

角膜求心性線維の三叉神経脊髄路核尾側亜核と 延髄外側網様体への投射 (図6)

西 田 保 裕 (滋賀医科大学眼科学講座)

Corneal Afferent Projection to the Trigeminal Subnucleus Caudalis and its Nearby Lateral Reticular Formation

Yasuhiro Nishida

Department of Ophthalmology, Shiga University of Medical Science

要 約

ウレタン・クロラローズで麻酔したネコを用いて、三叉神経脊髄路核尾側亜核とそれに隣接する延髄外側網様体の角膜ニューロンを調べた。その結果4種類の角膜ニューロン、すなわち高閾値角膜特異ニューロン、低閾値角膜特異ニューロン、広作動域ニューロンおよび腹側網様体亜核ニューロンが見出された。低閾値角膜特異ニューロンの角膜機械刺激閾値はヒトで痛みを生じる強さよりも低かったが、その他の角膜ニューロンの角膜機械刺激閾値はヒトの痛覚閾値以上であった。高閾値角膜特異ニューロンは尾側亜核の辺縁層と膠様質外層部、低閾値角膜特異ニューロンは大細胞層、広作動域ニューロンは背側網様体亜核外側部、腹側網様体亜核ニューロンは腹側網様体亜核背外側部に分布していた。これらの成績は角膜から痛覚ばかりでなく触覚も誘発されるという考えを支持している。(日眼 91:1044-1050, 1987)

キーワード：角膜，痛覚，触覚，尾側亜核，ネコ

Abstract

The corneal epithelium offers a surface innervated solely by free nerve endings. Some investigators postulated that these nerve endings subserved the modality of pain alone. By contrast, other investigators reported that either tactile sensation or pain can be evoked. The present study attempted to obtain a clue for the solution of this controversy. Experiments were carried out on cats anesthetized with urethan-chloralose. The medulla oblongata caudal to the obex was explored for units responsive to mechanical stimulation of the cornea. Single unit activities were recorded with glass capillary microelectrodes. The corneal receptive field was mapped with a von Frey hair, and force threshold was estimated with a Cochet-Bonnet aesthesiometer. Four different classes of corneal units were found in the trigeminal subnucleus caudalis and its immediately adjacent bulbar lateral reticular formation. They were: low-threshold corneal specific (LTCS) units, high-threshold corneal specific (HTCS) units, wide dynamic range (WDR) units responsive to corneal stimulation and subnucleus reticularis ventralis (SRV) units. The mechanical threshold of LTCS units was 0.9-2.6g/mm². The mechanical threshold of units of other classes was 11~35g/mm². LTCS units were located in the magnocellular layer of the trigeminal subnucleus caudalis and were intermingled with cutaneous low threshold mechanoreceptive units. HTCS units were coexistent with nociceptive specific units in the marginal layer and outer zone of the substantia gelatinosa. WDR units responsive to corneal stimulation were found in the lateral part of the subnucleus reticularis dorsalis. SRV units were encountered

別刷請求先：520-21 大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学眼科学教室 西田 保裕

Reprint requests to: Yasuhiro Nishida, M.D. Dept. of Ophthalmol., Shiga Univ. of Medical Science
Tsukinowa-cho, Seta, Otsu 520-21, Japan

(昭和62年5月27日受付) (Accepted May 27, 1987)

in the dorsolateral part of the subnucleus reticularis ventralis. These results were supported the suggestion that either tactile sensation or pain can be evoked from the cornea. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 91: 1044—1050, 1987)

Key words: Cornea, Pain, Touch, Subnucleus caudalis, Cat

I 緒 言

角膜は無髄線維と細いA δ 有髄線維の神経支配を受け、その感覚受容器はすべて自由終末である¹⁾²⁾。19世紀の末、von Frey³⁾が角膜の感覚は痛覚のみで、自由終末が分布しているのに対して、眼球結膜とくに角膜縁から痛覚と冷覚が誘発され、そこにKrause終球が多数分布しているところから、痛覚受容器が自由終末、冷覚受容器がKrause終球であると結論した。ところがSjöqvist⁴⁾が三叉神経痛を治療するため延髄の高さで三叉神経脊髄路切断術を受けた患者の角膜を綿花で刺激すると痛みを感じないが触覚を生じた。この臨床所見は他の術者によっても確認され、さらに健常者の角膜から痛覚ばかりでなく、触覚、冷覚も生じることが認められて^{5)~7)}、von Frey以来の考えが訂正を余儀なくされた。しかし、このような訂正が必ずしも全面的に受け入れられたわけではない。角膜に分布する自由終末の適合刺激は潜在性侵害刺激で⁸⁾⁹⁾、角膜刺激によって誘発される感覚が不快であるか痛いかのいずれかであるという考えを今なお支持する研究者¹⁰⁾もいる。

三叉神経脊髄路切断術によって末梢からの入力を断たれる三叉神経脊髄路核尾側亜核と、この亜核に隣接する延髄外側網様体に角膜からの入力を受ける角膜ニューロンが分布することが知られており^{11)~16)}、それを裏づける形態学的所見も報告されている¹⁷⁾。しかしこの角膜ニューロンの性質とくに反応閾値や分布様式を詳細に調べた研究はまだ報告されていない。これらを調べることによって角膜に痛覚ばかりでなく触覚の受容器も存在するか否かの問題をとく手がかりが得られるかも知れないと考え、本研究を行った。

II 実験方法

体重2.0ないし3.7kgの成猫を使用した。Ketamineを体重1kg当り4mg筋肉内注射して麻酔を導入した後、ウレタン(125mg/ml)とクロラローズ(10mg/ml)の混合溶液を体重1kg当り3.5ml静脈内注射して麻酔を維持した。食道内にサーミスター温度計を挿入して

体温を測定し、電気ヒーターで動物を加温して、体温を $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に保った。

動物を脳定位固定装置に固定した後、環椎の椎弓と後頭骨の一部を切除し、脳硬膜を切開して延髄尾側部を露出した。微小電極刺入部位の脳クモ膜と脳軟膜を時計用ピンセットで除去した後、露出した延髄尾側部を2%寒天リンガーロック液で覆って乾燥および動揺を防いだ。ニューロン活動の記録に先立って、筋弛緩剤バンクロニウムを体重1kg当り2ないし4mg静脈内投与して動物を非動化し、人工呼吸を続けた。

2%pontamine sky blueを溶かした1M酢酸ナトリウム溶液を充填した硝子毛细管微小電極を用いて、単一ニューロンの細胞外電位を記録した。電極先端の外径は $3\mu\text{m}$ 以下、直流抵抗は $10\sim 15\text{M}\Omega$ であった。頸筋に銀塩化銀針電極を刺入して不関電極とした。微小電極によって導出した活動電位は微小電極用前置増幅器を介してブラウン管オシロスコープに導いた。ブラウン管オシロスコープの出力をスピーカーに導いて、スパイク電位による音を確認し、この音を聞きながら末梢受容野を画定した。

微小電極を刺入しながら、角膜を硝子棒で機械刺激し、角膜ニューロンを検出した。角膜ニューロンが検出されると、von Frey刺激毛を用いて、末梢受容野を調べ、次いでCochet-Bonnet角膜知覚計を用いて、機械刺激の閾値(g/mm^2)を測定した。閾値がこの知覚計の測定範囲を越えたときは、von Frey刺激毛を用いた。反応の潜時を測るため白金球電極を角膜表面に当て、この電極と側頭筋に刺入した不関電極の間に刺激電流を流して角膜受容野を電気刺激した。すべての角膜ニューロンについて、角膜以外の頭部組織に非侵害性および侵害性機械刺激を加えて、反応を調べた。非侵害性刺激には筆毛による触刺激と無鉤ピンセットによる圧刺激を用い、有鉤ピンセットで強くつまんで侵害性機械刺激とした。角膜ニューロンの記録部位に微小電極の先端からpontamine sky blueを電気泳動的に注入して生体染色した。この場合、微小電極を陰極として不関電極との間に $5\mu\text{A}$ の直流電流を10分間通電した。

実験終了時、左心室に、生理食塩水1Lとホルマリン含有生理食塩水を3~5L注入して脳を灌流固定した。1週間後、厚さ50 μ mの凍結連続切片を作り、色素注入部位を確認した後、クレジールバイオレットで染色して、ニューロン活動の記録部位を同定した。

III 実験成績

三叉神経脊髄路核尾側亜核は門の高さから尾側に延びて第1頸髄の後角に連なる延髄尾側部の柱状構造で、ネコの場合約5mmの長さをもつ。この亜核は層構造を有し、表層部から順次、辺縁層、膠様質、大細胞層¹⁸⁾と呼ばれる。この亜核の腹内側に延髄外側網様体があって、背側網様体核と腹側網様体核に分けられる。角膜の機械刺激に反応するニューロンは、これらのすべてから見出され、角膜刺激の閾値と、角膜以外の組織の刺激に対する反応様式に基づいて4種類に分類された。

1. 高閾値角膜特異ニューロン

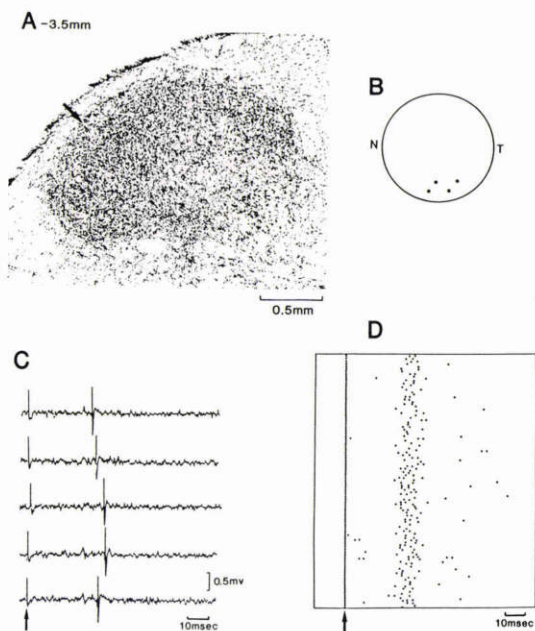


図1 尾側亜核辺縁層の高閾値角膜特異ニューロン
A: ニューロンの局在部位を矢印で示す。門の尾側3.5mmのレベルで、尾側亜核外側部の辺縁層に分布していた。B: 角膜上の末梢受容野、4個の点状受容野から成り立っていた。C: 角膜末梢受容野の電気刺激によるスパイク発射。D: 角膜受容野の電気刺激に対する反応の raster dot 法による表示、刺激の artifact とスパイク発射を点で示す。

ヒトで痛みを生じるような強い機械刺激を角膜に加えたときにだけ反応するニューロンがあって、高閾値角膜特異ニューロン、high threshold corneal specific (HTCS) neuron と呼ぶことにした。合計10個のニューロンが、このニューロンであった。それらは同側の角膜に4ないし6個 (4.5 ± 0.81 , $p=0.05$) の点状末梢受容野をもち、それが全角膜面積の50分の1ないし14分の1を占める範囲に散在していた。末梢受容野の機械刺激閾値は16ないし35g/mm² (28 ± 5.5 g/mm², $p=0.05$)であった。角膜の末梢受容野に閾値の1.5倍の強さの電気刺激を加えたときに誘発されたスパイク発射の潜時は21ないし45ミリ秒 (35 ± 7.3 ミリ秒, $p=0.05$)であった。

このニューロンは門の尾側2.7ないし3.5mmのレベルで、三叉神経脊髄路核尾側亜核の外側部から見出され、辺縁層及び膠様質外層部に局在していた。

2. 低閾値角膜特異ニューロン

ヒトで痛みを生じない程度の弱い機械刺激を角膜に加えたときに興奮するが、角膜以外の刺激に応じないニューロンがあって、それを低閾値角膜特異ニューロ

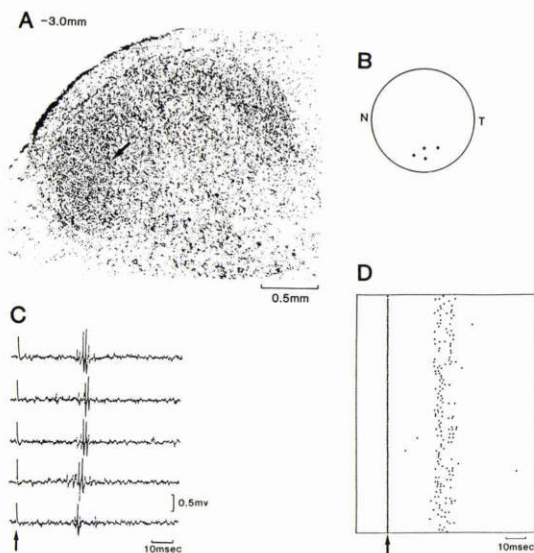


図2 尾側亜核大細胞層の低閾値角膜特異ニューロン
A: ニューロンの局在部位を矢印で示す。門の尾側3.0mmのレベルで、尾側亜核の大細胞層に分布していた。B: 角膜上の末梢受容野、4個の点状受容野から成り立っていた。C: 角膜末梢受容野の電気刺激によるスパイク発射。D: 角膜受容野の電気刺激に対する反応の raster dot 法による表示。

ン, low threshold corneal specific (LTCS) neuron と呼ぶことにした. 合計18個のニューロンがこのニューロンであった. これらのニューロンは同側の角膜に3ないし5個 (4.3 ± 0.65 , $p=0.05$) の点状末梢受容野を持ち, それが全角膜面積の50分の1ないし17分の1を占める範囲に散在していた. 角膜の機械刺激閾値は0.9ないし2.6g/mm² (1.8 ± 0.44 g/mm², $p=0.05$)であった. 閾値の1.5倍の強さの電気刺激によるスパイク発射の潜時は22ないし46ミリ秒 (31 ± 7.2 ミリ秒, $p=0.05$)であった.

このニューロンは門の尾側2.8ないし3.4mmのレベルで, 三叉神経脊髄路核尾側亜核の大細胞層に分布していた. 大細胞層のニューロンの大多数が同側顔面皮膚に局限した受容野をもつ低閾値機械受容ニューロンで¹⁴⁾¹⁵⁾, 眼瞼あるいは眼球周囲の皮膚に末梢受容野をもつ低閾値機械受容ニューロンが, 低閾値角膜特異ニューロンの上下から見出された.

3. 広作動域ニューロン

同側角膜の機械刺激と同側顔面の非侵襲性及び侵害性機械刺激に反応するニューロンが合計10個見出された. 第3図がその1例である. 皮膚の末梢受容野は3部から成り, この図のBの黒い部分(a)に筆毛による触刺激, 無鉤ピンセットによる圧刺激および有鉤ピンセットによる侵害性機械刺激を加えると段階的に反応し, 侵害刺激が加わったとき最大に反応した. この部を取り囲む網目の陰影をつけた部分(b)を刺激したとき, 筆毛による触刺激は興奮作用をもたなかったが, 圧刺激および侵害刺激が有効で侵害刺激に最大の応答を示した. 受容野の辺縁にある斜線部(c)を刺激したときには, 侵害刺激のみが興奮作用をもっていた. このニューロンは広作動域ニューロン, wide dynamic range (WDR) neuron, と呼ばれてきたものに属する^{14)~16)}. 角膜刺激に応じる広作動域ニューロンは一般に皮膚の末梢受容野の少なくとも一部を眼瞼または眼球周囲にもっていた.

この種のニューロンは同側の角膜に3ないし6個 (4.0 ± 0.89 , $p=0.05$)の点状末梢受容野をもち, それが全角膜の50分の1ないし17分の1を占める範囲に散在していた. 角膜機械刺激の閾値は12ないし28g/mm² (19 ± 5.0 g/mm², $p=0.05$)で, 高閾値角膜特異ニューロンにおける値との間に有意の差がみられなかった ($p=0.01$). 角膜の末梢受容野に閾値の1.5倍の強さの電気刺激を加えたときに誘発されるスパイク発射の潜時は21ないし43ミリ秒 (35 ± 7.1 ミリ秒, $p=0.05$)で

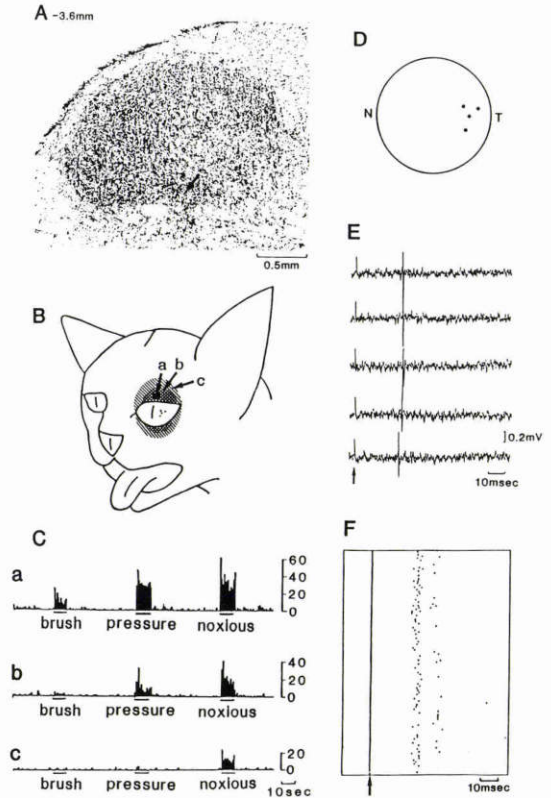


図3 角膜刺激に反応した広作動域ニューロン

A:ニューロンの局在部位. 門の尾側3.6mmのレベルで, 背側網様核の外側部に分布していた. B:角膜と皮膚の末梢受容野. 角膜の受容野は4個の点から成り立っていた. 皮膚の受容野は3部から成り, 黒い部分(a)が中心部で, 触, 圧, 侵害刺激に段階的に反応した. 網目の部分(b)では圧刺激と侵害刺激に反応した. 斜線部(c)では侵害刺激のみが有効であった. C:皮膚受容野の機械刺激に対する反応. Bに矢印で示したa, b, cの3部位の刺激に対する反応をa, b, cにそれぞれのスパイク発射数のヒストグラムで示した. 刺激期間をヒストグラムの下に横線で示した. 触(bush), 圧(pressure), および侵害(noxious)刺激を10秒間づつ各部位に加えた. D:角膜の末梢受容野. E:角膜電気刺激によるスパイク発射. F:角膜電気刺激に対する反応のraster dot法表示

あった.

広作動域ニューロンは大細胞層の腹内側に隣接する背側網様核外側部に分布しているが^{14)~16)}, 角膜刺激に応じるものは門の尾側2.7ないし3.6mmの範囲に局限していた.

4. 腹側網様核ニューロン

三叉神経脊髄路核尾側亜核の全長にまたがる腹側網

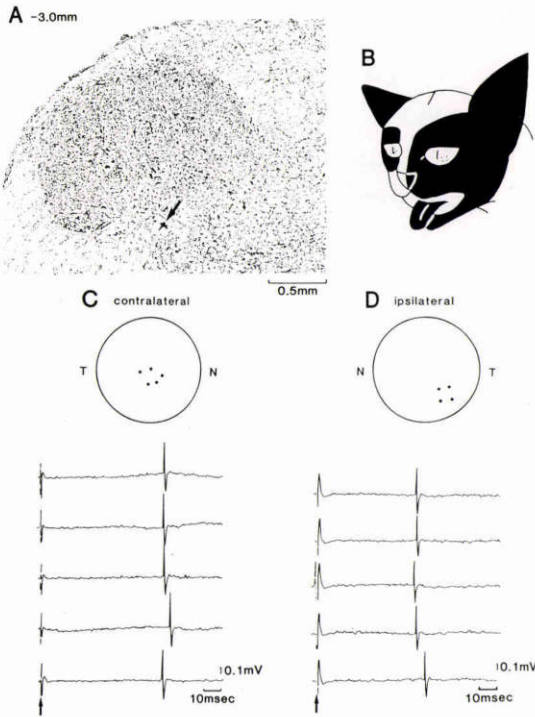


図4 腹側網様核ニューロン

A: ニューロン活動の記録部位, B: 末梢受容野, 黒い部分がそれで, 両側耳介, 顔面, 舌の侵害性機械刺激に反応した。C: 対側角膜の末梢受容野と, その電気刺激に対する反応。D: 同側角膜の末梢受容野とその電気刺激に対する反応。

様核の背外側部に角膜ニューロンが存在することはすでに知られていて, 腹側網様核ニューロン, subnucleus reticularis ventralis (SRV) neuron と呼ばれている^{14)~16)}。本研究でも合計66個の腹側網様核ニューロンが見出された。そのうち63個が同側, 3個が両側の角膜刺激に反応した。角膜の末梢受容野は同側の場合3ないし6個 (3.8 ± 1.1 , $p=0.05$), 対側の場合4ないし5個の点状末梢受容野から成り立ち, 角膜の全面積の50分の1ないし11分の1を占める範囲に散在していた。角膜の機械刺激閾値は同側の場合11ないし35 g/mm^2 ($24 \pm 6.2g/mm^2$, $p=0.05$), 対側の場合24ないし28 g/mm^2 であった。角膜の末梢受容野に閾値の1.5倍の強さの電気刺激を加えたときに誘発されるスパイク発射の潜時は, 同側の場合20ないし65ミリ秒 (36 ± 9.8 ミリ秒, $p=0.05$), 対側の場合39ないし66ミリ秒であった。

66個のニューロンのうち54個が同側のみの, 3個が

両側の耳介の侵害刺激, 60個が同側のみの, 3個が両側の顔面の侵害性機械刺激, 29個が同側のみの, 3個が両側の舌の侵害性機械刺激, 40個が同側のみの, 3個が両側の鼻背の叩打に反応し, 角膜のみに反応するニューロンは見出されなかった。

5. 麻酔薬の角膜反応閾値に及ぼす影響

本実験において麻酔薬として使用したウレタン・クロラロズ混合溶液の角膜反応閾値に及ぼす影響を調べるため, 上丘と下丘の間で中脳を電気凝固した除脳動物を用いて実験を行った。低閾値角膜特異ニューロン1個と高閾値角膜特異ニューロン各1個について調べたが, 無麻酔除脳動物における閾値はそれぞれ1.8 g/mm^2 と23 g/mm^2 で, ウレタン・クロラロズ混合溶液を3.5ml/kg投与しても閾値は変わらなかった。ただし, 麻酔薬投与前1秒間4.1および4.0であったニューロンの自発発射は0.31および0.69に低下した。角膜刺激に対する反応も減弱したが, 自発発射の頻度が低下したため, 反応閾値の測定には支障がなかった。

IV 考 按

ネコの三叉神経脊髄路核尾側亜核とそれに隣接する延髄外側網様体に三叉神経性機械受容ニューロンがあって, 特異的侵害受容ニューロン (nociceptive specific neuron), 低閾値機械受容ニューロン (low threshold mechanoreceptive neuron), 広作動域ニューロン (wide dynamic range neuron), および腹側網様核ニューロン (subnucleus reticularis ventralis neuron) の4種類に分けられている^{14)~16)}。

特異的侵害受容ニューロンは, 体表に侵害刺激が加わったときにだけ興奮するもので, 尾側亜核の辺縁層と膠様質外層部に分布し, 体性機能の局在機構がみられる¹⁴⁾¹⁶⁾。すなわち, 背内側部のニューロンが三叉神経第三枝支配領域, 外側部のニューロンが第1枝支配領域, 両者の中間部のニューロンが第2枝支配領域に局限した末梢受容野をもっている。また門の高さに分布する特異的侵害受容ニューロンは末梢受容野を顔の中心部にもち, ニューロンの局在部位が尾側へ移動するにつれて, 末梢受容野が顔の辺縁部に向かって移動し, 玉葱状の分節支配が認められている^{14)~16)}。このニューロンが分布している辺縁層と膠様質外層部から高閾値角膜特異ニューロンが見出されたが, それは門の尾側2.7ないし3.5mmのレベルで三叉神経脊髄路核尾側亜核の外側部から見出された。この分布様式は特異的侵害受容ニューロンの体性機能局在機構に組み込まれて

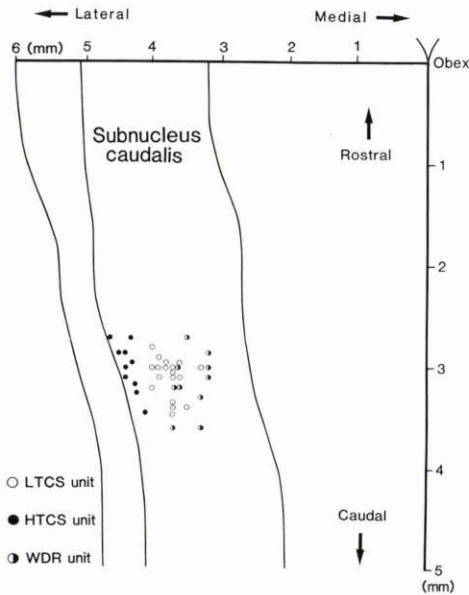


図5 角膜ニューロンの局在部位を示す背面図
 白丸：低閾値角膜特異ニューロンの局在部位。黒丸：高閾値角膜特異ニューロンの局在部位。半黒丸：広作動域ニューロンの局在部位。門の尾側約3mmのレベルに集中していた。

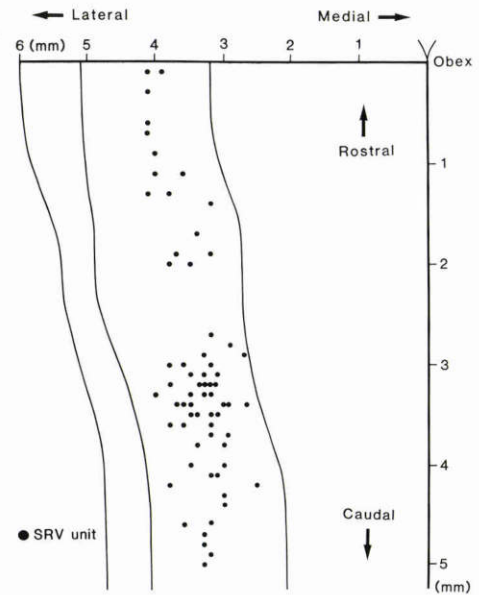


図6 腹側網様亜核ニューロンの局在部位
 尾側亜核の全長に対応する部位から見出された。

いと考れば理解しやすい。これをさらに進めると、高閾値角膜特異ニューロンが特異的侵害受容ニューロンと同様な機能に関与すると考えられる。辺縁層の特異的侵害受容ニューロンの中に視床に投射するものがあって、このニューロンが痛覚の弁別的側面に関与するとみられており^{14)~16)}、高閾値角膜特異ニューロンもおそらく角膜の痛覚の発現に寄与するとみることができよう。

広作動域ニューロンと、腹側網様亜核ニューロンのすべてが頭部の体表に侵害受容性末梢受容野をもち、いずれも侵害受容ニューロンに加えられている^{14)~16)}。また広作動域ニューロンが特異的侵害受容ニューロンでみられたような体性機能の局在機構を示すことも知られている¹⁵⁾¹⁶⁾。これら2種類のニューロンの角膜機械刺激に対する反応の閾値が高閾値角膜特異ニューロンの場合と同様に高かったので、角膜が侵害受容性インパルスをこれらのニューロンに送っていると考えられる。

低閾値機械受容ニューロンは、体表に限局した末梢受容野をもち、そこに非侵害性機械刺激を加えたとき最大に興奮するニューロンで、毛の動きや触刺激に反応する。このニューロンは尾側亜核の大細胞層に分布

し、特異的侵害受容ニューロンの場合と同様な体性機能の局在機能がみられる。すなわち、三叉神経第3枝支配領域に末梢受容野をもつニューロンが大細胞の背内側部、第1枝支配領域にそれをもつものが腹外側部、第2枝支配領域にそれをもつものが両者の中間部に局在していて、吻尾側方向については特異的侵害受容ニューロンでみられたのと同様な玉葱状分節支配がある。このニューロンが局在する尾側亜核の大細胞層から低閾値角膜特異ニューロンが見出された。このニューロンは、眼瞼や眼球周囲の皮膚に末梢受容野をもつ低閾値機械受容ニューロンには含まれていて、大細胞層にみられる体性機能の局在機構の中に包含されているとみられる。すなわち低閾値角膜特異ニューロンが低閾値機械受容ニューロンのカテゴリーに属するとみてよからう。低閾値機械受容ニューロンは侵害受容性入力を受けないので、低閾値角膜特異ニューロンも角膜から侵害受容性入力を受けないとみられる。そのように考えると角膜から痛みと無関係な感覚情報を低閾値角膜特異ニューロンに送る神経線維があるとみられ、角膜の感覚が痛覚のみでないという考えが支持される。

本論文の要旨は第91回日本眼科学会にて口演した。

文 献

- 1) Lele PP, Weddel G: The relationship between neurohistology and corneal sensibility.

- Brain 79: 119—154, 1956.
- 2) **Rozsa AJ, Beuerman RW**: Density and organization of free nerve endings in the corneal epithelium of the rabbit. *Pain* 14: 105—120, 1982.
 - 3) **von Frey M**: Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinnes. *Ber math phys Kl Königl Sachs ges Wissensch (Lpz)*, 46: 185—196, 1984.
 - 4) **Sjöqvist O**: Studies on pain conduction in the trigeminal nerve. A contribution to the surgical treatment of facial pain. *Acta Psychiat Neurol Scand Suppl* 17: 1—139, 1938.
 - 5) **Boberg-Ans J**: Experience in clinical examination of corneal sensitivity. *Brit J Ophthal* 39: 705—726, 1955.
 - 6) **Millodot M**: A review of research on the sensitivity of the cornea. *Ophthalmic Physiol Opt* 4: 305—318, 1984.
 - 7) **Nazarian J, O'Leary DJ**: Corneal sensitivity in myasthenia gravis. *Brit J Ophthalmol* 69: 519—521, 1985.
 - 8) **Beuerman RW, Tanelin DL**: Corneal pain evoked by thermal stimulation. *Pain* 7: 1—14, 1979.
 - 9) **Tanelin DL, Beuerman RW**: Responses of rabbit corneal nociceptors to mechanical and thermal stimulation. *Exp Neurol* 84: 165—178, 1984.
 - 10) **Belmonte C, Giraldez F**: Responses of cat corneal sensory receptors to mechanical and thermal stimulation. *J Physiol (Lond)* 321: 355—368, 1981.
 - 11) **Perkins ES**: Sensory mechanisms and intraocular pressure. *Exp Eye Res* 1: 160—167, 1961.
 - 12) **Mosso JA, Kruger L**: Receptor categories represented in spinal trigeminal nucleus caudalis. *J Neurophysiol* 36: 472—488, 1973.
 - 13) **Nagano S, Meyers JA, Hall RD**: Representation of the cornea in the brainstem of the rat. *Exp Neurol* 49: 653—670, 1975.
 - 14) **Yokota T, Nishikawa N**: Somatotopic organization of trigeminal neurons within caudal medulla oblongata. *Anderson DJ, Matthews B (eds): Pain in the Trigeminal Region. Amsterdam, Elsevier/North Holland Miomedical Press, 243—257, 1977.*
 - 15) **Yokota T, Nishikawa N**: Reappraisal of somatotopic tactile representation within trigeminal subnucleus caudalis. *J Neurophysiol* 43: 700—712, 1980.
 - 16) **Yokota T**: Neural mechanisms of trigeminal pain. *Adv Pain Res Ther* 9: 211—232, 1985.
 - 17) **Panneton WM, Burton H**: Corneal and pericorneal representation within the trigeminal sensory complex in the cat studied with transganglionic transport of horseradish peroxidase. *J Comp Neurol* 199: 327—344, 1981.
 - 18) **Olszewski J**: On the anatomical and functional organization of the spinal trigeminal nucleus. *J Comp Neurol* 92: 401—413, 1950.
 - 19) **Meessen H, Olszewski J**: A Cytoarchitectonic Atlas of the Rhombencephalon of the Rabbit. *Basel, Karger, 1949.*

(第91回日眼総会原著)