

УДК 612.8

## ФИЗИОЛОГИЯ НЕЙРОННОЙ КОДИРОВКИ ЛЕКСЕМ

© 2019 г. А. Зельдин\*

Департамент управления государственной службы, Реховот, Израиль

\* e-mail: anatolyz@moia.gov.il

Поступила в редакцию 28.05.2018 г.

После доработки 03.08.2018 г.

Принята к публикации 24.09.2018 г.

В статье рассматриваются механизмы восприятия и переработки информации структурами головного мозга (прежде всего, в мозговой коре) и высказываются предположения по поводу вербального оформления результата процесса семантического анализа. Предлагается схема кодировки индивидуального объекта в виде единичного слова (лексема) в рамках хеббовской гипотезы образования нейронных матриц (cell assemblies) и формирования семантических полей в виде конгломератов матриц, на основании чего можно сделать вывод о функционировании механизмов высшей нервной деятельности, управляющих не только вербальными функциями, но и восприятием, а также оперативной и долговременной памятью.

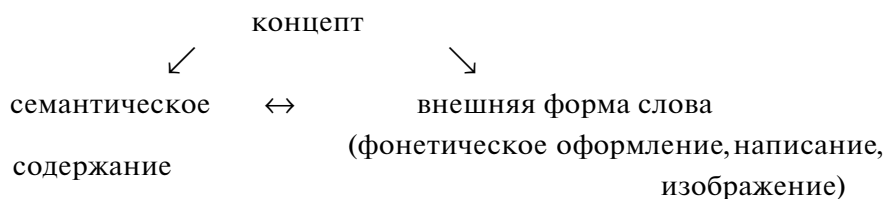
**Ключевые слова:** нейронные матрицы, лексема, сенсорное восприятие, семантическое поле, синаптические связи, зона Брока

**DOI:** 10.1134/S0044467719020126

Любое мышление, даже на самом примитивном уровне, можно рассматривать как семантический анализ – восприятие и переработку информации, поступающей из внешнего мира или, в частном случае, из собственного внутреннего состояния. На уровне высшей нервной деятельности основным средством взаимодействия человека с

окружающим миром, своего рода интерфейсом, является язык.

По определению И.П. Павлова, человеческий язык является второй сигнальной системой, в основе которой лежит слово или лексема как элементарная частица вербальной деятельности. Слово можно представить в рамках де-соссюрдовской лингвистики в виде триады:



Если концепт существует объективно, *per se*, независимо от восприятия (яблоко), то семантическое наполнение обеспечивается человеческим опытом, практикой и культурной традицией (плод дерева *Malus pumila* округлой формы, с черенком и плодоножкой, от трех до 10 сантиметров в диаметре, зеленого, красного или желтого цвета, с сочной мяко-

тью характерного сладкого, кисло-сладкого или кислого вкуса и т.д.), а фонетическое оформление является объектом общественного договора, согласно представлениям древнегреческих философов (Аристотель, Демокрит; в Новое время эти взгляды развивал Руссо), и меняется от одного социума к другому как в диахроническом, так и синхро-

ническом аспекте (русск. *яблоко*, др. русск./ц.-слав. *ѣблѣко*, англ. *apple*, др. англ. *æppel*). Как семантика, так и фонетический облик слова закодированы в мозгу, откуда могут быть извлечены при сенсорной стимуляции — визуальной, аудиторной, ольфакторной, вкусовой или значительно реже тактильной, либо ассоциативно. “Слова могут породить ментальные образы, которые могут активировать мозговые зоны, регистрирующие окружающий мир, когда мы его воспринимаем” [Pinker 1997, 539]. Ключевым является вопрос, каким образом осуществляется это кодирование и какие элементы при этом взаимодействуют. Прежде всего информация в мозгу кодируется импульсной электрической активностью нейронов [Балабан, Гуляева, 2015]. Следует задаться вопросом о принципах и иерархическом построении такой кодировки.

Адекватную и логичную схему предполагает модель нейронных матриц (*cell assemblies*), предложенная канадским психологом Дональдом Хеббом в 1949 г.

Согласно теории Хебба (*cell assembly theory*) [Hebb 1949], при перцептивном восприятии происходит активация нейронов, их структуризация в конгломераты (или матрицы), что и составляет запоминание, а при повторении — собственно процесс обучения. Множество нейронов зрительной коры возбуждается одновременно; при этом между активированными нейронами образуются синаптические связи (со скоростью 10–100 тысяч связей в секунду [Braitenberg, Schütz, 1998]) и формируются нейронные матрицы (*cell assemblies*) согласно принципу порогового контроля (*threshold control*): “Прежде всего, можно предположить, что неоднократная стимуляция специфических рецепторов ведет постепенно к формированию ассамблеи нервных клеток в определенной зоне, и эта ассамблея будет осуществлять кратковременное действие даже после того, как стимуляция прекратилась” [Hebb, 1949, 49]. И далее: “Прежде высказывалась основная идея, состоящая в том, что любые две клетки или системы клеток, одновременно проявляющие активность, имеют тенденцию к образованию ассоциации, и таким образом активность одной нервной клетки или системы клеток стимулирует активность другой” [Hebb, 1949, 70]. Таким образом, объект, многократно воспринимаемый визуально, генерирует образование нейронной матри-

цы, которая активируется при попадании в поле зрения того же объекта/стимула. Каждая нейронная матрица обладает функцией активации ассоциированной с ней матрицы, образующей с первоначальной так называемую фазовую последовательность, и, напротив, функции ингибирования активности несвязанной матрицы [Ghalib, Нууск, 2007]. При прекращении действия сигнала активация матрицы не прекращается согласно принципу долговременного потенцирования (*long-term potentiation*), предложенному спустя 20 лет после публикации хеббовской теории [Whitlock, Moser, 2014]. При этом география нейронов не имеет решающего значения — взаимодействия между близлежащими нейронами не обязательно будут сильнее взаимодействия между отдаленными [Nicoletis et al., 1997]. Кроме непосредственного образования синаптических связей при построении матрицы, являющей основу долговременной памяти, следует принимать во внимание такие факторы, как размер синапса и его увеличение в размерах, построение миелиновой оболочки аксона, наращивание ядерного и белкового материала в цитоплазме нейронов, формирующих матрицу и пр. [Braitenberg, Schütz, 1998]. Рассматривая топологию матриц, следует учитывать географию зон обработки сигнала — так, непосредственное сенсорное восприятие обрабатывается в теменной зоне, а семантический анализ происходит в височной зоне [Axelrod et al., 2014; Jeannerod et al., 1995; Pulvermüller, 2013]. Высказывались предположения, что ключевая роль в семантической обработке данных, как было установлено благодаря применению метода fMRI, принадлежит веретенообразной извилине (*fusiform gyrus*) в височной области (зона Бродмана 37) [Balsamo et al., 2006; Ding et al., 2016; Martin, 2007; Mion et al., 2010; Zhang et al., 2016], грамматические и синтаксические построения выполняются в участке внутренней фронтальной извилины (зоны Бродмана 44 и 47) [Sigmund et al., 2014], частично пересекающейся с зоной Брока. Результаты обследования пациентов, страдающих так называемой семантической деменцией, позволяют предполагать первичную концептуальную обработку поступающих сенсорных сигналов (цвет, форма, размер, характерные детали, вкус, консистенция и пр.) в едином координационном центре в передней височной доле [Patterson et al., 2007], которому дано рабочее наименование семантический эпицентр (*semantic hub*).

Вместе с тем ряд исследователей склоняются к тому, что семантический анализ может осуществляться не в едином центре, а в близлежащих мозговых модулях, географически примыкающих к силвиевой борозде [Axelrod et al. 2017; Binder et al., 2009; Pulvermüller, 2013].

Можно поставить вопрос с точки зрения нейролингвистики, конкретно — кодирование отдельных слов, которые организуются в виде отдельных нейронных матриц. Высказывалось предположение, что на психологическом уровне отдельная матрица соответствует слову и его фонетическому оформлению [Pulvermüller, 1999]. В гипотезе Хебба делается упор на формирование нейронных матриц под воздействием зрительного канала восприятия и соответственно активизацию визуальной области коры (зоны Бродмана 17), но с уверенностью можно предположить, что аналогичное структурирование происходит и в других областях — слуховой (зона 41) и соматосенсорных (зоны 1–3). Так, под воздействием звукового сигнала аналогично активизируются нейроны в слуховой области, а семантическое и фонологическое восприятие слова осуществляется, как показывают эксперименты, в ходе активизации участков коры головного мозга, которые перекрываются между собой (процесс при этом синхронизирован) [Uusvuori et al., 2008].

Рассматривая процесс построения нейронной матрицы, следует учесть как органы перцепции, так и социальные факторы [Yu, Smith, 2012]. Так, при произнесении слова “яблоко” и демонстрации дезигната происходит возбуждение нейронов слухового участка мозговой коры и поступление сигнала в центр (или центры) первичной семантической обработки в области силвиевой борозды, после чего происходит активация существующей матрицы долговременной памяти. Таким образом, происходит расширение базовой матрицы, образованной в результате зрительного восприятия объекта, и построение новой, кодирующей внешний вид дезигната и его наименование, то есть фонетическое наполнение. Сенсорные сигналы собираются и анализируются сотнями миллионов нейронов в соответствующих областях, и широкие аксонные пучки ассоциативных передающих нейронов доставляют переработанный сигнал в семантический эпицентр (или центры) [Maunsell, 2014]. На следующей стадии в матрицу включаются моторные и зер-

кальные нейроны. После первичной обработки сенсорного сигнала и интеграции полученных данных в семантическом центре (или центрах) мозговой коры сигнал поступает в соответствующие области, отвечающие за действие, выполнение, реакцию и пр. Таким образом, связь между зрительным участком коры головного мозга и языковыми зонами происходит, осуществляется через семантический эпицентр (или центры) [Pulvermüller, 2013].

Образование синаптических связей в зрелом мозгу может происходить на протяжении всей жизни, но особенно активно на втором году жизни новорожденного [Kostović, Judaš, 2014], и к четвертому году жизни в основном завершается [Lenneberg, 1967]; именно этот интервал и считается критическим периодом освоения языка. Первые слова младенец начинает произносить в возрасте 9–12 мес.; в период от одного года до двух происходит формирование зачатков синтаксиса (переход от односложных высказываний к двусложным); грамматическая и синтаксическая речь формируется к периоду 24–30 мес. жизни. Отдельно следует рассмотреть вопрос артикуляции нового слова, которое появляется в лексиконе. Особую роль в процессе артикуляции играет инстинкт подражания, проявляющийся в самом юном возрасте — буквально, на второй неделе жизни [Meltzoff, Moore, 1977].

Первичной стадией вокализации является младенческий лепет (babbling); издавая лепет, ребенок использует общий набор практически всех возможных согласных фонем, независимо от культурной среды [Locke, 1983]; начиная с четвертого месяца происходит выделение фонем из бессвязного потока. Фонемы кодируются в слуховом участке по тонопическому принципу — фонемы различной частоты кодируются различными популяциями нейронов [Richards, Kidd Jr., 2014]. Младенец бессознательно методом проб и ошибок артикулирует новые незнакомые фонемы, неосознанно устанавливая фонемный инвентарь и сочетаемость фонем, соответствующих конкретной языковой среде [Petitto, Marentete, 1991]. Эти звуковые сигналы активируют нейроны в моторных участках [Pernis, Vigliocco, 2014], в частности, во внутренней моторной зоне, контролирующей артикуляционную деятельность, и примыкающей к ней внутренней префронтальной зоне; параллельно активируются нейроны слухо-

вой области (в том числе во внешней височной доле) [Garagnani et al., 2009; Pulvermüller, 2001]. При слуховом восприятии происходит активация моторных зон прецентральной мозговой коры, эти же самые моторные зоны участвуют в активизации орофациальных мышц артикуляционного аппарата органов речи [Pulvermüller et al., 2006]. В результате существующие нейронные матрицы расширяются, устанавливая новые синаптические связи с нейронами моторной области в зоне Брока. Попытки подражания звукам речи взрослого участника диалога (как правило, мать или отец) активизируют зеркальные нейроны, встроенную в существующую матрицу, кодирующую десигнат (напр., яблоко), и моторная составляющая сложившейся нейронной матрицы активизирует языковую функцию мозговой коры [de Lafuente, Romo, 2004]. На очень ранних этапах речевой деятельности происходит семантический анализ, закрепляющий за десигнатом классовое название (в нашем примере: данное яблоко → признаки яблока → яблоко вообще) [Bloom, 1996]. Область Брока после первых двух лет жизни функционально дифференцируется и включает в себя моторную (движения конечностей) и орофациальную зоны, а также собственно языковую зону, ответственную за грамматику в широком смысле слова [Greenfield, 1991] и синтаксис [Embick et al., 2000; Stromswold et al., 1996]; кроме того, область Брока связана с префронтальными зонами мозга, где осуществляется планирование действий [Greenfield, 1991]. Функция зеркальных нейронов окончательно не прояснена, но можно предположить, что при активизации нейронной матрицы, особенно при визуальном наблюдении за производимым действием (удар ногой по мячу или движение руки с пилой), зрительная область посылает соответствующий импульс в кору, где в моторной области активизируется матрица, соответствующая наблюдаемому десигнату, и в том числе – зеркальные нейроны [Feldman, Narayanan, 2004; Hauk et al., 2004; Pulvermüller et al., 2005].

Интерпретация связей между нейронными матрицами подразумевает рассмотрение в совокупности всей коры головного мозга, связи между отдельными нейронами различных матриц могут простираются на протяжении всей мозговой коры [Palm, 1981]; семантическая информация хранится в широкой зоне коры головного мозга [Huth et al., 2016],

включающей латеральную (номинативная деятельность [Ojeman et al., 1988]) и вентральную (в том числе – распознавание лиц [Miller et al., 2017]) височные зоны; латеральную (в том числе – эпизодическая память [Davidson et al., 2008]) и медиальную (навигация [Baumann, Mattingley, 2010]) париетальные зоны; медиальную (принятие решений и эмоциональный отклик [Euston et al., 2012]), внешнюю (широкий круг задач, в частности, восприятие внутреннего состояния другого человека или theory of mind, планирование будущих событий, автобиографическая память, внутренний диалог [Nielsen, Anderson, 2016]) и внутреннюю префронтальные зоны (отбор информации, предоставляемой семантической памятью [Thompson-Schill et al., 1997]). Таким образом, нейронная кодировка слова/объекта/десигната заключена в долговременной матрице, включающей в себя синаптические связи с соматосенсорными зонами головного мозга, а также моторной зоны, выполняющей также и языковые функции. Взаимодействие смежных нейронных матриц лингвистически можно описать как процесс метафорического/метонимического переноса [Зельдин, 2016]; при неоднократной активизации в результате переноса образуются так называемые семантические поля – смежные участки коры головного мозга, в которых хранится информация об объектах, принадлежащих к одному классу. При этом отдельные нейроны могут принадлежать к различным матрицам [Nicollelis et al., 1997] (лингвистически это можно описать метафорически – помидор одновременно и овощ, и круглый объект ярко-красного цвета, отсюда ассоциация ‘лицо/щеки, как помидор’. Экспериментально установлено, что происходит активизация матриц на определенном уровне при демонстрации стимула определенного цвета, например, красного; аналогичный стимул иного цвета не приводил к достижению потенциала прежнего (“красного”) уровня или сопровождался быстрым затуханием матрицы [Pulvermüller, 2001]). При этом на уровне онтогенеза распознавание и закрепление в памяти десигнатов-объектов (выражаемых существительными) предшествуют десигнатам-свойствам (выражаемым прилагательными) [Waxman, Booth, 2001]. Описанные афазии позволяют предполагать, что можно локализовать участки, хранящие информацию о таких классах предметов, как фрукты и овощи, лица, животные,

мебель, здания, пейзажи [Bechetereva et al., 1979; Gallese, 2003; Hart et al., 1985; Hillis, Caramazza, 1991; Jakobson, 1990]. События, ведущие к блокировке кровоснабжения тех или иных участков коры (кровоизлияния, механические повреждения и др.), ведут к отмиранию этих областей, временному или постоянному, и соответственно к неспособности активизировать соответствующие нейронные матрицы. Иными словами, омертвление участков коры головного мозга ведет к исключению целых семантических полей из дискурса (хотя когнитивные способности могут и не нарушаться). Поскольку практически любой деизигнат можно представить в виде объекта, обладающего набором свойств, и кластеризация в коре головного мозга происходит согласно этим свойствам (см. ниже), то косвенным образом инактивация участков коры в зоне Брока, представляющих то или иное семантическое поле, со множеством тех или иных репрезентативных признаков, ведет к инактивации даже не смежных семантических полей. Так, описан случай для пациента (45-летний мужчина, занимающий должность менеджера), который в результате удара по голове потерял способность различать и называть животных и транспортные средства [Hillis, Caramazza, 1991]. Остается неясным, осуществляется ли нейронная связь между указанными семантическими полями по признаку подвижности или мобильности (как это предполагают авторы), или мозг производит метафорический перенос по признаку внешнего подобия – горизонтальное положение корпуса, голова/кабина, глаза/фары, хвост/выхлопная труба, четыре лапы/четыре колеса. Ответить на этот вопрос можно только после построения карты мозговой коры, учитывающей географию и топологию семантических полей и их взаимодействие по хеббовскому принципу с учетом потенциала активации.

Если рассматривать топологию семантических полей с точки зрения проекции на языковую деятельность, то можно прийти к следующим выводам:

1. Семантические поля структурированы как набор нейронных матриц, синаптически сочлененных между собой; эта связь имеет постоянный базис, что обуславливает долговременную память. Наблюдаемая при сенсорном воздействии активация нейронных матриц, кодирующих объекты, относящихся к одному семантическому полю (напр., ябло-

ня, вишневое дерево, персиковое дерево и т.д.), демонстрирует сходный характер реагирования (период активации нейронов-затухание-повторная активация-затухание-третичная активация) [Bechetereva et al., 1979].

2. Кластеризация деизигнатов в пределах семантического поля происходит по принципу ядра (объекты с наиболее ярко выраженными характерными признаками данного поля; напр. #фрукт – растущий на дереве, имеющий кожицу, мякоть и косточки, сладкого вкуса, подаваемый на десерт, как яблоко, груша, слива, персик, манго) и периферии (плоды, делящие с ядром поля ряд признаков; так, условно банан можно отнести к #фрукт (-ам) на 90%, арбуз или клубнику – на 80%, грецкий или лесной орех – на 70% и т.д.) [Aitchison, 1987; Geeraerts, 2010]. Семантическое поле формируется, начиная с ядра, которое впоследствии обрастает периферией; периферические нейроны семантического поля/полей связаны более слабыми связями, они образуют связи с периферическими нейронами смежных семантических полей (это происходит в результате порядка сотни соматосенсорных воздействии одного и того же стимула [Garagnani et al., 2009]), так образуется континуум семантических полей (#ягода ← клубника → #фрукт). Слабые синаптические связи между периферическими нейронами могут прерываться. Удельный вес признаков, определяющих принадлежность к семантическому полю, неравнозначен; так, арахис мы относим к семантическому полю #орех, несмотря на то, что они растут в земле и являются не орехами, а бобовыми, точно так же помидор является ягодой, но вне рамок ботанического дискурса его принято относить к семантическому полю #овощ. Математически эту модель можно описать в виде нечетких множеств (fuzzy sets). Можно также предположить (исходя из рассмотренного выше примера о предполагаемом нейронном взаимодействии между семантическими полями #животные и #транспортные средства), что связь между полями, осуществляемая в виде активации включенных в них матриц, происходит по вероятностному принципу [Pulvermüller, 2013].

Так, при появлении в поле зрения яблока и возбуждении соответствующей области сенсорного участка коры головного мозга происходит дальнейшая передача импульса первоначальной матрицы и возбуждение смежных с ней, в зависимости от ситуации;

при этом ситуация или контекст носят статистический характер. Такой процесс можно описать методом байесовской статистики [Huth et al., 2016; Knill, Pouget, 2004; Pearl, 1999].

---

яблоко
↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
a. #фрукт плод
b. #круглое
c. #еда, десерт
d. #красное, желтое, зеленое
e. #сырье для пищевой промышленности (уксус, соки, варенье, джемы, кальвадос и пр.)
f. мифологический или культурологический объект (яблоко Евы, яблоко Ньютона, яблоко Спящей Царевны и пр.)

---

Буквами показана статистическая вероятность взаимного возбуждения семантического поля, сопряженного синаптическими связями с кластерным ядром “яблоко”; вероятность появления ассоциативных связей можно эмпирически выразить как  $a \approx b \approx c > d > e > f$ . Согласно статистическому принципу, происходит передача активации между нейронами [Simoncelli, 2014]; возбуждение может передаваться в пределах одной матрицы или, согласно логике и здравому смыслу, между сопряженными матрицами.

3. Взаимодействие между несопредельными семантическими полями возможно, но по вторичным признакам (например, форма или цвет), оно происходит в более слабом виде; в нейрофизиологических терминах это выражается в меньшем количестве синаптических связей и/или более высоком барьере потенциала активации. Как уже отмечалось выше, активация по такому признаку возможна [Pulvermüller, 2001], но она выражена слабее – происходит синхронное возбуждение нейронов, включенных в матрицы несмежных семантических полей (красное яблоко  $\subset$  #фрукты; помидор  $\subset$  #овощи; солнце на восходе/закате  $\subset$  #небесные явления; красные щеки  $\subset$  #лицо и т.д.), расположенных в разных участках, соответственно, едва ли можно локализовать семантическое поле по признаку ‘красный’.

4. Как следует из п. 3, маловероятна афазия, выражающаяся в неспособности извлекать из долговременной памяти наименования красных или круглых объектов.

5. При этом метафорическое сознание имеет бóльшую тенденцию воспринимать вторичные признаки объекта (круглый или красный), и в таком качестве они в большей степени влияют на пополнение лексикона, в том числе и с точки зрения морфологии (объект, расположенный спереди, сзади, сверху и т.д.). Роль метафорического мышления в лингвогенезе представляется весьма значительной: “Отдельные специалисты в области языка даже утверждают, что мы думаем и действуем метафорами и что человечество приговорено к мышлению по аналогии” (Silverman, Torode (цит по: [Trim 2011, 4])); или: “Наше обычное концептуальное мышление, в рамках которого мы думаем и действуем, по природе своей и в основе своей метафорично” (Lakoff (цит по: [Pinker 2008, 245])).

6. Морфемы слова закодированы в отдельных матрицах [Marslen-Wilson, Tyler, 2007; Pinker 1999]. Так, лексема “яблочный” не хранится в виде отдельной единицы-матрицы, а образуется при взаимодействии матрицы, кодирующей корень ‘яблок-’, матрицы, кодирующей закон чередования -к-/-ч- (также складывается на основе многих воспринимаемых на слух примеров, по этой причине дети и иностранцы делают ошибки в изучаемом языке), суффикс -н-, постфикс -ый. Аналогично, для человека, говорящего по-турецки: *odalar* “в комнатах” (*oda* “комната”, *-lar* множественного числа, *-lar/-ler* ‘матрица, кодирующая выбор морфем согласно закону гармонии гласных в тюркских языках’, *-da* местный падеж). Время запаздывания при агглютинации морфемы – около 200  $\mu$ s. Артикуляция различающихся по месту образования фонем (напр., билабиальная фонема *uz* альвеолярная фонема) сопровождается возбуждением различных участков моторной коры [Pulvermüller et al., 2006]. Кодировка фонем в аудиторном участке, как уже говорилось выше, происходит по тонопическому принципу, согласно частоте фонем. Можно предположить, что аналогичный принцип действует также и в отношении звуковой амплитуды при произнесении фонемы.

7. Морфология, синтаксис и нарратив (в том числе самый простейший, как “Я хочу спать”) осуществляется при условии непрерывной обратной связи между семантическим (аналитическим) центром или центрами в перисильвийской зоне и языковыми областями мозговой коры. Осуществление грамматического речевого акта (“я хочу

спать” vs. \*”я хотим спать”/\*”я хочу спал”) происходит при соблюдении порогового потенциала возбуждения по шлюзовому принципу последовательной активации/деактивации/ингибирования сопряженных нейронных матриц, кодирующих лексемы/морфемы, и комбинаций этих матриц, образующих предложения [van der Velde, de Kamps, 2003]. Время запаздывания при регистрации ошибочной семантики составляет 400  $\mu$ s, при реагировании на нарушение правил синтаксиса интервал запаздывания несколько больше — 600  $\mu$ s [Stevens, Neville, 2014], что связано с семантической обработкой нескольких лексических и морфологических элементов.

8. Кроме пополнения лексикона, метафора играет важную роль в словесной культуре и в психологии (в том числе, в суггестивных методах воздействия, условных рефлексах и многое другое), что находит свое отражение в многих произведениях культуры (напр., “Я встретил Вас//И всё былое//В отжившем сердце ожило...” или “Лошадиная фамилия”).

9. Роль подкорковых/внекорковых участков, таких, как базальные ядра и мозжечок, в семантическом анализе пока освещены лишь эпизодически [Lieberman, 2002, Mariën et al., 2014] — этот вопрос находится в начальной стадии исследования, как и языковые функции указанных участков, хотя в целом эти функции уже не подвергаются сомнению; можно предположить, что указанные зоны филогенетически унаследовали свои функции от протогомидного (и даже протомлекопитающего) состояния, отвечая за инстинктивные реакции (напр., опасность или голод).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

“И все же...мы все равно не подойдем к важнейшему вопросу в познании мышления, своего рода сверхзадаче — познанию его мозгового кода...Коды “складываются” при необходимости, они короткоживущие [утверждение во многом спорное — А.З.], один и тот же нейрон может участвовать в разных ансамблях (cell assemblies) и т.д. — то, что мы определяем как пространственно-временное кодирование” [Бехтерева, 2015, 76]. Изучение функционирования нейронных матриц может придать импульс разработке теории таких явлений, как условные рефлексy, ассоциативное мышление и поведенческая пси-

хологии, не говоря о приложении данной теории в педагогических науках. Современные методы исследования и картографирования мозга (такие как магнито-энцефалография, позитронно-эмиссионная томография, функциональная магнитно-резонансная томография, спектроскопия в ближней инфракрасной области) позволяют проследить за активностью отдельных нейронов, и составление карты активности отдельно выделенной нейронной матрицы, соответствующей определенному стимулу, позволит составить карту семантического поля, что придаст значительный импульс исследованиям на стыке нейролингвистики, семантики и языковым афазиям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балабан П., Гуляева Н.* Нейрофилософия. Журнал высшей нервной деятельности. 2015. 65. 4: 498–502.
- Бехтерева Н.* Магия мозга и лабиринты жизни. АСТ, М., 2015.
- Зельдин А.* Нейролингвистический базис образования метафоры. Актуальные проблемы современной науки. 2016. 3 (88): 185–191.
- Aitchison J.* Words in the Mind. An Introduction to the Mental Lexicon. Cambridge University Press. 1987.
- Axelrod V., Bar M., Rees G., Yovel G.* Neural Correlates of Subliminal Language Processing. Cerebral Cortex. 2014. : doi 10.1093./cercor/bhu022
- Axelrod V., Rees G., Bar M.* The default network and the combination of cognitive processes that mediate self-generated thought. Nature Human Behaviour. 2017. 1: 896-910. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0244-9>
- Balsamo L., Xu B., Gaillard W.* Language lateralization and the role of the fusiform gyrus in semantic processing in young children. Neuroimage, 2006. 31 (3): 1306–1314.
- Baumann O., Mattingley J.* Medial parietal cortex encodes perceived heading direction in humans. J. Neurosci. 2010. 30 (39): 12897–12901.
- Bechtereva N., Bundzen P., Gogolitsin Yu., Malyshev V., Perepelkin P.* Neurophysiological Codes of Words in Subcortical Structures of the Human Brain. Brain and language. 1979. 7: 145–163.
- Binder J., Desai R., Graves W., Conant L.* Where is the Semantic System? A Critical Review and Meta-Analysis of 120 Functional Neuroimaging Studies. Cerebral Cortex. 2009. 19 (12): 2767–2796.
- Bloom P.* Possible Individuals in Language and Cognition. Current Directions in Psychological Science. 1996. 5 (3): 90–94.
- Braitenberg V., Schüz A.* Cortex: Statistics and geometry of Neuronal Connectivity. Springer. 1998.

- Davidson P., Anaki D., Ciaramelli E., Cohn M., Kim A., Murphy R., Troyer A., Moscovitch M., Levine B. Does Lateral Parietal Cortex Support Episodic Memory? Evidence from Focal Lesion Patients. *Neuropsychologia*. 2008. 46 (7): 1743–1755.
- De Lafuente V., Romo R. Language Abilities and Motor Cortex. *Neuron*. 2004. 41: 178–180.
- Ding J., Chen K., Chen Y., Fang H., Yang Q., Lu Y. et al. (10 names in total). The Left Fusiform Gyrus is a Critical Region Contributing to the Core Behavioral Profile in Semantic Dementia. *Front. Hum. Neurosci.* 2016. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00215>
- Embick D., Marantz A., Miyashita Y., O'Neil W., Sakai K. A syntactic specialization for Broca's area. 2000. *PNAS* 97 (11): 6150–6154.
- Euston D., Gruber A., McNaughton B. The Role of Medial Prefrontal Cortex in Memory and Decision Making. 2012. *Neuron* 76 (6): 1057–1070.
- Feldman J., Narayanan S. Embodied meaning in a neural theory of language. *Brain and Language*. 2004. 89: 385–392.
- Gallese V. A neuroscientific grasp of concepts: from control to representation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 2003. 358: 1231–1240.
- Garagnani M., Wennekers Th., Pulvermüller F. Recruitment and Consolidation of Cell Assemblies for Words by Way of Hebbian Learning and Competition in a Multi-Layer Neural Network. *Cognitive Computation*. 2009. 1: 160–179.17
- Geeraerts D. Theories of Lexical Semantics. Oxford University Press. 2010.
- Ghalib H., Huyck Ch. A Cell Assembly Model of Sequential Memory. *Neural Network. IJCNN* 2007. International Joint Conference on Neural Network. 2007. doi 10.1109/IJCNN.2007.4371029.
- Greenfield P. Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*. 1991. 14: 531–595.
- Hart J., Sloan Beradt R., Caramazza A. Category-specific naming deficit following cerebral infarction. *Nature* 1985. 316.1: 439–440.
- Hauk O., Johnsrude I., Pulvermüller F. Somatotopic Representation of Action Words in Human Motor and Premotor Cortex. *Neuron*. 2004. 41: 301–307.
- Hebb D. The organization of Behaviour. Wiley. NY. 1949.
- Hillis A., Caramazza A. Category-Specific Naming and Comprehension Impairment: a Double Dissociation. *Brain*. 1991. 114: 2081–2094.
- Huth A., de Heer W., Griffith Th., Theunissen F., Galant J. Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*. 2016. 532: 453–458.
- Jakobson R. Two Aspects of Language and Two Types of Aphasic Disturbances. In: Roman Jakobson. *On Language*. 1990. 115–133.
- Jeannerod M., Arbib M., Rizzolatti G., Sakata H. Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neurosci.* 1995. 18.7: 314–320.
- Knill D., Pouget A. The Bayesian brain: the role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends in Neurosciences*. 2004. 27 (12): 712–719.
- Kostović I., Judaš M. Early Development of Neural Circuitry of the Human Prefrontal Cortex. In: *Cognitive Neurosciences*. Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (Mass.). L.: Bradford Book&MIT Press, 2014. 29–48 pp.
- Lenneberg E. *Biological Foundations of Language*. John Wiley&Sons Inc, NY. 1967.
- Lieberman Ph. *On the Nature and Evolution of the neural Bases of Human Language*. Yearbook of Physical Anthropology. 2002. 45: 36–62.
- Locke J. *Phonological Acquisition and Change*, Academic Press, NY. 1983.
- Mariën P., Ackermann H., Adamaszek M., Barwood C., Beaton A. et al. (21 names in total). Consensus Paper: language and the Cerebellum: an Ongoing Enigma. *Cerebellum*. 2014. 13: 386–410. doi 10.1007/s12311-013-0540-54
- Marslen-Wilson W., Tyler L. Morphology, language and the brain: the decompositional substrate for language comprehension. *Phil. Trans. R. Soc.* 2007. 362: 823–836. doi 10.1098/rstb.2007.2091
- Martin A. The Representation of Object Concepts in the Brain. *Annu. Rev. Psychol.* 2007. 58: 25–45.
- Maunsell J. The Effect of Attention on the Responses of Individual Visual Neurons. In: *Cognitive Neurosciences*. Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (Mass.) – L.: Bradford Book&MIT Press, 2014. 218–288 pp.
- Meltzoff A., Moore M. Imitation of Facial and Manual Gestures by Human Neonates. *Science*. 1977. 198: 75–78.
- Miller K., Hermes D., Pestilli F., Wig G., Ojemann J. Face percept formation in human ventral temporal cortex. *J. of Neurophysiology*. 2017. 118 (5): 2614–2627.
- Mion M., Patterson K., Acosta-Cabronero J., Pengas G., Izquierdo-Garcia D. et al. (10 names in total). What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory? *Brain*. 2010. 113 (11): 3256–3268.
- Nicolelis M., Fanselow E., Ghazanfar A. Hebb's Dream: the Resurgence of Cell Assemblies. *Neuron*. 1997. 19: 219–221.
- Nielsen J., Anderson J. Superior Prefrontal Cortex (Area 8). 2016. <https://radiologykey.com/superior-prefrontal-cortex-area-8>
- Ojemann G., Creutzfeldt O., Lettich E., Haglund M. Neuronal activity in human lateral temporal cortex related to short-term verbal memory, naming and reading. *Brain*. 1988. 111 (6): 1383–1403.
- Palm G. Towards a Theory of Cell Assemblies. *Biological Cybernetics*, 1981. 39 (3): 181–194.
- Patterson K., Nestor P., Rogers T. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature reviews, Neuroscience*. 2007. 8: 976–987.



- Pearl J.* Bayesian networks. In: "MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences", Ed. Wilson R., Keil F., Cambridge MA: MIT Press. 1999. 72–74 pp.
- Pernis P., Vigliocco G.* The bridge of iconicity: from a world of experience to the experience of language. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2014. 369: 20130300. [http://dx.doi.org/doi 10.1098/rstb.2013.0300](http://dx.doi.org/doi%2010.1098/rstb.2013.0300)
- Petitto L., Marentette P.* Babbling in the manual Mode. Evidence for the Ontogeny of language. *Science.* 1991. 251 (5000), 1493–1496.
- Pinker S.* How the Mind Works. Penguin Books, 1997
- Pinker S.* Words and Rules. The Ingredients of Language. Phoenix, 1999.
- Pinker S.* The Stuff of Thought. Language as a Window into Human Nature. Penguin Books. 2008.
- Pulvermüller F.* Words in the brain language. *Behavioral and Brain Sciences.* 1999. 22: 253–336.
- Pulvermüller F.* Brain reflection of words and their meaning. *Trends in cognitive sciences.* 2001. 5.12: 517–524.
- Pulvermüller F., Hauk O., Nikulin V., Ilmoniemi R.* Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience.* 2005. 21: 793–797.
- Pulvermüller F., Huss M., Kherif F., Moscoso del Prado Martin F., Hauk O.* Motor cortex map articulatory features of speech sounds. *PNAS.* 2006. 103 (20): 7865–7870.
- Pulvermüller F.* How neurons make meaning: brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics. *Trends in Cognitive Sciences.* 2013. 17 (9): 458–470.
- Richards V., Kidd G. (Jr.)* Auditory masking with Complex Stimuli. In: *Cognitive Neurosciences.* Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (Mass.) – L.: Bradford Book&MIT Press, 2014, 343–352 pp.
- Siegmund J., Kästner Ch., Apel S., Parnin Ch., Bethmann A. et al.* (8 names in total). Understanding Understanding Source Code with Functional Magnetic Resonance Imaging. ICSE 2014 Proceeding of the 36<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering, May 31–June 07, 2014, Hyderabad, India, 378–389 pp.
- Simoncelli E.* Optimal Estimation in Sensory Systems. In: *Cognitive Neurosciences.* Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (Mass.) – L.: Bradford Book&MIT Press. 2014. 525–540 pp.
- Stevens C., Neville H.* Profiles of Development and Plasticity in Human Neurocognition. In: *Cognitive Neurosciences.* Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (mass.) – L.: Bradford Book&MIT Press, 2014, 165–188 pp.
- Stromswold K., Caplan D., Alpert N., Rausch S.* Localization of syntactic processing by positron emission tomography. *Brain and Language.* 1996. 51: 452–473.
- Thompson-Schill Sh., d'Esposito M., Aguirre G., Farah M.* Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval semantic knowledge: a reevaluation. *PNAS* 1997. 94 (26): 14792–14797.
- Trim R.* 2011. Metaphor and the Historical Evolution of Conceptual Mapping. Palgrave Macmillan, 2011.
- Uusvuori J., Parviainen T., Inkinen M., Salmelin R.* Spatiotemporal Interaction between Sound Form and meaning during Spoken Word Perception. *Cerebral Cortex.* 2008. 18: 456–466.
- Van der Velde F., de Kamps M.* Neural assembly binding in linguistic representation. ESANN 2003 proceedings – European Symposium on Artificial Neural Networks, Bruges (Belgium). 23-25 April 2003, 281–286 pp.
- Waxman S., Booth A.* 2001. Seeing Pink Elephants: Fourteen Month-Olds' Interpretation of Novel Nouns and Objects. *Cognitive psychology.* 2001. 43: 217–242.
- Whitlock J., Moser E.* 2014. Synaptic Plasticity and Spatial Representations in the Hippocampus. In: *Cognitive Neurosciences.* Ed.-in-chief Gazzaniga M. Cambridge (Mass.) – L.: Bradford Book&MIT Press, 2014. 109–128 pp.
- Yu C., Smith L.* Embodied attention and word learning by toddlers. *Cognition.* 2012. 125 (2): 244–262.
- Zhang W., Wang J., Fan L., Zhang Y., Fox P. et al.* Functional organization of the fusiform gyrus revealed with the connectivity profiles. *Hum. Brain Mapp.* 2016. 37 (8): 3003–3016.

## THE NEUROPHYSIOLOGY OF LEXEMES' CODING

A. Zeldin<sup>#</sup>

*Civil Service Commission, Rechovot, Israel*

<sup>#</sup> e-mail: anatolyz@moia.gov.il

The paper deals with the mechanisms of acquiring, processing and storing of information in the brain (the first and foremost in the cortex areas). The suggestion concerning the verbal representation of the semantic processing results has been made. A schematic coding of a selected object as a lexical unit within the framework of the Hebbian 'cell assemblies' hypothesis, and creation of cognitive domains as connected cell assemblies, was proposed. We presume a particular mode of neuron functioning that exerts control over cognition, operative memory and long-term memory.

**Keywords:** cell assemblies, lexeme, sensory perception, cognitive domain, synaptic interconnection, Broca area