

*Д. П. Матюшкин*

## К ВОПРОСУ О НЕЙРОННЫХ СУБСТРАТАХ СЛОВ И ФОНЕМ В ЯЗЫКЕ ЧЕЛОВЕКА

Проблема механизма речи, внешней и внутренней, всегда интересовала неврологов и психофизиологов. Но сегодня она стала особенно актуальной в связи с открытием в коре головного мозга «зеркальных» нейронов, например, кодирующих видимые движения [1], нейронов — детекторов определенных лиц [2], а также нейронов сочувствия [3] и, наконец, нейронов, кодирующих псевдослова [4].

Возникает вопрос: могут ли **отдельные нейроны** кодировать такие сложные внешние явления как движения руки, строение лица, восприятие соседа и слова? Последнее вызывает особый интерес [5].

В нашей статье проблема будет сужена до обсуждения вопроса о нейронном коде составляющих слова фонем. Последнее связано с тем, что общепринятым элементом произносимой, а значит, и мыслимой речи считаются не буквы, а фонемы — звуки [6].

Трудно представить себе, что фонемы кодируются возбуждением отдельных одиночных нейронов коры, например, больших пирамидных. Ведь один нейрон, будучи единственным получателем массы сигналов, поступающих к нему, может передать свой сигнал потенциальным адресатам лишь одним или серией потенциалов действия (ПД). Но потенциалы действия одного нейрона не достаточны для надежной передачи информации, для этого необходима **серия синхронных залпов ПД**, которую может произвести лишь кластер связанных содружественных нейронов [7].

И тогда надо обратиться к «колончатой» структуре коры, демонстрируемой в классических работах В. Б. Маунткасла [8, 9]. Согласно В. Б. Маунткаслу вся кора больших полушарий млекопитающих, и в том числе человека, разделена на множество (~ 600 млн) миниколонк, пронизывающих ее вертикально. Это подобия боченков, цилиндров или пластинок, содержащих сотни (одну-две) нейронов каждая, и обособленных от своих непосредственных соседей тормозными механизмами (их большими корзинчатыми клетками, действующими от каждой миниколонки к ее соседям). Эти миниколонки (МК) у множества видов млекопитающих имеют средний диаметр  $56 \pm 4$  мкм [9].

Примерно так можно описать основные положения колончатой схемы В. Б. Маунткасла:

- 1) все нейроны одной миниколонки (МК) отвечают на стимулы одной модальности;
- 2) все нейроны каждой МК имеют практически одинаковые (или близкие) рецептивные поля;
- 3) все нейроны каждой МК отвечают на периферическую стимуляцию с одинаковым латентным периодом;

---

*Матюшкин Дмитрий Павлович* — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем РАН; e-mail: matyushkin@imbp.ru

© Д. П. Матюшкин, 2013

- 4) МК, отвечающие на стимулы разной модальности, пространственно разнесены;
- 5) активация миниколонки тормозит соседние (ближайшие) МК.

Эти положения экспериментально показаны для затылочной, височной, моторной и других зон коры, о чем сообщалось в публикации 1981 г., переведенной на русский язык. Они не были существенно пересмотрены ни в отечественных работах [10, 11], ни в позднем (1997) большом обзоре самого В. Б. Маунткасла [9], где, кроме того, приводятся данные о развитии МК коры приматов из мозаичной структуры нейтрального эпителия вентрикулярной зоны путем ее роста с помощью глиальных подпорок. Сообщается, что по ходу этого роста в МК внедряются афференты от моноаминергических ядер ствола мозга, от базальных ганглиев, от таламической радиации и от некоторых источников ипси- и контралатеральной коры. Сообщается также, что основой развитых МК являются пирамидные возбуждающие (глутаматергические) и тормозящие (гамкергические) нейроны.

Все МК имеют через свои выходные аксоны виртуальные связи со множеством более отдаленных МК коры и с подкорковыми образованиями. Внутренняя структура МК включает тесные связи пирамид через контакты разветвлений их апикальных дендритов (включая «щелевые» — gap junctions), что позволяет уподоблять МК большому кластеру. А. С. Батуев [11] приводит слова Дж. Экклса о том, что подобный модуль «функционирует как единица в пространственно-временной системе связей благодаря полному перекрытию его кортико-кортикальных волокон». В модуле взаимное возбуждение соседних пирамид, через их возвратные коллатерали аксонов порождающее пачку их ПД, тут же активует тормозную клетку, обрывающую этот разряд на время действия ее ТПСП. Так можно понять схемы Дж. Экклса [12]. Это обеспечивает ограничение длительности и частоты следования залпов кластера — МК до уровня достаточного для передаточной функции (и не выходящего за пределы нормы).

Итак, если положить, что МК это «большой кластер», то можно допустить, что МК может кодировать только что-то одно: например, одну фонему (звук) и не более того. Иначе МК утрачивают «самостоятельность», нужную для свободного построения разных слов из фонем. А это идет по схеме временной связи [13].

Если это так, то следует описываемые **нейроны-детекторы** считать не отдельными — обособленными клетками, а компонентами группы МК, т. е. более крупных образований. И это дает оправдание поиска субстратов мозговых **детекторов** методом FMRI, делая по существу необязательной микроэлектродную методику, крайне затруднительную в исследованиях на человеке. Таким образом, субстратами, кодирующими фонемы можно полагать МК коры, количество которых достаточно для кодирования всей массы слов, составляемых из этих фонем, и не только одного языка.

Но в русском языке всего 44 фонемы! И они звучат в десятках тысяч слов!

Это не могут делать одни и те же МК! Значит у каждой МК есть множество дублеров. Такой избыток МК позволяет кодировать ими элементы многих языков.

А свободное существование субстратов-кодов для элементов образов по Д. Хьюбель [14] позволяет понять как ассоциации элементов формируют различные образы. Но привязка к одной МК образа лица человека — ошибка В. Б. Маунткасла [9]. Кодирование лица одной МК сопряжено с потерей этого образа при повреждении этой одной МК. В нашей схеме это исключено, т. е. только активация массы более или менее распределенных МК, кодирует образ лица.

Но вернемся к языку человека и к тому как возникают коды фонем. Есть данные о том, что у новорожденного ребенка в возрасте 3–5 месяцев развивается «гуление», в котором можно услышать звуки-элементы (фонемы!) всех языков мира [15]. Далее следует «лепет», закрепляющий эти элементы языка. Здесь налаживаются связи между моторными и сенсорными механизмами языка. Затем начинается обучение языку.

Предположим, что мать сообщает ребенку неизвестное ему слово «каша». Она говорит: «каша». При этом в коре активируются МК, кодирующие эти фонемы от периода гуления. А далее может произойти ассоциация этих МК, т. е. возникновение слова. Следуя фактам и идеям А. М. Иваницкого [16], можно представить, что многократное повторение слова «каша» с подачей ребенку этой пищи должно передать эти корковые сигналы в гиппокамп, где новая информация вызовет сильное возбуждение соответствующих модулей, передающих сигнал в гипоталамус (в часть РФ), пищевое возбуждение которого выступит безусловным подкреплением словесного сигнала. При этом сигнал гипоталамуса, поступая к этой группе МК коры, придаст ей через временную связь качество **осмысленной информации**, понятной ребенку и, значит, включаемой в его зарождающееся сознание (квалиа), в огромную систему очень сложно связанных групп МК-субстратов слов и образов. Эта схема осмысления слова подтверждается известным опытом: многократное повторение слова без какого-либо подкрепления делает это слово неузнаваемым, бессмысленным.

Если так происходит формирование и осознание из массы МК-фонем массы слов, то из слов (при том или ином подкреплении [17]) в ходе обучения могут быть сформированы самые разные фразы.

Обособленность и свобода нейронных элементов слов — МК-фонем — у взрослого образованного человека это основа «игры словами», которая иногда может осложняться за счет спонтанных (метаболических) активаций слов, случайно забытых и появляющихся в сознании во сне, в дремоте. Они могут быть химерами, но иногда и инсайтами. И свобода элементов слов и инсайты являются основой языкотворчества, и вообще творчества в любой интеллектуальной сфере.

В заключение повторим, что формирование нейронных субстратов — кодов видимых движений и лиц, — поскольку эти явления могут быть разложены на простые элементы [14], вероятно, может происходить подобно вышеописанному пути. Но это уже тема для особого рассмотрения.

И необходимо подчеркнуть, что исследования в этих областях с поиском нейронных субстратов речи, словесного и образного мышления — осознаваемого восприятия мира, — имеют не только теоретическое, но и несомненное практическое значение для педагогики, медицины (особенно психиатрии и мозговой нейрохирургии), да и всех областей жизни человека, связанных с мышлением, языком и творчеством.

## Литература

1. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror neuron system // *Ann. Rev. Neurosci.* 2004. Vol. 27. P. 169–192.
2. Бондарь А. С., Леопольд Д. А., Гузе М. А. Кодирование нейронами нижне-височной коры обезьяны информации о лицах // XX Съезд физиол. об-ва им. И. П. Павлова: тез. докл. М., 2007. С. 20.
3. Ramachandran V. S. Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind the great leap forward in human evolution // *Edge*. N 69. 2000. URL: <http://www.edge.org/documents/archive/edge69.html>
4. Mechelli A., Gomo-Tempini M. L. Neuroimaging studies of word and pseudoword reading consistencies, inconsistencies, and limitations // *J. Cogn. Neurosci.* 2003. Vol. 15(2). P. 260–371.

5. Черниговская Т. В. Мозг и язык: врожденные модули или обучающаяся сеть? // Мозг. Фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Наука, 2010. С. 117–127.
6. Лурия А. Р. Основы нейропсихологии. М.: Изд-во МГУ, 1973. 374 с.
7. His-Ping Wang, Spencer D., Fellous J.-M., Sejnowsky T. Synchrony of thalamo-cortical inputs maximizes cortical reliability // Science. 2010. Vol. 328, N 5974. P. 106–109.
8. Эдельмен Дж., Маунткасл В. Б. Разумный мозг. М.: Изд-во Мир, 1981. 133 с.
9. Mountcastle V. B. The columnar organization of the neocortex // Brain. 1997. Vol. 120. P. 701–722.
10. Бабминдра В. П., Брагина Т. А. Структурные основы межнейронной интеграции. Л.: Наука, 1983. 164 с.
11. Батуев А. С. Нейрофизиология коры головного мозга. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 214 с.
12. Экклс Дж. Тормозные пути центральной нервной системы. М.: Мир, 1971. 168 с.
13. Павлов И. П. Избранные произведения. М.; Л., 1949. 639 с.
14. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.
15. Вансовская Л. И. Формирование речи у детей // Психология: учебник / под ред. А. А. Крылова. М.: Изд-во «Проспект», 1998. С. 146–150.
16. Иваницкий А. М. Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания / Мозг, фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Наука, 2010. С. 75–92.
17. Матюшкин Д. П. Ретроградные действия в синапсах при формировании классической временной связи и ассоциации // Журн. высш. нервн. деятельности. 2010. Т. 60, № 4. С. 494–498.

Статья поступила в редакцию 13 июня 2013 г.