

ВЛИЯНИЕ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ НА ВНИМАНИЕ И ДОЛГОВРЕМЕННУЮ ПАМЯТЬ У ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ

О. В. Баландина, А. В. Коткова, Д. А. Шарунова

За последние несколько десятилетий в мировой науке наблюдается всплеск интереса к неинвазивным формам нейростимуляции, а именно транскраниальной магнитной стимуляции [TMS] и транскраниальной стимуляции постоянным током [tDCS]. При изучении литературы явным становится то, что результаты исследований неоднозначны. Однако, в последнее десятилетие все больше исследований показали, что транскраниальная стимуляция постоянным током (tDCS) может улучшать работу мозга у здоровых людей, а также улучшать когнитивные и другие симптомы у пациентов, страдающих различными заболеваниями. Примечательно, что большинство исследований tDCS касаются её влияния на память и внимание молодёжи. На наш взгляд, крайне важно оценить влияние tDCS на память и внимание людей в возрасте старше 40 лет. Это обусловлено снижением когнитивных способностей, которое начинается уже в 30-35 лет и лишь прогрессирует с годами. tDCS — это метод tES, который включает применение слабого постоянного электрического тока (например, 1–2 мА) на кожу головы через два или более электродов, размещенных на коже головы. В основе метода лежит подпороговая модуляция потенциалов мембран нейронов, которая изменяет возбудимость и активность коры в зависимости от направления тока через нейроны-мишени. В исследование включены 20 здоровых добровольцев в возрасте 40-45 лет. Для исследования внимания применялись «Таблицы Шульте», тест Струпа. Для исследования долговременной памяти – тест «Долговременная память». Результаты участников были сравнены с результатами участников контрольной группы. Статистическая обработка материала проводилась с помощью программы STATISTICA 10. Как показали результаты, память и внимание улучшились на протяжении последовательных тренировочных сессий для всех 2 групп стимуляции. В то же время результаты исследований памяти не показало каких-либо значимых различий у группы контроля и исследовательской группы – в обоих случаях наблюдалось лучшее выполнение заключительной пробы. При этом тест Струпа показал клинически значимое ухудшение показателей в обеих группах после заключительной пробы. последовательных тренировочных сессий для всех 2 групп стимуляции. При сравнении результатов, полученных в пробе Шульте, эффективность работы в группе исследования увеличилось в 78% случаев, рост эффективности составил от 4 до 19%. Можно ожидать, что дальнейшие исследовательские усилия по дальнейшему выяснению механизма (механизмов) действия помогут сформировать экспериментальный план и типы гипотез, которые можно будет проверить.

Ключевые слова: транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током, внимание и долговременная память у здоровых людей, эксперимент.

INFLUENCE OF TRANSCRANIAL STIMULATION WITH DIRECT CURRENT ON ATTENTION AND LONG-TERM MEMORY IN HEALTHY PEOPLE

O. V. Balandina, A. V. Kotkova, D. A. Sharunova

Over the past few decades, there has been a surge of interest in non-invasive forms of neurostimulation in the world of science, namely transcranial magnetic stimulation [TMS] and transcranial direct current stimulation [tDCS]. When studying the literature, it becomes clear that the results of the studies are ambiguous. However, in the last decade, a growing body of research has shown that transcranial direct current stimulation (tDCS) can improve brain function in healthy individuals, as well as improve cognitive and other symptoms in patients suffering from various diseases. It is noteworthy that most of the research on tDCS concerns its effect on the memory and attention of young people. In our opinion, it is extremely important to evaluate the effect of tDCS on the memory and attention of people over the age of 40. This is due to a decrease in cognitive abilities, which begins as early as 30-35 years old and only progresses over the years. tDCS is a tES method that involves applying a weak, direct electrical current (eg, 1–2 mA) to the scalp through two or more electrodes placed on the scalp. The method is based on subthreshold modulation of neuronal membrane potentials, which changes the excitability and activity of the cortex depending on the direction of the current through the target neurons. The study included 20 healthy volunteers aged 40-45 years. To study attention, the "Schulte Tables", the Stroop test were used. For the study of long-term memory - the test "Long-term memory". The results of the participants were compared with the results of the participants in the control group. Statistical processing of the material was carried out using the program STATISTICA 10. As the results showed, memory and attention improved during consecutive training

sessions for all 2 stimulation groups. At the same time, the results of memory studies did not show any significant differences between the control group and the study group - in both cases, there was a better performance of the final test. At the same time, the Stroop test showed a clinically significant deterioration in performance in both groups after the final test. consecutive training sessions for all 2 stimulation groups. When comparing the results obtained in the Schulte test, the efficiency of work in the study group increased in 78% of cases, the increase in efficiency ranged from 4 to 19%. It can be expected that further research efforts to further elucidate the mechanism(s) of action will help shape the experimental design and the types of hypotheses that can be tested.

Key words: direct current transcranial electrical stimulation, attention and long-term memory in healthy people, experiment.

Введение

За последние несколько десятилетий в мировой науке наблюдается всплеск интереса к неинвазивным формам нейростимуляции, а именно транскраниальной магнитной стимуляции [TMS] и транскраниальной стимуляции постоянным током [tDCS] [24]. В настоящее время tDCS в основном используется в качестве исследовательского и терапевтического инструмента в контексте боли, нейрореабилитации после инсульта и депрессии [24].

При изучении литературы явным становится то, что результаты исследований неоднозначны. В ряде работ отмечается улучшение моторной функции при использовании tDCS, другие исследователи убедились, что положительная динамика наблюдается лишь у пациентов с нарушениями лёгкой и средней тяжести. Также больший положительный эффект отмечается у пациентов с инсультом в подкорковой области, нежели с инсультом в коре головного мозга. Конечно, каждый случай индивидуален и уровень эффективности микрополярной стимуляции зависит от типа инсульта, стадии восстановления, размера поражённой области, анатомических и физиологических особенностей человека [1, 16, 23].

Также внушительное количество работ посвящено микрополяризации в комплексе лечения и реабилитации детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью. Микрополяризация в исследованиях, хотя и была частью комплекса лечебно-реабилитационных мероприятий, показала свою эффективность. При этом группы детей, принимавших участие в исследовании, были невелики, потому говорить о безоговорочной достоверности результатов нельзя [2].

Группа зарубежных авторов провела исследование, показавшее способность tDCS при силе тока в 2 мА изменять отдельные виды пространственной памяти. Результаты варьируются в зависимости от зоны стимуляции [10]. В последнее десятилетие все больше исследований показали, что транскраниальная стимуляция постоянным током (tDCS) может улучшать работу мозга у здоровых людей, а также улучшать когнитивные и другие симптомы у пациентов, страдающих различными заболеваниями [9, 11, 12, 13, 14, 15].

Итак, преобладающее количество исследований подтверждают эффективность рассматриваемой методики для лечения и реабилитации пациентов с черепно-мозговыми травмами, синдромом дефицита внимания и гиперактивности, депрессией, инсультом и так

далее. Вместе с тем, вопрос влияния tDCS на внимание и память здоровых людей остаётся малоизученным.

Примечательно, что большинство исследований tDCS касаются её влияния на память и внимание молодёжи. На наш взгляд, крайне важно оценить влияние tDCS на память и внимание людей в возрасте старше 40 лет. Это обусловлено снижением когнитивных способностей, которое начинается уже в 30-35 лет и лишь прогрессирует с годами [5].

Материалы и методы

Ключевой задачей исследований tDCS, как и других форм нейромодуляции, а также многих фармакотерапевтических методов, является выяснение механизма его действия. Большая часть имеющейся у нас информации о влиянии tDCS на познание и поведение была получена в контексте ограниченного понимания нейронной основы воздействия tDCS на схемы мозга [8].

tDCS — это метод tES, который включает применение слабого постоянного электрического тока (например, 1–2 мА) на кожу головы через два или более электродов, размещенных на коже головы. Время воздействия зависит от конкретных целей и составляет обычно 20-30 минут [4], однако существуют исследования, при которых период действия тока ограничивался несколькими секундами [17, 18, 19, 25]. Кроме того, современные исследователи исходят из позиции о накопительном эффекте таких симуляций [21, 3].

В основе метода лежит подпороговая модуляция потенциалов мембран нейронов, которая изменяет возбудимость и активность коры в зависимости от направления тока через нейроны-мишени [22]. Вероятно, имеют значение и другие биологические эффекты электрического поля (изменение нейротрансмиттеров, воздействие на глиальные клетки и микрососуды, модуляция воспалительных процессов) [27]. По аналогии с фармакологическими нейромодуляторами tDCS не индуцирует активность в покоящихся нейронных сетях, но модулирует спонтанную активность нейронов, следовательно, количество и направление эффектов критически зависят от предыдущего физиологического состояния целевых нервных структур [6].

Выделяется два варианта расположения электродов. Первый – униполярный предполагает расположение одного электрода над стимулируемой областью головного мозга, второй при этом расположен на щеке, плече или другой части тела. Второй – биполярный предполагает расположение обоих электродов над различными областями мозга. Электрический ток проходит от анода к катоду преимущественно через кожу, череп, спинномозговую жидкость и мозговые оболочки. Тем не менее, часть тока проходит через кору головного мозга [26].

В исследование включены 20 здоровых добровольцев (18 женщин и 2 мужчин) в возрасте 40-45 лет. Кроме того, при наборе участников соблюдался список критериев исключения это

включало прошлые неврологические расстройства, использование безрецептурных лекарств и пристрастие к кофеину. Каждый доброволец подписал бланк информированного добровольного согласия. До начала процедур все участники будут проходить тестирование с использованием стимульного материала, после чего были разделены на 2 группы по 10 человек случайным образом. Первая группа – 10 человек, получило активную tDCS в течение 10 дней ежедневно. Вторая группа – 10 человек (контрольная группа), не получила стимуляцию.

Для исследования внимания применялись «Таблицы Шульте», тест Струпа, реализованный в компьютеризированной системе психологического тестирования «SCHUNFRIED». Для исследования долговременной памяти – тест «Долговременная память».

Расположение электродов определялось в соответствии с Международной системой «10-20». В эксперименте будут использованы точки стимуляции FP1 и PZ. Стимуляция будет проведена постоянным током силой 1,2 мА в течение 20 мин. Далее все участники прошли повторное оценивание когнитивных способностей (внимание и долговременная память). Результаты участников первой группы были сравнены с результатами участников контрольной группы. Статистическая обработка материала проводилась с помощью программы STATISTICA 10 с применением подходящих методов статистической обработки данных.

Результаты исследования

Использование силы тока 2 мА в течение 20 мин в сутки в течение короткого промежутка времени можно считать безопасным. tDCS считается безопасным терапевтическим вариантом и связан лишь с незначительными побочными эффектами [20].

Способствует ли tDCS улучшению когнитивных способностей у взрослых?

Как показали результаты, память и внимание улучшились на протяжении последовательных тренировочных сессий для всех 2 групп стимуляции.

При сравнении результатов, полученных в пробе Шульте, эффективность работы в группе исследования увеличилась в 78% случаев, рост эффективности составил от 4 до 19%. В группе контроля в 77% случаев наблюдалось либо отсутствие динамики, либо снижение эффективности работы. В то же время результаты исследований памяти не показало каких-либо значимых различий у группы контроля и исследовательской группы – в обоих случаях наблюдалось лучшее выполнение заключительной пробы. При этом тест Струпа показал клинически значимое ухудшение показателей в обеих группах после заключительной пробы.

Обсуждение и заключение

Транскраниальная стимуляция постоянным током (tDCS) является многообещающим методом изменения функции нервной системы, познания и поведения. Однако остается много

открытых вопросов относительно того, как этот метод может иметь такой эффект, и неясностей, связанных с его влиянием на нейронную активность, а также на человеческое познание и функционирование. Можно ожидать, что дальнейшие исследовательские усилия по дальнейшему выяснению механизма (механизмов) действия помогут сформировать экспериментальный план и типы гипотез, которые можно будет проверить. Имеющиеся данные о когнитивном и клиническом воздействии tDCS позволяют предположить, что, средние размеры эффекта в настоящее время умеренные. Таким образом несмотря на то, что еще предстоит проделать большую работу, растет и эмпирически подкрепленный оптимизм в отношении того, что будущие направления исследований будут развивать tDCS не только как инструмент для изучения нейронной основы поведения в трансляционных исследованиях, но и как нейробиологически обоснованное вмешательство для лечения изнурительных психических расстройств.

Список использованных источников

1. Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Павлов Н.А. и др. Транскраниальная электрическая стимуляция в улучшении функции руки при инсульте. Успехи физиологических наук 2019. 50(1): 90–104.
2. Глушкина А.Р., Неретина А.Ф., Кваскова Е.А. Микрополяризация мозга в комплексной реабилитации детей с гиперактивностью и дефицитом внимания // Доктор.Ру. № 8(67). 2011. С. 63-66.
3. Кислицкий В.М., Яценко Е.А., Яценко А.А., Кушнарев В.А., Помазков М.С. Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на кратковременную пространственную память у здоровых добровольцев. Анналы клинической и экспериментальной неврологии 2019. 13(2): 14 –18.
4. Павлова Е.Л., Меньшикова А.А., Акжигитов Р.Г., Гехт А.Б. Транскраниальная стимуляция постоянным током в неврологии и психиатрии. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020.120(12):123-130.
5. Яковлев В.А. Когнитивные расстройства в зрелом и пожилом возрасте. Психологические методы диагностики: Методическое пособие. – М., РИЦ МГГУ им. М.А. Шолохова, 2011. – 43 с.

References

1. Antal A, Ambrus GG, Chaieb L. Toward unraveling reading-related modulations of tDCS-induced neuroplasticity in the human visual cortex. Front Psychol. 2014a.5:642.
2. Begemann MJ, Brand BA, Ćurčić-Blake B, Aleman A, Sommer IE. Efficacy of non-invasive brain stimulation on cognitive functioning in brain disorders: a meta-analysis. Psychol Med. 2020

Nov.50(15):2465-2486. doi: 10.1017/S0033291720003670. Epub 2020 Oct 19. PMID: 33070785. PMCID: PMC7737055.

3. Chase HW, Boudewyn MA, Carter CS, Phillips ML. Transcranial direct current stimulation: a roadmap for research, from mechanism of action to clinical implementation. *Mol Psychiatry*. 2020 Feb.25(2):397-407. doi: 10.1038/s41380-019-0499-9. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31455860. PMCID: PMC6981019

4. Coffman B. A., Clark V. P., Parasuraman R. Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *NeuroImage* 85, 895–908 (2014).

5. England H.B., Fyock C., Meredith Gillis M., Hampstead B.M. Transcranial direct current stimulation modulates spatial memory in cognitively intact adults. *Behav Brain Res* 2015. 283: 191–195. DOI: 10.1016/j.bbr.2015.01.044. PMID: 25647757

6. Floel A. tDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases. *Neuroimage* 2014. 85: 934-994. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.098. PMID: 23727025.

7. Flöel A. tDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases. *NeuroImage* 85, 934–947 (2014).

8. Fox M. D. et al. Resting-state networks link invasive and noninvasive brain stimulation across diverse psychiatric and neurological diseases. *Proc Natl Acad Sci USA* 111, 4367–4375 (2014).

9. Kuo M. F., Paulus W., Nitsche M. A. Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatric diseases. *NeuroImage* 85, 948–960 (2014).

10. Kuo M.F., Paulus W, Nitsche M.A. Therapeutic effects of non-invasive brain stimulation with direct currents (tDCS) in neuropsychiatry diseases. *Neuroimage* 2014. 85: 948-960. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.117. PMID: 23747962.

11. Lefaucheur J.P., Antal A., Ayache S.S. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin Neurophysiol* 2017. 128: 56–92. DOI: 10.1016/j.clinph.2016.10.087. PMID: 27866120.

12. Nitsche M.A., Liebetanz D., Antal A. et al. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation—technical, safety and functional aspects. *Suppl Clin Neurophysiol* 2003. 56: 255–276. PMID: 14677403.

13. Nitsche M.A., Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation // *The Journal of Physiology*. 2000. Vol. 527. No. 3. P. 633–639. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.

14. Nitsche M.A., Paulus W. Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology* 2001. 57: 1899-1901. PMID: 11723286.

15. Palm, Ulrich et al. "tDCS for the treatment of depression: a comprehensive review." *European archives of psychiatry and clinical neuroscience* vol. 266,8 (2016): 681-694. doi:10.1007/s00406-016-0674-9
16. Postma A., Kessels R., Van Asselen M. How the brain remembers and forgets where things are: the neurocognition of object-location memory. *Neurosci Biobehav Rev* 2008. 32: 1339–1345. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2008.05.001. PMID: 18562002.
17. Purpura D.P., McMurtry J.G. Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex. *J Neurophysiol* 1965. 28: 166–185. PMID: 14244793.
18. Salazar A.P.S., Vaz P.G., Marchese R.R. et al. Noninvasive brain stimulation improves hemispatial neglect after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehab* 2018. 99: 355–366.e1. DOI: 10.1016/j.apmr.2017.07.009. PMID: 28802812.
19. Stagg, Charlotte J, and Michael A Nitsche. "Physiological basis of transcranial direct current stimulation." *The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry* vol. 17,1 (2011): 37-53. doi:10.1177/1073858410386614
20. Vossen A., Gross J., Thut G. Alpha power increase after transcranial alternating current stimulation at alpha frequency (α -tACS) reflects plastic changes rather than entrainment // *Brain Stimulation*. 2015. Vol. 8. No. 3. P. 499–508. doi:10.1016/j.brs.2014.12.004.
21. Wagner T., Fregni F., Fecteau S., Grodzinsky A., Zahn M., Pascual-Leone A. Transcranial direct current stimulation: A computer-based human model study // *NeuroImage*. 2007. Vol. 35. No. 3. P. 1113–1124. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.01.027
22. Woods AJ, Antal A, Bikson M, Boggio PS, Brunoni AR, Celnik P, Cohen LG, Fregni F, Herrmann CS, Kappenman ES, Knotkova H, Liebetanz D, Miniussi C, Miranda PC, Paulus W, Priori A, Reato D, Stagg C, Wenderoth N, Nitsche MA. A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. *Clin Neurophysiol*. 2016 Feb.127(2):1031-1048. doi: 10.1016/j.clinph.2015.11.012. Epub 2015 Nov 22. PMID: 26652115. PMCID: PMC4747791.

Баландина Оксана Венедиктовна (Россия, Нижний Новгород), руководитель Центра ментального здоровья, врач-психиатр ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России.

Коткова Ангелина Валерьевна (Россия, Нижний Новгород), к.биол.н., доцент кафедры общей и клинической психологии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России.

Шарунова Дина Александровна (Россия, Нижний Новгород), магистрант второго курса кафедры общей и клинической психологии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, e-mail: dinasharunova@yandex.ru, контактный телефон: +7 906 366 3051

Balandina Oksana Venediktovna (Russia, Nizhny Novgorod), head of the Mental Health Center, psychiatrist, Volga Research Medical University, Ministry of Health of Russia.

Kotkova Angelina Valerievna (Russia, Nizhny Novgorod), Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of General and Clinical Psychology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Privolzhsky Research Medical University", Ministry of Health of Russia.

Sharunova Dina Alexandrovna (Russia, Nizhny Novgorod), second-year undergraduate student of the Department of General and Clinical Psychology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Privolzhsky Research Medical University" of the Ministry of Health of Russia, e-mail: dinasharunova@yandex.ru, contact phone: +7 906 366 3051

19.00.01 Общая психология

8 стр.