭神経由来のものであると同定した。

なお、皮膚支配のこの神経の活動電位は、側頭部の皮膚の触刺激に応答しないことから、皮膚由来でないことも確認した。

2. 単一感覚単位の応答特性について

1) 単一感覚単位の応答パターンの分類

顎関節^{6~12)}、膝関節^{34~36)}、肋骨脊椎関節³⁷⁾、股関節³⁸⁾などを支配する単一感覚単位活動の記録は、従来、ネコ、ウサギなどにおいて行われており、感覚単位の分類としては、最適方向に刺激が加わった際の順応時間により、slowly adapting

unit, fast adapting unit などに分類されている。本研究で得られた13個の単一感覚単位（表1）に関して同様の分類を行うと、すべて slowly adapting unit に属するものと考えられる。

しかし、本研究の13個の単一感覚単位においては、下顎の運動方向を変化させた際に、同一の単一感覚単位において、その順応時間から、遅順応型（SA Type）と速順応型（FA Type）に分類される応答パターンが観察された（図5, 6, 表1）。

藤田¹⁶⁾は、ヒトの歯根膜単一感覚単位において、歯に加える力の方向を変化させることにより順応時間が変化するという現象に着目し、遅順応型、速順応型、中間型の応答パターンに分類している。

この点に関して、本研究結果においてみられた現象は、歯根膜を支配する単一感覚単位においてみられた現象と、刺激の方向に対して順応時間が変化するという点で同様なものと考えられた。

図10 非記録側に下顎を側方運動させた際の顎関節支配の単一感覚単位の応答
(図5と同じ unit 1 の応答)

- A: 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位
- B: 発火頻度の時間的変化
- C, E: 前頭断平面上での非記録側への側方運動
 - z は左右方向の成分 (左方向を正方向)
 - y は上下方向の成分 (下方方向を正方向)
- D: 速い掃引速度でのAのトレース

なお、順応時間の基準としては、藤田¹⁶⁾と同様に Ness の 5 秒³⁹⁾を採用したが、5 秒以下の順応時間の持続的発火を有する中間型の応答パターンは、藤田¹⁶⁾とは異なり、本研究では観察されなかった。中間型の応答パターンが観察できなかったことは、耳介側頭神経の一つの特徴かもしれない。この点については、ひきつづき検討をする必要があろう。

2) 開口量の変化に対する単一感覚単位の応答

阿部¹⁰⁾は、ネコにおいて、顎関節を支配する単一感覚単位活動の記録を行い、下顎頭を開口、内方方向に変位させると、それに従い、その単一感覚単位活動の発火頻度が増大すると報告している。

本研究結果では、開口初期にヒト顎関節支配の単一感覚単位の応答において、SA Type の応答パターンを示したとき、中心咬合位からの開口量の増大とともに発火頻度の増大が認められ、この

結果は阿部の報告と一致した。

したがって、下顎頭の変位に伴い、顎関節支配の単一感覚単位の発火頻度は増加するものと考えられる。

3. 下顎の運動方向に対する単一感覚単位の応答特性について

本研究結果においては、同一の単一感覚単位で下顎の運動方向を変化させた際に、その応答パターンに差異がみられた(表1)。

一般に、歯根膜単一感覚単位の slowly adapting unit において、歯に加わる刺激が最適方向に近いほど発火閾値は低く、順応時間も延長し、発火頻度は増加すると報告されている^{16, 39, 40)}。

また、機械受容器の起動電位は、その変形によって発生すると考えられている^{41~43)}。

一方、単一感覚単位の終末を構成する機械受容器は、関節包の結合組織中に存在すると報告されている^{1, 2, 6, 8, 44, 45)}。

図11 下顎を前方運動させた際の顎関節支配の単一感覚単位の応答
(図5と同じ unit 1 の応答)

- A : 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位
- B : 発火頻度の時間的变化
- C, E : 矢状平面上での前方運動
 - x は前後方向の成分 (前方方向を正方向)
 - y は上下方向の成分 (下方方向を正方向)
- D : 速い掃引速度での A のトレース

これらのことより、下顎の特定方向への動きによる下顎頭の変位により、顎関節包の結合組織繊維を介して、機械受容器に変形をきたすことで、その変形の方法が最適方向に近いほど発火閾値の低い、順応時間の長い、発火頻度の多い、本研究での SA Type (図5, 表1) のような応答パターンが現れ、その方向からずれるに従い、本研究での FA Type (図6, 表1) のような順応時間が短く、発火閾値も高い応答パターンがみられると考えられる。

また、同一の単一感覚単位で2方向以上に SA Type の応答パターンがみられる場合において、下顎の運動方向により発火閾値や発火頻度に差異がみられた (図5, 9~12)。このような事実に関しては、今後、下顎頭の変位方向および変位量との詳細な生理学的検討とあわせて、機械受容器に関する組織学的検討も必要であろう。

ヒトにおいては、顎関節支配の単一感覚単位の

順応時間および発火閾値の差異が、下顎の運動方向に関する情報として中枢に伝達され、下顎の空間的位置を決定する要素の一つとなっていることが考えられる。したがって、今回導出した耳介側頭神経からの応答パターンは、顎機能異常の成因を考えるうえで重要な基礎的資料となりうるばかりでなく、咀嚼、発音、嚥下などに伴う下顎運動を考えるうえでも、重要な役割を果たしていると考えられる。

V. 結 論

下顎頭の変位に際しての顎関節を支配する単一感覚単位の応答様式を、ヒトにおいて検索する目的で、成人被験者5名の耳介側頭神経より、microneurography 法 (微小神経電図法) を用い、13個の単一感覚単位の活動電位を導出し、その応答様式を検討し以下の結論を得た。

1. 下顎の運動方向を変化させた際に、同一の

図12 下顎を後方運動させた際の顎関節支配の単一感覚単位の応答 (図5と同じ unit 1 の応答)

- A : 顎関節支配の単一感覚単位の活動電位
- B : 発火頻度の時間的変化
- C, E : 矢状平面上での後方運動
 - x は前後方向の成分 (前方方向を正方向)
 - y は上下方向の成分 (下方方向を正方向)
- D : 速い掃引速度での A のトレース

単一感覚単位において応答パターンに差異がみられた。これらの応答パターンは、遅順応型と速順応型の二つの順応性の異なる応答パターンに分別された。

2. 発火閾値に関しては、遅順応型の応答パターンを示すときよりも、速順応型の応答パターンを示すときの方が高い傾向を示していた。

3. 開口初期において、その単一感覚単位が遅順応型の応答パターンを示す際、開口量の増大に伴い発火頻度は増大した。

これらのことより、耳介側頭神経における下顎頭の変位方向に関する求心性神経情報が、単一感覚単位の順応時間および発火閾値の差異として、中枢に伝達されている可能性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なご指導とご校閲を賜った主任三浦不二夫教授に、深甚なる謝意を捧げます。また懇切なるご教示とご校閲下さった第1矯正学教室相馬邦道助教授に感謝の意を表するとともに、終始、直接ご指導とご教示いただきました第1矯正学教室半田秀穂助手、口腔生理学教室戸田一雄講師、第1矯正学教室藤田幸弘博士に深謝いたします。さらに本研究に際し、ご協力いただきました歯科放射線学教室佐々木武仁教授、千葉隆次技師に心から感謝するとともに、終始温かいご支援、ご協力をいただきました第1、第2矯正学教室の諸先生方、ならびに被験者の皆様に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Thilander, B.: Innervation of the temporomandibular joint capsule in man. *Trans. Roy. Dent. Sch.* 2: 1-67, 1961.
- 2) 石橋克礼: ヒト顎関節の支配神経に関する研究. 歯基礎誌 8: 46-70, 1966.
- 3) Hromada, J.: Die Innervation des kiefergelenks und einige anatomischklinische Bemerkungen. *Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk.* 34: 19-28, 1960.
- 4) 上条雍彦: 図説口腔解剖学 4: 神経学. 東京, 1969, アナトーム社, 896-897, 1061.
- 5) Schmit, F.: On the nerve distribution of the temporomandibular joint capsule. *Oral Surg.* 28: 63-65, 1969.
- 6) 真島利雄: 顎関節部知覚神経支配の形態学的並びに神経生理学的研究. 歯基礎誌 6: 31-40, 1964.
- 7) Klineberg, I. J., Greenfield, B. E. and Wyke, B. D.: Afferent discharges from temporomandibular articular mechanoreceptors: an experimental study in the cat. *Arch. Oral Biol.* 15: -952, 1970.
- 8) Klineberg, I. J.: Contributions to the reflex control of mastication from mechanoreceptors in the temporomandibular joint capsule. *Dent. Pract. Dent. Rec.* 21: 73-83, 1970.
- 9) Klineberg, I. J., Greenfield, B. E. and Wyke, B. D.: Afferent Discharges from Temporomandibular Articular Mechanoreceptors. *Arch. Oral Biol.* 16: 1463-1479, 1971.
- 10) 阿部勝也: 顎関節よりの求心性神経情報に関する研究. 歯基礎誌 16: 117-128, 1974.
- 11) 小山重人, 渡辺 誠, 鹿沼晶夫, 他: 顎関節刺激による耳介側頭神経の応答. 下顎運動機能とEMG 論文集 6: 119-124, 1987.
- 12) Lund, J. P. and Matthews, B.: Responses of Temporomandibular Joint Afferents Recorded in the Gasserian Ganglion of the Rabbit to Passive Movements of the Mandible. In *Oral-Facial Sensory and Motor Functions* by Y. Kawamura, R. Dubner, 1981, Quintessence, 153-160.
- 13) Hagbarth, K. E. and Vallbo, Å. B.: Mechanoreceptor activity recorded percutaneously with semi-microelectrodes in human peripheral nerves. *Acta Physiol. Scand.* 69: 121-122, 1967.
- 14) Vallbo, Å. B. and Hagbarth, K. E.: Activity from skin mechanoreceptors recorded percutaneously in awake human subjects. *Exp. Neurol.* 21: 270-289, 1968.
- 15) Johansson, R. S. and Olsson, K. A.: Microelectrode recordings from human oral mechanoreceptors. *Brain Res.* 118: 307-311, 1967.
- 16) 藤田幸弘: ヒト歯根膜単一感覚単位の力に対する応答特性. 口病誌 54: 676-691, 1987.
- 17) 藤田幸弘: ヒト口腔粘膜の機械的刺激による単一感覚単位の応答. 歯基礎誌 29: 205, 1987.
- 18) 藤田幸弘: ヒト口腔領域における単一感覚単位活動の記録. 口病誌 55: 641, 1988.
- 19) Johansson, R. S., Trulsson, M., Olsson, K. Å. and Westberg, K.-G.: Mechanoreceptor activity from the human face and oral mucosa. *Exp. Brain Res.* 72: 204-208, 1988.
- 20) Knibestöl, M.: Stimulus-response functions of rapidly adapting mechanoreceptors in the human glabrous skin area. *J. Physiol. London* 232: 427-452, 1973.
- 21) 間野忠明, 山崎良比古: 微小電極法によるヒト

- の末梢求心性神経伝導速度. 臨床脳波 21 : 817-826, 1979.
- 22) Hagbarth, K. E., Hongell, A., Hallin, R. G. and Torebjork, H. E. : Afferent impulses in median nerve fascicles evoked by tactile stimuli of the human hand. *Brain Res.* 24 : 423-442, 1970.
 - 23) Gybels, J. and van Hees, J. : Unit activity from mechanoreceptors in human peripheral nerve during intensity discrimination of touch. *Excerpta Med. Int. Congr. Ser.* 253 : 198-206, 1972.
 - 24) Knibestöl, M. : Stimulus-response functions of slowly adapting mechanoreceptors in the human glabrous skin area. *J. Physiol. London* 245 : 63-80, 1975.
 - 25) Järvilehto, T., Härmäläinen, H. and Laurinen, P. : Characteristics of single mechanoreceptive fibers innervating hairy skin of the human hand. *Exp. Brain Res.* 25 : 45-61, 1976.
 - 26) 宮岡 徹, 間野忠明 : ヒトの触圧覚求心性神経発射の解析. 臨床脳波 22 : 800-809, 1980.
 - 27) Johansson, R. S. and Vallbo, Å. B. : Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. *Trends in Neuroscience* 6 : 27-32, 1983.
 - 28) Burke, D., Gandevia, S. C. and Macefield, G. : Responses to passive movement of receptors in joint, skin and muscle of the human hand. *J. Physiol. London* 402 : 347-361, 1988.
 - 29) 中西高雄, 他 : 臨床神経生理学入門, その基礎と臨床的応用. 東京, 1980, 真興交易梯医書出版部, 168-240.
 - 30) 間野忠明 : microneurography. 脳神経 34 : 205-215, 1982.
 - 31) 田村八郎 : 歯科伝達麻酔の実際. 大阪, 1970, 藤沢薬品工業, 25-27.
 - 32) 久保田康耶, 中久喜喬, 野村政宏 : 歯科麻酔学. 東京, 1980, 医歯薬出版, 251-252.
 - 33) 中村良司, 半田秀穂, 他 : 新しい顎運動解析装置の紹介—不正咬合者の機能分析—. 下顎運動機能とEMG 論文集 2 : 19-24, 1983.
 - 34) Andrew, B. L. and Dodt, E. : The deployment of sensory nerve endings at the knee joint of the cat. *Acta Physiol. Scand.* 28 : 287-296, 1953.
 - 35) Boyd, I. A. and Robert, T. D. M. : Proprioceptive discharges from stretch receptors in the knee joint of the cat. *J. Physiol. London* 124 : 476-488, 1953.
 - 36) Clark, J. F. and Burgess, P. R. : Characteristics of knee joint receptors in the cat. *J. Physiol. London* 203 : 317-335, 1969.
 - 37) Godwin-Austen, R. B. : The mechanoreceptors of the costovertebral joint. *J. Physiol. London* 202 : 737-753, 1969.
 - 38) Carli, G., Farabollini, G. and Meucci, M. : Slowly adapting receptors in cat hip joint. *J. Neurophysiol.* 42 : 767-778, 1979.
 - 39) Ness, A. R. : The mechanoreceptors of the rabbit mandibular central incisor. *J. Physiol. London* 126 : 475-493, 1954.
 - 40) Karita, K. and Tabata, T. : Response fields of the periodontal mechanoreceptive units in the superior alveolar nerve of the cat. *Exp. Neurol.* 90 : 558-565, 1985.
 - 41) Ozeki, M. and Sato, M. : Changes in the membrane potential and membrane conductance associated with a sustained depolarization of the non-myelinated nerve terminal in Pacinian corpuscles. *J. Physiol. London* 180 : 186-208, 1965.
 - 42) Nakajima, S. and Onodera, K. : Adaptation of the generator potential in the cryfish stretch receptors under constant length and constant tension. *J. Physiol. London* 200 : 187-204, 1969.
 - 43) Loewenstein, W. R. : Excitation and inactivation in a receptor membrane. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 94 : 510-534, 1961.
 - 44) Wyke, B. D. : The neurology of joints. *Ann. Roy. Coll. Surg. Engl.* 41 : 25-50, 1969.
 - 45) Dixon, A. D. : Structure and functional significance of the intra-articular disc of the human temporomandibular joint. *Oral Surg.* 15 : 48-61, 1962.