

Научные исследования tDCS

На сегодняшний день проведено уже более 12 000 научных исследований транскраниальной электростимуляции (tDCS). Её успешно изучают более 150 научных групп по всему миру; среди них – ученые из Медицинской Школы Гарварда, Городского колледжа Нью-Йорка, Университета Гёттингена в Германии, Института Неврологии Университетского Колледжа Лондона и многие другие.

Сотни научных работ на здоровых добровольцах демонстрируют, что tDCS улучшает многие параметры работы мозга: память, концентрацию внимания, обучение, способность решать сложные задачи и даже – математические и языковые способности.

Механизм действия

Во время tDCS к голове прикладываются электроды, через которые проходит слабый постоянный ток (1-2 мА), влияющий на работу нервных клеток – нейронов. Ток такой силы не может активировать нейроны, однако он изменяет их физиологическое состояние, делая их более или, наоборот, менее склонными к возбуждению.

Возбудимость нейронов (способность передавать нервный импульс) зависит от разности потенциалов на их мембране; именно ее и изменяет tDCS. В случае положительного заряда на электроде («аноде») – разность потенциалов снижается, что увеличивает вероятность возбуждения нейрона в случае поступления внешнего сигнала. В случае отрицательного заряда электрода («катода») возбудимость нейронов, наоборот, падает. ([Pelletier S and Cicchetti F. Int J Neuropsychopharmacol. 2014](#)).

Показано, что длительные изменения в возбудимости нейронов могут изменять структуру контактов между ними. Этот процесс носит название синаптической пластичности и считается основным механизмом, с помощью которого реализуется феномен памяти и обучения. Чтобы добиться нужного эффекта (например, концентрации внимания или улучшения обучения), необходимо выбрать зоны мозга, ответственные за эти функции, и разместить на них электроды с соответствующим зарядом. Время стимуляции должно быть не слишком длинным: как правило, достаточно 20 минут.

Концентрация внимания, реакция, обучение

В 2008 году американское оборонное агентство DARPA опубликовало отчет, в котором сообщило, что применяет tDCS во время подготовки военных, и что стимуляция мозга увеличивает эффективность обучения в 2 раза. ([Dr. Amy Kruse. Operational Neuroscience - Intelligence Community Forum. 2008](#)).

В 2012 году эти результаты были повторены в научных исследованиях. Американские ученые из Университета Нью-Мексико (США) продемонстрировали, что tDCS удваивает скорость обучения в видеоигре, специально разработанной для подготовки американских пехотинцев. Стоит отметить, что на сегодняшний день это является одним из лучших результатов по улучшению обучения любыми из известных способов.

96 здоровых добровольцев обучались «DARWARS Ambush!» – видеоигре, требующей концентрации внимания и хорошей реакции. В «DARWARS Ambush!» люди обследуют виртуальные пейзажи на наличие препятствий – тени, отбрасываемой снайпером или самодельного взрывного устройства, и должны как можно быстрее на них реагировать. Оказалось, что добровольцы, которых стимулировали током в 2 мА, лучше обучались и гораздо медленнее теряли навыки, по сравнению с контрольной группой, на которую действовали более слабым током. В экспериментах проводили стимуляцию лобной нижней или правой теменной зон – областей мозга, ассоциированных с процессом обучения. ([Vincent P. Clark et al. Neuroimage. 2012](#)).

С тех пор было проведено уже несколько десятков научных исследований, демонстрирующих, что tDCS улучшает обучение, концентрацию внимания и реакцию. В последнее время стали появляться статьи, обобщающие и анализирующие весь накопленный массив данных – так называемые мета-анализы. Они подтверждают положительные эффекты tDCS на большей выборке и с высокой статистической мощностью. Например, в 2016 году в австралийские ученые проанализировали 13 работ, в которых для улучшения обучения стимулировали первичную моторную кору и сделали заключение, что стимуляция действительно эффективна, однако ее нужно проводить 3-5 дней подряд. ([Fahimeh Hashemirad et al. Brain and Cognition. 2016](#)).

Математические способности

В другом интересном исследовании, проведенном в 2012 году профессором Оксфордского Университета Роем Коэном Кадошем, было показано, что tDCS улучшает способности к математике. В экспериментах здоровые добровольцы занимались «выдуманной» математикой – запоминали придуманные символы, обозначающие цифры от 1 до 9, и выполняли с ними математические операции. ([Roi Cohen Kadosh et al. Current biology. 2010](#)).

У части испытуемых проводили анодную (активирующую) стимуляцию правой теменной доли и катодную (ингибирующую) – левой теменной доли. Сеансы tDCS проходили по 20 минут раз в день в течение 6 дней. У других людей – стимуляцию имитировали, причем, по ощущениям такое воздействие ничем не отличалось от настоящей стимуляции. Оказалось, что после tDCS люди значительно быстрее изучали новые символы и лучше выполняли вычисления, чем участники контрольной группы. И, что самое главное, эффект от стимуляции не исчезал со временем! Когда участникам эксперимента спустя полгода вновь предложили решить тест, испытуемые, прошедшие tDCS, в очередной раз показали более высокие результаты.

Интересно, что когда электроды поменяли местами (анод поместили на левую теменную долю, а катод – на правую), то математические способности у людей, наоборот, снизились по сравнению с добровольцами из контрольной группы.

Способность решать сложные задачи и креативность мышления

Группа ученых из Университета Сиднея под руководством Алана Снайдера уже более 5 лет изучает способность tDCS улучшать креативность мышления. В 2011 году они провели первую работу, в которой исследовали, как электростимуляция влияет на способность решать нестандартные задачи (математические уравнения из спичек). Результаты оказались весьма

впечатляющими. Люди, у которых проводили транскраниальную стимуляцию височной доли, решали уравнения в 3 раза эффективнее, чем люди из контрольной группы. (То есть те, кто был уверен, что тоже проходят tDCS, однако стимуляцию у них только имитировали). ([Richard P. Chi and Allan W. Snyder. PLoS One. 2011](#)).

В 2012 году та же группа ученых провела новое исследование, в которой tDCS помогала решать более сложные задачи. Здоровым добровольцам требовалось соединить 4-мя линиями 9 точек, не отрывая руки. На решение задачи отводилось мало времени, и ни один из участников не сумел её решить. Однако электростимуляция височной области привела к тому, что со второго раза 40% испытуемых сумели найти правильный ответ! Напротив, ни один человек из контрольной группы (у которых tDCS только имитировали), так и не сумел обнаружить решение. ([Richard P. Chi and Allan W. Snyder. Neuroscience letters. 2012](#)).

А в 2016 году группа ученых из Джорджтаунского университета Вашингтона показала, что tDCS увеличивает креативность не только в решении задач, но и в использовании родного языка. Участники эксперимента – здоровые молодые люди со сходным образованием и уровнем интеллекта – должны были находить ассоциативные связи между разными наборами слов. И те из них, кто подвергся электростимуляции, находили гораздо более нетривиальные аналогии. ([Adam E. Green et al. Cerebral Cortex. 2016](#)).

Иностранные языки

Активно исследуется способность tDCS улучшать способности к иностранным языкам. На сегодняшний день проведено более 10 подобных исследований на здоровых добровольцах. А в конце 2015 года группа американских ученых из Университета Пенсильвании во главе с Роем Гамильтоном обобщила эти работы и опубликовала мета-анализ, демонстрирующий, что tDCS существенно улучшает языковые способности. Причем для этого достаточно всего одной сессии tDCS! В особенности улучшалась способность запоминать новые слова и беглость речи. ([Amy R. Price. Brain stimulation. 2015](#)).

Память

Проведен целый ряд исследований о влиянии tDCS на разные типы памяти. Есть работы, в которых продемонстрировано, что tDCS улучшает декларативную память – то есть запоминание объектов, событий и эпизодов. ([Lisa Marshall et al. The Journal of Neuroscience. 2004](#)). Однако большая часть исследований посвящена влиянию tDCS на рабочую память – способность удерживать информацию в фокусе внимания в течение нескольких секунд. Правда, эффект от tDCS в этом случае довольно умеренный: она увеличивает только скорость, с которой происходит вспоминание усвоенного материала, но не точность воспроизведения информации. ([André Russowsky Brunoni, Marie-Anne Vanderhasselt. Brain and Cognition. 2014](#)).

Снижение пристрастий к избыточной еде

Другой интересной возможностью электростимуляции является снижение зависимостей, например, от избыточной еды. В исследовании немецких ученых под руководством Керстин Олтманс группе здоровых волонтеров ежедневно в течение недели проводили сеансы tDCS и смотрели, как от этого изменится количество потребляемых ими калорий.

Для этого их ввели в заблуждение по поводу сути эксперимента – испытуемые думали, что изучается влияние tDCS на настроение. А до и после проведения испытания для них был накрыт стол, якобы, чтобы отблагодарить за участие. Однако за количеством потребляемых калорий строго следили, и оказалось, что после недели стимуляции оно снизилось на целых 14%, по сравнению с контрольной группой, у которой tDCS имитировали. ([Kamila Jauch-Chara et al. The American Journal of Clinical Nutrition. 2014](#)).

Снижение пристрастий к никотину и алкоголю

Исследования показывают, что помимо избыточной еды, tDCS снижает пристрастия к никотину, алкоголю, марихуане и даже – кокаину. Группа голландских ученых под руководством Анны Гудриан провела мета-анализ, обобщивший все 8 статей по этой теме, и пришла к выводу, что tDCS оказывает статистически-значимый эффект умеренной силы – и снижает пристрастия. Зона мозга, которую нужно стимулировать для снижения зависимостей – это дорсолатеральная префронтальная кора. ([Jochem M. Jansen et al., Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2013](#)).

Улучшение настроения

Более 20 клинических испытаний демонстрируют, что tDCS способна поднять настроение и даже – помочь при депрессии. Систематический обзор, вышедший в 2016 году, показывает, что электростимуляция облегчает острую депрессию не хуже антидепрессантов. И при том не сопровождается присущим им побочным эффектам (например, тошнотой и бессонницей). Кое-какие «побочные эффекты» все же наблюдались: у некоторых людей, лечившихся от депрессии, tDCS не только подняла настроение, но и улучшила рабочую память и беглость речи. ([Palm U et al. Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci. 2016](#)).

tDCS в старости

Исследования 2010х годов открыли новый горизонт применения tDCS: оказалось, что электростимуляция успешно компенсирует снижение умственных способностей в старости, причем в некоторых случаях – даже до уровня молодых людей. В 2016 году в журнале “Aging research reviews” вышел мета-анализ, обобщающий результаты этих исследований.

Ученые пришли к выводу, что наиболее эффективно tDCS улучшает моторное обучение старых людей. После стимуляции они играли в видеоигры, требующие внимания, реакции и координации движений не хуже молодых. В других исследованиях после стимуляции старые люди не хуже молодых оперировали словами – вспоминали названия известных мест и людей. Кроме того, после tDCS гораздо медленнее происходило забывание нового материала, например, выученных слов. ([Jeffery J. Summers et al. Ageing Research Reviews. 2016](#)).

Безопасность

В процессе электростимуляции на мозг воздействуют током очень слабой силы – всего 1-2 миллиампера. Это примерно столько же, сколько светлячок тратит для того, чтобы светиться. Да и в принципе, процедура вполне безопасна. Серьезных побочных эффектов при ней не наблюдается (а по теме опубликовано уже несколько тысяч научных статей) – иногда только зуд в коже в зоне прикрепления электродов, покалывание, жжение и ощущение дискомфорта, в редких случаях –

головная боль. Так, несколько лет назад вышел мета-анализ сотен исследований tDCS, и выявил только очень незначительные побочные эффекты. ([Andre Russowsky Brunoni et al., International Journal of Neuropsychopharmacology. 2011](#)).

Есть, однако, риск, что улучшение одних функций мозга приведет к ухудшению других. Например, в одном из исследований Кохена Кадоша стимуляция мозга помогала испытуемым запоминать систему символов, имеющих числовые соответствия (например, курица=1, яйцо=5), но им было сложнее использовать полученные знания в другом задании, по сравнению с испытуемыми, которые запоминали все без стимуляции.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что эффект tDCS сильно зависит от стимулируемого участка мозга и задачи, которую мозг должен выполнять. В случае неправильно выбранной зоны мозга и типа воздействия (полярности электродов) – эффект вполне может стать негативным.

Заключение

Таким образом, научные исследования демонстрируют, что tDCS обладает значительным потенциалом для здоровых людей. Данный метод не только улучшает когнитивные функции, но и способен снижать зависимости от вредных веществ, улучшать моторные навыки и поднимать настроение. Кроме того, tDCS обладает гораздо меньшими побочными эффектами, чем почти любое фармацевтическое средство.

Литература

1. Clark VP, Coffman BA, Mayer AR, Weisend MP, Lane TD, Calhoun VD, Raybourn EM, Garcia CM, Wassermann EM. TDCS guided using fMRI significantly accelerates learning to identify concealed objects. *Neuroimage*. 2012 Jan 2;59(1):117-28. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.036. Epub 2010 Nov 19.
2. Pelletier SJ, Cicchetti F. Cellular and molecular mechanisms of action of transcranial direct current stimulation: evidence from in vitro and in vivo models. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2014 Oct 31;18(2). pii: pyu047. doi: 10.1093/ijnp/pyu047.
3. Roi Cohen Kadosh, Sonja Soskic, Teresa Luculano, Ryota Kanai and Vincent Walsh Modulating Neuronal Activity Produces Specific and Long-Lasting Changes in Numerical Competence *Curr Biol*. 2010 Nov 23; 20(22): 2016–2020. doi: 10.1016/j.cub.2010.10.007 PMID: PMC2990865
4. Richard P. Chi and Allan W. Snyder, Facilitate Insight by Non-Invasive Brain Stimulation *LoS One*. 2011; 6(2): e16655. Published online 2011 Feb 2. doi: 0.1371/journal.pone.0016655 PMID: PMC3032738
5. Hashemirad F, Zoghi M, Fitzgerald PB, Jaberzadeh S. The effect of anodal transcranial direct current stimulation on motor sequence learning in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Brain Cogn*. 2016 Feb;102:1-12. doi: 10.1016/j.bandc.2015.11.005. Epub 2015 Dec 9.
6. Chi RP, Snyder AW. Brain stimulation enables the solution of an inherently difficult problem. *Neurosci Lett*. 2012 May 2;515(2):121-4. doi: 10.1016/j.neulet.2012.03.012. Epub 2012 Mar 14.
7. Green AE, Spiegel KA, Giangrande EJ, Weinberger AB, Gallagher NM, Turkeltaub PE. Thinking Cap Plus Thinking Zap: tDCS of Frontopolar Cortex Improves Creative Analogical Reasoning and Facilitates Conscious Augmentation of State Creativity in Verb Generation. *Cereb Cortex*. 2016 Apr 13. pii: bhw080. [Epub ahead of print]
8. Price AR, McAdams H, Grossman M, Hamilton RH. A Meta-analysis of Transcranial Direct Current Stimulation Studies Examining the Reliability of Effects on Language Measures. *Brain Stimul*. 2015 Nov-Dec;8(6):1093-100. doi: 10.1016/j.brs.2015.06.013. Epub 2015 Jun 27.
9. Javadi AH, Walsh V. Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the left dorsolateral prefrontal cortex modulates declarative memory. *Brain Stimul*. 2012 Jul;5(3):231-41. doi: 10.1016/j.brs.2011.06.007. Epub 2011 Jul 26.
10. Brunoni AR, Vanderhasselt MA. Working memory improvement with non-invasive brain stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex: a systematic review and meta-analysis. *Brain Cogn*. 2014 Apr;86:1-9. doi: 10.1016/j.bandc.2014.01.008. Epub 2014 Feb 8.
11. Jansen JM, Daams JG, Koeter MW, Veltman DJ, van den Brink W, Goudriaan AE. Effects of non-invasive neurostimulation on craving: a meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013 Dec;37(10 Pt 2):2472-80. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.07.009. Epub 2013 Jul 31.
12. Palm U, Hasan A, Strube W, Padberg F. tDCS for the treatment of depression: a comprehensive review. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2016 Feb 3. [Epub ahead of print]
13. Brunoni AR1, Amadera J, Berbel B, Volz MS, Rizzerio BG, Fregni F. A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2011 Sep;14(8):1133-45. doi: 10.1017/S1461145710001690. Epub 2011 Feb 15.

14. Summers JJ, Kang N, Cauraugh JH. Does transcranial direct current stimulation enhance cognitive and motor functions in the ageing brain? A systematic review and meta- analysis. *Ageing Res Rev.* 2016 Jan;25:42-54. doi: 10.1016/j.arr.2015.11.004. Epub 2015 Nov 30.