



Физические методы модуляции (инициации) переходных процессов между устойчивыми функциональными состояниями нервной системы

Н.Н. Каркищенко¹, Д.Б. Чайванов², Ю.А. Чудина²

¹ – ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России», Московская область

² – НИЦ «Курчатовский институт», Москва

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

В настоящей статье рассмотрены способы инициации функциональных состояний нервной системы, классификация которых предложена в рамках трехмерной векторной модели функциональных состояний. Описание этих способов инициации требует определения устойчивых функциональных состояний и возможных переходных процессов между ними. Такое уточнение элементов модели позволяет создать эффективный инструментарий, позволяющий не только диагностировать функциональные состояния, но и модулировать их с помощью физических методов воздействия на нервную систему.

Ключевые слова: функциональные состояния, физические методы, транскраниальная нейростимуляция, диагностика.

Введение

Основной сложностью модуляции различных функциональных состояний, классификация которых была предложена в рамках трехмерной векторной модели функционального состояния (ФС) нервной системы [18], является определение физических аналогов физиологических реакций, специфических для каждого из трех компонентов векторной модели – уровня возбуждения, фокуса первой сигнальной системы и фокуса второй сигнальной системы. Уровень возбуждения (УВ) нервной системы

напрямую зависит от соотношения процессов возбуждения и торможения, осуществляющихся в нервной ткани. Следовательно, УВ может быть рассмотрен как интегральный показатель общей активации нервной системы, ее реактивности и определен, например, путем измерения суммарной электрической активности головного мозга человека по данным электроэнцефалографии [7].

Напротив, фокусы первой и второй сигнальных систем не удается соотнести с каким-либо измеряемым техниче-

ми методами физиологическим маркером. Это связано с подвижностью фокусов данных систем и их непрерывной динамикой. Ориентация фокусов обеих систем на внешние процессы определяется двумя факторами, к которым относятся внешнее воздействие, вызывающее непроизвольное переключение, и волевое усилие, произвольно направляемое на удержание внешней стимуляции в фокусе внимания. В данном случае сигнальные системы различаются типом информации, которая может восприниматься как перцептивная (первая сигнальная система) и вербальная (вторая сигнальная система). Ориентация фокусов обеих систем на внутренние процессы определяется типом задачи, эффективность решения которой требует отвлечения от внешнего потока стимулов, что представляет произвольную локальную «сенсорную депривацию». Обращение фокусов обеих сигнальных систем на внутренние процессы также может происходить под воздействием монотонно повторяющихся сенсорных или вербальных внешних воздействий, которые вызывают своеобразное локальное «привыкание». Вторая сигнальная система может быть обращена вовнутрь с помощью внутреннего монолога или диалога. В последнем случае УВ нервной системы повышается, а не снижается, как при монотонных воздействиях. Невозможность определения физиологических маркеров, однозначно определяющих компоненты ФС (в частности – разную ориентацию фокусов сигнальных систем), требует введения системного анализа. Преимуществом системного анализа является рассмотрение ФС как интегрального явления, обусловленного вкладом всех трех

компонентов. Предложенный вариант системного анализа позволил рассмотреть каждое ФС в рамках трехмерной векторной модели как синдром, представляющий собой определенный набор физиологических маркеров или симптомов [5]. Синдромный анализ является диагностическим инструментарием, который будет дополнен технологией инициации заданного ФС. С этой целью было введено понятие устойчивых ФС и переходных процессов.

Связи компонентов вектора функционального состояния нервной системы

Для введения понятия устойчивых ФС необходимо рассмотреть специфические взаимодействия компонентов ФС. Между ориентацией фокуса внимания первой сигнальной системы и уровнем возбуждения нервной системы имеется тесная связь [10].

Ориентация фокуса первой сигнальной системы на внешние процессы ведет к активации сенсорных систем и увеличению потока раздражителей к соответствующим областям головного мозга. Это приводит к повышению уровня активации, возбуждения коры и тонуса мускулатуры. Напротив, смещение фокуса первой сигнальной системы вовнутрь приводит к уменьшению потока раздражителей извне и рефлекторному расслаблению мускулатуры, что активизирует процессы торможения.

Уменьшение потока внешних раздражителей, поступающего через сенсорные системы, способствует торможению подкорковых и корковых мозговых структур, что определяет переориентацию фокуса внимания первой сигнальной системы вовнутрь. Напротив, уве-

личение потока раздражителей через сенсорные системы увеличивает возбуждение структур головного мозга и ведет к перемещению фокуса первой сигнальной системы на внешние процессы.

Удержание внешне ориентированного фокуса внимания первой сигнальной системы определяется двигательной активностью и внешней речью. Реализация движений и внешней речи во время бодрствования требует постоянного контроля со стороны первой сигнальной системы, которая автоматически оказывается ориентированной на внешние процессы. Следовательно, любая двигательная и речевая активность приводит к увеличению УВ.

Описанные связи между компонентами вектора функционального состояния с уровнем движений и действий в описанных случаях носят определенный характер. Для наглядности приведем схему, демонстрирующую связи между компонентами вектора ФС нервной системы, действиями и движениями (рис. 1). Увеличение уровня активности,

движений и действий приводит к переориентации фокусов внимания обеих систем на внешние процессы (показано стрелками 1 и 3). Разнонаправленная ориентация фокуса внимания первой сигнальной системы приводит к изменению УВ: направленность на внешние процессы увеличивает, а направленность на внутренние процессы – уменьшает возбуждение нервной системы (стрелка 5). УВ, в свою очередь, способствует переориентации фокуса первой сигнальной системы (стрелка 6). УВ и изменение фокуса внимания второй сигнальной системы влияют на уровень активности, движения и действия (стрелки 2 и 4, соответственно).

Важно отметить, что сила УВ определяется фокусом первой сигнальной системы, а знак связей УВ определяется фокусом второй сигнальной системы. При ориентации фокуса первой сигнальной системы на внешние процессы уровень активации нервной системы увеличивается, а при переориентации первой системы на внутренние процес-



Рис. 1. Связи между компонентами вектора функционального состояния нервной системы, уровнем активности движений и действий. Стрелками показаны связи между компонентами вектора ФС и уровнем активности движений и действий.

сы – УВ снижается. Возбуждающие связи УВ нервной системы детермируются внешней ориентацией фокуса второй сигнальной системы, а наличие тормозных связей УВ задается ориентацией фокуса второй системы на внутренние процессы. Это связано с особенностями перефокусировки второй сигнальной системы, которая во всех ФС управляется независимо от первой системы и УВ.

Устойчивые функциональные состояния нервной системы

При такой организации взаимодействий компонентов вектора ФС с уровнем активности движений и действий в трехмерном пространстве функциональных состояний нервной системы можно выделить 4 устойчивые области: область медленного сна, область быстрого сна, область гипнотического сна и область бодрствования. Эти области

в трехмерном векторном пространстве ФС соответствуют устойчивым функциональным состояниям (УФС). Рассмотрим каждое из них подробно и в соотношении с уровнем активности, движениями и действиями.

УФС «Медленный сон» характеризуется снижением общей двигательной активности на фоне понижения УВ нервной системы. Этому способствует ориентация первой и второй сигнальных систем на внутренние процессы. В то же время, внутренняя фокусировка первой сигнальной системы увеличивает торможение подкорковых структур мозга, являющееся источником сонного торможения для коры и сенсорных систем.

Состояние медленного сна характеризуется тормозными взаимодействиями между компонентами вектора ФС (рис. 2).



Рис. 2. Устойчивое состояние медленного сна. Стрелками показаны тормозные связи между компонентами вектора функционального состояния и уровнем активности, движениями и действиями. Синим цветом обозначен низкий уровень возбуждения нервной системы и общей активности.

Другое устойчивое состояние быстрого сна характеризуется избирательной активацией подкорковых и корковых структур мозга и быстрыми движениями глаз на фоне общего торможения и расслабления всей другой мускулатуры. В состоянии быстрого сна фокусы обеих сигнальных систем ориентированы на внутренние процессы на фоне локальной активации мозговых структур, которая вызывает повышение УВ нервной системы локально. Схема взаимодействия компонентов вектора функционального состояния демонстрирует преимущественно активирующие или тормозные связи между ними стрелками разного цвета (рис. 3).

При этом важно отметить редукцию связи между первой сигнальной системой и уровнем активности, движениями и действиями, которая указывает на то, что во время быстрого сна внутренняя ориентация первой сигнальной системы определяется торможением не со стороны организма и внешней среды, а со стороны спе-

цифических подкорковых структур. Наличие активирующих связей УВ с фокусом первой системы и уровнем активности в состоянии быстрого сна определяется ориентацией фокуса второй сигнальной системы на внешние процессы, которая является локальной и связанной с управлением собственным поведением в сновидениях.

Состояние гипнотического сна также считается устойчивым в связи с тем, что это состояние проявляется у всех людей в той или иной степени. По мнению Л.П. Гримака, состояние транса или гипнотического сна является таким же естественным для человека, как состояния естественного сна и бодрствования [3]. Состояние гипнотического сна сочетает формальные признаки медленного и быстрого сна [9], а по сути представляет собой локальную активацию мозга, вызванную речью гипнолога, на фоне общего торможения мозговой активности и произвольной регуляции движений. В данном случае гипнолог выступает в качестве внутренней речи, являющей-

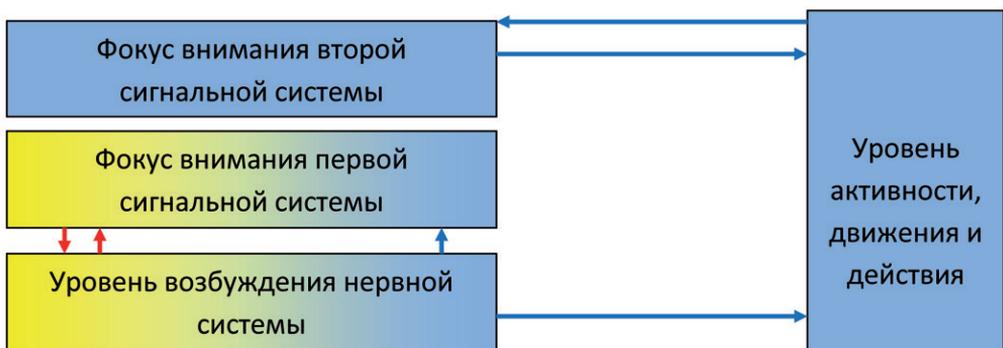


Рис. 3. Устойчивое состояние быстрого сна. Стрелками показаны преимущественно активирующие (красные стрелки) и тормозные (синие стрелки) связи между компонентами вектора функционального состояния и уровнем активности, движениями и действиями. Желтым цветом обозначены средний уровень возбуждения нервной системы, средний уровень активности, распределение фокусов внимания сигнальных систем между внутренними и внешними процессами.

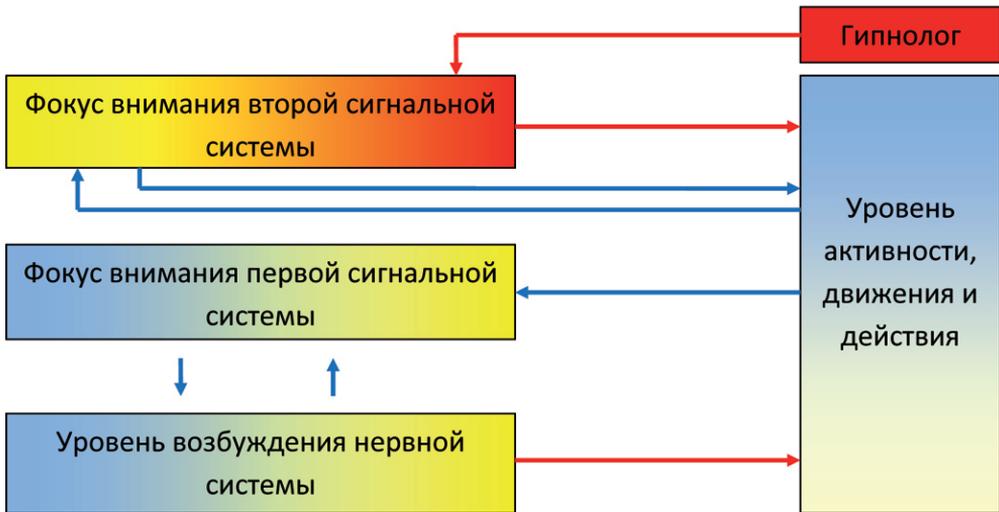


Рис. 4. Устойчивое функциональное состояние гипнотического сна. Стрелками показаны преимущественно активирующие (красные стрелки) и тормозные (синие стрелки) связи между компонентами вектора функционального состояния и уровнем активности, движениями и действиями. Красным цветом обозначены ориентация фокуса второй сигнальных систем на внешние процессы и воздействие со стороны гипнолога, желтым цветом обозначены средний уровень возбуждения нервной системы, средний уровень активности движений и действий, распределение фокуса первой сигнальной системы между внутренними и внешними процессами.

ся волевым усилием, направленным на управление действиями испытуемого. В случае гипнотического воздействия происходит замещение внутренней регуляции собственного поведения посредством внутренней речи внешней речью гипнолога. На рис. 4 показано, что гипнолог частично переориентирует фокус второй сигнальной системы испытуемого на внешние процессы при некоторой обращенности первой системы вовне и увеличении УВ на фоне общего снижения мозговой и двигательной активности. Первоначально состояние гипнотического сна характеризуется каталепсией, которая считается признаком достижения транса, и дальнейшим подчинением инструкциям гипнолога [13, 14].

Устойчивое состояние бодрствования (рис. 5) характеризуется преимущественно активирующими связями между компонентами вектора ФС. В данном состоянии уровень активности обеспечивает успешное и эффективное выполнение движений и действий. Однако ориентация фокусов обеих сигнальных систем не может быть четко определена, так как она динамически меняется. Надо отметить, что бодрствование среди всех устойчивых состояний включает наиболее широкий спектр динамических сочетаний всех трех компонентов вектора ФС. Эта особенность позволяет состояние бодрствования представить в виде наиболее обширной области в трехмерной векторной модели ФС, в то время как все другие УФС похожи,

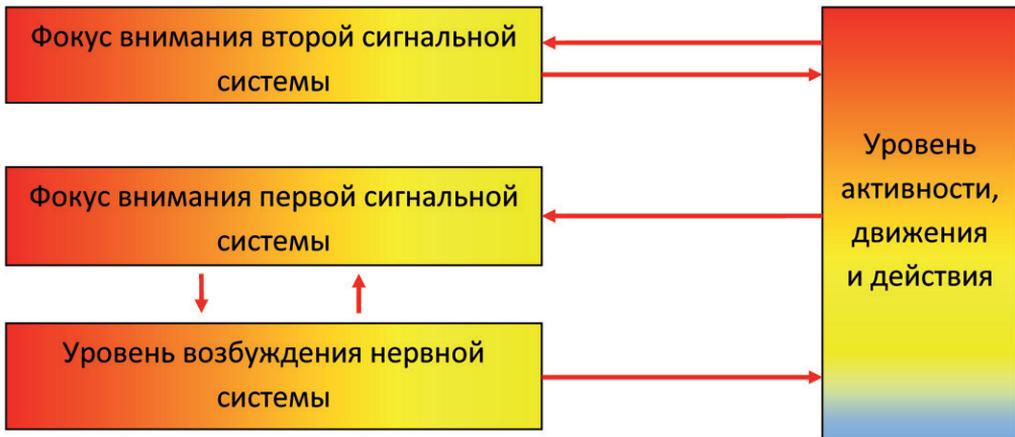


Рис. 5. Устойчивое функциональное состояние бодрствования. Красным цветом обозначены высокий уровень возбуждения нервной системы, высокий уровень активности, движений и действий, ориентация фокусов внимания сигнальных систем преимущественно на внешние процессы. Желтым цветом обозначены средний уровень возбуждения нервной системы, средний уровень активности движений и действий, распределение фокусов внимания сигнальных систем между внутренними и внешними процессами.

скорее, на небольшие области. По-видимому, состояние бодрствования может быть дифференцировано. В рамках трехмерной векторной модели ФС различные варианты состояния бодрствования определяются, главным образом, преимущественной направленностью фокусов сигнальных систем.

Переходные процессы

Изменения описанных УФС могут быть связаны с модификацией определенного состояния или его преобразованием в другое устойчивое состояние. Такие изменения были обозначены как переходные процессы, соответственно модулирующие и изменяющие УФС. Модулирующие переходные процессы влияют на внутреннюю динамику каждого отдельного УФС, обеспечивая незначительные изменения вкладов разных компонентов трехмерного век-

тора. Изменяющие переходные процессы обеспечивают смену одного УФС другим. В данном случае существуют некоторые ограничения и особенности. Рассмотрим все варианты изменяющих переходных процессов.

Наиболее очевидным является переход из состояния бодрствования в состояние медленного сна, которое переходит в быстрый сон, затем следует чередование медленного и быстрого сна, оканчивающееся обычно пробуждением. Прямой переход от бодрствования к медленному сну возможен. При этом прямого перехода от бодрствования к быстрому сну не обнаружено даже в ситуации крайнего утомления или предыдущей депривации быстрого сна [6, 8]. Прямые переходы к бодрствованию из состояний медленного сна и быстрого сна существуют, так как являются важными для выживания особи.

Переход из состояния бодрствования в состояние гипнотического сна подтверждается многочисленными исследованиями в данной области [2, 15]. Как правило, не вызывает сомнений прямой переход из состояния транса в состояние бодрствования, осуществляемый специфическими приемами гипнолога. Относительно перехода из состояния транса в быстрый сон специальных исследований не проводилось, но, по-видимому, такая возможность существует. Возможность перехода из состояния транса в состояние медленного сна также, предположительно, существует и может быть реализована техническими средствами, заменяющими воздействия гипнолога. Использование технических средств для введения в гипнотический сон и управления состоянием транса требует осуществления непрерывной диагностики изменений физиологических показателей работы мозга и организма.

Переходные процессы из состояния медленного и быстрого сна в гипнотический транс, скорее всего, не могут быть реализованы, так как естественный сон является процессом, запускаемым эндогенными мозговыми механизмами, которые не допускают изменения состояния без нарушения его, то есть перехода в бодрствование.

Интерпретация особенностей УФС в терминах трехмерных векторов и переходных процессов, модулирующих и изменяющих УФС, позволяет разработать технические способы инициации переходных процессов с помощью физических методов стимуляции мозга.

Переход из состояния бодрствования в состояние медленного сна связан с изменением знака связей компонентов вектора ФС и переориентацией фо-

кусов сигнальных систем на внешние процессы. Эффективным техническим способом, обеспечивающим переход из бодрствования в медленный сон, является метод электросна [1]. Этот метод осуществляется путем воздействия на головной мозг пациента постоянным импульсным током прямоугольной формы низкой частоты (1-100 Гц) и малой силы (амплитуда до 10 мА) [4, 16]. Данное воздействие вызывает дремотное состояние, переходящее в медленный сон. Основой электросна является тормозный эффект электрического тока на активирующую систему ретикулярной формации среднего мозга, приводящий к подавлению активности подкорковых и корковых структур мозга. Глубину медленного сна можно регулировать, увеличивая электрическое воздействие, при непрерывном контроле динамики физиологических показателей. Переход в обратном направлении из состояния медленного сна в бодрствование обеспечивается прекращением электрического воздействия.

Переход из состояния медленного сна в состояние быстрого сна характеризуется появлением локальной активации в нервной системе и частичным переориентированием фокуса первой сигнальной системы на внешние процессы. Данное состояние можно создать на фоне состояния медленного сна, инициированного методом электросна, путем воздействия на кору методом микрополяризации [11, 12, 17]. Метод микрополяризации позволяет создавать избирательное и локальное возбуждение или торможение достаточно ограниченных участков коры (около 2 см). С помощью микрополяризации можно создавать паттерн возбужденных и заторможенных зон коры

[17], определяющий известную психическую и физическую деятельность. На фоне сонного торможения мозга воссоздание этого паттерна позволит вызвать не саму деятельность, а только представление о ней, которое, возможно, будет переживаться как сновидение. Прекращение микрополяризационного воздействия приведет к возвращению в состояние медленного сна.

Переходный процесс из состояния бодрствования в состояние гипнотического сна характеризуется двумя важными особенностями. Во-первых, необходимо снизить уровень возбуждения нервной системы до состояния медленного сна, во-вторых, при этом требуется оставить фокус второй сигнальной системы частично ориентированным вовне, на речь гипнолога. Техническим средством снижения уровня возбуждения нервной системы и переориентацией фокусов обеих систем преимущественно на внутренние процессы является электросон. Формирование частичной ориентации фокуса второй сигнальной системы на внешние процессы может осуществляться с помощью записанной на пленку или генерируемой речи гипнолога. Характеристики этой звучащей речи должны в начале воздействия подстраиваться под состояние пациента, изменяясь зависимо от физиологических процессов его организма. В ходе суггестивного воздействия характеристики звучащей речи должны незначительно меняться, обеспечивая настройку физиологических систем пациента. В качестве речи гипнолога может быть использована речь самого пациента, предварительно записанная и затем преобразованная. Такой прием, возможно, позволит сделать процедуру воздейст-

вия более похожей на недирективный гипноз [19]. Переход из состояния гипнотического транса в состояние медленного сна может осуществляться посредством отмены суггестивного речевого воздействия, а дальнейшее прекращение электрического воздействия приведет к постепенному пробуждению.

Эффективность рассмотренных способов инициации переходных процессов между устойчивыми функциональными состояниями обеспечивается использованием параметров физических методов воздействия на нервную систему, определенных на основе диагностического анализа показателей динамики функционального состояния.

Список литературы

1. *Гиляровский В.А., Ливенцев Н.М., Сегаль Ю.Е., Кириллова З.А.* Электросон. - М.: Медгиз. 1958. 172 с.
2. *Гримак Л.П.* Моделирование состояний человека в гипнозе. - М.: Либриком. 2009. 272 с.
3. *Гримак Л.П.* Тайны гипноза. Современный взгляд. - СПб: Питер. 2004. 304 с.
4. *Гурленя А.М., Бабель Г.Е., Смычек В.Б.* Физиотерапия в неврологии. - М.: Медицинская литература. 2008. 296 с.
5. *Каркищенко Н.Н., Чудина Ю.А., Чайванов Д.Б.* Синдромный анализ функциональных состояний в контексте трехмерной векторной модели // Биомедицина. 2014. № 2. С. 25-36.
6. *Ковальзон В.М.* Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон». Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний». 2012. 239 с.
7. *Кулаичев А.П.* Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. - М.: Инфра-М, Форум. 2007. 640 с.
8. *Левин Я.И.* Депривация сна у человека: поведенческие, психофизиологические и биохимические аспекты // Сомнология и медицина сна. Избранные лекции / под ред. Я.И. Левина, М.Г. Полуэктова. - М.: Медфорум. 2013. С. 129-137.

9. *Невский М.П.* Сравнительный анализ фазовых изменений электрической активности мозга в гипнозе и естественном сне // Вопросы клинической невропатологии и психиатрии. - Челябинск. 1958. С. 243-250.
10. *Окс С.* Основы нейрофизиологии / под ред. Г.Д. Смирнова. - М.: Изд-во «Мир». 1969. 448 с.
11. *Пинчук Д.Ю.* Транскраниальные микрополяризации головного мозга. - СПб. 2007.
12. *Пономаренко Г.Н.* Физические методы лечения. - СПб. 2002.
13. *Сакеллион Д.Н., Кадиоров Б.Р.* Психофизиологические критерии гипнотической катаlepsии // Психотерапия. 2010. № 2. С. 37-42.
14. *Сакеллион Д.Н., Мухамеджанов Н.З., Султанходжаева Н.Д., Каримбердиев Д.Р., Кадиоров Б.Р.* Объективизирующие депривацию электроэнцефалографические корреляты моделируемой гипнозом катаlepsии // Журнал неврологии и психиатрии. 2006. Т. 106. № 3. С. 39-47.
15. *Тукаев Р.Д.* Гипноз. Механизмы и методы клинической гипнотерапии. - М. 2006. 448 с.
16. *Ушаков А.А.* Практическая физиотерапия. - М.: Медицинское информационное агентство. 2009. 608 с.
17. *Шелякин А.М., Пономаренко Г.Н.* Микрополяризация мозга. - СПб.: Балтика. 2006.
18. *Чайванов Д.Б., Каркищенко Н.Н.* Трехмерная векторная модель функционального состояния в условиях транскраниальной электрической и магнитной стимуляции // Биомедицина. 2013. № 3. С. 18-25.
19. *Эрикссон М.* Стратегии психотерапии. - М.: Летний сад. 2000. 512 с.

Physical methods of modulation (initiation) of transients between steady functional conditions of nervous system

N.N. Karkischenko, D.B. Chaivanov, Yu.A. Chudina

In the present article ways of initiation of functional conditions of the nervous system which classification is offered within three-dimensional vector model of functional states are considered. The description of these ways of initiation demands definition of steady functional states and possible transients between them. Such specification of elements of model allows to create the effective tools allowing not only to diagnose functional states, but also to modulate them by means of physical methods of impact on nervous system.

Key words: functional states, physical methods, transcranial neurostimulation, diagnostics.