

点字読の神経機構

北田 亮 定藤規弘

はじめに

点字とは日本語や英語などの言語を、視覚障害者が触覚でも判読できるように置き換えた文字である。本稿では点字読の行動的な特徴とその神経機構について解説する。

●点字と指の空間弁別能

点字は縦3点、横2列の6個の凸型のパターンを単位(セル)とし、そのパターンの羅列で単語や文章が構成される。2点弁別閾や方位弁別閾で調べた指先の空間弁別能(spatial acuity)は1~2 mmであり、点字使用者の指先の空間弁別能は一般の晴眼者のそれに比べて高いといわれている¹⁾。この原因は視覚障害によるものか、点字読の長期的訓練によるものなのかについては議論が続いている²⁾。セル内の点同士の距離は2 mmより大きいので、晴眼者の指の空間弁別能は点字読に十分に思えるが、実際の触読は難しく、実質的な空間弁別能は低いと考えられる³⁾。

●晴眼者の点字触読に関わる神経基盤

点字を読むには、皮膚が得た刺激パターンから空間特徴を抽出し、文字として認識する必要がある。機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて、晴眼者の点字弁別課題時の脳活動を安静時のそれと比較すると、体性感覚野、後頭頂葉、後頭-側頭領域を含む広範な脳部位の活動が見られた⁴⁾。後頭頂葉はテクスチャに比べて方位を分類する課題で強く活動することから、空間情報の抽出に重要と考えられる⁵⁾。後頭-側頭領域の高次視覚野には文字や形状の認識に関わる部位が存在するが、麻雀牌を触覚で弁別する時にも活動する⁶⁾。高次視覚野は触覚による物体の認識時にも活動するため⁷⁾、点状パターンから文字を認識する過程に重要な役割を果たす可能性がある。

●視覚障害者の点字触読に関わる神経基盤

点字を識別するための神経基盤は、晴眼者と早期失明者の間で異同がある。早期失明者が点字の判読および弁別課題を遂行する際には上記の神経基盤に加えて、一次視覚野が活動する^{4,8)}。さらに低次視覚野の上に当たる中後頭に対し反復性経頭蓋磁気刺激(rTMS)を行うと、視覚障害者では行動成績が下がったが、晴眼者の場合にはそのような干渉が生じなかった⁹⁾。この結果は、視覚障害者の低次視覚野は点字の判読に対して本質的な役割を果たすことを示している。定藤らはさらにこの可塑的な変化の臨界期を明らかにするため、失明年齢の異なる視覚障害者が点字の弁別を行った時の脳活動を測定した⁴⁾。点字弁別時の活動を安静時のそれと比較した結果、一次視覚野付近の活動は失明年齢が16歳を下回るときにのみ観察された。この結果は一次視覚野の可塑的な変化の臨界期が16歳前後に現れることを示唆している。

視覚障害者の脳において、触覚が抽出した情報はどのように体性感覚野から一次視覚野へ到達するのだろうか。藤井らは点字弁別時に賦活した体性感覚野、後頭回、頭頂間溝、一次視覚野の領域間結合を調べた¹⁰⁾。その結果、視覚障害者の体性感覚野と一次視覚野は、頭頂間溝や後頭回を経由して正の結合をしているが、晴眼者では負の結合をしていることが明らかになった。さらに早期失明者では中途失明者に比べて、一次視覚野、後頭回、頭頂間溝の間の結合が高いことがわかった。この結果は視覚障害者の場合、体性感覚野の情報が後頭頂葉、高次視覚野を経由して一次視覚野に到達することを示唆している。さらに視覚障害者で一次視覚野の活動が観察されるのは、後頭頂葉と後頭葉の活動が互いに促進しあうことが原因であると解釈できる。

●長期的訓練の効果

点字触読時における視覚障害者と晴眼者の脳活動パターン

ンの違いは、早期の失明による視覚野の可塑的变化が原因であると考えられるが¹¹⁾、視覚障害者が点字触読のために長期的な訓練を積んでいることが原因であるかもしれない。齋藤らは晴眼者の麻雀の玄人と素人が牌に刻まれた形状を触って弁別したときの脳活動を比較したところ、玄人の一次視覚野は素人のそれより強い活動を示した⁶⁾。さらに晴眼者を対象に点字触読訓練を9ヵ月間行った縦断的研究では、文字の認識に関わる後頭-側頭領域の活動が、訓練前に比べて訓練後に強くなった¹²⁾。これらの結果は、視覚障害者と晴眼者の点字触読時の活動の違いの一部は、長期的訓練が原因であることを示唆している。

●まとめと今後の展望

本稿では視覚障害者の点字の触読には一次視覚野を含めた多様な脳部位が関わることを解説した。今後の研究で各脳部位や領域間結合の役割をより詳細に調べる必要があるだろう。点字の学習は難しく、視覚障害者のうち点字の識字率は国内では1割程度と報告されている¹³⁾。そのため、触読学習を効果的に行う手法の開発とその神経科学的評価が今後重要になると考えられる。

文献

1. Van Boven RW, Hamilton RH, Kauffman T, et al. Tactile spatial resolution in blind braille readers. *Neurology*. 2000 ; 54 : 2230-6.
2. Wong M, Vishi G, Goldreich D. Tactile spatial acuity enhancement in blindness : evidence for experience-dependent mechanisms. *J Neurosci*. 2011 ; 31 : 7028-37.
3. Loomis JM, Klatzky RL, Giudice NA. Sensory substitution of vision : importance of perceptual and cognitive processing. In : Manduchi R, Kurniawan S, editors. *Assistive technology for blindness and low vision*. Boca Raton : CRC Press ; 2012. p.162-91.
4. Sadato N, Okada T, Honda M, et al. Critical period for cross-modal plasticity in blind humans : a functional MRI study. *Neuroimage*. 2002 ; 16 : 389-400.
5. Kitada R, Kito T, Saito DN, et al. Multisensory activation of the intraparietal area when classifying grating orientation : a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci*. 2006 ; 26 : 7491-501.
6. Saito DN, Okada T, Honda M, et al. Practice makes perfect : the neural substrates of tactile discrimination by Mah-Jong experts include the primary visual cortex. *BMC Neurosci*. 2006 ; 7 : 79.
7. Kitada R. The brain network for haptic object recognition. In : Kajimoto H, Saga S, Konyo M, editors. *Pervasive haptics*. Tokyo : Springer Japan ; 2016. p.22-37.
8. Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, et al. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*. 1996 ; 380 : 526-8.
9. Cohen LG, Celnik P, Pascual-Leone A, et al. Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*. 1997 ; 389 : 180-3.
10. Fujii T, Tanabe HC, Kochiyama T, et al. An investigation of cross-modal plasticity of effective connectivity in the blind by dynamic causal modeling of functional MRI data. *Neurosci Res*. 2009 ; 65 : 175-86.
11. 北田 亮. 視覚障害者の視覚野応答. *Clin Neurosci*. 2012 ; 30 : 593-4.
12. Siuda-Krzywicka K, Bola Ł, Paplińska M, et al. Massive cortical reorganization in sighted Braille readers. *Elife*. 2016 ; 5 : e10762.
13. 平成 18 年身体障害児・者実態調査. 厚生労働省.