

УДК 559+598.2:612.8

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ КЛЕТОК КОНЕЧНОГО МОЗГА КЛЕСТА-ЕЛОВИКА (*LOXIA CURVIROSTRA*)

Константинов В.Ю., Воронов Л.Н.

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», Чебоксары, e-mail: lnvoronov@mail.ru

Предложены количественные классификационные признаки для нейронов конечного мозга птиц, имеющих разную форму, что помогает избежать субъективизма при морфологической классификации нейронов. За основу была принята классификация Л.Н. Воронова. Выявлены закономерности пространственного расположения нейронов разных классов, глии и нейро-глиальных комплексов в конечном мозге клеста-еловика. Введено понятие о межклассовом расстоянии как о минимальном расстоянии между центрами тяжести всевозможных пар клеток соответствующих классов. Установлено, что межклассовые расстояния клеток конечного мозга клеста-еловика увеличиваются в ряду глиа – пирамидные нейроны – звездчатые нейроны – веретеновидные нейроны – комплексы. Тесное соседство глии с нейронами и нейро-глиальными комплексами связано с тем, что глиа выполняет трофическую, опорную, защитную, регенеративную и секреторную функции. Пространственная изолированность веретен в конечном мозге клеста соответствует относительной эволюционной молодости семейства Вьюрковые (*Fringillidae*), к которому относится клест-еловик.

Ключевые слова: конечный мозг, клест-еловик, нейрон, глиа, нейро-глиальный комплекс, пространственное расположение, межклассовое расстояние

THE SPATIAL DISTRIBUTION OF TELENCEPHALIC CELLS IN COMMON CROSSBILL (*LOXIA CURVIROSTRA*)

Konstantinov V.Y., Voronov L.N.

I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, e-mail: lnvoronov@mail.ru

The article suggests quantitative classification signs for avian telencephalic neurons with different shape, making possible to avoid subjectivity in classifying the neurons morphologically. The classification by L.N. Voronov serves as a basis. Moreover, the article ascertains the characteristics of spatial distribution of various neuron classes, glial cells and neuronal-glial complexes within the common crossbill telencephalon. The notion of interclass distance is introduced as a minimal distance between the centers of gravity of every possible pairs of corresponding cell classes. The interclass distances of crossbill telencephalic cells are shown to increase in the row glia – pyramidal neurons – stellate neurons – fusiform neurons – complexes. The proximity of glia to neurons and neuronal-glial complexes can be explained by functions of glia: trophic, support, defensive, regenerative and secretory. The spatial apartness of fusiform neurons within the crossbill telencephalon corresponds to a comparatively new evolutionary age of *Fringillidae* family that includes the common crossbill.

Keywords: telencephalon, common crossbill, neuron, glia, neuronal-glial complex, spatial distribution, interclass distance

Развитие мозга привело к возникновению и прогрессивной эволюции рассудочной деятельности, которая дала большие преимущества в борьбе за экологическую сферу обитания между таксономическими группами животных [3]. Изучение когнитивных способностей птиц – это подход к анализу эволюционных истоков мышления, который позволяет выявить наиболее универсальные его свойства, возникшие на разных этапах филогенеза. Микро- и макроструктуры мозга птиц существенно отличаются от таковых у млекопитающих (отсутствие новой коры, преобладание цитоархитектоники ядерного типа, наличие нейро-глиальных комплексов) и до недавнего времени рассматривались как заведомо более примитивные.

Обозова Т.А. и др. [4] выявили, что клесты-еловики способны обучаться дифференцировке множеств по относительному признаку «больше». У клестов, обладающих малопластичным кормовым поведением, но относительно высоким полушарным индек-

сом Портмана, обнаружена способность к обобщению – одному из важнейших компонентов рассудочной деятельности. В свете вышесказанного изучение головного мозга клеста является актуальной задачей. Результаты по плотности и площади профильного поля нейронов, глии и нейро-глиальных комплексов в конечном мозге клеста-еловика были опубликованы нами ранее [2].

Цель исследования – выявить количественные классификационные признаки нейронов конечного мозга птиц, имеющих разную форму, и исследовать пространственное расположение нейронов разных классов, глии и нейро-глиальных комплексов в конечном мозге клеста-еловика.

Материал и методы исследования

Работа проводилась в течение 2010–2011 годов в научно-исследовательской лаборатории биотехнологии и экспериментальной биологии при ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». Использовался конечный мозг 5 взрослых особей клеста-еловика (*Loxia curvirostra*). После декапитации мозг птиц извлекали

из черепа и фиксировали в 70%-м этаноле с последующей обработкой по стандартной методике Ниссля: заливка в парафин и окраска трансверсальных срезов толщиной 20 мкм кризил-виолетом. Для исследования цитоархитектоники брали каждый десятый срез. На микропрепаратах исследовали 7 основных зон конечного мозга птиц: Arcopallium (A), Globus pallidus (GP), Hyperpallium apicale (HA), Hyperpallium densocellulare (HD), Mesopallium (M), Nidopallium (N) и Striatum laterale (StL).

Определение нейронного состава конечного мозга клеста осуществлялось в соответствии с классификацией Воронова Л.Н. и др. [1]. Кроме того, учитывали глию (G), нейро-глиальные комплексы 1 и 2 типа (NGCI и NGCII). Находили межклассовые расстояния для 18 классов клеток, встречающихся в конечном мозге клеста-еловика. Под межклассовым расстоянием мы понимаем минимальное расстояние между центрами тяжести всевозможных пар клеток соответствующих классов. Проводилось фотографирование 30 полей зрения для каждой зоны конечного мозга. Микропрепараты фотографировались с помощью цифровой камеры «Canon Power Shot G5» с переходником «Carl Zeiss» и микроскопа «Микмед-2». Площадь контрольного поля равнялась $4,41 \times 10^{-2}$ мм². С помощью разработанной нами компьютерной программы обработки фотографий гистологических препаратов выделяли профили клеток по периметру. Для объективной идентификации классов нейронов нами была предложена совокупность классификационных признаков, которая была положена в основу работы программы. Программно определялись всевозможные расстояния между профилями клеток различных классов на конкретной фотографии и выбиралось наименьшее значение, которое затем усреднялось по фотографиям. Расстояние между классами в пространстве оценивалось по найденной средней величине, исходя из основного стереологического соотношения [5]:

$$L = \frac{4}{\pi} L',$$

где L – среднее межклассовое расстояние в пространстве, L' – усредненное по фотографиям данной зоны мозга минимальное расстояние между всевозможными парами профилей клеток соответствующих классов.

Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента с помощью программного пакета «Statistica 6.0 for Windows». Все указанные ниже различия достоверны при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения проблемы объективной и автоматизированной идентификации классов нейронов нами предлагается характеризовать нейрон *совокупностью классификационных признаков*. Эта задача является достаточно сложной в связи с большим количеством классов нейронов в головном мозге.

Нами предлагается шесть классификационных признаков нейрона по его профилю на фотографии среза: признак выпуклости S_c (convexity), коэффициент компактности K_c (compactness), число углов (описанного) аппроксимирующего много-

угольника N_a (angle), коэффициент площади K_a (area), коэффициент периметра K_p (perimeter), коэффициент центрированности K_{cn} (centrality). *Признак выпуклости* принимает два значения: «1», если профиль нейрона выпуклый, или «0», если профиль нейрона вогнутый. Под *максимальным размером профиля нейрона* будем понимать максимальное расстояние между двумя точками, принадлежащими границе профиля нейрона. *Минимальный размер профиля нейрона* определим как наименьшее расстояние между точками границы профиля, касательные к границе в которых параллельны. *Коэффициентом компактности* назовем отношение минимального размера профиля нейрона к его максимальному размеру. Под *коэффициентом площади* будем понимать отношение площади профиля нейрона к площади круга, диаметр которого равен максимальному размеру профиля нейрона. *Коэффициент периметра* определим как отношение периметра профиля нейрона к периметру окружности, диаметр которой равен максимальному размеру профиля нейрона. Наконец, *коэффициентом центрированности* назовем отношение расстояния от центра тяжести профиля нейрона до ближайшей точки на его границе, к расстоянию до наиболее удаленной точки, лежащей на этой границе.

Каждому классу нейронов можно сопоставить аппроксимирующий многоугольник профиля и по нему вычислить характерные значения классификационных признаков для данного класса (табл. 1). Поскольку нейроны различных классов заметно различаются хотя бы по одному признаку, то можно достаточно уверенно судить о принадлежности того или иного нейрона к определенному классу.

В результате работы с оригинальной компьютерной программой нами были получены матрицы межклассовых расстояний (18×18) для каждой из 7 зон конечного мозга клеста. Дать их здесь не представляется возможным ввиду ограниченного объема статьи. В табл. 2 приведены лишь наиболее близко расположенные классы клеток в зоне N конечного мозга клеста. В других зонах конечного мозга клеста наблюдаются примерно те же соотношения, но изменяются межклассовые расстояния (приблизительно пропорционально).

Идентификация по предложенным классификационным признакам трех основных типов нейронов мозга: веретеновидных (обозначение начинается с буквы «A»), пирамидных (обозначение начинается с буквы «B») и звездчатых (обозначение начинается с буквы «C») – осуществляется достаточ-

но четко. По признаку выпуклости можно отграничить звездчатые нейроны (у них признак выпуклости равен «0») от веретеновидных и пирамидных ($S_c = 1$). Затем по коэффициенту компактности можно разграничить веретеновидные нейроны (K_c от

0,25 до 0,33) и пирамидные (K_c от 0,43 до 0,96). Кроме того, все типы достаточно явно отличаются по коэффициенту периметра: у веретен K_p варьируется от 0,67 до 0,7; у пирамид – от 0,72 и до 0,95; у звезд – от 0,99 до 1,1.

Таблица 1

Значения классификационных признаков для различных классов нейронов

Класс нейрона	S_c	K_c	N_a	K_a	K_p	K_{cn}
At	1	0,33	6	0,28	0,69	0,33
Ad	1	0,25	7	0,22	0,70	0,29
As	1	0,30	8	0,24	0,67	0,30
Bm2	1	0,67	3	0,40	0,85	0,33
Bd2	1	0,50	3	0,31	0,80	0,25
Bb2	1	0,87	3	0,55	0,95	0,50
Bm3	1	0,59	4	0,37	0,78	0,33
Bd3	1	0,43	4	0,27	0,72	0,25
Bb3	1	0,96	4	0,61	0,94	0,50
Bst	1	0,63	5	0,64	0,89	0,58
C3	0	0,87	6	0,29	0,99	0,26
Cr	0	0,54	16	0,33	1,06	0,50
Cm	0	0,87	12	0,55	1,10	0,58
Ct	0	0,75	13	0,33	1,07	0,29
Cp	0	0,76	10	0,38	1,01	0,41

Таблица 2

Наименьшие из пространственных межклассовых расстояний клеток и их стандартные отклонения в зоне N конечного мозга клеста-еловика

Класс клеток (первый в паре)	Пространственное межклассовое расстояние, мкм (в скобках указан второй в паре класс клеток)		
	1	2	3
At	9,29 ± 1,30 (G)	17,94 ± 1,84 (Bst)	21,34 ± 2,86 (Bm2)
Ad	12,68 ± 1,18 (G)	28,36 ± 2,27 (Bst)	32,09 ± 2,92 (Bb2)
As	18,58 ± 1,94 (G)	39,43 ± 4,42 (Bst)	42,17 ± 1,25 (Bb3)
Bm2	6,46 ± 0,38 (G)	9,98 ± 0,83 (Bst)	12,68 ± 1,07 (C3)
Bb2	5,92 ± 0,28 (G)	12,54 ± 1,08 (Bst)	16,50 ± 2,32 (Bm2)
Bd2	8,15 ± 0,98 (G)	20,63 ± 3,31 (Bst)	24,48 ± 2,79 (Bm3)
Bm3	6,62 ± 0,31 (G)	11,54 ± 0,94 (Bst)	15,60 ± 2,01 (Cr)
Bb3	7,00 ± 0,43 (G)	10,43 ± 0,89 (Bst)	14,50 ± 1,86 (Bm2)
Bd3	12,59 ± 1,01 (G)	35,59 ± 5,62 (Bm3)	35,91 ± 4,67 (Bst)
Bst	5,14 ± 0,32 (G)	9,98 ± 0,83 (Bm2)	10,43 ± 0,89 (Bb3)
C3	12,68 ± 1,07 (Bm2)	15,05 ± 0,36 (G)	21,34 ± 1,57 (Cr)
Cr	6,61 ± 0,27 (G)	11,22 ± 0,92 (Bst)	15,60 ± 2,01 (Bm3)
Cm	6,75 ± 0,33 (G)	13,83 ± 1,97 (Bst)	18,67 ± 2,14 (Bm2)
Ct	6,54 ± 0,46 (G)	14,09 ± 1,48 (Bst)	15,25 ± 1,88 (Bm2)
Cp	6,28 ± 0,36 (G)	14,76 ± 1,66 (Bst)	18,08 ± 2,15 (Bb2)
NGCI	9,80 ± 0,55 (G)	18,28 ± 1,69 (Bst)	21,53 ± 2,01 (Bm3)
NGCII	16,67 ± 2,80 (G)	26,25 ± 1,82 (Bst)	38,01 ± 4,53 (Bm2)
G	5,14 ± 0,32 (Bst)	5,92 ± 0,28 (Bb2)	6,28 ± 0,36 (Cp)

Классы веретен (At, Ad, As) различаются между собой по количеству углов. Среди пирамид по количеству углов различаются класс Bst, группы классов B2 и B3. Классы

Bm2, Bd2, Bb2 отличаются по коэффициенту компактности. Классы Bm3, Bd3, Bb3 также отличаются по коэффициенту компактности. Помимо этого, классы Bb2, Bb3

и *Bst* отличаются от других пирамид высокими коэффициентами площади, периметра и центрированности. Среди звездчатых нейронов класс *Cr* выделяется низким коэффициентом компактности, а классы *C3* и *Cm* – высоким коэффициентом компактности. Классы *Cr* и *Cm* характеризуются высоким коэффициентом центрированности. Между собой классы *C3* и *Cm* различаются по коэффициенту площади. Среди оставшихся классов звезд (*Ct* и *Cp*) класс *Cp* выделяется высоким коэффициентом центрированности. К тому же, все классы звезд отличаются по количеству углов.

В конечном мозге клеста самым близко расположенным видом клеток по отношению к остальным является глия. Тесное соседство глии с нейронами и нейро-глиальными комплексами объясняется тем, что глия осуществляет трофическую, опорную, защитную, регенеративную и секреторную функции. За глией идут нейроны класса *Bst*. Пространственная близость нейронов *Bst* ко всем остальным классам, видимо, указывает на их полифункциональность. Это подтверждается и тем, что нейроны *Bst* являются морфологически наиболее высокоорганизованными пирамидными нейронами.

Далее наиболее близки ко многим классам клеток пирамидные нейроны *Bm2*. За ними следуют пирамиды *Bm3*, *Bb2*, *Bb3*. К некоторым классам клеток достаточно близки звездчатые нейроны *Cr*, *Cp*, *C3*. Известно, что пирамидные нейроны являются в основном возбуждающими, а звездчатые – тормозными. Веретеновидные нейроны (*At*, *Ad*, *As*) оказались расположены еще дальше от других классов клеток и поэтому не представлены в табл. 2. Следует отметить, что веретена – это самые низкоорганизованные нейроны. Пространственная изолированность веретен в конечном мозге клеста согласуется с относительной молодостью семейства Вьюрковые (*Fringillidae*), к которому принадлежит клест-еловик.

Заключение

Предложенная совокупность классификационных признаков нейронов, а также введенное понятие межклассового расстояния позволили получить данные о пространственном расположении нейронов разных классов, глии и нейро-глиальных комплексов в конечном мозге клеста-еловика. Увеличение межклассовых расстояний в ряду пирамидные нейроны – звездчатые нейроны – веретеновидные нейроны свидетельствует о достаточно прогрессивном развитии головного мозга клеста-еловика.

Список литературы

1. Воронов Л.Н. К проблеме классификации нейронов стриатума конечного мозга птиц / Л.Н. Воронов, В.В. Алексеев // Журнал высшей нервной деятельности. – 2001. – № 51 (4). – С. 477-483.
2. Константинов В.Ю. Морфофизиологические особенности конечного мозга клеста-еловика (*Loxia curvirostra*) / В.Ю. Константинов, Л.Н. Воронов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева. – 2011. – №2 (70), Ч. 1. – С. 70–74.
3. Крушинский Л.В. Биологические основы рассудочной деятельности. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 270 с.
4. Обозова Т.А. Клесты-еловики (*Loxia curvirostra*) способны к обобщению признака «больше» / Т.А. Обозова, А.А. Смирнова, З.А. Зорина // Журнал высшей нервной деятельности. – 2009. – № 59 (3). – С. 305–312.
5. Baddeley A. Stereology for Statisticians / A. Baddeley, E.B. Vedel Jensen. – Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2005. – 380 p.

Рецензенты:

Игнатъев Н.Г., д.б.н., профессор, зав. кафедрой биологии и экологии ФГОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия» Минобрнауки РФ, г. Чебоксары;

Сергеева В.Е., д.б.н., профессор кафедры медицинской биологии ФГОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» Минобрнауки РФ, г. Чебоксары.

Работа поступила в редакцию 08.07.2011.