

Анализ ограничений моделирования на животных физических методов модуляции и диагностики функционального состояния нервной системы человека с целью выбора животного-модели

Д.Б. Чайванов¹, Н.В. Станкова²

¹ – НИЦ «Курчатовский институт», Москва

² – ФГБУН «НЦБМТ ФМБА России», Московская обл.

Контактная информация: к.ф.-м.н. Чайванов Дмитрий Борисович, chaivanov@yandex.ru

В статье анализируются возможности моделирования на животных результатов физических методов модуляции и диагностики функционального состояния нервной системы. Анализ проводится на основе двухмерной векторной модели функционального состояния нервной системы животных. Данная модель является аналогом трехмерной векторной модели функционального состояния нервной системы человека, в которой исключена координата фокуса внимания второй сигнальной системы в силу отсутствия ее у животных.

Ключевые слова: физические методы психодиагностики, диагностика функционального состояния нервной системы, транскраниальная нейростимуляция.

Двухмерная векторная модель функционального состояния нервной системы животных

Существенным и, вероятно, наиболее значимым отличием функциональной организации центральной нервной системы млекопитающих от таковой человека является практически полное отсутствие у животных второй сигнальной системы. Это отличие создает необходимость предложить соответствующую модель функционального состояния нервной системы животных. В отличие от предложенной нами ранее трехмерной векторной модели функционального состояния нервной системы человека [3], такая модель не будет содержать координаты фокуса внимания второй сиг-

нальной системы. Также как и у человека, каждое функциональное состояние нервной системы мы будем представлять точкой пространства, но, в отличие от человека, у прочих млекопитающих такое пространство будет двухмерным. В качестве координат пространства используются следующие характеристики:

- 1) уровень возбуждения центральной нервной системы;
- 2) ориентация фокуса внимания первой сигнальной системы на внешние или на внутренние процессы.

По аналогии с человеком [3], в качестве примера рассмотрим положение некоторых функциональных состояний нервной системы в такой системе координат.

При бодрствовании фокус внимания первой сигнальной системы ориентирован преимущественно вовне, уровень возбуждения может меняться в широких пределах – от расслабленного состояния к активному бодрствованию и перевозбуждению.

В состоянии сна первая сигнальная система ориентирована преимущественно внутрь, уровень возбуждения меняется, нарастая от четвертой к третьей, второй и, наконец, первой стадии сна, достигая максимума при быстром сне.

Состояния размышлений с внутренним диалогом и гипнотического транса, в котором речь гипнотизера редуцируется в воспроизводимые гипнотизируемым образы и чувства, вероятно, несвойственны животным.

Для большей наглядности представим области двух основных базовых

состояний животных в координатах двухмерного векторного пространства (рис. 1).

В полной аналогии с человеком у животных имеется связь между ориентацией фокуса внимания первой сигнальной системы и уровнем возбуждения [3]. Ориентация фокуса внимания первой сигнальной системы вовне ведет к увеличению уровня возбуждения, ориентация фокуса внимания внутрь – к уменьшению уровня возбуждения. Так же и ориентация фокуса внимания вовне ведет к росту уровня возбуждения, а ориентация фокуса внимания внутрь – к уменьшению уровня возбуждения. Основным исключением из данной закономерности у животных является быстрый сон, в котором высокий уровень возбуждения нервной системы сочетается с ориентацией фокуса внимания внутрь.

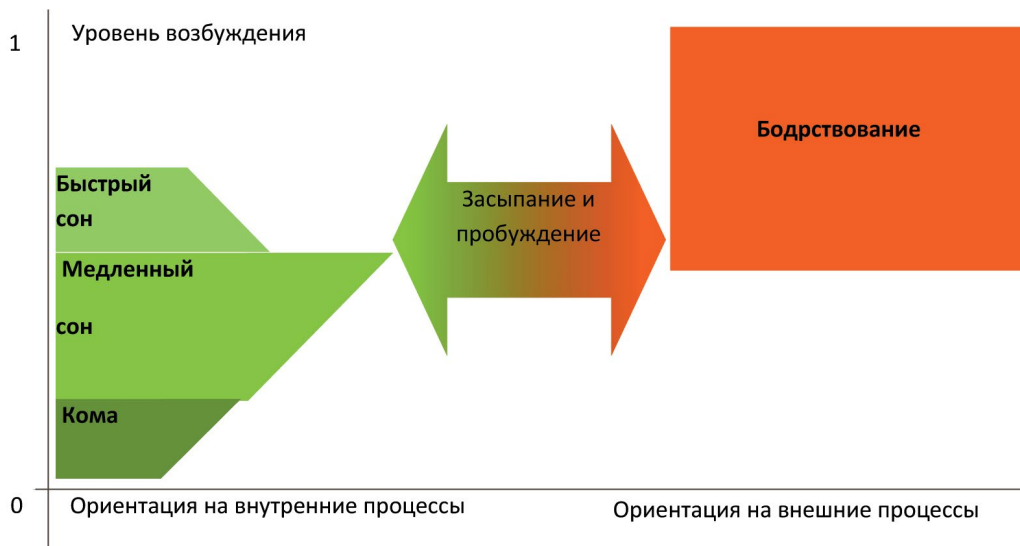


Рис. 1. Области основных базовых состояний на плоскости двухмерного векторного пространства. Ориентации сигнальных систем полностью на внутренние процессы соответствует нулевое значение, ориентации на внешние процессы – единица.

Ограничения моделирования на животных физических методов модулирования функционального состояния нервной системы человека

Самыми важными ограничениями при моделировании на млекопитающих физических методов модуляции функционального состояния человека является отсутствие у животных анатомических структур второй сигнальной системы и связанная с этим межполушарная асимметрия.

Другим важным ограничением является то, что при микрополяризации отношение размеров пятна стимуляции к размеру корковых структур мозга существенно больше, чем у человека. Это вызвано:

1) меньшей в целом по отношению к массе мозга массой коры [1];

2) большей по отношению к размерам мозга толщиной черепа и скальпа [1] и, следовательно [2], худшей локализацией стимуляции.

Это приводит к практической невозможности избирательно модулировать корковые структуры животных за счет транскраниальной микрополяризации. Впрочем, остается возможность моделировать неинвазивную стимуляцию структур первой сигнальной системы мозга человека при инвазивной стимуляции мозга животного.

Вряд ли стоит ожидать высокой степени локализации при транскраниальной магнитной стимуляции головного мозга животного с использованием оборудования, разработанного для человека. Поскольку мозг животного существенно меньше, чем человека, относительный размер стимуляционного пятна очень велик. Так, при стимуляции

крыс и мышей он сопоставим с размером организма, при стимуляции макаки и мини-свиней удастся стимулировать весь мозг в целом (опыты проводились на имеющемся у нас приборе «Нейро-МС/Д» и с применением койлайДУ-02-100-О). Некоторого уменьшения размера стимуляционного пятна можно, вероятно, достичь, разработав специальное оборудование, предназначенное для магнитной стимуляции животных.

Особенности моделирования на животных физических методов диагностики функционального состояния нервной системы человека

Отсутствие у животных второй сигнальной системы и обусловленная этим двухмерность векторного пространства функционального состояния нервной системы является основной особенностью моделирования на животных физических методов диагностики функционального состояния нервной системы человека.

По аналогии с человеком [3], наиболее прямым и оптимальным методом диагностики уровня возбуждения будет являться РЭГ.

Как и у человека, у млекопитающих имеется связь между фокусом внимания первой сигнальной системы и уровнем возбуждения, а также их физиологическими проявлениями. Также как и у человека, возникает необходимость разработки методов, позволяющих дифференцированно определять уровень возбуждения и фокусы внимания сигнальных систем. Для этой цели можно использовать полученную нами ранее формулу расчета фокуса внимания первой сигнальной системы [3]:

$$\Phi В = А / УВ,$$

где А – нормированная на единицу к максимальной, безразмерная амплитуда реакции; УВ – нормированный на единицу к максимальному, безразмерный уровень возбуждения; ФВ – фокус внимания первой сигнальной системы.

Представляется, что определение функционального состояния нервной системы млекопитающих на основании методов анализа variability сердечного ритма и частоты дыхания будет в большой степени аналогично определению состояния нервной системы человека на основании тех же методов, поскольку подкорковые структуры человека и млекопитающих имеют много общего. В силу отсутствия у животных высших психических функций, тесно связанных с речью и влияющих на функциональное состояние нервной системы, можно ожидать более простых закономерностей и меньшей в сравнении с человеком индивидуальной вариативности особи.

Выбор биологической модели-животного

Из проведенного выше анализа ограничений моделирования на животных физических методов диагностики функционального состояния нервной системы человека следует, что на животных можно моделировать методы диагностики фокуса внимания первой сигнальной системы и уровня возбуждения. Из проведенного выше рассмотрения ограничений моделирования на животных физических методов модуляции функционального состояния нервной системы человека следует, что на животных можно моделировать только методы модуляции уровня возбуждения. С учетом

этого, к животному-модели предъявляются следующие требования:

1. Строение физиологического субстрата первой сигнальной системы и структур мозга животных, отвечающих за уровень возбуждения, должно быть сходно с таковыми у человека.

2. Размеры тела животного должны быть близки к размерам тела человека, что позволит использовать оборудование, разработанное для человека

3. Животное при свободном содержании не должно «сбрасывать» с себя стимулирующие электроды и датчики в ходе эксперимента, поскольку фиксация животного вызывает сильный стресс, при котором проведение исследования невозможно.

С целью выбора животного-модели нами были проведены тестовые экспериментальные проверки крыс, кроликов, кошек, макак и светлогорских мини-свиней, имеющих строение субстрата первой сигнальной системы и структур, отвечающих за уровень возбуждения, сходное с человеком. Размер тела крыс не позволял установить на них электроды и датчики, предназначенные для человека, что сделало проверку невозможной. Кошки и макаки «срывали» с себя датчики. Кроме того, поведение макак было весьма агрессивным, что делало эксперимент опасным для исследователя. Наиболее удобными животными в итоге оказались светлогорские мини-свиньи и кролики. Они позволяли надеть на себя стимулирующие электроды и датчики, не сбрасывали их в ходе эксперимента, не проявляли агрессивного поведения по отношению к исследователю, после привыкания к работе практически не испытывали стресса, осложняющего эксперимент, засыпали

при процедуре электросна (см. рис. 2). Это позволяет признать светлогорских мини-свиней и кроликов наилучшими из рассмотренных нами животными-моделями.



Рис. 2. Электрическая стимуляция головного мозга светлогорской мини-свиньи, совмещенная с функциональной диагностикой.

Список литературы

1. *Климов А.Ф., Акаевский А.И.* Анатомия домашних животных. – “Лань”, СПб., 2007.

2. *Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н.* Математическая модель биофизических процессов при транскраниальной микрополяризации // Биомедицина. – 2011. – № 3. – С. 6-11.

3. *Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н.* Трехмерная векторная модель функционального состояния нервной системы как теоретическая основа для диагностики состояния в условиях транскраниальной электрической и магнитной нейростимуляции // Биомедицина. – 2013. – № 3. – С. 18-25.

Analysis of restrictions of physical modeling in animals modulation techniques and diagnostics of the functional state of a person nervous system with a view to choice an animal model

D.B. Chayvanov, N.V. Stankova

In article analyzes the possibility of modeling in animals results of physical methods of modulation and diagnosis of the functional state of the nervous system. The analysis is based on a two-dimensional vector model of the functional state of the nervous system of animals. This model is analogous to a three-dimensional vector model of the functional state of the human nervous system, which excluded coordinate the focus of attention of the second signal system because of its lack of an animal.

Key words: physical methods of psychodiagnostics, diagnostics of the functional state of the nervous system, transcranial neurostimulation.