

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

M.I. Khodakovskiy, V.I. Osinskyi

STUDY OF RECORDING INFORMATION ON DNA COMPLEXES OF NEURON

The work describes processes of recording and storage of information in the DNA at action ion code.

Key words: formation of memory, the electronic state of the DNA, the redistribution of ions.

Розглянуті питання запису та зберігання інформації на ДНК нейрона при дії іонного коду.

Ключові слова: формування пам'яті, електронний стан ДНК, перерозподіл іонів.

Рассмотрены вопросы записи и хранения информации на ДНК нейрона при действии ионного кода.

Ключевые слова: формирование памяти, электронное состояние ДНК, перераспределение ионов.

© Н.И. Ходаковский,
В.И. Осинский, 2016

УДК 681.327

Н.И. ХОДАКОВСКИЙ, В.И. ОСИНСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ НА ДНК-КОМПЛЕКСАХ НЕЙРОНА

Вступление. Задачи построения эффективных компьютерных средств вычислительной техники вызывают необходимость обращения к исследованиям возможностей записи и хранения информации на ДНК-комплексах нейронов. Внутри нейронов есть специальные молекулярные автоматы, которые способны на очень сложные действия: они могут открыть молекулу ДНК, прочесть ее фрагмент, отредактировать и исправить ошибки. В нейронах есть система, которая занимается такой же обработкой информации, как компьютер [1]. Изучение молекулярного устройства нейрона позволяет исследовать необходимые инструменты для обработки информации. Важным является понимание возможностей молекул ДНК с ее сложной пространственной структурой переходить в новое состояние, т. е. осуществлять запись и хранение информации. Так, присоединение к молекуле дополнительных атомов приводит к изменению структуры данной молекулы.

Постановка задачи. Для изучения процессов записи информации на ДНК-комплексах нейрона необходимо исследовать работу инструментов создания памяти человека. Путем исследования возможностей ионного кода, позволяющего задавать молекулам ДНК новые вынужденные электронные связи необходимо изучить этапы формирования долговременной памяти.

Возможности ионного кода задавать молекулам ДНК новые состояния. Перераспределение ионов внутри нейрона представляет своеобразный ионный код, позволяющий задавать молекулам ДНК новые состояния.

Рассмотрим процесс перераспределения ионов в виде ионного кода при поглощении фотонов клеткой нейронов при работе зрительного анализатора до попадания в нейрон [2]. При попадании света, отражённого от различных объектов на сетчатку глаза, представляющую большое число светочувствительных клеток в виде датчиков и преобразователей фотонов света, запускается механизм формирования ионного кода, представляющий собой новые последовательности молекул, атомов и ионов, возникающих при поглощении фотона нейроном. Концентрация и состав ионов нейрона изменяются в зависимости от длины волны фотона. Также появляются дополнительные ионы, отсутствующие в клетке в обычном состоянии, что ведет к перераспределению ионов в виде ионного кода.

Такой ионный код в светочувствительных клетках через контактные зоны синапсов вызывает также вынужденное перераспределение ионов в двухполюсных клетках. Последние клетки аналогичным образом передают изменение своего состояния ганглиевым клеткам. И далее по волокнам зрительного нерва это электрохимическое возбуждение передаётся нейронам оптических зон коры головного мозга – затылочным и височным. Таким образом, по аксонам нейронов, пучок которых и образует зрительный нерв, сигнал в виде ионного кода, достигает собственно тела нейрона. Таким образом, внешнее воздействие приводит к появлению в нейроне избыточных ионов.

Формирование памяти в ДНК-комплексах с помощью управляющих уровней системы обработки информации. Молекула ДНК представляет собой две спирали, смещённые друг относительно друга по оси. Витки одной спирали заполняют промежутки между витками другой. Вместе они создают своеобразный цилиндр. В возбуждённом состоянии у молекул ДНК нейрона в результате электрохимических реакций появляются дополнительные цепочки атомов. Такие дополнительные цепочки атомов играют ключевую роль в создании нашей памяти.

Важным фактором формирования памяти является использование механизмов записи и хранения последней в молекулярных структурах нейронов мозга человека. В системе обработки информации в мозге человека важно выделить ряд структур, отвечающих за интегративные действия индивида, позволяющие формировать личность человека со своей картиной мира. К таким структурам относятся гиппокамп, лимбическая система, гипоталамус и ряд других. Указанные структуры мозга формируют распределённую систему записи и хранения информации на управляющем уровне системы обработки информации (УУОИ) нейрона [3]. Уровень знаний о функционировании такой системы позволяет говорить о том, что в последней имеются ряд подсистем, обеспечивающих функции «жесткого диска компьютера» и своеобразного процессора обработки информации [4–6].

Важным звеном в понимании процессов обработки информации является, как указывалось выше, использование ионного кода. Так, появление дополнительных цепочек из атомов и молекул ДНК приводит к тому, что на определенном управляющем уровне иерархической системы обработки информации нейрона появляется отпечаток ионного кода локального сценария нашей деятельности.

Такой подход позволяет изучать процесс запоминания информации нашим мозгом от переноса ионного кода, полученного глазными датчиками на УУОИ соответствующего нейрона. Если учесть, что число датчиков в виде палочек и колбочек очень велико, и каждый из них обрабатывает свой фотон света, на выходе органа зрения получается голографическая картинка реальности, закодированная ионным кодом. Перенос этого кода на УУОИ нейрона является процессом запоминания информации.

Особенности воспроизведения информации в молекулярных структурах нейронов. Процесс воспроизведения информации, хранящейся в долговременной памяти осуществляется путем восстановления ионного кода на уровне формирования межнейронных связей, и, как следствие, реконструкции мозгом прошлых событий. На этом уровне восстанавливается ионный код внешнего сигнала, т. е. именно так наш мозг в состоянии «вытаскивать» из глубин памяти информацию о прошлых событиях.

Воспроизведение информации происходит путем воссоздания мозгом виртуальной голограммной реальности. Другими словами, мы видим, не реальную действительность, а её воссозданную голографическую копию. Такой процесс постоянно повторяется с частотой около 25 раз в секунду. То есть картинка окружающей нас реальности запоминается около 25 раз в секунду, а значит, каждая отдельная картинка запоминается на очень короткое время около 40 мс [7, 8].

Такое явление определяется кратковременной памятью и осуществляется на подуровне УУОИ по обеспечению работы указанной памяти. Таким образом, мозг помнит, сохраняет информацию в течение времени, необходимого для создания ответной реакции организма на это внешнее воздействие. Это время может колебаться от доли секунды до недель, а порой и месяцев, в зависимости от того, в какой зоне коры головного мозга эта информация сохранялась [7].

В случае долговременной памяти необходимо, чтобы информация попадала на подуровень УУОИ с длительным сроком хранения информации. Это является важным фактором, поскольку после прохождения фотона через светочувствительную клетку глаза и её возмущения этим фотоном, через некоторое время клетка возвращается в своё обычное состояние. Молекула ДНК нейрона, в данном случае должна зафиксировать свое состояние на подуровне УУОИ длительного хранения. При этом след от внешнего сигнала не исчезнет после восстановления пространственной структуры молекулы, которая была до его появления.

Этапы формирования долговременной памяти. Как указывалось выше, внешнее воздействие преобразуется органами чувств в ионный код, который по отросткам нейронов – аксонам – попадает без изменения в собственно нейроны. В нейронах ионный код навязывает молекулам ДНК новые вынужденные электронные связи, в результате этого изменяется качественная структура молекул ДНК. Качественные изменения структуры молекул ДНК сохраняются временно. По истечении некоторого времени качественная структура молекул ДНК возвращается к исходному состоянию. В течение действия ионного кода формируется его отпечаток на кратковременном подуровне УУОИ.

В свою очередь, стрессы, яркие впечатления, многократный повтор одного и того же внешнего воздействия обеспечивают формирования отпечатка на долговременном подуровне УУОИ. Продолжительность жизни данного подуровня практически не ограничена. Информация о реальной структуре и процессах функционирования нашей памяти дает основание утверждать, что вся информация, поступающая через органы чувств, хранится в закодированном виде на двух подуровнях УУОИ нейрона. При этом мозг осуществляет и обратный процесс по преобразованию кодов зафиксированной информации в исходное состояние, выводя соответствующие образы на уровень межнейронных связей нейронов мозга.

Возможности генетического кода представлять специфику строения основных межнейронных связей нейронов. В работе [6] сформулированы на уровне нейронов причинно-следственные связи каждого нейрона как генетической единицы. Развиваясь из эмбриональной нервной клетки в виде нейробласта, каждый нейрон содержит генетически запрограммированный код, определяющий специфику его строения, метаболизма и связей с соседними нейронами. Основные связи нейронов генетически запрограммированы. Однако это не исключает возможности модификации нейронных связей в процессе индивидуального развития при обучении и формировании различных навыков. Таким образом, информация о строении, стратегии работы и межнейронных связях хранится в клетках ДНК нейронов.

Особенности изменения межнейронных связей на уровне ДНК при обучении. Поскольку ДНК имеет программу, подтвержденную движениями нейронов и их нервными соединениями, это позволяет ДНК-комплексам выполнять функции по хранению информации о функционировании нейрона.

Рассмотрим роль генетического кода, и, непосредственно генов в работе нейронов. Генетический код представляет информацию, которая была заложена в нейрон при формировании. Для регулярного правильного считывания информации в гене используются специальные инструменты в виде кодонов инициации, смысловых кодонов и кодонов терминации.

Кратко рассмотрим специфику молекулярных инструментов для записи и хранения информации в ДНК-комплексах нейрона. Указанный выше кодон в виде кодирующего тринуклеотида представляет тройку нуклеотидных остатков в ДНК или РНК, обычно кодирующих включение одной аминокислоты. Последовательность кодонов в гене определяет последовательность аминокислот в

полипептидной цепи белка, кодируемого этим геном. Нуклеотидные остатки представлены нуклеотидными последовательностями в виде пиримидиновых и пуриновых оснований. Пиримидин $C_4H_4N_2$ является ароматическим шестичленным гетероциклом с двумя атомами азота. Его можно рассматривать как аналог бензола, в котором две группы СН заменены на атомы азота. Пури́н представлен гетероциклическим соединением, включающим два сочлененных цикла – пиримидиновый и имидазольный.

Сообщения, которыми обмениваются нейроны, являются химическими молекулами, заключенными внутри этих образований, высвобождающие электрические сигналы. Молекулы, перемещающиеся от одного нейрона к другому, называются нейротрансмиттерами. Они передают информацию об эмоциональных и нервных состояниях. А значит, вся информация, полученная от органов чувств и рецепторов, записывается в молекулах. Таким образом, молекула по большому счету – это диск или информационный носитель, на котором хранится вся информация, собранная человеком в течении жизни. Химическое равновесие нейронов, как и всего головного мозга легко нарушить. Стоит изменить уровень содержания одного единственного нейротрансмиттера и можно нарушить химический баланс всего мозга и, как следствие, жизненные цели человека.

Доказательства хранения памяти человека внутри его нервных клеток. В работе [1] рассмотрена теория, согласно которой и память, и процесс мышления реализованы в мозге не с помощью синаптических связей в нейронной сети, а внутри отдельных нервных клеток с помощью внутриклеточных запоминающих устройств на основе молекул ДНК. Важным является обнаружение и обоснование работы средств и языка программирования межнейронных связей [5]. В указанной работе автор обосновывает положение о символическом представлении мира, которое предвосхищает язык. Другими словами, мысль формируется прежде, чем она получает языковое выражение. Согласно [1], базовая мысль тоже сформулирована на некотором внутреннем языке, который остается невидимым и не имеет отношения к тем языкам, на которых мы разговариваем, но тем не менее существует в нашем сознании. Это символическое представление мира, которое очень похоже на язык программирования: в нем есть символы и есть операции с ними. Как и в языке программирования, в этом языке мышления есть семантика – система отсылок, связывающая реальный мир с внутренними символами мышления, и есть синтаксис – набор правил и операций с этими символами.

Таким образом, если язык мышления существует, в мозге должно быть материальное выражение для его символов. В компьютере символы языка программирования реализуются последовательностями нулей и единиц. В случае функционирования в нейроне ДНК-комплексов молекула ДНК содержит символическое представление структуры организма во всех подробностях. Гены и есть подобными символами. При этом среди генов есть символы, выражающие абстрактные элементы структуры животного, например, глаз – не конкретный

биологический глаз со всеми особенностями, а глаз вообще, как орган с определенными функциями.

Изучение свойств структуры организма, которые в виде символического кода представлены на молекулярном уровне внутри ядер клеток. Как указывалось выше, внутри клеток есть специальные молекулярные автоматы, способные на очень сложные действия, которые могут открыть молекулу ДНК, прочесть ее сегмент или отредактировать путем исправления ошибок. Чем больше мы сможем узнать о молекулярном устройстве клетки, тем больше откроем в ней для этого инструментов.

Если предположить, что вычисления происходят внутри отдельной клетки, а не на уровне нейронной сети, то на них требуется на девять порядков меньше энергии. Обычная теория распространения по нейронам потенциала действия ведет к очень высокому уровню энергозатрат. Обработка информации внутри клетки на молекулярном уровне на основе ДНК, требует совсем мало энергии [1]. В случае хранения объема памяти в одних только некодирующих участках ДНК одного нейрона можно хранить почти гигабайт информации. Но в клетке могут быть и другие молекулы, которые могут выступить в роли прекрасного хранилища информации. Белки родопсина, которых миллионы в любой палочке сетчатки глаза, также могут находиться в двух состояниях, а значит, содержать биты информации.

Если внутри нейронов не только хранится память, но и происходит часть обработки информации, то для осуществления процесса мышления необходим постоянный обмен информацией между памятью и механизмом, который непосредственно выполняет вычисления. Поскольку для передачи информации требуются большие энергетические и временные затраты, то является важным сократить затраты энергии и времени. Для указанной цели необходимо было разместить хранилище памяти и вычислительный механизм как можно ближе друг к другу [1, 8].

Обоснование процессов ионного кодирования новых состояний молекул ДНК нейронов путем изменения электронных связей. Любое внешнее воздействие на нервные окончания нейронов нашего мозга преобразуется в них в электрохимический сигнал. При этом по межнейронным соединениям перемещаются ионы в разных направлениях.

Появившиеся в нейроне дополнительные ионы приводят к нарушению ионного равновесия, в результате чего образуются новые соединения между молекулами или разрушаются соединения между молекулами. Именно эти несколько дополнительных молекулярных связей и создают новое качество, когда они появляются у молекул ДНК.

Рассмотрим кратко особенности пространственной организации молекул ДНК. Каждая молекула имеет собственный уровень, отражающий степень влияния данной молекулы на окружающее пространство. Присоединение к любой молекуле дополнительных атомов приводит к увеличению уровня структуры этой молекулы. Особенно наглядно это проявляется у органических молекул. В результате этого изменяется качественная структура молекул ДНК.

Качественные изменения структуры молекул ДНК сохраняются временно, а по истечении некоторого времени качественная структура молекул ДНК возвращается к исходной. Пространственная структура органических молекул неоднородна в разных пространственных направлениях.

Среди особенностей молекул ДНК является их большой молекулярный вес, который колеблется от нескольких десятков до нескольких миллионов атомных единиц. Также важным фактором является неравномерность распределения молекулярного веса органических молекул по разным пространственным направлениям.

Следствием перечисленных качественных особенностей является то, что органические молекулы влияют неодинаково на окружающее их микропространство в разных пространственных направлениях. Особенно ярко это явление выражено у молекул РНК и ДНК. Атомы, образующие эти молекулы, создают длинные цепочки, закрученные в спираль. Именно спиральная пространственная форма молекул РНК и ДНК создаёт необходимые качества для возникновения биоструктур. Внутренний объём спиралей молекул РНК или ДНК образует своеобразный туннель. Спиральная молекула оказывает сильное влияние на уровень организации микропространства этого туннеля. Причём, это влияние на внутренний объём туннеля не одинаково в разных пространственных направлениях. Каждый атом оказывает влияние на микропространство вокруг себя. При этом, важное значение имеет пространственная ориентация влияния каждого атома, входящего в соединение [9].

Таким образом, ионный код изменяет ионный баланс внутри нейрона, что провоцирует появление новых и разрушение старых электронных связей. При этом, для нормальной работы любой клетки организма, органические и неорганические молекулы, ионы должны поступать непрерывно, а также должны удаляться продукты распада.

Выводы. Изучение молекулярных структур нейрона позволяет понимать работу клеточных инструментов для обработки информации. Важным является использование возможностей молекул ДНК с ее сложной пространственной организацией для формирования и хранения информации посредством перехода указанной молекулы в новое состояние. Присоединение к молекуле дополнительных атомов изменяет структуру данной молекулы.

Исследование процессов записи информации на ДНК-комплексах нейрона позволяет представлять и использовать молекулярные инструменты нейрона для построения перспективной молекулярной памяти. Одним из исследованных инструментов являются структуры, запускающие работу ионного кода. Такой код позволяет задавать молекулам ДНК новые электронные связи, позволяющие формировать долговременную память.

В работе показано, что поступившие в нейрон дополнительные ионы вызывают нарушение ионного равновесия, в результате чего образуются новые или разрушаются имеющиеся соединения между молекулами. Таким образом, несколько новых молекулярных связей позволяют говорить о другой

пространственной структуре, и, соответственно новой информации при формировании памяти.

1. *Gallistel C.R., King A.P.* Memory and the Computational Brain: Why Cognitive Science will Transform Neuroscience. N.Y. Wiley and Sons. 2011. 336 p.
2. *Савельев А. В.* Источники вариаций динамических свойств нервной системы на синаптическом уровне. *Искусственный интеллект*. 2006. № 4. С. 323–338.
3. *Wirth S., Yanike M., Frank L.M. et.al.* Single neurons in the monkey hippocampus and learning new associations. *Science*. 2003. Vol. 300. P. 1578–1581.
4. *Ходаковский Н.И., Осинский В.И.* Исследование процессов приобретения знаний при формировании памяти под контролем ядра нейрона. *Зб. наук. праць Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України «Комп'ютерні засоби, мережі та системи»*. К.: 2015. № 14. С. 25–31.
5. *Fodor J.* The Mind Doesn't Work That Way The Scope and Limits of Computation Psychology. N.W.: MIT Press. 2000. 229 p.
6. *Kappen H.J.* Deterministic learning rules for Boltzmann machines. *Neural Networks*. 1995. N 8. P. 537–548.
7. *Calvin W.H.* The Cerebral Code: Thinking a Thought in the Mosaics of the Mind. Massachusetts . MIT Press. 1996. 256 p.
8. *Calvin W.H., Bickerton D.* Lingua ex Machina: Reconciling Darwin and Chomsky with the human brain. Massachusetts. MIT Press. 2000. 298 p.
9. *Анохин К.В.* Молекулярные сценарии консолидации долговременной памяти. *ЖВНД*. 1997. Т. 47, вып. 2. С. 261–279.

Получено 04.10.2016