

匂い味覚連合学習によって生じるナメクジの嗅覚系神経活動の匂い応答変化 Changes in the odor responses of olfactory neural activities of the land slug induced by the odor learning

○橋口小春¹, 石田康平², 小松崎良将³, 斎藤稔⁴*Koharu Hashiguchi¹, Kohei Ishida², Yoshimasa Komatsuzaki³, Minoru Saito⁴

Abstract: We have studied neural activities of the olfactory center (procerebrum; PC) of the land slug using electrophysiological technique and voltage imaging technique. The previous results showed that the local field potential (LFP) of PC shows an oscillation of about 1 Hz and the neural activity of PC propagates from the distal to proximal regions. In the present study, we found that the odor responses of the LFP frequency and the propagation velocity of the neural activity were changed by the odor learning.

1. はじめに

ナメクジは哺乳動物に比べて神経細胞が少なく、中枢神経系が比較的単純であるが、嗅覚系が発達しており、匂いに対する高い識別能力を有している。また、脳神経節を単離した際に、酸素供給を行わなくても長時間神経活動を続けることができる。このように、哺乳動物に比べて取り扱いが容易であるため、ナメクジは嗅覚神経系の研究によく用いられている。ナメクジの匂い情報処理の中枢としては前脳葉という部位が知られており、その局所場電位 (Local Field Potential; LFP) が約 1 Hz で振動していることが分かっている。また、その先端部から基部に向かって神経活動が伝搬していることが分かっている。

ナメクジは匂い味覚連合学習能も持っている。これは、古典的条件付けの 1 つである。生体の状態でナメクジの誘引性匂い物質 (条件刺激) を与えた直後に、忌避性味覚物質 (無条件刺激) を与えることで両者を関連付けて学習し、誘引性匂い物質を与えると忌避反応を示すというものである。本研究では、ナメクジの嗅覚受容器と味覚受容器を付けたまま脳神経節を単離し、標本の状態で生体と同じような条件付けを行い、生体では難しい学習前後での前脳葉の LFP 振動の匂い応答変化、また先端部から基部に向かう神経活動の伝搬速度の匂い応答変化を調べることを目的とした。

2. 実験方法

本研究で使用したナメクジは、実験室で飼育された 2~4 ヶ月齢、体重 0.5~1 g のチャコウラナメクジである。以下、チャコウラナメクジを単にナメクジと記す。解剖によりナメクジの嗅覚受容器と味覚受容器を付けたまま脳神経節を単離し、神経細胞の膜電位の変化によって蛍光強度が変化する膜電位感受性色素 Di-4-ANEPPS で脳神経節を染色し、pH 7.6 に調整した生理食塩水に浸した。そして、前脳葉にガラス電極を吸着させて LFP を測定した (Fig.1)。また、Di-4-ANEPPS の蛍光強度変化から前脳葉における神経活動の伝搬の様子を測定した (Fig.2)。

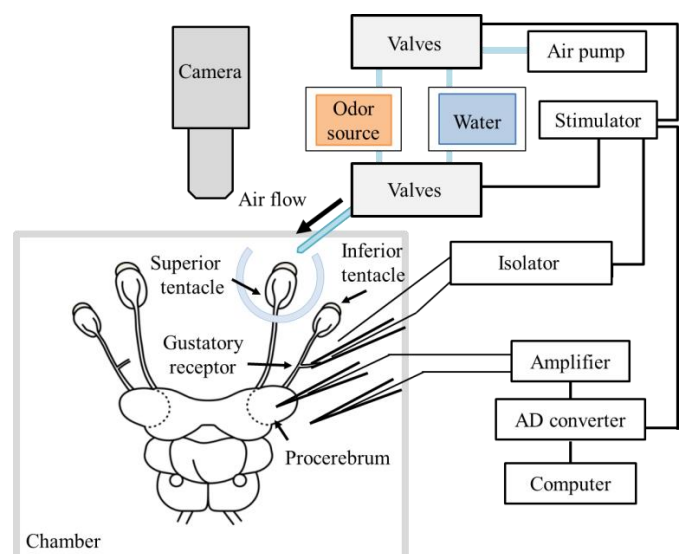


Figure 1. Experimental apparatus

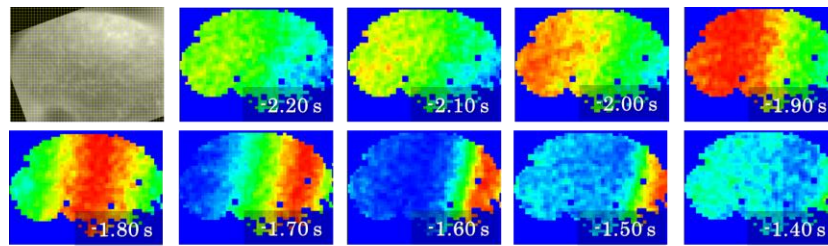


Figure 2. Propagation of the neural activity of PC. The upper left figure shows the fluorescence image of PC. The other pseudo-color images were obtained from the fluorescence changes of the voltage-sensitive dye, Di-4-ANEPPES. The time interval is 0.1 s.

標本の大触角にはエアープンプで条件刺激として誘引性であるニンジンの匂いを与えた。そして、ニンジンの匂いを与えている際に無条件刺激として味覚受容器に電気刺激を与えた。この条件付けを3回行った。その後、再びニンジンの匂いを大触角に与え、このとき生じる前脳葉における LFP 振動の変化と神経活動の伝播速度の変化を調べた。

3. 結果

Figure 3 に条件付け前後の LFP 振動の波形を示す。条件付け後 (Post-test) では、条件刺激であるニンジンの匂いを与えると LFP 振動の周波数が増加することが分かる。一方、条件付け前 (Pre-test) には、そのような LFP 振動の周波数の増加は見られなかった。Figure 4 にニンジンの匂いによる周波数の変化率を示す。条件付け後にはニンジンの匂いを与えると、LFP 振動の周波数が約 20%増加した。このような周波数の増加は、本来は忌避性の匂い刺激によって生じるものである [1]。さらに本研究では、条件付け後にはニンジンの匂いを与えると、前脳葉の神経活動の伝播速度も約 20%増加することが分かった (Fig.5)。このような神経活動の伝播速度の増加も、本来は忌避性の匂い刺激によって生じるものである [1]。以上の結果より、ナメクジの標本においても匂い味覚連合学習が誘導されていることが示唆された。

4. 参考文献

[1] Y. Hamasaki, T. Shimokawa, K. Ishida, Y. Komatsuzaki, S. Watanabe, M. Saito, “Coherency Evaluation of Spatiotemporal Neural Activities in the Molluscan Olfactory Center Applying Extracellular Recording with Wavelet Analysis”, J Biophysics Vol.3, pp. 291-297, 2013.

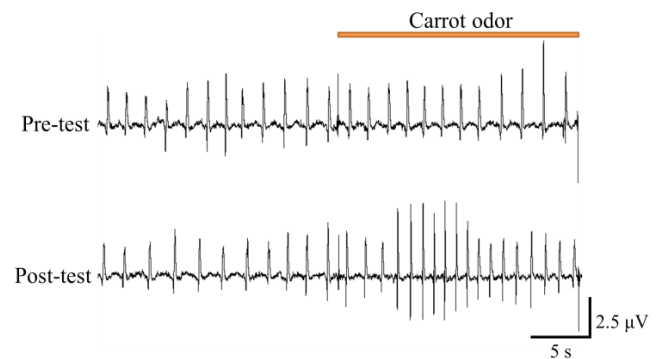


Figure 3. Oscillatory activities of LFP

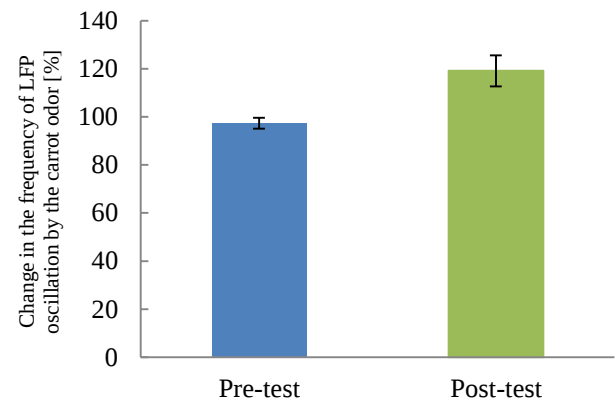


Figure 4. Change in the frequency of LFP oscillation by the carrot odor

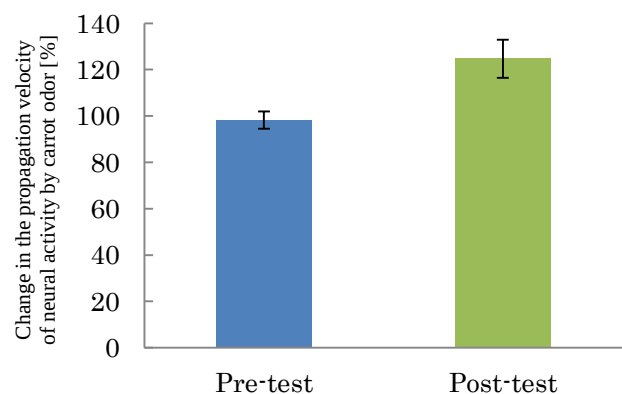


Figure 5. Change in the propagation velocity of neural activity by carrot odor