

Технология моделирования на лабораторных животных физических методов восстановления организма человека в экстремальных условиях

А.А. Емельянов^{1,2}, А.Е. Емельянова^{1,2,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²НИЦ «Курчатовский институт»

³ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»

В настоящей статье описаны результаты сравнительного анализа динамики физиологических процессов, сопровождающей различные функциональные состояния у человека и лабораторных животных. Изменения показателей дыхательной и сердечной деятельности в состоянии покоя и электросна после физической нагрузки у человека и животных имели сходные тенденции и характеризовались подобием паттернов при смене одного состояния другим. Наличие сходства позволяет рассматривать лабораторных животных как адекватную модель для апробации методик инициации и изменения функционального состояния с помощью физических методов воздействия на нервную систему, в том числе, низкочастотной ритмической электростимуляции.

Введение

Животные широко используются для исследования физиологических эффектов влияния химических и физических факторов на организм. В этом смысле они должны быть адекватной моделью соответствующих физиологических процессов человека, являющихся маркерами его функционального состояния. Выявление потенциальной возможности моделирования на животных функциональных состояний основано на определении особенностей животных по сравнению с человеком.

Традиционно животных использовали в качестве модели поведения и нейрофизиологических механизмов его реализации. В случае моделирования функционального состояния может быть использовано сходство механизмов, обеспечивающих поддержание постоянства внутренней среды у теплокровных животных (млекопитающих) и человека. Экспериментально показано, что физиологические системы, обеспечивающие адаптивные и оборонительные формы поведения животных и человека являются схожими [3, 5, 6, 7]. Функциональное состояние – это динамическое изменение статуса организма путем взаимодействия его систем, предполагающее, в частности, привлечение внутренней (функциональной) и поведенческой регуляции. В этом смысле, для понимания природы конкретных состояний необходимо определить, как взаимодействуют системы гомеостаза и системы регуляции поведения. Однако, динамика функциональных состояний животных в отличие от человека более зависит от их физиологического статуса, чем от уровня психического напряжения. Другими словами, гомеостаз человека может быть изменен с помощью поведения, а гомеостаз животных определяет их поведение. Поведение животных неразрывно связано с адаптацией к изменению условий среды, при этом совершенствование движений и одновременно уровня отражения приводит к улучшению приспособляемости [4]. Даже высшие животные (обезьяны) не способны менять условия своего существования, а вынуждены меняться сами, адаптируясь к произошедшим изменениям. Это следует учитывать при поиске у животных аналогов функциональных состояний, типичных для человека.

Двухмерная векторная модель функциональных состояний

Довольно удобным способом сопоставления животных и человека является сравнение векторных моделей функциональных состояний человека и животных, что предполагает употребление единой системы понятий. В работе [9] была рассмотрена двухмерная векторная модель, являющаяся наиболее подходящей для животных модификацией трехмерной векторной модели функциональных состояний человека [8]. Отсутствие у животных второй

сигнальной системы, представленной в виде третьего компонента трехмерной векторной модели, является основанием ее редукции до двухмерного решения. Следовательно, модель функциональных состояний животных представлена двумя измерениями: уровнем возбуждения (УВ) нервной системы и фокусом первой сигнальной системы (Ф1). Функциональные состояния человека и животных характеризуются схожими связями между ориентацией Ф1 и УВ: УВ увеличивается в результате ориентации Ф1 на внешние процессы и уменьшается при ориентации Ф1 – во внутрь. В контексте двухмерной модификации векторной модели функциональных состояний совокупность УВ нервной системы и ориентации Ф1 следует рассматривать как представление механизмов поддержания гомеостатического равновесия и регуляторных поведенческих процессов.

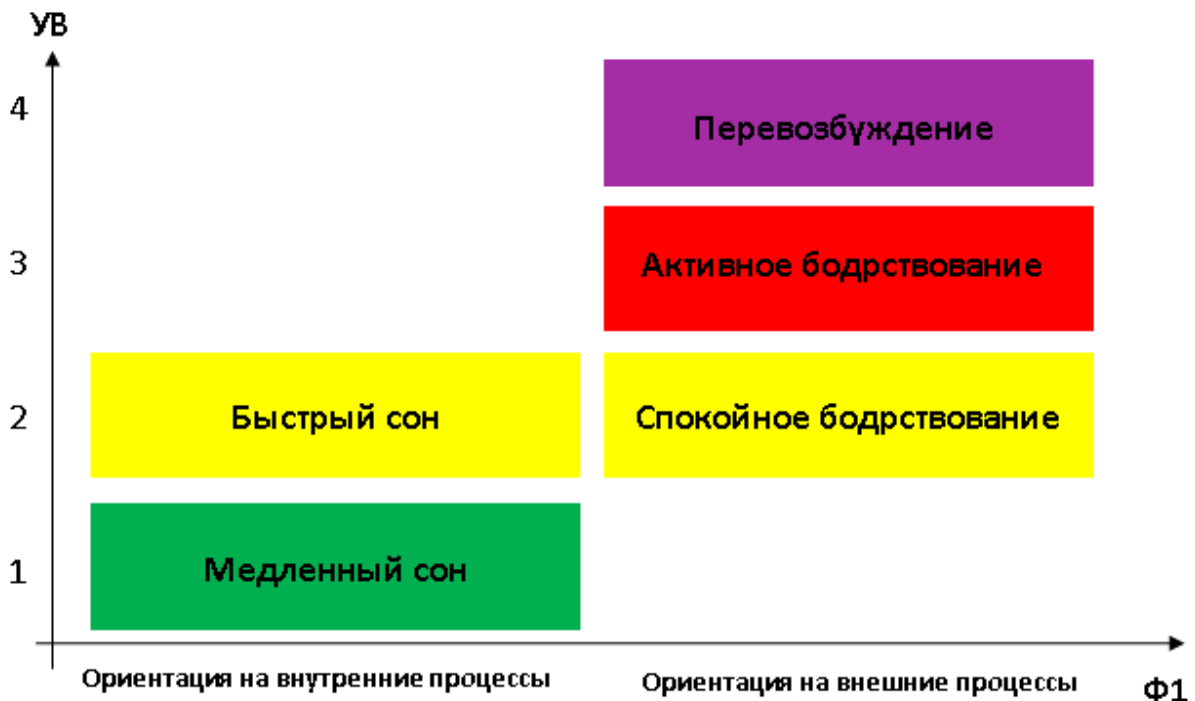


Рис. 1. Плоскостная схема двухмерной векторной модели функциональных состояний животных

По сравнению с трехмерной векторной моделью [8] двухмерная модель функционального состояния животных представлена в виде плоскостной проекции, оси которой представляют УВ и Ф1 (рис. 1). Динамика УВ носит непрерывный характер и может быть изображена в виде континуума, который для удобства разбили на 4 уровня. Ф1 имеет две основные градации: ориентацию на внешние и внутренние процессы, между которыми так же не возможно установить четкую границу. В целом полученная двухмерная модель позволяет рассматривать 5 устойчивых функциональных состояний животных: медленный и быстрый сон, спокойное и активное бодрствование, перевозбуждение. Первый уровень возбуждения представлен только состоянием медленного сна, второй уровень – состояниями быстрого сна и спокойного бодрствования, а третий и четвертый уровни, соответственно, отражают состояния активного бодрствования и перевозбуждения.

Известно, что у млекопитающих цикл сна представлен двумя стадиями: медленного и быстрого сна. Временные характеристики цикла «бодрствование-сон» у человека являются наиболее схожими с такими же параметрами у кролика, свиньи и обезьяны [5]. Исследователи сна животных характеризуют стадию медленного сна физической неподвижностью, замедлением ритма дыхания и сердечных сокращений, снижением температуры тела и мозга. Существенным

признаком медленного сна являются высокоамплитудные синхронизированные медленные волны большинства мозговых структур на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). На стадии быстрого сна у животных сохраняется сонное поведение на фоне подавления моторных актов и падения тонуса скелетных мышц, которые сопровождаются сердечной и дыхательной аритмией, сокращениями мелких мышечных групп и быстрыми движениями глаз [3, 5]. Стадия быстрого сна характеризуется снижением температуры тела, зависящей от температуры окружающей среды, и повышением температуры мозга.

Исследователи изменений сна при патологиях нервной системы отмечают, что наиболее высокой чувствительностью к таким нарушениям, как стресс, болезнь Паркинсона, шизофрения, эпилепсия и т.п., обладает стадия быстрого сна, которая при появлении этих нарушений редуцируется или может полностью исчезнуть [5].

У животных стадии сна определяются только УВ, который изменяется в определенных рамках, что касается Ф1, то он не перемещается, а во время сна остается стабильно ориентированным на внутренние процессы.

Состояния спокойного и активного бодрствования у животных могут быть специфицированы по выполняемым задачам. Эти состояния периодически сменяют друг друга в течение дня. В спокойном состоянии животное, как правило, находится в одной и той же позе, которую оно не меняет, при этом состояние покоя характеризуется более или менее стабильным состоянием внутренней среды организма и его систем. Активное бодрствование характеризуется поисковым и оборонительным поведением, возникающим как способ удовлетворения потребности или устранения какого-либо неудобства [4]. Возникновение разных форм поведения зависит как от внешних изменений окружающей среды, так и внутренних, определяемых обменными процессами. Следовательно, внешние и внутренние факторы нарушения гомеостаза являются причинами возникновения определенного вида поведения.

Следует уточнить, что у животных поддержание постоянства внутренней среды регулируется автоматически и является универсальной реакцией на изменения внешних и внутренних факторов. Внешние изменения среды приводят к необходимости коррекции внутреннего баланса, в силу того, что животное не может повлиять на окружающие факторы. Следовательно, поддержание постоянства внутренней среды обнаруживает связь только с УВ, который падает или возрастает в зависимости от интенсивности обмена, определяемого автоматически конкретными структурами мозга, например, гипоталамусом. Фокус первой сигнальной системы при этом полностью определяется УВ нервной системы: уровень падает – фокус ориентируется внутрь, уровень возрастает – фокус переносится наружу.

Перевозбуждение можно рассматривать как состояние дистресса, развивающееся под влиянием неблагоприятных факторов, при большой физической или эмоциональной нагрузке, которое у животных имеет сходные с человеком механизмы реализации [6, 7]. Однако дистресс у животного возникает в результате практически необратимых изменений гомеостаза, которые уже невозможно компенсировать и которые при продолжающемся влиянии стрессорных факторов приводят к смерти животного. Как правило, в этих случаях УВ нервной системы достигает чрезмерных значений, которые снижаются с помощью тормозных механизмов, обеспечивающих возможность адаптации.

Рассмотренные особенности функционального состояния животных указывают на то, что разнообразие их состояний определяется УВ, при этом ориентация Ф1 меняется зависимо от УВ и формально не является независимым фактором. Это позволяет использовать двухмерную модель функциональных состояний животного для апробации определенных состояний, определяющихся в основном УВ.

Динамика функционального состояния у человека и животных: сравнительный анализ

Анализ двухмерной модели функциональных состояний показал возможность моделирования на животных методов диагностики УВ, инициации и изменения тех функциональных

состояний, которые связаны с его модуляцией [9]. Итак, двухмерная модель функциональных состояний животных позволяет моделировать на них следующие устойчивые функциональные состояния: спокойное и активное бодрствование, стресс, медленный и быстрый сон. По аналогии с человеком для животных так же возможна инициация переходных процессов, среди которых определяются засыпание и пробуждение, как переходы из состояния бодрствования ко сну и обратно, а также прямой и обратный переход из состояния медленного сна в состояние быстрого сна. Переходные процессы между состояниями бодрствования имеют место, но носят скорее количественный, чем качественный характер.

Для наглядного подтверждения сходства динамики функционального состояния у человека и лабораторных животных был проведен сравнительный анализ экспериментально полученных показателей дыхательной и сердечной деятельности в различных функциональных состояниях. Сравнительный анализ был основан на обнаружении значимых корреляционных связей между одинаковыми физиологическими показателями сердечной (ЧСС – частота сердечных сокращений, RR– длительность сердечного цикла, ДПВ – длина пульсовой волны) и дыхательной (ЧД – частота дыхания) деятельности спортсменов и кроликов, зафиксированными в экспериментах, процедуры которых были идентичны. Экспериментальные данные исследования спортсменов подробно описаны в работе [2], экспериментальные данные исследования кроликов, соответственно, представлены в работе [1]. Необходимо отметить, что особенностью этих экспериментов являлось сравнение динамики функционального состояния, модулируемого с помощью электросна, у испытуемых и животных в обычных условиях и под воздействием стимулирующего химического вещества (кофеин). Далее будет представлено сравнение данных по кроликам с данными по спортсменам отдельно для экспериментальной (под воздействием химического стимулятора) и контрольной (плацебо) группы. Сравнение динамики соответствующих физиологических показателей сердечной и дыхательной деятельности людей и животных проводили с учетом различных этапов модуляции функционального состояния. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели сходства (r – коэффициент корреляции Пирсона, p – уровень значимости) физиологических маркеров динамики функционального состояния (ЧСС – частота сердечных сокращений, RR – длительность сердечного цикла, ДПВ – длительность пульсовой волны, ЧД – частота дыхания) у спортсменов и кроликов, вычисленные в зависимости от этапов модуляции функционального состояния

Этапы модуляции функционального состояния (ФС)		Физиологические маркеры экспериментальных групп				Физиологические маркеры контрольных групп			
		ЧСС	RR	ДПВ	ЧД	ЧСС	RR	ДПВ	ЧД
Вся последовательность ФС	r	-0,15*	-0,10*	0,17*	-0,17*	-0,01	0,06*	-0,08*	-0,01
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,440	0,000	0,000	0,365
Покой	r	0,09*	-0,06	-0,06	-0,10*	-0,04	0,01	0,09*	0,05
	p	0,033	0,125	0,162	0,018	0,333	0,761	0,024	0,273
Электросон, первые 5 мин	r	-0,21*	-0,20*	0,09*	-0,01	0,079	0,08*	0,071	-0,10*
	p	0,000	0,000	0,020	0,730	0,055	0,043	0,109	0,014

Электросон, вторые 5 мин	r	-0,07	0,00	-0,04	0,06	0,13*	0,14*	0,27*	0,12*
	p	0,093	0,993	0,312	0,168	0,001	0,001	0,000	0,004
Электросон, третьи 5 мин	r	0,04	0,01	0,02	0,09*	0,00	0,06	0,10*	-0,02
	p	0,295	0,749	0,611	0,020	0,905	0,171	0,011	0,579
Электросон, все 15 мин	r	0,06*	0,10*	0,04	-0,15*	0,03	0,07*	0,14*	-0,02
	p	0,018	0,000	0,114	0,000	0,219	0,004	0,000	0,473
Пробуждение	r	-0,27*	0,32*	0,25*	-0,12*	0,08	0,11*	0,02	-0,09*
	p	0,000	0,000	0,000	0,006	0,055	0,007	0,554	0,021

*Примечание: жирным курсивом и * выделены значимые коэффициенты корреляции для p менее 0,05*

На основе данных табл. 1, можно видеть, что все полученные корреляционные связи между подобными показателями сердечной и дыхательной деятельности человека и животных характеризуются направленностью связи и уровнем ее значимости. Направленность корреляционной связи может быть прямой и обратной, определяясь положительным или отрицательным значением коэффициента корреляции (r). Прямая связь (положительный коэффициент корреляции) указывает на одинаковые тенденции в изменениях по данному параметру у человека и животных, обратная связь (отрицательный коэффициент корреляции) является признаком противоположных тенденций в динамике данного показателя. Уровень значимости определяется на основе вероятности случайного возникновения проверяемой корреляционной связи, чем меньше такая вероятность (p), тем выше уровень значимости. В данном случае, коэффициент корреляции признается значимым, если p оказывается менее 0,05. Далее мы рассмотрим сходство данных сердечной и дыхательной деятельности человека и животных в различных функциональных состояниях с учетом этих двух характеристик.

Изначально была проанализирована вся последовательность функциональных состояний целиком, и оказалось, что в экспериментальных группах имеются значимые корреляции по всем четырем показателям физиологической активности, в то время как в контрольных группах – значимыми оказались корреляции только по двум показателям сердечной деятельности (RR и ДПВ). При сравнении коэффициентов корреляции внутри экспериментальных и контрольных групп оказалось, что по показателям ЧСС и ЧД в обоих случаях имеются обратные связи, в то время как по RR у экспериментальных групп обратные связи сменяются у контрольных групп прямыми связями, что в случае ДПВ имеет противоположную направленность. Наличие сходной направленности и у экспериментальных, и у контрольных групп для ЧСС и ЧД указывает на сходство динамики по этим показателям вне зависимости от действия стимулирующего вещества, наличие которого делает эти связи значимыми. В отношении RR и ДПВ связи являются неслучайными, при этом введение стимулирующего вещества преобразует прямую связь по показателю RR в обратную и обратную связь по ДПВ – в прямую. Следовательно, при введении стимулирующего вещества изменения длительности сердечного цикла приобретают разнонаправленный характер у людей и животных, а изменения длительности пульсовой волны – однонаправленный характер. Это, в частности, указывает, что введение стимулирующего вещества (в данном случае кофеина) не меняет направленность связей у людей и животных для частотных характеристик (ЧСС и ЧД), а меняет направленность связей для временных характеристик (RR и ДПВ).

Детальный анализ смены состояний был проведен с целью поиска сходства динамики физиологических процессов у людей и животных на каждом этапе модуляции функционального состояния с помощью методики электросна. Всю последовательность функциональных состояний разделили на три этапа: покой, электросон и пробуждение. Состояние покоя представляло собой пребывание в спокойном состоянии после физической нагрузки и длилось 5 минут. Далее оно сменялось состоянием электросна под воздействием низкочастотной электростимуляции и длилось 15 минут, в котором для более подробного анализа выделили пятиминутные этапы. Пробуждение следовало за состоянием электросна и вызывалось отключением низкочастотного ритмического воздействия (продолжительность 5 мин).

Состояние покоя в экспериментальных группах характеризуется наличием значимых корреляций по параметрам ЧСС и ЧД, а контрольные группы обнаруживают значимую связь по параметру ДПВ. При этом обращает на себя внимание тот факт, что направленность связей у пар групп не совпадает ни по одному параметру, а имеет разную направленность. Так, например, связь по параметру ЧСС для экспериментальных групп является прямой, наряду с обратной связью для контрольных групп. Экспериментальные группы характеризуются обратными связями по остальным параметрам (RR, ДПВ и ЧД), а контрольные группы – прямыми. Следовательно, для состояния покоя в обычных условиях характерно наличие одинаковой направленности изменений длительности сердечного цикла, длительности пульсовой волны и частоты дыхания при противоположной направленности ЧСС у людей и животных. В то время как введение в организм стимулирующего вещества приводит к противоположной картине: по RR, ДПВ и ЧД обнаруживаются обратные связи, а по ЧСС – прямые. Однако для сравнения людей и животных в состоянии покоя в обычных условиях может использоваться временной показатель ДПВ (прямая связь), а в условиях дополнительного влияния стимулирующего вещества – частотные показатели ЧСС (прямая связь) и ЧД (обратная связь).

В состоянии электросна для экспериментальных и контрольных групп обнаруживается сходная направленность корреляционных связей по всем рассмотренным показателям. При этом по показателям сердечной активности (ЧСС, RR, ДПВ) обнаруживаются прямые связи, а по показателю дыхательной активности (ЧД) для рассмотренных пар групп выявлена обратная связь. Это, в частности, указывает на наличие сходных изменений физиологических процессов во время электросна в обычных условиях и в присутствии стимулирующего вещества. В обычных условиях значимыми оказываются связи по показателям RR и ДПВ, в условиях введения стимулирующего вещества значимые корреляции выявлены по показателям ЧСС, RR и ЧД. В целом, можно говорить о том, что для состояния электросна вне зависимости от условий его инициации характерно наличие неслучайной прямой корреляционной связи по динамике длительности сердечного цикла.

Состояние электросна было разделено на три пятиминутных этапа для более детального рассмотрения связей в парах исследуемых групп. Этот детальный анализ показал отсутствие совпадений по значимости выявленных корреляций при наличии сходной направленности связей при сравнении корреляций для экспериментальных и контрольных групп. Так, первый пятиминутный этап электросна (ЭС1) характеризуется одинаковыми связями по параметрам ДПВ (прямая связь) и ЧД (обратная связь), на втором пятиминутном этапе (ЭС2) обнаруживаются сходные связи по параметрам RR (прямая связь) и ЧД (прямая связь), а на третьем пятиминутном этапе (ЭС3) – по всем параметрам сердечной активности (прямые связи). Относительно значимых корреляций для каждой пары групп они свои. Экспериментальные группы на этапе ЭС1 имеют значимые корреляции по всем параметрам сердечной активности, на этапе ЭС2 – значимые корреляции отсутствуют, а на этапе ЭС3 – только по параметру ЧС. Контрольные группы на этапе ЭС1 имеют значимые связи по RR и ЧД, на этапе ЭС2 – по всем параметрам и на этапе ЭС3 – по ДПВ. Следовательно, при разделении электросна на пятиминутные этапы необходимо учитывать направленность и значимость связей по выявленным параметрам. В частности для моделирования состояния

электросна человека на животных целесообразно рассматривать это состояние в виде целостного паттерна, не выделяя в нем пятиминутные этапы.

Значимые связи для экспериментальных групп в состоянии пробуждения обнаруживаются по всем исследуемым показателям, в то время как значимые связи для контрольных групп выявлены для RR и ЧД. Замечательно, что направленность корреляций для пар групп носит сходный характер по трем параметрам RR (прямые связи), ДПВ (прямые связи) и ЧД (обратные связи), а для ЧСС имеет противоположные тенденции: наличие прямой связи для контрольных групп и обратной связи для экспериментальных групп. В целом состояние пробуждения можно охарактеризовать наличием значимых и одинаково направленных связей, как для экспериментальных групп, так и для контрольных групп по длительности сердечного цикла (прямая связь) и частоте дыхания (обратная связь).

Немаловажно выявить параметры, по которым обнаруживаются значимые корреляции для всех трех функциональных состояний (покой, электросон и пробуждение) отдельно для контрольных групп и отдельно для экспериментальных. Оказалось, что для контрольных групп невозможно выделить показатели, по которым присутствовали бы значимые корреляции по всем трем функциональным состояниям. В данном случае можно выделить только пары функциональных состояний, в которых по одним и тем же параметрам обнаруживаются неслучайные связи. Так, состояния покоя и электросна характеризуются наличием прямых связей по длительности пульсовой волны, а состояния электросна и пробуждения обнаруживают наличие прямых связей по длительности сердечного цикла. Значимые корреляции для экспериментальных групп во всех трех функциональных состояниях обнаружены по частотным характеристикам: ЧСС (прямые связи и обратная связь) и ЧД (обратные связи). Важно отметить, что для контрольных групп значимые связи обнаруживаются по временным характеристикам сердечной активности, а для экспериментальных групп – по частотным характеристикам сердечной и дыхательной деятельности. Это указывает на то, что в обычных условиях для людей и животных в качестве общих параметров следует использовать такие временные характеристики, как длительность сердечного цикла и длительность пульсовой волны, а в условиях действия химического стимулирующего вещества – использовать частотные характеристики: ЧСС и ЧД.

Представленный выше анализ корреляционных связей между показателями сердечной и дыхательной активности людей и животных позволил выделить общие для них физиологические маркеры, являющиеся показателями динамики функционального состояния. Моделирование определенного функционального состояния человека на животных становится не просто возможным, но экспериментально контролируемым на основе динамики выявленных физиологических маркеров. Общими маркерами являются только те параметры сердечной и дыхательной деятельности, по которым для людей и животных обнаружены значимые корреляции. При этом следует учитывать также направленность корреляционных связей, которая определяет наличие прямой или обратной зависимости по данному показателю.

В целом на основе проведенного исследования все разнообразие рассмотренных функциональных состояний можно описать в терминах физиологических маркеров, общих для людей и животных. Маркерами всей последовательности функциональных состояний в обычных условиях являются временные показатели сердечной деятельности, среди которых длительность сердечного цикла у людей и животных изменяется одинаково, а длительность пульсовой волны – разнонаправлено. В условиях дополнительного действия стимулирующего вещества (кофеина) маркерами последовательности функциональных состояний являются временные и частотные показатели сердечной и дыхательной деятельности. Частотные показатели (ЧСС и ЧД) и длительность сердечного цикла изменяются разнонаправлено у людей и животных, а длительность пульсовой волны – одинаково.

Маркеры различных инициированных функциональных состояний так же были выделены для обычных условий (обычное состояние) и в условиях действия стимулирующего вещества (стимулированное состояние). Маркером обычного состояния покоя является длина пульсовой

волны, изменяющаяся одинаково, маркерами состояния электросна выступают временные параметры сердечной деятельности (RR и ДПВ), одинаково изменяющиеся, и, наконец, состояние пробуждения определяется двумя маркерами: длительностью сердечного цикла (одинаковые изменения) и частотой дыхания, изменяющейся противоположно у людей и животных. В качестве маркеров стимулированного состояния покоя выступают частотные характеристики активности: ЧСС (одинаковые изменения) и ЧД (противоположно направленные изменения). Маркерами стимулированного состояния электросна являются частотные характеристики активности и длительность сердечного цикла, среди которых ЧСС и RR изменяются одинаково, а ЧД – противоположно. Стимулированное состояние пробуждения определяется как частотными, так и временными характеристиками сердечной и дыхательной деятельности, при этом частотные характеристики у людей и животных изменяются противоположно, а временные – одинаково.

Выводы

Подводя итоги настоящего исследования можно сделать следующие выводы.

Во-первых, сравнение функциональных состояний людей и животных позволило выявить сходство динамики частотных и временных показателей их сердечной и дыхательной активности. Такой результат указывает на возможность моделирования на животных функциональных состояний человека, адекватность которых можно контролировать на основе соответствующих показателей сердечной и дыхательной активности, названных физиологическими маркерами.

Во-вторых, сходство функциональных состояний людей и животных выявлялось на основе корреляционных связей по четырем показателям, наличие которых определяли на основе коэффициентов с уровнем значимости не менее 0,05. Каждый коэффициент также характеризовался знаком, указывающим направленность связи: положительный коэффициент выявляет одинаковые изменения показателя у людей и животных, отрицательный коэффициент – разнонаправленные изменения. Направленность связи следует учитывать при инициации конкретного функционального состояния.

В-третьих, набор показателей физиологической активности, по которым обнаружено сходство для человека и животных, оказался различным для последовательности функциональных состояний, инициированных в обычных условиях и под действием стимулирующего химического вещества (кофеин). Этот набор в условиях стимулирования включает большее количество показателей, чем в обычных условиях.

В-четвертых, сходство всей последовательности функциональных состояний в обычных условиях обнаруживается по временным характеристикам сердечной активности (длительность сердечного цикла и длительность пульсовой волны), сходство в стимулированных условиях – имеется как по временным, так и по частотным характеристикам (частота сердечных сокращений и частота дыхания).

В-пятых, в обычных условиях сходство инициированных функциональных состояний (покой, электросон, пробуждение) обнаруживается, соответственно, в покое по длительности пульсовой волны, в состоянии электросна по длительности сердечного цикла и пульсовой волны, в состоянии пробуждения по длительности сердечного цикла и частоте дыхания. В стимулированных условиях выявляется сходство по частотным характеристикам в покое, по частотным характеристикам и длительности сердечного цикла – в состоянии электросна и по частотным и временным характеристикам – в состоянии пробуждения.

Литература

1. Емельянова А.Е., Емельянов А.А., Каркищенко Н.Н., Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А., Шустов Е.Б., Капанадзе Г.Д. Моделирование на животных физиотерапевтических способов купирования гиперактивации нервной системы после физической и психической нагрузки, в том числе на фоне

действия стимулирующих веществ. // Биомедицина – 2015 – №1 – С. 4-10.

2. Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А., Шустов Е.Б., Емельянов А.А., Емельянова А.Е. Транскраниальная низкочастотная ритмическая электростимуляция структур головного мозга спортсменов для купирования гиперактивации нервной системы, модулируемой приемом больших доз кофеина в тренировочный и постсоревновательный периоды // Спортивная медицина: наука и практика – 2015– №3 – С. 12-18.

3. Ковальзон В.М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон». – М.: Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний». – 2012. – 239 с.

4. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. – М.: Изд-во Академии педагогических наук РСФСР. – 1959. – 494 с.

5. Оганесян Г.А., Аристакесян Е.А., Романова И.В., Ватаев С.И. Эволюция организации цикла «бодрствование-сон» у позвоночных. // Сомнология и медицина сна. Избранные лекции. – Под ред. Я.И. Левина, М.Г. Полуэктова. – М.: Медфорум, 2013. – С. 13-66.

6. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. – М.: Изд-во МЕДГИЗ. – 1960. – 253 с.

7. Селье Г. Стресс без дистресса. – М.: Прогресс. – 1982. – 336 с.

8. Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н. Трехмерная векторная модель функционального состояния в условиях транскраниальной электрической и магнитной стимуляции. // Биомедицина. – 2013. – №3. – С. 18-25.

9. Чайванов Д.Б., Станкова Н.В. Анализ ограничений моделирования на животных физических методов модуляции и диагностики функционального состояния нервной системы человека с целью выбора животного-модели. // Биомедицина. – 2013.– №4. – С.164-168.