

5 か月児とその母親における聴覚・触覚処理の試行間位相同期に関する検討

Inter-trial coherence to the auditory and tactile stimulation for 5 months infant and mother

金山範明^{†, ‡}・松中玲子[†]・玉宮義之[†]・開一夫[†]

Noriaki Kanayama, Reiko Matsunaka, Yoshiyuki Tamamiya, Kazuo Hiraki

[†]東京大学, [‡]日本学術振興会

The University of Tokyo, JSPS

kanayama@ardbeg.c.u-tokyo.ac.jp

Abstract

In this study, we measured EEG response to auditory and tactile stimulations from 5 months infants and their mothers. Applying independent component analysis and time frequency analysis to the recorded EEG waveforms, we obtained inter-trial coherence (ITC). The timing of the ITC increase is same between 5 months infant and mother, while the ERP waveform is completely different. This suggests that the ITC can be used as an alternative measure for the infant EEG study.

Keywords — Inter-trial coherence, infants, EEG, Independent component analysis

1. はじめに

脳活動は、言葉やボタン押しなどの反応によって行動実験を行うことが大変困難である乳幼児の認知研究において、非常に重要な指標になりうる。特に脳波測定は、装着や運用の簡便性から乳幼児の研究と親和性が高く、様々な課題で用いられている。乳幼児研究において行われている脳波研究では、収録された各試行における信号を加算平均した波形を検討する事象関連電位 (ERP) を検討したものが多く、乳幼児を対象に、音声刺激を使ったオドボール課題を用いて収録した脳波と、MRI 撮像によって得られた脳構造画像を用いて、ERP 波形の信号源推定を行った研究では、乳幼児でも聴覚野に信号源を持つ活動において、ERP 振幅が頻度の違いによって異なることが示された [1]。また、成人の ERP 波形から百ミリ秒ほど反応が遅れて起こることが示唆されている。

ERP は電位変動の分散が大きい場合に影響を受けやすく、加算平均回数を十分に取ることが困

難な乳幼児対象の研究ではデータの信頼性が低いと考えられる。実際に多くの研究では、成人と異なる時間帯に異なる極性で反応が出たとしても、条件差をもって同じ活動であると結論付けるものもあるが、ノイズとして混入した無関連の別の生体反応により波形が歪められている可能性も十分に考えられる。さらに ERP 振幅の変化は、神経活動量 (パワースペクトラム) の上昇と、神経活動のタイミング (位相) の同調の両方を反映するとされている [2]。感覚野における反応は刺激呈示とともに位相が試行間で同期することが知られており [3]、これは視覚や聴覚刺激の呈示によって引き起こされるほぼ自動的な感覚処理であると考えられている。乳幼児においてもこの試行間位相同期が起こっているのか、そして ERP と同様に成人よりも反応が遅れるのかを検討する。

本研究では、処理開始のタイミングの同調を反映する試行間位相同期という指標を用いて、乳幼児の反応が成人よりも遅れて現れるのかを検討する。聴覚及び体性感覚を刺激として用い、感覚モダリティによって脳波における位相同期の違いがあるのか、また成人と比較してその位相同期の時間帯は遅いのかを検討した。

2. 方法

2.1 手続き

5 ヶ月の乳幼児 2 名とそれぞれの母親 2 名が実験に参加した。64 極のネット状脳波測定センサ (Electrical Geodesics system: EGI Inc, Eugene, OR) を装着後、母子ともにシールドルーム内に入

り、母親が乳幼児を抱いた状態で椅子に座った。体性感覚課題においては振動を伝える振動子を、母子ともに左腕に装着し、椅子に座った状態でしばらく安静にさせた(図1)。聴覚課題でも振動子は腕につけたままとし、目の前におかれたスピーカーから出る音を聞かせた。できるだけ運動や発声を抑制させるよう母親に教示した。強い振動/音声(0dB, 100Hz のサイン波)と弱い振動/音声(-20dB, 100Hz のサイン波)を 50ms 呈示する試行を、60 回ずつ合計 120 回ランダムに呈示した。Inter stimulus interval (ISI)は試行毎に、1300 ms から 50 ms 区切りで 1500 ms までの 5 種類の長さからランダムに決定された。母子は全く同じタイミングで、各刺激を呈示された。

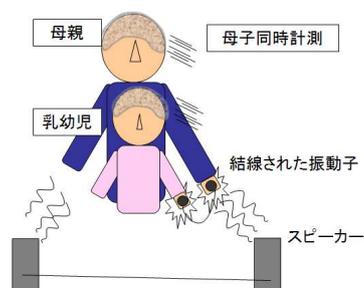


図 1.母子同時体性感覚刺激課題の実験状況

2.2 データ解析

課題中に収録した脳波データを、刺激の呈示時をオンセットとし、-600 ms から 1200 ms までの区間に区切り、extended informax 法による独立成分分析にかけた (EEGLAB ver7.4)。抽出された成分に対し、dipole 推定法を用いその信号源を推定した。推定された信号源から、体性感覚野及び聴覚野に信号源を持つ独立成分のみを抽出し、参加者毎に平均した独立成分を作成した。独立成分は、被験者ごとに体性感覚野成分、聴覚野成分として表され、各参加者 2 つの成分を得た。これらの成分に対し、それぞれを事象関連電位、事象関連スペクトラム摂動 (Event-related spectrum perturbation: ERSP) と試行間位相同期 (Inter-trial phase coherence: ITC) の値を算出し、全ての試行のデータをセッションごとに平均した。事象関連電位は、刺激呈示前 100ms までを

ベースライン区間とし、その平均値を波形全体から減算した。事象関連スペクトラム摂動と試行間位相同期は、サイクル数 3 の Morlet のマザーウェーブレットを用いてウェーブレット変換することにより得た。事象関連スペクトラム摂動におけるパワー値はベースラインを刺激呈示前 300ms から 50ms までとし、その区間の平均値からどれだけ増加したかを dB 値によって表した。試行間位相同期は、Tallon-Baudry らの方法 [4] に基づいて 0-1 までの範囲で算出された。0 は試行間で位相がまったくそろわない場合、1 は試行間で位相が完全に一致している場合を示す。各指標のシータ帯域(4-8Hz)に当たる活動を、刺激提示直後から呈示後 800ms のセグメントに区切り、その間のピーク値を算出した。またピークの現れる潜時を、反応潜時として記録した。

3. 結果

3.1 独立成分分析

独立成分分析及び抽出された独立成分に対する信号源推定の結果、母子ともに、体性感覚刺激に対しては体性感覚野に信号源を持つ成分が、音声刺激に対しては聴覚野に信号源を持つ成分が抽出された(図2)。以降の解析には、この成分における脳波を用いた。

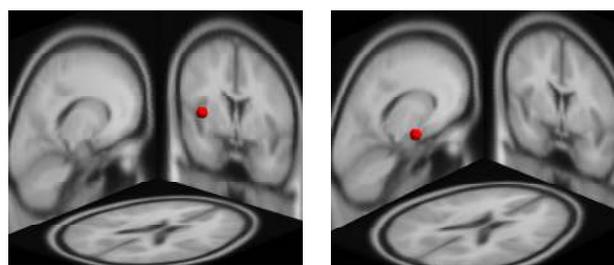


図 2. 抽出された独立成分の信号源。左図が体性感覚野(51, -10, 46)に、右図は聴覚野(-60, -15, 0)に推定された推定された信号源。

3.2 試行間位相同期

抽出された独立成分において、感覚反応が反映されるシータ帯域(4-8 Hz)の事象関連スペクトラム摂動と試行間位相同期を、体性感覚及び聴覚反応において検討したところ、振動(音声)が強い

場合と弱い場合も 200 ms までに試行間位相同期の上昇が見られた (図 3)。

刺激提示後 50 ms 以降 400 ms までの時間帯の試行間位相同期のピーク潜時を取ったところ、体性感覚刺激、音声刺激ともに、弱い刺激の際に母子間の潜時に大きな異なりが見られた (図 4)。強い体性感覚刺激に対する試行間位相同期のピーク潜時においては、母子間の差よりも個人差の方が大きかった。一方強い音声刺激に対する試行間位相同期のピーク潜時においては、個人差も母子間の差も数 10 ms の範囲内に収まっていた。

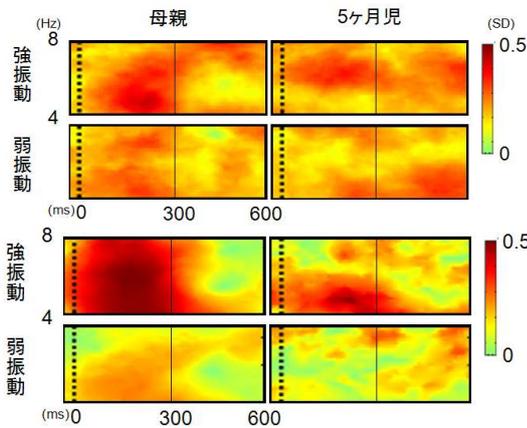


図 3. 1名の母親とその子である 5ヶ月児から得られた体性感覚刺激時 (上段) と聴覚刺激時 (下段) のシータ帯域の試行間位相同期

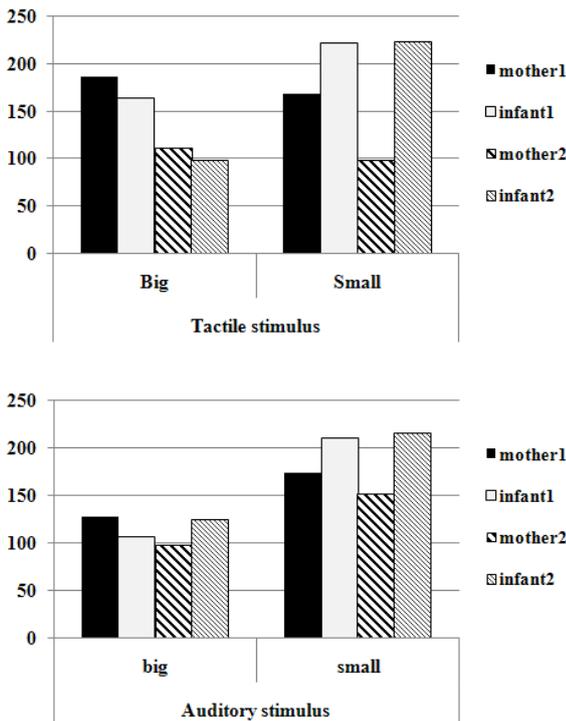


図 4. 母親と 5ヶ月児から得られた体性感覚刺激時 (上段) と聴覚刺激時 (下段) のシータ帯域の試行間位相同期のピーク潜時

4. 考察

試行間位相同期に関しては、成人と乳幼児の間での反応時間の遅れはそれほど観測されていないため、成人においても乳幼児においても感覚処理を反映する脳活動の処理時間に大きな差がないことが示唆された。このことは、5ヶ月の乳幼児においてすでに、感覚入力 of 初期段階の処理は成人と同じである可能性が示された。本研究は、2例の報告にとどまっているため、反応強度と時間を目視で検討したまですぎないが、今後多くの乳幼児と母親の協力を得て、本結果の汎用性を、推測統計法を用いて検討することが重要である。

謝辞

本研究は科研費 (22240026) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Hämäläinen, J. A., Ortiz-Mantilla, S., & Benasich, A. A. (2011). Source localization of event-related potentials to pitch change mapped onto age-appropriate MRIs at 6 months of age. *Neuroimage*, 54, 1910-1918.
- [2] Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T.-P., Enghoff, S., Townsend, J., Courchesne, E., et al. (2002). Dynamic Brain Sources of Visual Evoked Responses. *Science*, 295, 690-694.
- [3] Brandt, M. E. (1997). Visual and auditory evoked phase resetting of the alpha EEG. *International Journal of Psychophysiology*, 26, 285-298.
- [4] Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Delpuech, C., & Pernier, J. (1996). Stimulus specificity of phase-locked and non-phase-locked 40 Hz visual responses in human. *The Journal of Neuroscience*, 16, 4240.