

消化管の神経支配

Innervation of the Gastrointestinal Tract

岡田祐美 Okada Yumi

(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科ライフサイエンス専攻)

1. はじめに

個体が体外から刺激(化学刺激, 機械刺激)を感覚系で受容すると, その情報は, 神経系を介して運動系に伝えられ個体から出力(筋収縮, 分泌など)が得られる. このように神経系は感覚系と運動系をつなぐ伝導路(末梢神経系)である. 個体を構成する細胞数が増えてくると, 伝導路に加えて, 伝導路からの膨大な入力信号を分析統合する中枢神経系が現れる. 末梢神経のうち, 中枢神経に入力信号を伝える神経を求心性神経, 中枢神経からの出力信号を伝える神経を遠心性神経と呼び, 両者の間に情報処理・統合の役割を担うのが介在神経(中枢神経)である.

普段, 意識することのない, 不随意運動である消化管の機能(運動・分泌)も神経が情報の傳達・分析処理をして制御している. 神経による入力から自律神経のみからくる内臓器官(心臓, 肺, 膀胱など)とは異なり, 消化管は外来性の自律神経と消化管壁内在神経との二重の支配を受けている. しかし, 自律神経を切断し中枢神経との連絡を絶っても, 消化管壁内在神経によって, 消化管の機能の多くは維持される. つまり, 腸壁内在神経は中枢神経の役割(情報の分析処理機能)も果たしている.

本稿では, 独自の神経系により主に制御されている消化管の神経支配について, 他の内臓器官の神経支配と比較しながら解説する.

2. 内臓器官の神経支配

一般に, 内臓器官の平滑筋, 腺(平滑筋)に神経線維を伸ばしている副交感神経が亢進すると, 平滑筋の収縮, 括約筋の弛緩などにより蠕動運動, 分泌が活発になる. 一方, 内臓器官平滑筋と血管に神経線維を伸ばしている交感神経が亢進すると, 平滑筋の弛緩, 括約筋の収縮などにより蠕動運動, 分泌は抑制され, 血管は収縮する(Fig. 1). 副交感神経は内臓器官の運動と分泌を, 交感神経は栄養機能を司っている.

副交感神経は脳幹から, 交感神経は脊髄から出力しているが, 間脳の一部である視床下部は, この脳幹と脊髄と連絡しており, 脳幹, 脊髄による自律神経調節過程を統合している. 視床下部はさらに大脳辺縁系からの調節を受けている.

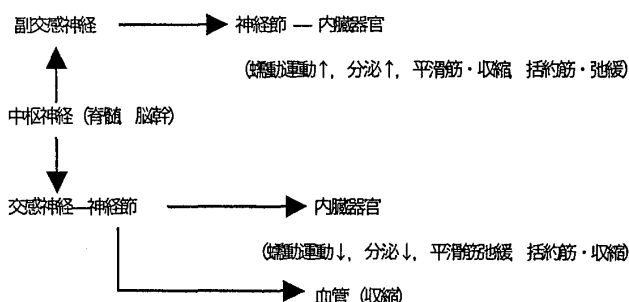


Fig. 1 Innervation of viscera from CNS and ANS

3. 消化管の神経支配

消化管は, 消化管壁内に自己を制御する中枢を持っている.

副交感・交感神経が平滑筋や血管を直接支配する他の内臓器官と異なり, 消化管に到達している自律神経(副交感節前線維と交感節後神経)の大部分は腸神経系内の神経とシナプスを形成しており, 副交感・交感神経は間接的に消化管の機能を調節している.

(1) 中枢神経系と腸神経系

神経系は, 中央情報処理装置としての中枢神経系CNS (central nervous system) とその入出力を担う末梢神経系PNS (peripheral nervous system) から構成される. 前者は, 脳と脊髄. 後者は12対の脳神経と31対の脊髄神経から成る. 末梢神経系のうち, 随意運動(骨格筋)や体性感覚を司る神経系を体性(動物)神経系SCN (somatic nervous system), 不随意運動(平滑筋, 心筋, 腺)や内臓感覚を司る神経系を自律(植物)神経系ANS (autonomic nervous system) といい, 消化管壁内にある消化管壁内在神経叢を特に腸神経系ENS (enteric nervous system) ともいう. 腸神経系は, 消化管の運動を制御する筋層間神経叢MP (Myenteric Plexus) と消化管のイオン・水の輸送, 腺分泌を制御する粘膜下神経叢SP (Submucosal plexus) からなる. 筋層間神経叢と粘膜下神経叢にそれぞれ存在する内臓一次求心性神経PAN (intrinsic primary afferent neuron) は, 粘膜と筋層間神経中の介在神経をつないでおり, 粘膜からの情報は, IPANを通して筋層間神経中の介在神経, 両神経叢中の遠心性神経, 効果器と傳わり出力が得られる. この両神経叢の関係は末梢神経系の感覚神経・運動神経と中枢神経系の介在神経とで連絡されている中枢神経系と末梢神経系の関係と類似している(Fig. 2).

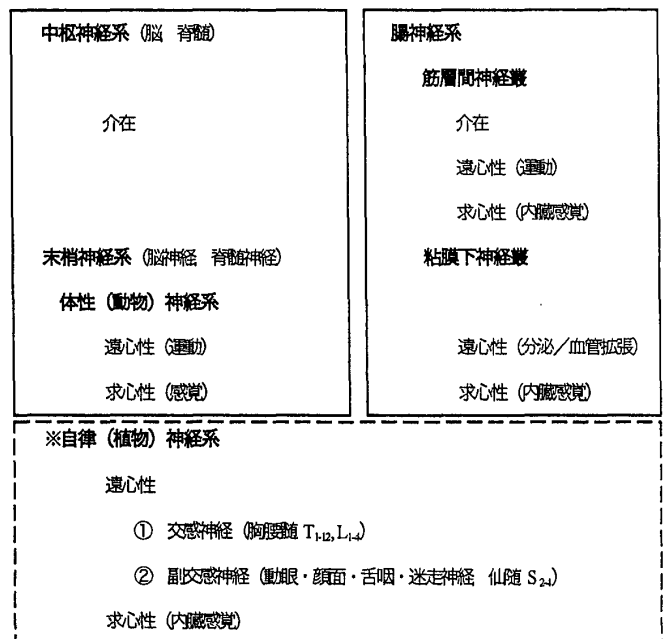


Fig. 2 Classification of nervous systems

(2) 腸神経系—介在神経と遠心性神経

自律的に消化管の機能を制御している腸神経系の機能と腸神経系を構成する2つの神経叢の関係を見てみたい。

神経系の分類 (Fig. 2) でも少し触れたように、腸神経系では、筋層間神経叢が中枢神経系 (情報処理・統合)、粘膜下神経叢が末梢神経系 (情報傳達) のような役割を果たしている。

腸神経系に粘膜からの情報入力があると、その情報は筋層間神経叢と粘膜下神経叢にある一次求心性神経から筋層間神経叢の介在神経に傳わり、介在神経から運動神経、そして効果器 (筋肉、腺、血管) に傳わり、筋収縮や分泌といった出力が起る。すなわち、消化管内で情報の入力から出力までを完結することができる。分泌に関しては、一次求心性神経内の軸索反射axon reflexが知られている (Fig. 3)

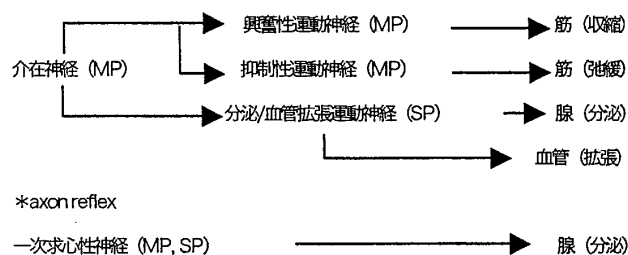


Fig. 3 Innervation of Gastrointestinal tract from ENS

(3) 外来自律神経と消化管壁内在神経 (腸神経系)

本節の最後に消化管機能を制御している自律神経と腸神経の関係を紹介する (Fig. 3).

① 副交感神経 (迷走神経)

胃腸管を支配する副交感神経の細胞体は中脳・迷走神経背側核と擬核にある。副交感神経節前線維は主に筋層間神経叢の興奮性運動神経excitatory motoneuronや粘膜下神経叢の分泌運動神経secretomotor neuronとシナプスを形成して、効果器 (筋、腺) を興奮性に支配する。この他にも、筋層間神経叢の抑制性運動神経inhibitory motoneuronを介する抑制性の支配も知られている。

② 交感神経節後神経 (T_{6,11}, L_{1,4})

胃腸管を支配する交感神経の細胞体は胸腰髄 (T_{6,11}, L_{1,4}) の分節にあり、腹腔神経節、上・下腸間膜神経節で、節後神経とシナプスを形成し、シナプスを介して情報を受け取った節後交感神経線維が消化管に到達する。交感神経節後神経は、主に筋層間神経叢の興奮性神経や、粘膜下神経叢の分泌運動神経を抑制することで効果器を抑制性に支配している。また、ごく一部の神経線維は血管や腺を直接支配している。

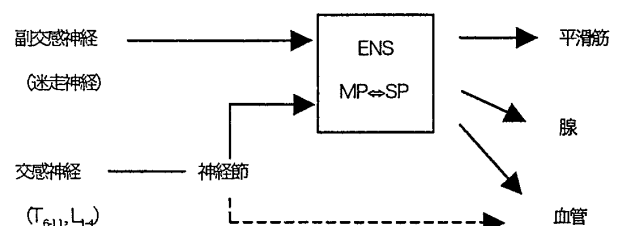


Fig. 4 Innervation of Gastrointestinal tract from ANS and ENS

4. 植物神経系の起源

これまでは、消化管を拮抗して支配する神経として、副交感神経と交感神経について触れてきたが、本節では両者の本来の役割、腸神経系との関係について述べる。

自律神経系は、系統発生的に「古い」腸管の壁と「新しい」血管流域の2箇所から個別に発生し、前者・ENSから副交感神経が、後者・血管神経系から交感神経が新生したという説がある。ENSの原形は前口動物と後口動物に分岐した腔腸動物 (ヒドラなど) に見られ (7億年前)、交感神経幹の出現は脊椎動物の出現時期 (5億年前) に等しい。

脊椎動物の発生初期に確立する3つの胚葉 (外・中・内胚葉) のうち、外胚葉の中央が咽厚し、神経管 (neural tube) を形成するが、中枢神経はこの神経管に由来する。一方、自律神経は神経管背側より発生する神経堤 (neural crest) が移動して出来るが、この神経堤細胞は、初期の脊椎動物である円口類 (ヤツメウナギなど) から見られ、円口類より進化した板鰓類 (サメなど) から、交感神経幹が見られる。板鰓類において末梢神経系の基本的形態が完成する。

さらに、神経節の位置 (副交感神経: 効果器近傍、交感神経: 脊髄近傍) や分節の有無 (副交感神経: 無、交感神経: 有) から、副交感神経は独立した原始的な神経で、交感神経は中枢神経からの影響が強い神経であるという見方も出来る。

5. おわりに

一般に、内臓器官の動きは交感神経と副交感神経の拮抗的な働きにより制御されていると言うが、交感神経を全部切除したイヌを長く生かすことができたという報告もあり、内臓器官の基本的な統率は副交感神経系によって営まれている。しかし、副交感神経だけでは、静かな平穏な環境だけでしか生きられず、副交感神経の働きを高めたり低めたりする交感神経の働きが環境に適応していくためには必要である。

消化管機能の制御についても、副交感神経の起源ともいわれる腸神経の働きが基調となり交感神経と協調しながら、中枢神経系からある程度独立して、自律的に消化管機能を制御している。

〈参考文献〉

- John B. Furness, 'Types of neurons in the enteric nervous system', *J. Autonorm. Nerv. Syst.*, **81**, 87-96 (2000).
- Satoshi Mihara, 'Intracellular recordings from neurons of the submucous plexus', *Prog. Neurobiol.*, **40**, 529-572 (1993).
- John B. Furness, 'The organization of the autonomic nervous system: Peripheral connections', *Autonom. Neurosci.*, **130**, 1-5 (2006).
- Alexander Pattyn et al, 'The homeobox gene Phox2b is essential for the development of autonomic neural crest derivatives', *Nature*, **399**, 366-370 (1999).
- John B. Furness, Marcello Costa, 'The Enteric Nervous System', Churchill Livingstone, 1987.
- 三木成夫, 「植物神経の Phylogenie-をよめる副交感神経と交感神経の起源-」, 『生命形態の自然誌』, 第一巻 解剖学論集 354-359 (1989).