

М. М. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ, Ю. Я. ГЕЙНИСМАН, В. Н. МАЦ  
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ВЛИЯНИИ УСИЛЕННОГО  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА СОСТОЯНИЕ СИНАПТИЧЕСКОГО  
АППАРАТА СПИНАЛЬНЫХ МОТОНЕЙРОНОВ

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 16 IV 1964)

Результаты физиологических исследований<sup>(1,2)</sup> указывают на то, что усиленное функционирование синапсов на мотонейронах спинного мозга приводит к повышению эффективности синаптической передачи. Были высказаны предположения, что этот эффект объясняется морфологическими изменениями, а именно — возрастанием поверхности синапсов и увеличением их количества. Часть этих предположений получила морфологическое обоснование. Показано, что деятельное состояние синаптического аппарата сопровождается увеличением размеров концевых синапсов<sup>(3,4)</sup>. Однако в литературе отсутствуют сведения о функционально обусловленных изменениях количества синаптических окончаний. Поэтому при проведении настоящей работы мы поставили перед собой цель — изучить изменения числа синапсов в условиях усиленного функционирования синаптического аппарата мотонейронов спинного мозга.

В качестве функциональной нагрузки было выбрано плавание, так как известно, что при интенсивных движениях конечностей возрастает активность как возбуждающих, так и тормозных синапсов на спинальных мотонейронах<sup>(5-7)</sup>. Белых крыс забивали через 40 мин после начала плавания в воде при температуре 33—34°. Поясничное утолщение спинного мозга 5 опытных и пяти контрольных животных одновременно импрегнировали серебром по методу Гольджи—Дейнека. Количество кольцевидных синапсов как в контроле (рис. 1, А, см, вкл. стр. 650), так и в опыте (рис. 1, Б) подсчитывали раздельно на телах и дендритах 5 случайно попавших в поле зрения мотонейронов латерального ядра передних рогов спинного мозга. Число синапсов определяли в трех плоскостях данного мотонейрона: в плоскости, проходящей через ядрышко, и в плоскостях, расположенных непосредственно над и под ней (см. рис. 1). Такие подсчеты производили на 5 поперечных срезах 6-го поясничного — 1-го крестцового сегментов спинного мозга, взятых от каждого из животных. Полученные данные обрабатывали статистически.

Результаты подсчетов сведены в табл. 1, из которой следует, что после плавания количество импрегнируемых кольцевидных синапсов статистически значимо увеличивается как на телах, так и на дендритах спинальных мотонейронов.

Таблица 1

Изменения числа синапсов на мотонейронах спинного мозга крыс после плавания

	Контроль	Опыт	Разница, %	P
Синапсы на теле мотонейронов	21±0,5	25±0,6	18,7	0,001
Синапсы на дендритах мотонейронов	18±0,4	21±0,6	16,4	0,001

При обсуждении полученных данных важно прежде всего уточнить, обусловлено ли изменение числа импрегнируемых синапсов усиленным их функционированием или же оно возникает под влиянием побочных факторов, характерных для применявшейся формы опыта, в первую очередь гипоксии.

Однако биохимические изменения, специфичные для кислородного голодания, проявляются в спинном мозге крыс только через 4 часа плавания<sup>(8)</sup>, а гистологически им соответствует уменьшение интенсивности окраски тигроида спинальных мотонейронов<sup>(9, 10)</sup>. Специально поставленные опыты позволили нам обнаружить, что после плавания крыс в течение 40 мин интенсивность окраски тигроида мотонейронов спинного мозга возрастает. Исходя из этого, можно заключить, что выявленное нами увеличение числа импрегнируемых синапсов на спинальных мотонейронах после плавания является результатом изменения функционального состояния синаптического аппарата.

Казалось бы, наши наблюдения свидетельствуют в пользу предположения об увеличении количества синапсов при усиленном их функционировании. Для обоснования такого допущения представляется целесообразным сопоставить обнаруженные факты с данными по электронной микроскопии синапсов спинного мозга.

Характерная особенность ультраструктуры синапсов спинного мозга крыс состоит в том, что в части из этих синапсов пресинаптическое утолщение аксона содержит кольцо субмикроскопических нитей — нейрофиламентов. Кольцо нейрофиламентов соответствует кольцевидным синапсам при световой микроскопии, так как импрегнирующееся серебро откладывается именно на нейрофиламентах<sup>(11)</sup>. Количество нейрофиламентов в синапсах изменяется в зависимости от функционального состояния синаптического аппарата<sup>(12)</sup>.

Основываясь на приведенных выше данных по электронной микроскопии синапсов, мы полагаем, что в наших опытах увеличение количества импрегнируемых синапсов не обусловлено новообразованием синаптических окончаний. Очевидно, в результате усиленного функционирования синапсов при плавании животного начинает импрегнироваться большее число колец нейрофиламентов. Это можно объяснить, во-первых, увеличением общего количества нейрофиламентов; во-вторых, повышением сродства их к серебру.

Увеличение количества нейрофиламентов связано с изменениями окислительных процессов в пресинаптическом утолщении аксона, поскольку оно сопровождается возрастанием числа митохондрий<sup>(12)</sup>. Повышение сродства нейрофиламентов к серебру зависит от перестройки из белковых молекул с высвобождением функциональных групп, обладающих высоким окислительно-восстановительным потенциалом<sup>(13, 14)</sup>. Как в том, так и в другом случае речь, следовательно, идет о функционально обусловленных сдвигах метаболизма в пресинаптическом утолщении аксона.

Таким образом, увеличение количества импрегнируемых кольцевидных синапсов при усиленном функционировании синаптического аппарата спинальных мотонейронов объясняется развитием морфологических изменений, в основе которых лежат сдвиги метаболизма в пресинаптическом утолщении аксона.

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии  
Академии наук СССР

Поступило  
5 IV 1964

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> J. C. Eccles, In: Brain Mechanisms and Learning, Oxford, 1961, p. 335. <sup>2</sup> R. M. Eccles, R. A. Westerman, Nature, 184, 460 (1959). <sup>3</sup> И. С. Базанова, А. С. Ионтов и др., ДАН, 155, № 2 (1964). <sup>4</sup> J. Szentágothai, Acta physiol. Acad. sciung., 4, Suppl., 17 (1953). <sup>5</sup> D. P. C. Lloyd, J. Neurophysiol., 4, 184 (1941). <sup>6</sup> B. Renshaw, Ibid., 5, 487 (1942). <sup>7</sup> Ч. С. Шеррингтон, В кн.: Рефлекторная деятельность спинного мозга, М.—Л., 1935, стр. 163. <sup>8</sup> K. Luštinec, Physiol. Bohemosl., 7, № 2 (1958). <sup>9</sup> В. П. Курковский, Арх. патол., 17, № 1 (1955). <sup>10</sup> W. Blasius, H. Zimmermann, Arch. ges. Physiol., 264, № 6 (1957). <sup>11</sup> E. G. Gray, R. W. Guillery, J. Physiol., 157, № 3 (1961). <sup>12</sup> В. В. Воусcott, E. G. Gray, R. W. Guillery, Proc. Roy. Soc. B, 154, 151 (1961). <sup>13</sup> А. А. Тустановский, Г. В. Орловская, Арх. патол., 15, № 3 (1953). <sup>14</sup> M. Wolman, Quart. J. Micr. Sci., 96, № 3 (1955).