

齧歯類における和音知覚の原始的な神経基盤

機械情報工学科 03-150299 松竹 理匠
指導教員 高橋 宏知 講師

1. 序論

長調の楽曲からは明るい印象を受け、短調の楽曲からは悲しい印象を受ける。近年、神経科学分野において、長三和音や短三和音といった、長調や短調に関わる和音知覚の神経基盤の特定が試みられている。ヒト脳磁図の先行研究では、振幅変調した和音に対する聴覚野の聴性定常応答 (auditory steady-state response; ASSR) の振幅スペクトルが、和音により異なることが報告されている^[1]。しかしヒトの聴覚系は、生後の音楽聴取経験に大きく影響を受ける。このため我々が、和音知覚の神経基盤を生得的に有するのか、あるいは、生後の音楽聴取により後天的に獲得するのかを解明するためには、動物モデルにおける和音知覚の原始的な神経基盤を特定し、ヒトの和音知覚の神経基盤と比較する必要があると考えた。

こうしたことから本研究では、ラット聴覚野において、三音和音の種類を表現する神経活動の特徴量を特定することを目的とした。具体的には、第一に、クリック音に対する ASSR を微小電極で多点同時計測し、最適変調周波数を特定した。第二に、振幅変調した和音に対する ASSR を計測し、振幅変調強度と位相の再現性を、長三和音と短三和音で比較した。

2. 方法

本実験は、「東京大学動物実験マニュアル」を遵守した。2匹のラットをイソフルランで吸入麻酔し、頭部を固定装置に固定した。直径 0.5 mm の汎用 IC ソケットを、左頭頂の硬膜に接するように接着剤で固定し、基準電極とした。また、注射針を右腋皮膚に刺入してアース電極とした。右側頭骨と硬膜の一部を除去して聴覚野を露出し、第 4 層に微小電極アレイを刺入した。同電極アレイは、4.0 mm × 4.0 mm の計測範囲内に、400 μm 間隔で 96 点の計測点が配置されている。音刺激は、ラットの左耳から 10 cm 離れたスピーカより提示した。

まず、ASSR の最適変調周波数を特定するために、クリック音を 10–80 Hz の頻度で 2 秒ごとに 1 秒間ずつ、200 回提示して、局所電場電位 (local field potential; LFP) を多点同時計測した。LFP に高速フーリエ変換をかけ、加算平均して平均振幅スペクトル (average amplitude spectrum; AAS) を算出し、クリック音提示頻度における振幅強度を、変調強度 (modulation strength; MS) として定量化した。変調強度が特に強い提示頻度を、ASSR の最適変調周波数とした。

次に、三音和音に対する ASSR を計測した。具体的には、ラット可聴域 (1–50 kHz) の中音域における長三和音 (14,080, 17,600, 21,120 Hz) と短三和音 (14,080, 16,896, 21,120 Hz)、ラット可聴域の低音域、すなわちヒト可聴域における長三和音 (1,760, 2,200, 2,640 Hz) と短三和音 (1,760, 2,112, 2,640 Hz) を、最適変調周波数で振幅変調した刺激音を 200 回提示して LFP を計測した。なお、音の持続時間は 1 秒、提示間隔は 2 秒として、音刺激提示後 50–1,050 ms の LFP を ASSR、音刺激提示後 1,000–2,000 ms の LFP を自発活動とした。

三音和音に対する ASSR から、変調周波数における変調強度と、high-γ 帯域 (60–80 Hz) における、試行間の位相再現度 (inter-trial phase coherence; ITPC) をそれぞれ定量化した。第一に、ASSR と自発活動に高速フーリエ変換をかけ、変調周波数における変調強度を算出した。さらに、ASSR と自発活動との変調強度の差分を ΔMS とし、短三和音と長三和音で ΔMS を比較した。第二に、計測した LFP に high-γ 帯域のバンドパスフィルタとヒルベルト変換を施して各時刻での位相 $\theta_{trial}(t)$ を算出し、試行間の位相再現度 (ITPC) を以下の式で算出した。

$$ITPC(t) = \left| \frac{1}{200} \sum_{trial=1}^{200} e^{i \times \theta_{trial}(t)} \right|。$$

音刺激提示後 50–1,050 ms における ITPC の最大値を、長三和

音と短三和音で比較した。

3. 結果と考察

図 1 に、クリック音提示頻度に対して得られた ASSR の変調強度を示す。個体ごとの最適変調周波数は、25 または 40 Hz となり、ASSR の最適変調周波数には、個体差がある可能性が認められた。

図 2 に、長三和音と短三和音の ΔMS を示す。ラット可聴域では、2 匹のラットで、短三和音の ΔMS が長三和音より大きかった。この結果は、ヒトの先行研究と一致した^[1]。一方、ヒト可聴域では、ΔMS に顕著な違いは認められなかったことから、和音知覚は可聴域に対する相対的な和音の高さに依存する可能性がある。

図 3 に、長三和音と短三和音の ITPC の最大値を示す。ラット可聴域では、2 匹のラットで、長三和音の ITPC が短三和音より大きかった。持続和音を用いた先行研究でも、ラット聴覚野の同帯域の位相同期性が長三和音と短三和音で異なった^[2]ことから、三音和音の違いは、high-γ 帯域の位相情報に表現されている可能性が高いと考えた。一方、ヒト可聴域では、ΔMS と同様に、ITPC にも顕著な違いは認められなかったことから、和音知覚は、可聴域に対する相対的な和音の高さに依存する可能性がある。

4. 結論

本研究では、ラット聴覚野において、三音和音の種類を表現している神経活動の特徴量の特定を試みた。具体的には第一に、クリック音に対する聴覚野の聴性定常応答 (ASSR) を多点同時計測して、ASSR の最適変調周波数を特定した。第二に、振幅変調した三音和音に対する ASSR を計測し、変調強度と high-γ 帯域における位相再現度を、長三和音と短三和音で比較した。その結果、変調強度は短三和音が強く、位相再現度は長三和音が高かった。これらの結果から、ラット聴覚野の ASSR に、和音の種類が表現されている可能性を認めた。

参考文献

1. 関祥吾, 根本幾, “和音の MEG 聴覚定常応答”, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE, ME とバイオサイバネティクス, vol. 113, no. 499, pp. 183–188, 2014
2. 白松 (磯口) 知世, 高橋宏知, 「聴覚—音の質感認知」、BRAIN and NERVE, 医学書院, vol. 67, no. 6, pp.679–690, 2015

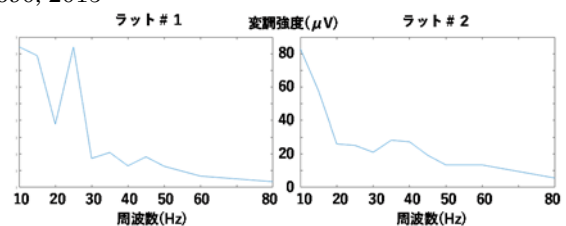


図1 クリック音に対する ASSR の変調強度

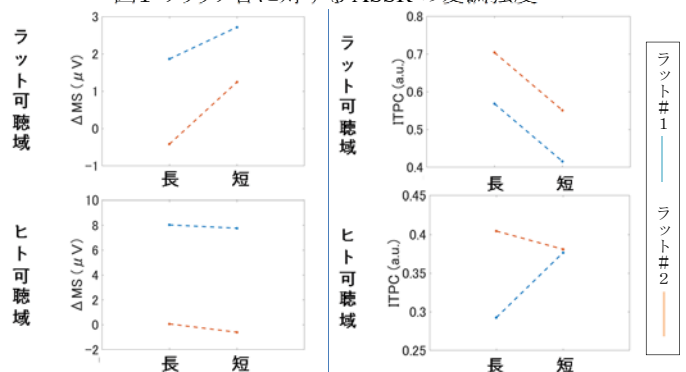


図2 和音に対する ASSR の変調強度

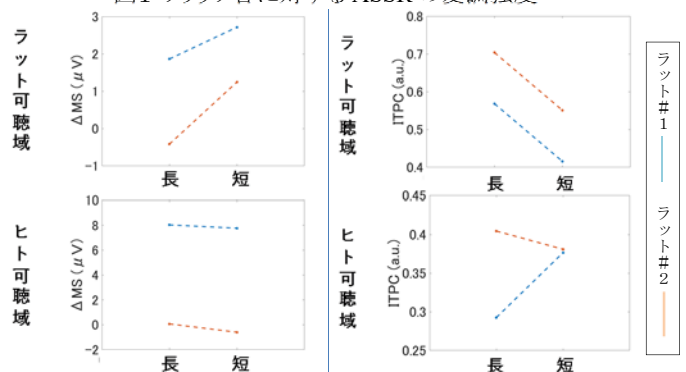


図3 和音に対する ASSR の位相再現度