

ラット大脳皮質における情報処理容量の領野間比較に向けた計測手法の構築

金子俊一郎、白松知世

Information Processing Capacity, cerebral cortex, auditory cortex, electrical stimulation, rat

1. 序論

脳は受容器から送られてくる信号を処理して、感覚刺激を知覚している。そして、大脳皮質には特定の感覚種の処理に特化した領野が存在し、領野ごとに情報処理特性が異なることが分かっている。一方で、皮質に現れる特性に対する、皮質下で行われている処理の寄与については十分な検証がされていない。そのため、皮質内の神経回路のみでの特性を調べることは、感覚情報を処理する仕組みの解明に役立つ。

感覚刺激を提示する代わりに、直接皮質を電気刺激すれば、皮質下の経路を介さずに、皮質のみの神経活動を誘発することができる。また、音刺激に対するラット聴覚系全体の情報処理は、情報処理容量 (Information Processing Capacity; IPC) という指標で定量化されている [1]。

そこで、本研究はラットの聴覚皮質を対象として、皮質下の聴覚経路の影響を排して、聴覚皮質内の神経回路に由来する情報処理の性質を調べることを目的とする。そのため、第一に、微小電極アレイを用いて、電気刺激の印加と神経活動の多点計測を同時に行う実験系を構築する。次に、この実験系を用いて、電気刺激を入力系列とした聴覚皮質の IPC を算出する。

2. 手法

まず、ラット聴覚皮質に対して電気刺激と神経活動の多点計測を行う実験系を構築した。麻酔下でラットの右聴覚皮質を露出し、剣山型の微小電極アレイ (Blackrock Microsystems, ICS-96, 1.5 mm Array Assembly) を聴覚野の第4層に刺入した。特定の電極には、電流 (10, 100 μ A) と刺激1回におけるパルス入力回数 (1, 3, 5回) をパラメータとし、1 Hz で電気刺激を印加した。その他の電極から、誘発電位と活動電位を60秒間記録した。また、クリック音刺激も1 Hz で提示し、60秒間神経活動を記録した。誘発電位の振幅と、活動電位の発生回数の計測点間の最大値を音刺激と電気刺激との間で比較して、音刺激と最も似た神経活動を誘発できる電気刺激パラメータを特定した。

次に、構築した実験系を用いて電気刺激を入力としたラット聴覚野の IPC を算出した。入力系列のステップ間隔 (ISI; 7, 10, 18, 32, 56, 100, 178, 316 ms) をパラメータとして各ステップで50%の確率で電気刺激を印加し、活動電位を計測した。そして、各ステップ、各計測点における単位時間当たりの活動電位の発生回数を状態量として IPC を計算し、得られた結果と音刺激を用いた先行研究 [1]の結果とを比較した。

3. 結果

誘発電位の振幅の中央値は、100 μ A 1回の電気刺激時に1427 μ Vであり、音刺激の1243 μ Vと最も近かった。また、音刺激の振幅は10 μ A 5回での振幅よりも有意に大きかった (Wilcoxon の符号順位検定, $p < 0.001$, $n = 12$) (Fig.1 (a))。活動電位の発生回数は、電気刺激のパラメータによる大きな変化はなかった (Fig.1 (b))。これらの結果から100 μ A 1回の刺激を IPC 計測に用いた。

電気刺激を入力としたラット聴覚野の IPC の1次6次までの総和値は、ISI 32 ms で最大となり、ISI 18, 56 ms に

おける IPC の総和値よりも有意に高かった (Wilcoxon の符号順位検定, ISI 18 : $p < 0.05$, ISI 56 : $p < 0.05$, $n = 6$) (Fig. 1 (c))。これは、音刺激を用いた先行研究における ISI が 10 ms で IPC が最大になるという結果と異なった。また、電気刺激を入力とした IPC の最大値は音刺激を入力とした時の約8分の1であった。

4. 考察

IPC の総和値が最大となる ISI は、入力に電気刺激か音刺激かで異なった。これは、聴覚皮質の神経回路と皮質下を含む聴覚系全体とで、時間特性が異なることを示唆する。

一方で、電気刺激での IPC の総和値は音刺激での値を大きく下回った。電気刺激によって生じる活動電位が音刺激より少ないことが原因の可能性があるため、音刺激をより良く再現できるよう電気刺激システムを改良する必要がある。

5. 結論

本研究は、皮質下の聴覚経路の影響を排した、ラット聴覚皮質の情報処理の性質を調べることを目的とした。そのためにもまず、電気刺激と神経活動計測を同時に行う実験系を構築し、次に電気刺激を入力とした聴覚皮質の IPC を算出した。IPC の総和値が最大となる ISI は電気刺激では 32 ms、音刺激では 10 ms で、一致しなかった。この結果は、聴覚皮質の神経回路と、皮質下を含めた聴覚系全体とでは、情報処理の時間特性が異なることを示唆する。

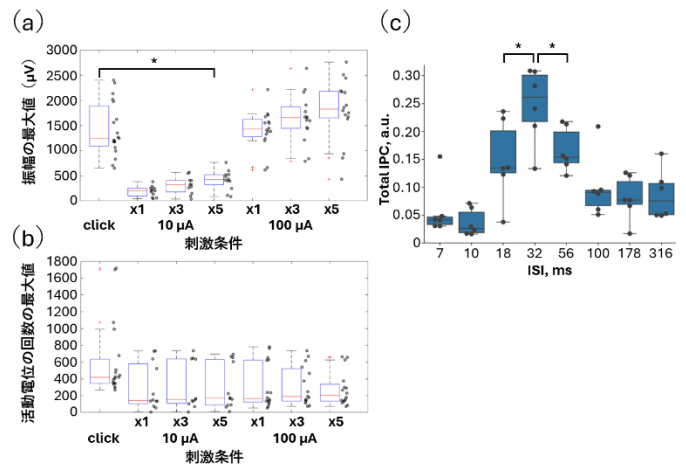


Fig. 1 Results of electrical stimulation and IPC (a)Maximum amplitude of the potential for each stimulus condition. (b)Maximum number of spikes for each stimulus condition. (c)Total IPC for each ISI.

参考文献

- [1] Ishida, N. et al., "Quantification of information processing capacity in living brain as physical reservoir," *Applied Physics Letters*, vol. 122, no. 23, p. 233702, 2023.