

Раздел 2. БИОЛОГИЯ

УДК 577.37

Б. М. Владимирский

СОБСТВЕННОЕ ВРЕМЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

The basic notions of the physiological (endogenous, intrinsic) time concept and the prospects of its use in analysis and modeling of information processes in the nervous system are considered. Several natural measures of endogenous time are proposed which allow to obtain qualitatively novel results when analyzing bioelectrical activity.

Рассмотрены основные положения концепции физиологического времени и перспективы ее использования для анализа и моделирования информационных процессов в нервной системе. Предложены натуральные меры собственного времени, позволяющие получить принципиально новые результаты при анализе биоэлектрической активности.

Необходимость в новом понятии – физиологическом времени – первым осознал А.А.Ухтомский, который в тезисах доклада о хронотопе, сделанном в 1925 г., писал: “Камень преткновения: “время психологии” и “время физики”. Хронос и часы. Именно физиологии предстоит спаять их воедино.” (цит. по Аршавский, 1991). Принципиальной особенностью такого времени является его зависимость от геометрии и функционального состояния физиологической подсистемы, для которой оно введено.

Сейчас уже наступило время, когда развитие и решение проблем физиологического времени должны внести принципиальные изменения в существующие представления о характере временной организации физиологических процессов. Речь идет о возможности использования концепции собственного времени применительно как к теоретическим построениям, так и анализу экспериментальных данных, получаемых в ходе физиологических исследований и экспериментов.

С одной стороны, время – понятие, лежащее в основе научных представлений о мире, а с другой стороны, время – конкретное понятие, с которым мы все время сталкиваемся, изучая, моделируя и прогнозируя динамические процессы различной природы. Например, анализ суммарной электрической активности мозга животных и человека – электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – осуществляется по реализациям конечной длины от одного или нескольких отведений.

Исходным материалом для него служат ряды данных, полученные квантованием с заданным шагом исходного непрерывного процесса. Отсчеты берутся через равные промежутки времени, выражаемые в долях секунды. И практически все существующие методы анализа ЭЭГ и вытекающие из этого анализа содержательные интерпретации ориентированы на такой исходный материал.

Например, оценки спектрального состава позволяют обнаруживать наиболее выраженные ритмические составляющие с частотами 0,5-3, 4-7, 8-13, 15-35 кол/с. Но что значит единица измерения для этих ритмов? Поначалу такой вопрос кажется странным. В самом деле, разве эта единица (секунда) не связана с общепризнанным эталоном измерения времени? Но тогда возникает следующий вопрос: что такое сам этот эталон и откуда он взялся?

Потребность в некоем эталоне возникает только тогда, когда несколько подсистем объединяются в единую систему и вынуждены взаимодействовать, или когда необходимо следить за одновременностью событий, принадлежащим двум или более пространственно разделенным цепочкам событий. Однако неудобство указывать на наступление некоторого события путем ссылки на другое событие, а этого второго – ссылкой на третье и т.д., привело к введению стандартной последовательности событий путем привязки к угловому смещению выбранного небесного тела. Так появилось в обиходе астрономическое время, повсеместность которого была подкреплена появлением разного рода часов.

По мере развития цивилизации были обнаружены некоторые перманентности, связанные с регулярными сменами времен года, дня и ночи, фаз Луны. В конечном счете, были введены такие астрономические единицы времени как год, сутки, месяц и их искусственные производные – часы, минуты и т.д. Астрономическое время, наряду с пространственными координатами, получило статус независимой переменной, и с помощью этой переменной были разработаны соответствующие законы механики. И никаких (или почти никаких) вопросов не возникало, пока речь шла о движении физических тел, об использовании эталонов времени при создании и эксплуатации всякого рода машин и механизмов, об описании процессов в неживой природе и т.д.

Но когда речь заходит о процессах, протекающих в живых организмах, возникают большие сомнения относительно того, что астрономические единицы пригодны в качестве единиц измерения. Прежде всего, речь идет о результатах, полученных в обширных психологических исследованиях, где однозначно показано, что в зависимости от функционального состояния испытуемого, его субъективное время течет по-разному, и, значит, оно может выступать в роли и зависимой переменной.

Аналогичная ситуация имеет место не только на психологическом, но и на физиологическом уровне. При передаче и преобразованиях сигналов в синаптических реле возможны разные изменения шкалы времени, связанные как с усилением адаптации, так и с приданием большей крутизны скорости нарастания входных сигналов. Уже давно получено достаточно много фактов (Сомьен, 1975), показывающих, что синапсы, к которым приходит информация от афферентов первого порядка, обладают способностью трансформировать время, а это, в свою очередь, приводит к подчеркиванию или извлечению некоторых новых свойств входных данных.

О том, что именно собственное время, задаваемое физиологически значимыми событиями, необходимо учитывать при анализе процессов переработки информации в нервной системе свидетельствуют, например,

многочисленные факты, связанные с эффектами стимуляции, приуроченной к определенным фазам динамики показателей биоэлектрической активности разных подсистем организма. Таким образом, можно считать, что время в физиологических системах как «контекстно» зависимо, так и определяется функциональным состоянием.

Для измерения астрономического времени используют часы, состоящие из автоколебательного устройства и счетного механизма. Высказывались суждения о наличии осцилляторов в мозгу, якобы объясняющих чувство времени. Но относительно счетчиков нет никаких, даже спекулятивных рассуждений, а тем более фактов. Смена суток и времен года имеет, вероятно, отношение к чувству времени, но объяснить способность к оценке кратковременных периодов с ее помощью нельзя.

Никому еще не удалось показать, что в живых системах существуют механизмы, позволяющие измерять по абсолютной величине, а не сравнивать временные промежутки с точностью 0,01-1,0 мс. А это значит, что теории, предполагающие существование механизмов анализа сложных ритмов, базирующихся на измерении сверхмалых промежутков времени в физической шкале, остаются не больше, чем спекуляциями.

Исходя из имеющихся фактов и теоретических обобщений сформировалось представление, что для описания специфики и структуры биологических процессов необходимо ввести понятие биологического (физиологического) времени (Уитроу, 1984), т.е. времени, связанного с внутренней ритмичкой функционирования и развития биообъектов и со случайным поведением траекторий биологических процессов.

Используемая сейчас конструкция времени – это абсолютное время Ньютона, для измерения которого существуют разнообразные часы. С другой стороны, общепризнанной является точка зрения на функционирование живых организмов, как на последовательность событий – функциональных квантов, таких как кванты элементарных физиологических процессов, кванты гомеостаза, кванты поведения.

Любой из этих квантов, заканчиваясь определенным результатом и являясь функционально одним и тем же, может иметь разную длительность в обычно используемой шкале времени. Следовательно, естественные элементы физиологических и поведенческих процессов не эквивалентны общепринятым метрическим единицам времени, а задают разнородный поток событий, определяющих собственное время того или иного процесса.

Традиционное представление о времени состоит в его изоморфизме прямой линии. Настоящее существует при таком представлении в единственной точке, отделяющей прошлое от будущего. Оно возникает ниоткуда и исчезает в никуда. На самом же деле психическое настоящее может достигать нескольких секунд, и если бы оно не обладало длительностью, то мы бы не смогли улавливать, например, мелодию, ориентироваться в одновременности двух и более событий, воспринимаемых органами чувств последовательно.

Несмотря на эти казалось бы очевидные факты, и сейчас общепринятыми в физиологических исследованиях являются представления о настоящем моменте времени, как о точке на оси времени, т.е. о мгновении в бук-

вальном смысле этого слова. Это не соответствует существованию реально протекающих физиологических, а тем более психических процессов.

В самом деле, каждый физиологический акт является следствием некоторой причины, но вместе с тем обязательно существует достаточно продолжительная стадия, когда причина и следствие сосуществуют вместе и в течение которой идет процесс активного воздействия следствия на причину. И именно эта стадия является выражением “настоящего”.

Кстати, сам факт порождения причиной следствия определенным образом меняет причину, что и приводит к возникновению систем с обратной связью и, в более общем случае, к самоорганизующимся системам.

В математике известны и используются различные масштабные преобразования времени для эффективного решения динамических задач. Идея разделения времени на «быстрое» и «медленное» эквивалентна декомпозиции системы на две сравнительно простые подсистемы. Для исходной системы мы можем не знать собственного времени, но для подсистем мы это можем, как правило, сделать. При этом известно, что собственные времена подсистем связаны между собой неким иерархическим соотношением и объединяя эти собственные времена, можно сконструировать собственное время всей системы в целом.

Однако для того, чтобы сделать понятие собственного времени конструктивным, т.е. пригодным для решения конкретных исследовательских задач необходимо ввести для него определение и соответствующую метрику.

Существует точка зрения (Гибсон, 1988, Левич, 1986), что следует говорить не о времени, как таковом, а об изменениях, событиях, последовательностях событий. Течение абсолютного времени лишено реальности для живых существ. Мы воспринимаем не время, а процессы, изменения, последовательности (имеется в виду не социальное время, отсчитываемое по часам). Естественные элементы поведения (события) не следует путать с метрическими единицами времени. Последние по сути своей условны и произвольны, а отдельно взятое событие представляет собой единое целое, а это совсем не то же самое, что единица измерения. Итак, реальностью, лежащей в основе такой абстракции как время, является последовательность упорядоченных событий.

Исходя из всего вышесказанного, наиболее конструктивным и приспособленным для математического моделирования, по нашему мнению, может быть формулировка для определения понятия времени, комбинирующая формулировку Н.И.Лобачевского и идею Г. Александера (Вернадский, 1975) о том, что в качестве датчика времени следует использовать изменения свойств тела, а не его движение. При таком подходе определение понятия времени может звучать так: «Изменение свойств одного тела, воспринимаемое за известное для сравнения с другим, называется временем».

Следующий шаг, который надо сделать, это указать за изменениями каких признаков будет осуществляться контроль, и как преобразуются эти изменения в число, которое будет называться мерой времени. Формализация понятий, связанных со становлением и течением времени, должна позволить управлять масштабами собственных времен на разных уровнях

иерархии физиологических систем, что в свою очередь, откроет новые подходы к решению ряда прикладных задач, связанных с управлением и коррекцией функционального состояния.

Для любого колебательного процесса в качестве натуральной меры времени может быть принята единица исчисления последовательности повторяющихся “одинаковых” состояний процесса. Вопрос в том, какие два состояния следует считать одинаковыми.

При анализе биоэлектрических сигналов, характеризующих течение физиологических процессов в качестве натуральных мер времени в зависимости от поставленной задачи мы используем единицы исчисления последовательностей локальных максимумов и минимумов. Причем, эти максимумы и минимумы оцениваются как для первично регистрируемых биоэлектрических процессов, так и для их производений по два, например, для ЭЭГ, отводимой от симметричных пунктов обоих полушарий, по три – для отведений одного полушария и т.д. Естественно, что натуральные меры времени для всех рассматриваемых вариантов непостоянны в астрономической шкале времени.

Кроме того, при оценке физиологического времени мы полагаем, что пара состояний, следующих друг за другом, неразличима, если разница в описывающих их переменных, не превышает 5%, что, примерно, соответствует коэффициенту Вебера. При этом, однако, отдаем себе отчет в том, что “экспериментальный код” исследователя и “естественный код” процессов, протекающих в живом организме, могут принципиально различаться между собой.

Концепция физиологического времени предполагает, что для разных подсистем организма существуют свои собственные характерные времена, и в то же время собственное время существует для всего организма в целом.

С математической точки зрения, если существует взаимно-однозначное и взаимно-непрерывное соответствие между двумя временами, то использование любого из них является вполне равноправным. Если бы такое положение существовало для астрономического времени и интересующего нас времени конкретного физиологического процесса, то использование понятий, о которых шла речь выше, в лучшем случае давало бы возможность упростить описание за счет использования нелинейного соответствия (Левич, 1986).

Однако в рамках концепции собственного времени более отвечающим существу дела и позволяющим обнаружить такие закономерности, которые ускользают при описаниях с использованием астрономической шкалы, представляется использование модели времени, для которой в случае, когда два или более события одинаковы в выбранном нами смысле, т.е. в состоянии процесса фактически отсутствуют изменения, его собственное время останавливается, прекращает свой ход. (Усманов и др., 1983).

Принципиальное следствие, вытекающее из принятого представления о времени, состоит в том, что когда нервные элементы становятся функционально независимыми их системное время останавливается. Именно такая ситуация имеет место при некоторых экстремальных условиях (жар, нарко-

тики, повреждение мозга), когда собственное системное время на какой-то промежуток астрономического времени исчезает и перестает быть возможной синхронизация внутри отдельных анализаторов и между ними. При этом возникают странные симптомы, такие как фрагментарность восприятия, инверсия отдельных частей, разобщение цвета и формы и т.д.

Информационные процессы в нервной системе всегда сопровождаются изменениями динамических структур и уровней активации, т.е. нарушениями равновесия и организации, измеряемой количеством неопределенности. Эти изменения на нейронном уровне и представляют собой материальный субстрат собственного физиологического времени.

Организм обладает двумя способами внутренне контролировать неопределенность. Первый – увеличение скорости, с которой до него доводится внешняя информация, второй – уменьшение скорости и переход к внутренним формам регуляции. Таким образом, открытие и закрытие входных каналов, изменяя неопределенность, одновременно регулирует собственное время, модифицируя процессы передачи и переработки информации.

Для проверки этих предположений был проведен анализ экспериментальных данных ЭЭГ-показателей, полученных в обследованиях на людях с обычными и измененными формами сознания и в экспериментах на кошках при использовании психотропных препаратов. Анализировалась динамика собственного времени для отдельных отведений, их комбинаций по два для симметричных пунктов и по три – для отведений каждого из полушарий.

Эта динамика отражает, по нашему мнению, процессы переработки информации, связанные с собственными регуляторными возможностями отдельных нервных центров, с адаптацией, обеспечиваемой межполушарными взаимодействиями, и внутриполушарной синхронизацией. Показано, что физиологическое время в разных полушариях течет неодинаково, и это справедливо для всех проанализированных функциональных состояний.

Это позволяет определить точки приложения и характер внешних воздействий для получения соответствующих сдвигов в нейрорегуляторных и поведенческих функциях в зависимости от того имеем ли мы в виду воздействовать на психосенсорную (правое полушарие) или на психомоторную сферу (левое полушарие). Выявленная динамика физиологического времени косвенно подтверждает приведенные выше соображения об изменениях пропускной способности нервных каналов связи при изменениях функционального состояния.

В настоящее время общепринятым является утверждение о параллельности переработки информации в нервной системе животных и человека. Из этого следует, что как отдельные нейроны, так и их ансамбли и даже нервные центры в целом одновременно участвуют в нескольких процессах.

Однако методов, позволяющих в биоэлектрической активности выявить значения регистрируемых показателей, относящихся к этим разным процессам, нет. Проведенное нами сопоставление собственных физиологических времен для разных уровней их иерархии показывает, что такая задача может быть успешно решена, и при этом открываются новые возможности для изучения принципов кодирования информации в нервной системе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аршавский И.А. Учение А.А. Ухтомского о хронотопе – его значение в анализе временных механизмов и закономерностей биологии индивидуального развития // Успехи физиол.наук. – 1991. – №3. – С. 3-23.
2. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Пространство и время в живой и неживой природе. – М.: Наука, 1975. - 174 с.
3. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. – М.: Прогресс, 1988. – 462 с.
4. Левич А.П. Тезисы о времени естественных систем // Экологический прогноз. – М.: МГУ, 1986. – С. 163-188.
5. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 326 с.
6. Сомьен Дж. Кодирование сенсорной информации. – М., 1975. – 415 с.
7. Уитроу Дж. Структура и природа времени. – М.: Наука, 1984. – 64 с.
8. Усманов и др. Об одном алгоритме преобразования динамических рядов // Докл. АН Тадж. ССР. – 1983. – Т. XXVI. – №8. – С. 486-488.
9. Фресс П. Восприятие и оценка времени // Экспериментальная психология. Вып. VI. – М.: Прогресс, 1978. – С. 88-135