
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОМОДУЛЯЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ И КОГНИТИВНЫМИ СТРАТЕГИЯМИ ЧЕЛОВЕКА

Д.Б. Чайванов

Лаборатория нейростимуляции
НИЦ «Курчатовский институт»
пл. Академика Курчатова, 1, Москва, Россия, 123182

Ю.А. Чудина

Кафедра социальной и дифференциальной психологии
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Описана технология управления когнитивными стратегиями человека и функциональным состоянием его мозга с помощью инструментального метода нейромодуляции. Реализация и изменение когнитивной стратегии осуществляется на основе динамики функционального состояния, которое определяется психофизиологическими функциями.

Ключевые слова: многоканальная транскраниальная динамическая нейромодуляция, инструментальная технология нейромодуляции, когнитивная стратегия, психофизиологические функции, функциональное состояние мозга.

Поиск эффективных методов коррекции и управления когнитивными функциями человека и сегодня остается актуальным. Среди таких методов можно выделить фармакологические, психотерапевтические и физиотерапевтические. В основе *фармакологических методов* лежат изменения когнитивных процессов с помощью химических средств, влияющих на нервную ткань. Фармакологические воздействия не могут обеспечить ни точности пространственной локализации, ни временных ограничений воздействия. Время мозговых изменений, вызванных фармакологическими средствами, существенно больше характерной длительности когнитивного акта. Подвергающийся воздействию тип рецепторов может участвовать в обеспечении различных когнитивных актов.

Психотерапевтические методы ориентированы прежде всего на изменение намерений, мотивов и ментальных стратегий пациента. Такие методы позволяют работать в реальном режиме времени и тем самым корректировать когнитивные процессы. К сожалению, многие психотерапевтические методы трудно формализуемы и воспроизводимы.

В основе *физиотерапевтических методов* лежит воздействие электрическим током (ЭТ) на мозг и организм. Было установлено, что к воздействию ЭТ наиболее чувствительна нервная система человека [6; 10]. Под действием ЭТ происходит перераспределение нейромедиаторов [4], изменение восприятия внешних воздействий [8], увеличение или уменьшение скорости формирования условных рефлексов, увеличение продолжительности, прочности хранения информации и эффективности ее воспроизведения [1]. Данный тип воздействия модулирует

настроение и общий эмоциональный фон человека, повышает работоспособность нервных и мышечных клеток [7; 12]. ЭТ широко применяется для моделирования функционального состояния (ФС) в норме и патологии (шизофрения, неврозы, паркинсонизм, эпилепсия и т.д.) [14].

В связи с этим представляется перспективным использование ЭТ для модуляции когнитивных функций, например, для ускорения и повышения эффективности образовательного процесса в молодом и пожилом возрасте; тренировки ФС (поддержания и восстановления работоспособности и оптимизации деятельности) и психических функций человека-оператора, от которого зависит надежность и стабильность работы системы «человек—машина» [1; 7].

Среди неинвазивных способов воздействия ЭТ на нервную систему человека [15] выделяют транскраниальную электростимуляцию, микрополяризацию и магнитостимуляцию. *Транскраниальная электростимуляция* (ТЭС) — это воздействие на мозг и организм импульсным током, которое в медицинской практике применяют для центрального обезболивания, формирования состояния сна и т.п. [5; 13]. Путем ослабления активирующих влияний ретикулярной формации ствола мозга ТЭС вызывает подавление активности коры головного мозга и ослабление общей афферентной импульсации, торможение эмоциогенных зон гипоталамуса. В результате этих изменений нормализуется высшая нервная деятельность, исчезает эмоциональное напряжение и страх, улучшается мозговое кровообращение, мышцы расслабляются, снижается болевая чувствительность, улучшается регуляция функций внутренних органов.

Транскраниальная микрополяризация (ТКМП) — использование поверхностных электродов малой площади для направленного поляризационного воздействия на мозг [1]. Воздействие ТКМП на различные области коры улучшает соответствующий тип памяти [1]. Слабый постоянный ток способствует оптимизации ФС нервной ткани, стимулирует рост клеточных структур [1; 5]. ТКМП применяют для лечения таких заболеваний, как шизофрения с синдромом вербального псевдогаллюциноза [1], депрессия, паркинсонизм, синдром гиперактивности у детей и т.д.

Транскраниальная магнитостимуляция (ТМС) — метод, при котором на тело пациента действуют мощным (1—4 Тл.) низкочастотным магнитным полем. При магнитной стимуляции в результате электромагнитной индукции в нервной ткани происходит генерация вихревого электрического поля, которое вызывает вихревой электрический ток в структурах мозга [7; 12]. Постоянное ТМС обладает седативным эффектом, при импульсном ТМС наблюдается нейро- и миостимулирующий эффект [10]. Наиболее чувствительны к ТМС гипоталамус, зрительный бугор, кора головного мозга. Импульсную ТМС используют для лечения психических заболеваний, таких как шизофрения, депрессия, аффективно-параноидальные синдромы [3].

Как показывают многие исследователи, неинвазивные способы воздействия ЭТ влияют на когнитивные процессы [8; 13; 15] и могут быть использованы для модуляции когнитивных процессов (нейромодуляции).

В осуществлении когнитивного процесса участвует набор психофизиологических функций, реализуемых различными участками мозга. Определенное взаи-

действие психофизиологических функций лежит в основе ФС, вектор которого может быть с достаточной для практического применения точностью разложен по значениям психофизиологических функций [2]. Последовательность сменяющих друг друга ФС является физиологической основой набора когнитивных процессов, которые объединяются в когнитивную стратегию.

Значения некоторых психофизиологических функций существенны для определения ФС, а других — нет. Психофизиологические функции, значения которых существенно для определения данного ФС, будем называть ключевыми функциями. Значения ключевых функций, вызывающих данное ФС, будем называть ключевыми значениями. Очевидно, что ключевые значения могут быть как скалярными, так и векторными величинами. Некоторые ФС могут инициироваться различными наборами ключевых значений различных ключевых функций.

Для управления когнитивными стратегиями была разработана технология нейромодуляции, которая включает инструментальную и алгоритмическую составляющие. Инструментальная составляющая предполагает использование неинвазивных способов создания ЭТ, технически реализованных в приборе полимодальной транскраниальной динамической нейромодуляции с биологической обратной связью (рис. 1).



Рис. 1. Прибор нейромодуляции (фото)

1 — установка для нейромодуляции; 2 — аппаратный комплекс для управления нейромодуляцией с помощью биологической обратной связи

Данный прибор позволяет производить локализованные воздействия на корковые и подкорковые отделы головного с помощью 24-канальной динамической транскраниальной микрополяризации и электростимуляции, и 2-канальной транскраниальной магнитной стимуляции, которые интерактивно управляются на осно-

ве изменений психофизиологических характеристик. Основные технические характеристики прибора позволяют реализовать управление когнитивными стратегиями и модуляцию ключевых психофизиологических функций. Блок электростимуляции включает 24 канала, максимальная суммарная амплитуда тока которых составляет 20 мА, а полоса спектра генерируемых сигналов — 0—20 кГц. При этом генерация сигнала может осуществляться по средствам: виртуального синтезатора любого типа, виртуального сэмплера в том числе гранулярного, произвольной комбинации сэмплеров и синтезаторов, многоканальных эквалайзеров. Блок магнитной стимуляции состоит из двух каналов, для стимуляции применяются кольцевой индикатор и индикатор угловая восьмерка. Максимальная амплитуда магнитного поля — 2,5 Тл, максимальная скорость нарастания магнитного поля — 30 Тл/сек. Прибор позволяет фиксировать 19 каналов ЭЭГ, 7 отведений ЭКГ и до 10 полиграфических каналов одновременно.

Управление генерируемыми сигналами по психофизиологическим параметрам пациента осуществляется с помощью пианинной клавиатуры. На рисунке 2 показана схема интегрированного взаимодействия блоков прибора нейромодуляции.



Рис. 2. Схема взаимодействия блоков прибора нейромодуляции

Алгоритмическая составляющая технологии нейромодуляции предполагает использование независимых эффектов воздействия разных видов электромагнитной стимуляции и их сочетаний. При инициации ключевых значений ключевых психофизиологических функций представляется целесообразным придерживаться следующих принципов.

Точная локализация зон воздействия не нужна. Воздействие на отдельные нейроны или ограниченные зоны мозга только затруднит управление когнитивными стратегиями, так как нейронная структура мозга уникальна, каждый чело-

век обладает особой структурой функциональных нейронных карт, которая требует уникальной стимуляции.

Необходимо модулировать не зоны мозга, а функциональные системы. Когнитивная стратегия у каждого человека реализуется на основе специфической функциональной системы, модуляция которой повлияет на значения многих ключевых функций. Следовательно, необходимо найти такие методы стимуляции зон мозга, которые вызывали преимущественную модуляцию заданной функциональной системы. Такие методы модуляции можно назвать резонансными для данной функциональной системы.

Принцип пространственного резонанса для стимуляции функциональной системы. Функциональная система имеет локализацию во многих областях мозга. Функциональные системы имеют уникальный набор зон локализации, связанных между собой физиологически. Воздействие на такие зоны преимущественно активизирует выбранную функциональную систему.

Принцип временного резонанса вызванных потенциалов для стимуляции функциональной системы. В процессе протекания когнитивной стратегии реализуется определенная последовательность активации зон модулируемой функциональной системы. Синхронизация модуляции с такой последовательностью позволит преимущественно модулировать данную функциональную систему.

Принцип биологического резонанса (биологического управления стимуляцией) для стимуляции функциональной системы. Параметры некоторых физиологических процессов определяются работой модулируемой функциональной системы. В этом случае для резонансной модуляции можно задать параметры стимуляции как функции соответствующих физиологических параметров.

Принцип резонанса по форме и частоте стимулирующего сигнала для стимуляции функциональной системы. Функциональные системы могут резонансно модулироваться пространственно-временным паттерном последовательности стимуляции зон мозга сигналами специальной формы.

Использование приведенных выше принципов позволит осуществлять исследование когнитивных стратегий, корректировать их патологические варианты и обучать новым стратегиям.

Исследование когнитивных стратегий состоит из нескольких этапов. Первоначально осуществляется выбор когнитивной стратегии, определение носителей когнитивных стратегий, условий, критериев и параметров, необходимых для практической идентификации когнитивной стратегии, способов ее экспериментальной инициации в заданные моменты времени. Далее осуществляется выделение последовательности ФС и набора ключевых психофизиологических функций и их ключевых значений, составляющих структуру данной когнитивной стратегии, что требует нахождения физиологических маркеров значений психофизиологических функций (по ЭЭГ и полиграфии) и психологических маркеров значений психофизиологических функций (по когнитивным и нейропсихологическим тестам). Весьма важно последующее исследование изменений физиологических маркеров при суперпозиции психофизиологических функций. И наконец поиск

интегративных сочетаний методов нейромодуляции для создания определенных значений психофизиологических функций и определение ключевых наборов психофизиологических функций и их значений иницирующих ФС.

После описания когнитивной стратегии в зависимости от задачи можно переходить либо к обучению, либо к коррекции когнитивной стратегии. Обучение когнитивной стратегии состоит в инициации последовательности ФС с помощью нейромодуляции и произвольной коррекции испытуемым показателей собственных психофизиологических функций. Коррекция патологической когнитивной стратегии начинается с определения, в контексте данной когнитивной стратегии, патологических ФС. Далее осуществляется конструирование «исправленных» последовательностей ФС и обучение способам произвольного вызывания выбранного набора ФС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Вартанян Г.А., Гальдинов Г.В., Акимов И.М.* Организация и модуляция процессов памяти. — Л., 1981.
- [2] *Данилова Н.Н.* Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. — М., 1992.
- [3] *Никитин С.С., Куренков А.Л.* Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. — М., 2003.
- [4] *Пинчук Д.Ю.* Транскраниальные микрополяризации головного мозга. — СПб., 2007.
- [5] *Понаморенко Г.Н.* Физические методы лечения. — СПб., 2002.
- [6] *Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н.* Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. — М., 1992.
- [7] *Шелякин А.М., Понамаренко Г.Н.* Микрополяризация мозга. — СПб., 2006.
- [8] *Abrahamyan A., Clifford C.W., Arabzadeh E., Harris J.A.* Improving visual sensitivity with sub-threshold transcranial magnetic stimulation // *Journal of Neuroscience*. — 2011. — Mar 2. — 31(9). — P. 3290—3294.
- [9] *Edelmuth R.C., Nitsche M.A., Battistella L., Fregni F.* Why do some promising brain-stimulation devices fail the next steps of clinical development? // *Expert Review of Medical Devices*. — 2010. — Jan; 7(1). — P. 67—97.
- [10] *Hoogendam J.M., Ramakers G.M., Di Lazzaro V.* Physiology of repetitive transcranial magnetic stimulation of the human brain // *Brain Stimulation*. — 2010. — Apr; 3(2). — P. 95—118. Epub 2009 Nov 24.
- [11] *Kadosh R.C., Soskic S., Iuculano T., Kanai R., Walsh V.* Modulating Neuronal Activity Produces Specific and Long-Lasting Changes in Numerical Competence // *Current Biology*. — Vol. 20, Issue 22, 2016—2020, 04 November 2010.
- [12] *Schaller G., Lenz B., Friedrich K. et al.* Repetitive transcranial magnetic stimulation influences mood in healthy male volunteers // *Journal of Psychiatric Research*. — 2011 Mar 10, [Epub ahead of print].
- [13] *Stagg C.J., Nitsche M.A.* Physiological basis of transcranial direct current stimulation // *Neuroscientist*. — 2011 Feb; 17(1). — P. 37—53.
- [14] *Szaflarski J.P., Vannest J., Wu S.W., Difrancesco M.W., Banks C., Gilbert D.L.* Excitatory repetitive transcranial magnetic stimulation induces improvements in chronic post-stroke aphasia // *Medical Science Monitor*. — 2011 Feb 25; 17(3): CR132—139.
- [15] *Wagner T., Valero-Cabre A., Pascual-Leone A.* Noninvasive Human Brain Stimulation // *Annual Review of Biomedical Engineering*. — 2007. — 9. — P. 527—565.

APPLICATION OF A NEW NEUROMODULATION TECHNOLOGY FOR CONTROL OF HUMAN MENTALITY AND COGNITIVE STRATEGIES

D.B. Chaivanov

Laboratory of Neurostimulation
NRC «Kurchatov Institute»
Akademika Kurchatova sq., 1, Moscow, Russia, 123182

Y.A. Chudina

Chair of Social and Differential Psychology
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The article describes the control technology over human cognitive strategies and mentality with the help of the instrumental method of neuromodulation. The implementation and alteration of the cognitive strategy are carried out on the basis of mentality dynamics, defined by its psycho-physiological functions.

Key words: multichannel transcranial dynamic neuromodulation, instrumental technology of neuromodulation, cognitive strategy, psycho-physiological functions, mentality.