

小児における脳機能発達の神経基盤

Neural basis of brain development in children

篠原 尚美*

慶應保健研究, 41(1), 077-079, 2023

要旨: ヒトの脳機能の発達が特に顕著なのは、小児期であると考えられる。脳は環境や経験に依存して、シナプスの形成・刈り込みを経て複雑で巨大な神経ネットワークを構築することで、様々な機能を獲得していく。シナプスの刈り込みや髄鞘化が起こる時期は脳の部位によって異なり、高次の認知機能を担う前頭前野では最も遅い。この順序はヒトの行動学的な発達段階を説明する。

脳が発達する過程において環境の影響を特に受けやすい時期を、脳の感受性期と呼ぶ。感受性期は視覚系や言語など、一部の脳機能で明らかになっている。ただし、発達途上にある小児の脳は可塑性も残されていると考えられる。

小児における脳機能の発達は、神経発達症の病態とも関連する。注意欠如・多動症は、前頭葉機能の中の行動抑制と実行機能の障害であると想定されている。現在では、機能的磁気共鳴画像や近赤外分光法などの非侵襲的手法により、一部の神経発達症においては前頭前野機能が顕著に障害されていることが示されている。

keywords: 脳機能発達, シナプス刈り込み, 感受性期, 前頭前野, 注意欠如・多動症
Brain development, Synaptic pruning, Sensitive period, Prefrontal cortex, Attention-deficit/hyperactivity disorder

はじめに

胎児期から成人期に至るまで、ヒトの脳は成長・発達する。脳機能の発達が顕著なのは小児期であると考えられる。持って生まれた特性もあるが、それ以上に多くの環境の影響を強く受けながら、子どもは脳と心を発達させていく。

小児の脳機能の発達は、近年増加の一途をたどり、様々な場面においてクローズアップされている神経発達症（発達障害）の問題とも関連する。神経発達症は、脳の前頭葉、特に前頭前野の機能障害であることが想定されている。文部科学省の調査では、全国の小中学生の8.8%に神経発達症の可能性があると報告されている¹⁾。

本稿では、小児における脳機能発達の神経基盤を述べた後、その感受性期や神経発達症との関連について触れる。

脳機能発達の神経基盤

1. 脳の機能局在と神経ネットワーク

脳の機能が発達するとは、生物学的にはどのようなことをあらわすのであろうか。脳の基本構成単位であるニューロン（神経細胞）は、核のある細胞体、軸索、樹状突起などから成る。軸索と樹状突起はまとめて神経突起とも呼ばれ、これらの突起を介してニューロンは他のニューロンへと情報を伝達する。

*慶應義塾大学保健管理センター
(著者連絡先) 篠原 尚美 〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉4-1-1

ニューロン間の近接部位をシナプスという。シナプスでは、電気信号を神経伝達物質と呼ばれる化学物質の信号に変えて、それを放出することで、次のニューロンへ情報を伝達していく。

従来、ヒトの脳においては、前頭葉は高次の認知に関する機能、頭頂葉は体性感覚に関する機能、後頭葉は視覚に関する機能、側頭葉は聴覚に関する機能など、各領域がそれぞれ異なる機能を司るとする機能局在という考え方がとられてきた。近年、脳の各領域は、ニューロン同士がつながり複雑で巨大なネットワークを形成することにより、関連し合っ

2. シナプスの形成・刈り込み

脳の神経ネットワークは、出生から生後1年にかけて大きく変化する。出生後、シナプスは急激に増加し、いったん過剰に形成される。その後、環境や経験に依存して必要なシナプスは強められて残り、不要なシナプスは除去されて、その数は減少に転じる。この現象を、シナプスの刈り込みという。

シナプスの刈り込みが起こる時期は、脳の部位によって異なり、視覚野や聴覚野などの一次感覚野は早く、運動野や連合野がそれに続き、前頭前野は最も遅い。例えば、後頭葉にある視覚野では、シナプスの密度は生後4か月頃にピークを迎え、生後8か月頃から刈り込みが始まり、7～8歳には成人のレベルとなる。一方、前頭葉にある高次の認知機能を担う前頭前野においては、シナプスの密度がピークに達するのは4歳頃である。シナプスの刈り込みは緩徐に進んだ後、14～16歳頃に急激に進行し、成熟するのは青年期である²⁾。

3. 髄鞘化

前述のように、ニューロンは軸索を通じて次のニューロンに情報を電氣的に伝達する。髄鞘化とは、軸索が髄鞘と呼ばれる脂質に富んだ構造物で何層にも包まれることをいう。髄鞘は絶縁体であり、この絶縁体を電気信号が跳躍して伝わることで、情報を伝達する速度は飛躍的に向上する。出生時には髄鞘化された軸索をもつニューロンは一部であり、その後急速に髄鞘化が進む。乳児期から幼児期にかけて情報処理速度が急速に増すのは、この髄鞘化による。

髄鞘化が起こる時期は脳の部位によって異なり、その発達が青年期に至るまで続く領域もある。生命維持に必要な脳の部位の髄鞘化は早く、それに比較して前頭前野などの大脳皮質では遅い。出生後のシナプスの変化と同様に順序があり、これはヒトの行動学的な発達段階を説明する。ただし、刈り込みが起こるシナプスとは異なり、髄鞘化は年齢とともに進み、20歳頃までに成人のレベルに達する。髄鞘化は、磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging : MRI) でも明瞭に示される³⁾。

脳発達の感受性期

脳が発達する過程においては、環境の影響を特に受けやすい時期がある。これを、脳の感受性期 (臨界期) と呼ぶ。感受性期は、視覚系や言語など、一部の脳機能で明らかになっている。例えば、一時的に片眼を遮蔽した仔ネコでは視覚伝導路の変容を認めるが、この現象は生後の一定の時期にしか起こらない⁴⁾。ヒトでも、両眼視機能の発達に感受性期があることは、乳幼児期に眼疾患に罹患し一時的に片眼に眼帯をかけていた小児例から報告されている⁵⁾。

ヒトでは、心の発達にかかわる問題の多くが思春期開始から青年期までの期間に集中して顕在化することが知られている。これは、同時期に起こるシナプスの刈り込み、髄鞘化などの神

経生物学的変化やホルモン分泌の変化による影響と考えられ⁶⁾, 脳の感受性との関連が示唆される。また, 幼少期の不適切な養育環境が脳の発達に悪影響を与え, 思春期以降に多様な精神疾患として顕在化しやすくなることも推察されている⁷⁾。一方で, 発達途上にある小児の脳は, 環境や対応を変えることで改善される可塑性も残されていると考えられている。

前頭前野機能と神経発達症

脳の前方にある前頭葉の前頭前野は, ヒトにおいては大脳皮質の約30%を占める広範な領域である。前頭前野は, 記憶や感情の制御, 行動の抑制など, 様々な高次の精神活動を司っている。

前頭前野は, 神経発達症(発達障害)の病態に関連していることが推察されている。神経発達症は, 脳機能の障害により発達早期からコミュニケーションや社会性, あるいは行動上の問題をきたすと考えられている。神経発達症の代表的なものには, 自閉スペクトラム症(autism spectrum disorder: ASD), 注意欠如・多動症(attention-deficit/hyperactivity disorder: ADHD), 限局性学習症(specific learning disorder: SLD)があり, これらを併せ持つ場合もある。ASD, ADHDは, 社会性や注意・衝動性の制御に問題を抱えており, 社会適応に困難をきたしやすい。ADHDの基本的な障害は, 前頭葉機能の中の行動抑制と実行機能の障害であると想定されている⁸⁾。実行機能とは, 何らかの目的を達成する際に行動を制御する能力をいう。ASD, ADHDなどの神経発達症においては, 現在では, 機能的磁気共鳴画像(functional magnetic resonance imaging: fMRI)や近赤外分光法(near-infrared spectroscopy: NIRS)などの非侵襲的手法により, 前頭前野機能が顕著に障害されていることが示されている。

おわりに

小児における脳機能発達の神経基盤を, 脳の

感受性期, 神経発達症との関連も含めて概観した。現代を生きる子どもたちを取り巻く環境は, 複雑化, 多様化している。加えて, 新型コロナウイルス感染症の流行により, 人々の生活は一変した。これらの影響をより強く受けると思われるのは, 発達途上にある小児である。子どもたちの脳と心の健やかな発達に向けて, 今後もさらなる知見の蓄積が必要と考える。

文献

- 1) 文部科学省. 通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について.
https://www.mext.go.jp/content/20221208-mext-tokubetu01-000026255_01.pdf (cited 2023-02-06).
- 2) Huttenlocher PR, Dabholkar AS. Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *J Comp Neurol* 1997; 387(2): 167-178.
- 3) Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, et al. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat Neurosci* 1999; 2(10): 861-863.
- 4) Hubel DH, Wiesel TN. Early exploration of the visual cortex. *Neuron* 1998; 20(3): 401-412.
- 5) 粟屋忍. 形態覚遮断弱視. *日本眼科学会雑誌* 1987; 91(5): 519-544.
- 6) Lee FS, Heimer H, Giedd JN, et al. Adolescent mental health-opportunity and obligation. *Science* 2014; 346(6209): 547-549.
- 7) Teicher MH, Anderson CM, Polcari A. Childhood maltreatment is associated with reduced volume in the hippocampal subfields CA3, dentate gyrus, and subiculum. *Proc Natl Acad Sci USA* 2012; 109(9): E563-E572.
- 8) Barkley RA. Attention-deficit/hyperactivity disorder, self-regulation, and time: toward a more comprehensive theory. *J Dev Behav Pediatr* 1997; 18(4): 271-279.