

**■S3 群 (脳・知能・人間) - 2 編 (感覚・知覚・認知の基礎)****3 章 触覚と体性感覚**

(執筆者：岩村吉晃) [2008 年 5 月 受領]

**■概要■**

古代ギリシャでは、視、聴、味、嗅、平衡覚 (特殊感覚) 以外の感覚を触覚という語で総称した。このなかには今日の運動感覚や、様々な内臓感覚が含まれていた。その後 19 世紀末に、皮膚表面に与えられた軽い機械的刺激による感覚のみを触覚と呼ぶようになった。これはもともと狭義の触覚である。現代では触覚は体性感覚に含まれる感覚の一つである。体性とは身体を意味するが、内臓感覚は体性感覚には含めない。すなわち皮膚、粘膜、筋、腱、骨膜、関節囊、靭帯などにある受容器の興奮による感覚の総称である。視、聴、味、嗅、平衡覚などの特殊感覚も含めない。体性感覚に関与する受容器をその存在部位により皮膚表在受容器と深部受容器に分ける。これを基に体性感覚を皮膚 (表在) 感覚と深部感覚に分けるが、両者は日常生活では必ずしも分離できない。例えば手指による能動的な探索によって起こる認識過程であるアクティブタッチでは皮膚表在受容器のみならず深部受容器も刺激される。これは広義の触覚の一つである。体性感覚受容器由来の感覚や知覚が成立するのは大脳皮質頭頂葉にある中枢、第一、第二体性感覚野においてであるが、運動感覚については一次運動野、またより複雑な触認識過程には頭頂連合野も関与する。

**【本章の構成】**

本章では解剖学的構成に従って、まず体性感覚の受容器について述べ (3-1, 3-2 節)、自己受容感覚、運動感覚に触れたあと (3-3, 3-4 節)、末梢神経の伝導速度 (3-5 節)、中枢への伝導路と中継核 (3-6 節)、大脳皮質の体性感覚中枢 (3-7 節) について順を追って解説する。

## ■S3 群 - 2 編 - 3 章

### 3-1 皮膚表在感覚

(執筆著：岩村吉寛) [2008年5月 受領]

皮膚感覚は、刺激を単純化して調べると、触圧覚、温覚、冷覚、痛覚の要素的感覚からなる。

#### 3-1-1 感覚点

それぞれの感覚について、周囲より感覚感受性の特に高い部位（感覚点）がある。感覚点の直下あるいは近傍の真皮、皮下組織に存在する受容器の分布密度の違いを反映していると考えられる。

触覚、圧覚の感覚点は、指先や鼻で  $1 \text{ cm}^2$  に 100 以上存在するが、体幹部、四肢近位だと例えば大腿部では 11～13 程度である。温度感覚の感覚点には温点と冷点があり、 $1 \text{ cm}^2$  あたり、冷点は、3～15 個、温点は 1～4 個程度である。痛点は  $1 \text{ cm}^2$  あたり 50～350 個と感覚点のなかで最も多い。触圧点と違い、手指や鼻に劣らず、四肢近位や体幹でも密度が高い。

#### 3-1-2 皮膚表在の受容器

皮膚表在性受容器にはマイスナー小体、メルケル盤、パチニ小体、ルフィニ終末、自由神経終末、毛包受容器、ピンカス小体などがある。皮膚は手掌、足底のように体毛を欠く部位（無毛部）と、そのほかの体部位皮膚（有毛部）とに分けられ、受容器の種類、分布様式が多少異なる。例えば最近、有毛部皮膚に特有の機械受容器が発見されている。これは無髄線維によって支配され、伝導速度が非常に遅い触受容器である。

##### (1) 触圧覚の受容器

触圧覚の受容器には、マイスナー小体、メルケル盤、パチニ小体、ルフィニ終末、自由神経終末、毛包受容器、ピンカス小体などがある。これらは形態学的に同定され、のちに動物あるいはヒトの神経応答記録によって分類された受容ユニットとの対応がついた。生理学的な分類は各ユニットの順応特性によって行われている。

同じ刺激が持続していると、受容器からの神経応答が減ってくる。これを順応という。皮膚の触圧覚受容器は刺激に対する神経応答の順応の速さにより、1) 速い、2) 遅い、の 2 型に分類される。ヒト無毛部皮膚で 4 種の機械受容ユニット (FAI, FAII, SA1, SA11) がその反応特性（順応の速さ）により分類されている。これらのユニットについて受容野の大きさ、分布密度の違いが詳しく調べられている。

##### (2) 温度受容器と痛覚受容器

温度受容器は組織局所の温度とその変化を捉える。温、冷受容器があり共に自由神経終末である。それぞれ最適温度が異なり、温受容器は皮膚温約  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  以上、 $45 \text{ }^\circ\text{C}$  以下で興奮し、冷受容器は  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  以上、 $30 \text{ }^\circ\text{C}$  以下で興奮する。皮膚温約  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  付近では外界温を感じない。この付近の温度を不感温度という。

冷、温受容器が興奮しない  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  以下の低温、あるいは  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  以上の高温では痛覚が起こる。これはそれぞれの温度では痛覚受容器が興奮するためである。熱いものに触れたとき、かえって冷たく感じることもある。これを矛盾冷覚という。実際、冷受容器のなかに、 $45 \text{ }^\circ\text{C}$  以上の温度で興奮するものがある。痛覚には自由神経終末が関与する。

## ■S3 群 - 2 編 - 3 章

---

### 3-2 深部感覚

(執筆著：岩村吉晃) [2008年5月受領]

深部感覚は筋、関節など深部組織に起こる感覚すなわち、筋覚、関節覚などに分類されている。

#### 3-2-1 深部受容器

深部組織にある受容器には (1) 筋紡錘、腱器官, (2) 靭帯や関節嚢などにあるルフィニ終末, ゴルジ終末, パチニ小体などの機械受容器, (3) 自由神経終末などがある。

筋紡錘、腱器官は筋あるいは腱が伸張されると興奮する。筋紡錘は筋の伸展の度合いを伝え筋張力調節に役立ち、また関節の位置の感覚や動きの感覚に貢献する。筋紡錘は振動刺激によく応答する。

筋の血管の周囲や関節嚢には数多くの無髄の自由神経終末がある。これらの線維は約半数が交感神経で、残りは痛みに関係する。

関節の無髄線維のなかには、正常では機械刺激にはなんら応答しないのに、関節が炎症を起こすと痛覚線維となるものが多く存在する。

**■S3 群 - 2 編 - 3 章****3-3 自己受容感覚, 固有感覚**

(執筆者：岩村吉晃) [2008年5月 受領]

深部感覚とほぼ同義の言葉に自己受容感覚あるいは固有感覚がある。自己受容感覚とは自分の起こす身体の動きによって刺激される受容器による感覚という意味である。実際には、自己の動きで刺激されるのは深部受容器に限らず、皮膚受容器も関与する。

## ■S3 群 - 2 編 - 3 章

---

### 3-4 運動感覚

(執筆者：岩村吉晃) [2008年5月 受領]

運動感覚とは、1) 四肢の動きの感覚 (狭義の運動感覚)、2) 関節位置の感覚、3) 重さの感覚、4) 筋の努力感などをいう。これには、深部感覚受容器だけでなく、一部は皮膚受容器も関与している。四肢を動かしたり、手で物をもったりするときには、皮膚や深部の異なった複数の受容器が同時に刺激され、これらの複合的な情報が脳で処理されて運動感覚が生ずると考えられる。手にもった物の重さの感覚や努力感は、中枢からの運動指令の量と、筋受容器からのインパルスの兼合いで決まる。

**■S3 群 - 2 編 - 3 章****3-5 体性感覚を伝える末梢神経の種類と伝導速度**

(執筆者：岩村吉晃) [2008年5月 受領]

体性感覚受容器の興奮を伝える末梢神経は、後根神経節に細胞体のある偽単極型神経細胞の軸索である。有髄と無髄とがある。前者では太い神経ほど伝導速度が速い。動物で測定した触覚、振動覚、深部覚の各受容器からの神経は太い有髄線維 ( $A\alpha$ ,  $A\beta$ , 直径  $10\sim 20\ \mu\text{m}$ , 伝導速度  $60\sim 120\ \text{m/sec}$ ) であり、温度覚、痛覚受容器からの神経は細い有髄線維 ( $A\delta$ , 直径  $5\ \mu\text{m}$  以下, 伝導速度  $30\ \text{m/sec}$  以下), または無髄線維 ( $C$  直径  $1.5\ \mu\text{m}$  以下, 伝導速度  $2\ \text{m/sec}$  以下) である。表面電極を用いて測定したヒトの正中神経では,  $A$  線維の伝導速度は  $40\sim 70\ \text{m/sec}$  である。これはほかの温血動物で測定した値より遅い。年齢により異なり, 測定時, 神経周囲組織の温度の影響を受ける。

## ■S3 群 - 2 編 - 3 章

### 3-6 体性感覚の伝導路

(執筆著：岩村吉寛) [2008年5月受領]

末梢神経は後根となって脊髄に入り、大脳皮質へ向かって上行する。伝導路の途中の中継核でニューロンが交代するたびに神経要素の数が増える。また中継核では、入力どうしの干渉、あるいは皮質からの下降性干渉による信号の修飾や選択が行われる。

#### 3-6-1 後索

触圧覚、振動覚、深部感覚を伝える。脊髄に入ったあとそのまま同側の後索を上行し、延髄の後索核にてニューロンを換え、交差して内側毛帯となり、視床腹側後外側核に終わる。そこで再びニューロンを換え、大脳皮質体性感覚野に投射する。

#### 3-6-2 脊髄視床路

温度覚、痛覚、一部の触覚を伝える。脊髄に入った後、後角でニューロンを換え、その後交差して反対側の前側索を上行して、1) 視床腹側後外側核、2) 後核群、3) 髄板内核群などに終わる(図7-6)。視床からの投射先は、1) は体性感覚野、2) は体性感覚野と頭頂連合野の一部、3) は体性感覚野、運動野、前帯状回、ほかの視床核などである。

#### 3-6-3 三叉神経伝導路

顔面、口腔、舌の感覚は三叉神経により伝えられる。三叉神経核は、中脳路核、主知覚核、脊髄路核に分かれる。中脳路核は筋紡錘そのほかの深部感覚を伝え、主知覚核は後索核に相当し判別性のよい触覚を伝え、ともに視床腹側後内側核に投射する。脊髄路核は脊髄後角に相当し、温度覚、痛覚を伝え、視床腹側後内側核や髄板内核群などに投射する。

#### 3-6-4 その他の体性感覚伝導路

体性感覚情報は脳皮質以外にも脳のいろいろな部位に投射する。脊髄小脳路は深部感覚を脊髄から直接小脳に伝え、姿勢や運動の調節に役立つ。脊髄網様体路は、触覚、痛覚、温度覚などを脳幹網様体に送り、睡眠、覚醒など意識水準の維持、調節、姿勢の維持や歩行など自動運動の調節にかかわる。痛覚は脳幹から視床下部へ、あるいは視床を経て辺縁皮質に到達する。これらの部位は意識や情動に深くかかわっていて、怒り、恐れなど情動行動の引き金となり、自律系の活動に大きな影響を及ぼす。

## ■S3 群 - 2 編 - 3 章

### 3-7 体性感覚中枢

(執筆者：岩村吉兎) [2008年5月 受領]

大脳皮質の体性感覚中枢は二つあり，第一，第二体性感覚野と呼ばれる．第一体性感覚野 (SI) は中心後回にあり，ブロードマンの3 (3a, 3b)，1, 2野からなる．SIの前方には運動野 (4野)，後方には頭頂連合野 (5, 7野) がある．第二体性感覚野 SII は頭頂弁蓋の内壁にあり，7野，島，島後部などに囲まれている．

#### 3-7-1 第一体性感覚野

##### (1) 体部位局的再現

第一体性感覚野には，対側体部位が投射する．前頭断面で外側から内側に向かって，顔面，手，前腕，上腕，体幹，大腿，下腿，足の順に各体部位の局的再現が見られる．顔面や手足の部位が広い．

##### (2) 機能円柱仮説

体性感覚野では皮質表面に垂直方向に電極を刺すと記録されるニューロンの受容野が同じか，類似していることが多い．これは視床から皮質への入力線維が垂直方向に伸びているからである．脳皮質表面に垂直方向に機能単位の存在を仮定することを円柱またはコラム仮説という．

##### (3) 階層的並びに並列的情報処理

無麻酔サルの手指領域の単一ニューロン活動記録によると，3a野は主として関節や筋など深部受容器から，3b野は皮膚受容器から投射を受ける．それぞれの部位で個々のニューロンは皮膚または深部刺激のいずれかのみに応答し，その受容野は1本の指に限局して細かい．1野や2野では受容野が2本以上の指や，手全体を覆う大きなものが増える．皮膚と深部の両方の刺激に応答するニューロンも存在する．異なる受容器からの情報が統合されていると考えられる．また皮膚の大きい受容野にはいろいろなかたちのものがある．これらは手指皮膚と触対象の接触の場，すなわち機能面を提供すると考えられる．

##### (4) 特徴抽出ニューロン

2野やその後方の5野には，体部位への単純な接触刺激よりは，触刺激の動きの有無，その方向，あるいは接触した物体の静的な性質，例えば角の存在，形態，材質などの特徴によりよく応答するニューロン，サルが自ら手で握った物体の形の識別に関係する特徴抽出ニューロンなどがある．

##### (5) 両側から入力を受けるニューロン

上述したように，第一体性感覚野には対側体部位が投射するのが原則である．しかし，2野や5野には両側から入力を受けるニューロンがある．同側からの入力は反対側の半球から脳梁を介して伝えられると考えられる．これも階層的情報処理の一つの表れである．

##### (6) 第一体性感覚野の破壊症状

出血や梗塞が第一体性感覚野に限局して起こった場合，一時的に反対側の対部位に感覚障害が起こるが，やがて回復する．損傷は範囲が広い手指領域を含んで起こることが多いが，その場合には手指使用の障害が起こる．すなわち手による物体の触識別が困難となり，また，

手による道具使用が拙劣になる。この症状は運動麻痺ではなく Liepmann により指節運動失行と名づけられた。

### 3-7-2 第二体性感覚野

第二体性感覚野は第一体性感覚野の下方に続く皮質領域であるが、解剖学的に第一体性感覚野とは独立した領域である。

#### (1) 第二体性感覚野への入力

第二体性感覚野への主要な入力は、同側の第一体性感覚野との皮質結合である。このほかに対側の第二体性感覚野からも入力があり、視床からの投射もある。

#### (2) 体部位局在

入力から推測できるように、第二体性感覚野では体部位局在が明確でない。すなわち、手と足の領域が近接しており、対側だけでなく同側からの投射も見られる。

#### (3) 第二体性感覚野の区分

ヒトやサルで SII は二つないし四つの領域に分けられるという。それぞれに独立した体部位再現地図が描かれるとされる。

#### (4) SII は SI より上位の中樞か

サルでは第二体性感覚野が第一体性感覚野から皮質結合による線維投射を受けることから、第二体性感覚野が階層的により上位に位置することが想定される。誘発脳磁図の潜時の比較からも、またニューロンの性質の違いもこれを考えさせる。しかしウサギやネコでは視床からの投射が平行しており、また SI 破壊後も SII の活動がなくなることから、これらの動物では両者の間の階層的上下関係が薄いことが指摘されている。

#### (5) SII の機能

- ① 選択的注意：SII ニューロンは、サルが触対象に注意を向けたときに刺激に対して選択的に活動が上昇するものがある。SI にもこのようなニューロンがあるが、数は SII のほうが多い。
- ② 意思決定：SII ニューロンのなかには、サルに二つの振動刺激を比較させ、周波数の高いものを選ぶタスクで、選択の意思決定時に特異的に活動が上昇するものがある。
- ③ 自己受容感覚の処理：サルの SII では、中心領域は皮膚入力だけを受けているがほかの領域は自己受容感覚入力も受容する。区分によって入力の性質に関連する機能の違いがあるのではないかと指摘がある。ヒトでは左側の SII が自己受容感覚処理にかかわるという。
- ④ 痛覚：SII に痛覚の投射があることは知られていた。最近の fMRI 実験によるとヒトでは痛覚による活動は、より後方に偏っている。この活動も識別的であって、情動にかかわるものではないという。

**■S3 群 - 2 編 - 3 章****3-8 アクティブタッチ**

(執筆著：岩村吉晃) [2008年5月 受領]

アクティブタッチとは自発的に行う（随意的な）接触の行為である。アクティブタッチにより身体周囲の環境を探索し、物体の表面の性状、形、重さなどを効率よく知ることができる。通常は手で行われるがほかの体部位でも可能である。手には高密度の触受容器が存在し、手首や5本の指を随意的に動かす機構が備わっている。手の動きによって、皮膚表面の受容器だけでなく、深部にあるいわゆる固有感覚の受容器からの情報も脳に伝えられる。

Katz (1925) と Gibson (1962) がアクティブタッチの重要性を強調して以来、多くの研究が行われ、アクティブタッチとパッシブタッチの違いが調べられた。皮膚からの情報にのみ依存したタスクで調べると両者には違いが見られない。アクティブタッチは随意運動であるから、運動指令が働いて対象物体への注意を高め、探索運動の速さを自在にコントロールして重要な情報を得ることができる利点がある。

**■参考文献■**

- 1) 岩村吉晃, "タッチ," 医学書院, 東京, 2001.