

視覚運動処理における抑制メカニズムの初期発達過程 (中間報告)

中央大学研究開発機構・日本学術振興会特別研究員 中 島 悠 介

Development of the suppressive mechanism in visual motion processing

Research and Development Initiative, Chuo University, NAKASHIMA, Yusuke

要 約

視覚運動刺激を知覚する際、刺激サイズが大きくなるほど運動方向を知覚するのが困難になる。これは周辺抑制という視覚神経細胞の受容野メカニズムを反映した現象であると考えられている。生後6ヶ月未満の乳児では、成人とは逆に刺激サイズが大きいかほど運動知覚が向上することから、生後半年頃までこの周辺抑制は未発達であることが示されている。本研究では、周辺抑制の発達の神経基盤を検討するために、大小の運動刺激を知覚している際の乳児の脳波を測定する。周辺抑制現象にはMT野と初期視覚野が関与していることが示唆されているが、どちらが決定的に関わっているかはまだ議論がある。したがって、周辺抑制の神経基盤を検討するためにまず成人を対象として脳波実験を行い、その後同様の実験を乳児に対して実施する。

【キー・ワード】 運動視, 周辺抑制, 脳波

Abstract

Motion direction of a large stimulus is more difficult to perceive than that of a small one. This perceptual phenomenon is considered to reflect surround suppression, a receptive field property observed in the visual cortex. An infant study has shown that surround suppression is immature until around 6 months of age. The present study examines the neural mechanisms of the development of surround suppression through EEG experiments in infants. We also conduct EEG experiments in adults to elucidate the neural mechanisms of surround suppression, since it is still unclear which brain areas involve the phenomenon of surround suppression.

【Key words】 Motion perception, Surround suppression, EEG

問題と目的

われわれが動いている物体を見るとき、物体のサイズが大きくなるにしたがい、運動方向を知覚するのが困難になる (Tadin et al., 2003)。通常、物体が大きい方が情報量は多いはずなので一見直観

に反するように感じるが、これは“周辺抑制”という視覚神経細胞の受容野メカニズムをよく反映した知覚現象であると考えられている。動きを処理する神経細胞は、受容野内に運動刺激が提示されると活動するが、受容野の少し外側の領域にも同時に同じ方向の動きが提示されると活動が弱まる（周辺抑制）。抑制のメカニズムは、運動視以外にも脳内のあらゆる領域に備わっており、様々な知覚認知機能において重要な役割を担っている。

上述の知覚現象は、この抑制メカニズムを検討するために、これまで様々な研究で用いられてきた。例えば、高齢者では若年者と異なり、物体が大きくなっても運動知覚の成績が低下しないことが知られている。興味深いことに、大きい物体を見る場合は、高齢者はむしろ若年者より運動知覚能力が高くなる (Betts et al., 2005)。この結果は、高齢者では周辺抑制の低下により、大きい物体の動きの知覚が得意になっていることを示唆している。

われわれは過去の研究で、生後半年未満の低月齢の乳児は、この周辺抑制が発達しておらず、高齢者と類似した知覚を持っていることを示した (Nakashima et al., 2019)。大小の運動刺激に対する乳児の知覚を調べた結果、生後 6 ヶ月以降の乳児では、大きい刺激より小さい刺激の方が運動方向の違いをよく知覚できていたが、生後 6 ヶ月未満の乳児では、逆に大きい刺激の方が運動方向をよく知覚できており、高齢者と似た傾向を示した。これにより、低月齢の乳児と高齢者はどちらも周辺抑制が弱く、両者の運動知覚は類似していることが明らかになった。

しかし、これまでに周辺抑制の発達の神経基盤については検討されていない。老化による周辺抑制の低下と乳児期の周辺抑制の弱さが、同じ脳内メカニズムに起因しているかどうかは明らかでない。そこで本研究では、乳児期の周辺抑制の発達のさらなる検討のために、脳波計測によってその神経基盤を探ることを目的とする。

周辺抑制の知覚現象は、動きを処理する MT 野と呼ばれる脳領域が関わっていると考えられてきたが、近年、V1 などの初期視覚野がこの抑制現象に強く関与しているという報告もなされている (Schallmo et al., 2018)。そこで本研究では、まず成人を対象として、周辺抑制の知覚現象が初期視覚野と MT 野のどちらで処理されているのかを検討する。その後、同様の実験を乳児に対して行い、抑制の発達の神経基盤を検討する。実験では、定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visual Evoked Potential: SSVEP) という脳波信号を測定する。大小の運動刺激を知覚しているときの SSVEP 信号を比較し、周辺抑制がどの脳領域で生じているのかを検討する。

方 法

実験参加者

成人実験では若年成人 16 名、乳児実験では生後 4-5 ヶ月と 7-8 ヶ月の乳児をそれぞれ 16 名ずつ対象とする。実験は中央大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。

刺激と手続き

運動刺激としてランダムドット運動刺激を用いる。各試行では、全てのドットが同じ方向に動く“一

方向運動”と、全てのドットが各々ランダムな方向に動く“ランダム運動”を交互に提示する(図1)。このような一定間隔で切替わる刺激を見ているとき、刺激の切り替わりと同じタイミングで脳波信号が現れる(SSVEP)。

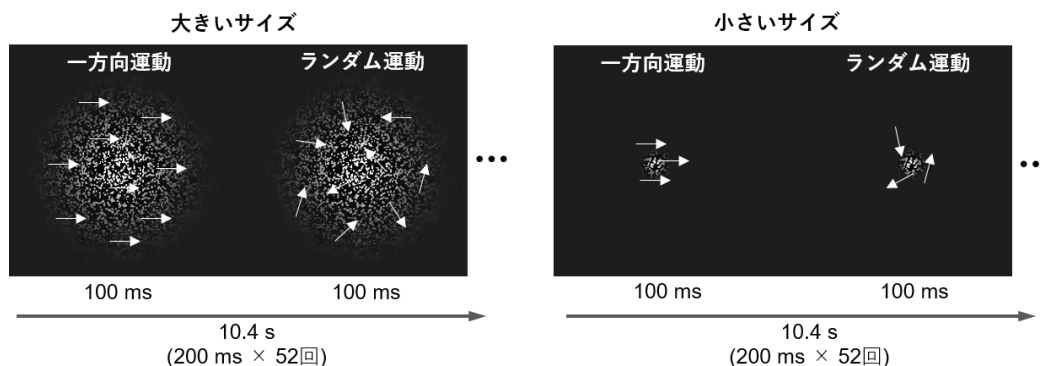


図1 ランダムドット運動刺激

成人実験では、一方向運動とランダム運動をそれぞれ 100 ミリ秒間交互に提示する。したがって 5Hz の周期 (200 ミリ秒周期) で方向を持った運動が提示されることになる。1 試行内で、それぞれの運動を 52 回ずつ繰り返し提示する。一方向運動の方向は、52 回の繰り返し毎に、毎回上下左右の 4 つの方向からランダムに提示する。大小の刺激サイズの 2 条件を設け、それぞれの試行を 32 回提示する。

乳児実験では、成人実験と基本的な手続きは同じだが、乳児でも運動方向が知覚できるように運動刺激の提示時間を長くする。さらに、乳児が視線を逸らさずに刺激を注視できる時間には限りがあるため、1 試行内の刺激提示の繰り返し数を減らす。

脳波測定と解析

128ch 電極を用いて脳波信号を計測する。計測した脳波信号を周波数解析し、一方向運動が現れる周期と同じ周波数 (成人: 5Hz) の信号を抽出することによって、運動方向に対する神経応答を測定する。初期視覚野と MT 野の神経応答を比較するために、それぞれ後頭と後側頭を ROI (Region of Interest) とし、その領域に含まれる電極の SSVEP 振幅を ROI 間で比較する。もし周辺抑制が生じていれば、大きいサイズ条件より小さいサイズ条件のときに SSVEP 振幅が大きくなると予測される。

現在の進捗状況

現在は成人のデータを取得中である (2 名を取得済み)。現在までのところ、後頭の電極においては大きい刺激に対してより強い応答が見られ、後側頭の電極においては逆に小さい刺激に対してより強い応答が見られている (図 2)。この結果は、MT 野では周辺抑制が生じているが、初期視覚野では抑

制が生じておらず単純に刺激サイズの増加にともなって活動が強くなることを示唆している。

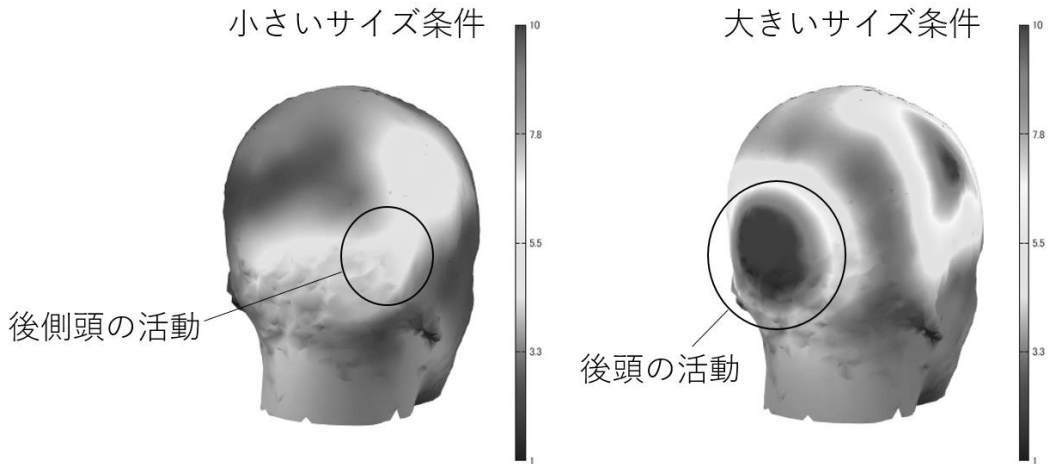


図 2 SSVEP 振幅 (5Hz; signal-noise ratio) の頭皮上分布 (2 名の平均)

今後は成人のデータを取得後、乳児の実験を実施する予定である。

引用文献

- Betts, L.R., Taylor, C.P., Sekuler, A.B., and Bennett, P.J. (2005). Aging reduces center-surround antagonism in visual motion processing. *Neuron* 45, 361–366.
- Nakashima, Y., Yamaguchi, M. K., and Kanazawa, S. (2019) Development of center-surround suppression in infant motion processing. *Current Biology* 29, 3059–3064.
- Schallmo, M.P., Kale, A.M., Millin, R., Flevaris, A.V., Brkanac, Z., Edden, R.A., Bernier, R.A., and Murray, S.O. (2018). Suppression and facilitation of human neural responses. *eLife* 7, e30334.
- Tadin, D., Lappin, J.S., Gilroy, L.A., and Blake, R. (2003). Perceptual consequences of centre-surround antagonism in visual motion processing. *Nature* 424, 312–315.