

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/389552262>

Транскраниальная магнитная стимуляция при синдроме визуального снега и функциональных расстройствах зрительного восприятия

Article in Russian Journal of Pain · December 2024

CITATIONS
0

6 authors, including:



Artem Pyatkov
Sechenov University
8 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

SEE PROFILE



Evgeniy Andreevich Sokolov
Sechenov University
12 PUBLICATIONS 16 CITATIONS

SEE PROFILE

READS
229



Sergeev A.
Sechenov University
77 PUBLICATIONS 501 CITATIONS

SEE PROFILE



Nurmeeva A.R.
Sechenov University
9 PUBLICATIONS 1 CITATION

SEE PROFILE

Транскраниальная магнитная стимуляция при синдроме визуального снега и функциональных расстройствах зрительного восприятия

© А.А. ПЯТКОВ¹, А.В. СЕРГЕЕВ¹, Е.А. СОКОЛОВ¹, А.Р. НУРМЕЕВА¹, А.А. КОНОНИРОВА^{1, 2}, С.А. МАКАРОВ¹

¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия;

²ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Синдром визуального снега (СВС) — одно из заболеваний, связанных с нарушением зрительного восприятия, впервые вошедшее в Международную классификацию головной боли 3-го пересмотра (2018) как возможное осложнение при мигрени с аурой. Несмотря на осведомленность специалистов в области возможностей транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) при мигрени, вопросы ее применения при СВС остаются недостаточно изученными и освещенными. Вместе с тем использование ТМС как терапевтического и диагностического инструмента, направленного на модуляцию биоэлектрической активности коры головного мозга, может способствовать как улучшению понимания патофизиологических механизмов СВС, так и решению задач коррекции симптомов при СВС. В статье рассматриваются возможности ТМС в качестве исследовательского и терапевтического метода при нарушениях зрительного восприятия.

Ключевые слова: синдром визуального снега, транскраниальная магнитная стимуляция, ТМС, rTMS, мигрень с аурой.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Пятков А.А. — <https://orcid.org/0000-0001-7464-5205>

Сергеев А.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7142-3719>

Соколов Е.А. — <https://orcid.org/0009-0004-6495-4249>

Нурмеева А.Р. — <https://orcid.org/0009-0001-3170-5826>

Кононирова А.А. — <https://orcid.org/0009-0008-2918-2510>

Макаров С.А. — <https://orcid.org/0000-0002-5663-6628>

Автор, ответственный за переписку: Сергеев Алексей Владимирович — e-mail: sergeev.neuro@gmail.com

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Пятков А.А., Сергеев А.В., Соколов Е.А., Нурмеева А.Р., Кононирова А.А., Макаров С.А. Транскраниальная магнитная стимуляция при синдроме визуального снега и функциональных расстройствах зрительного восприятия. *Российский журнал боли*. 2025;23(1):44–52. <https://doi.org/10.17116/pain20252301144>–52

Transcranial magnetic stimulation in visual snow syndrome and functional disorders of visual perception

© А.А. PYATKOV¹, А.В. SERGEEV¹, Е.А. SOKOLOV¹, А.Р. NURMEEVA¹, А.А. KONONIROVA^{1, 2}, С.А. MAKAROV¹

¹Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

²Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia

ABSTRACT

Visual snow syndrome (VSS) is one of the diseases of visual perception. It was first included in the International Classification of Headache disorders (3rd edition, 2018) as possible complication of migraine with aura. Despite the awareness of specialists regarding transcranial magnetic stimulation (TMS) in migraine, the issues of TMS for VSS remain insufficiently studied. At the same time, TMS as a therapeutic and diagnostic tool aimed at modulating the cortical bioelectrical activity can contribute to better understanding of pathophysiological mechanisms of VSS and correction of appropriate symptoms. The authors discuss TMS for visual perception disorders.

Keywords: visual snow syndrome, transcranial magnetic stimulation, TMS, rTMS, migraine with aura.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Pyatkov A.A. — <https://orcid.org/0000-0001-7464-5205>

Sergeev A.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7142-3719>

Sokolov E.A. — <https://orcid.org/0009-0004-6495-4249>

Nurmeeva A.R. — <https://orcid.org/0009-0001-3170-5826>

Kononirova A.A. — <https://orcid.org/0009-0008-2918-2510>

Makarov S.A. — <https://orcid.org/0000-0002-5663-6628>

Corresponding authors: Sergeev A.V. — e-mail: sergeev.neuro@gmail.com

TO CITE THIS ARTICLE:

Pyatkov AA, Sergeev AV, Sokolov EA, Nurmeeva AR, Kononirova AA, Makarov SA. Transcranial magnetic stimulation in visual snow syndrome and functional disorders of visual perception. *Russian journal of pain*. 2025;23(1):44–52. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/pain20252301144>

Введение

Синдром визуального снега (СВС) — одно из функциональных расстройств зрительного восприятия, которое проявляется постоянными персистирующими визуальными феноменами, существенно снижающими качество жизни пациента [1]. Обязательным клиническим проявлением синдрома зрительного снега является появление мелких точек («рябь», «телевизионный снег», «пикселизация»), занимающих все поле зрения с двух сторон. К наиболее частым дополнительным визуальным симптомам относятся палинопсия, усилением энтопических феноменов, никталопия и фотофобия. Также могут отмечаться эффекты гало, плавающие пятна (*floaters*), нарушение сумеречного зрения, «феномены синего поля», вспышки в полях зрения при закрытых и открытых глазах и «плавающие светлые или цветные облака» [2]. При этом феномены, типичные для мигренозной ауры (мерцающая скотома и фотопсии), встречаются значительно реже.

Впервые феномен визуального снега был описан в 1995 г. группой исследователей под руководством G.T. Liu у 4 пациентов с мигренью с аурой [3]. Дальнейшие исследования показали, что СВС может отмечаться не только при мигрени: 28% пациентов с СВС не имеют в анамнезе клинических проявлений мигрени. В то же время наиболее частыми коморбидными расстройствами при СВС являются заболевания спектра расстройств восприятия: фибромиалгия (75%), соматосенсорный тиннитус (52%), мигрень (72%), постуральное перцептивное головокружение (7,1%), тревожные расстройства и депрессия (13,3%) [4]. Из-за высокого распространения СВС в группе пациентов с мигренью первые диагностические критерии были разработаны в рамках Международной классификации головной боли 3-го пересмотра (МКГБ-3) (2018), в разделе «Осложнения мигрени» [1] (табл. 1).

В настоящее время выделяют синдром зрительного снега в случае полного соответствия диагностическим критериям и неполный феномен зрительного снега при выполнении только критерия А, без дополнительных проявлений [2].

Изначально предполагалась редкая встречаемость СВС, однако данные веб-опроса 1100 пациентов под руководством профессора Peter J. Goadsby указывают на широкую распространенность синдрома: до 2,2% населения могут испытывать проявления визуального снега [2].

Связь синдрома визуального снега с мигренью с аурой

СВС имеет тесную клиническую и патофизиологическую связь с мигренозной аурой. Феномен визуального снега впервые был описан у пациентов, страдающих мигренью, и долгое время считался редким осложнением этого заболевания [5, 6].

В настоящее время установлено, что мигрень с аурой и СВС — это различные заболевания и визуальный снег может развиваться у людей без мигрени. Однако взаимосвязь этих двух состояний достаточно сложная и малоизученная [5, 7]. Известно, что мигрень с аурой у пациентов с визуальным снегом встречается гораздо чаще, чем в общей популяции [2, 5]. А если эти два заболевания сочетаются друг с другом, мигрень может ухудшать проявления визуального снега. Несмотря на это, симптоматика зрительной ауры при мигрени и визуальных феноменов при СВС имеет несколько важных клинических и патофизиологических различий, в связи с чем при сборе анамнеза с целью проведения дифференциальной диагностики следует обращать пристальное внимание на следующие аспекты:

А) Постоянство симптоматики.

Согласно критериям МКГБ-3, зрительные феномены при СВС носят постоянный характер в отличие от мигренозной ауры, которой свойственны преходящие продуктивные и негативные неврологические (визуальные и не только) симптомы [1, 7, 8].

Б) Наличие негативной симптоматики.

Продуктивная зрительная симптоматика (вспышки, мерцание, зигзагообразные линии перед глазами) может наблюдаться как при мигрени с аурой, так и при СВС. Ауру мигрени отличает возможность появления негативной симптоматики (это выпадение полей зрения, транзиторная слепота), которой никогда не бывает при СВС [2, 7, 8].

В) Клинические особенности.

При кажущейся схожести основных зрительных феноменов (общих для всех групп пациентов с функциональными зрительными расстройствами: шум/рябь в глазах, плавающие пятна, снижение ночного зрения) пациенты с СВС чаще предъявляют жалобы на палинопсию и блики. Пациенты с мигренью с аурой сообщают об искажении предметов (как при просмотре через теплый воздух), фотопсии и мерцающей скотоме [2].

Г) Патофизиологические особенности.

Патофизиология мигрени с аурой хорошо изучена. Однако лекарственные препараты, которые воздействуют на патофизиологические звенья и используются для купиро-

Таблица 1. Диагностические критерии синдрома визуального снега (МКГБ-3, 2018) [1]
Table 1. Diagnostic criteria for visual snow syndrome (International Classification of Headache disorders, 3rd edition, 2018) [1]

A. Постоянные подвижные, занимающие все поле зрения мелкие точки («рябь», «телевизионный снег, помехи», «пикселизация»), персистирующие и продолжающиеся в течение >3 мес
B. По крайней мере два дополнительных зрительных симптома из четырех представленных: 1. палинопсия 2. усиление энтоптических феноменов 3. фотофобия 4. нарушение ночного зрения (никталопия)
C. Симптомы не соответствуют типичной мигренозной зрительной ауре
D. Симптомы не соответствуют в большей степени другому расстройству

Таблица 2. Основные причины вторичного синдрома визуального снега
Table 2. Causes of secondary visual snow syndrome

Синдром визуального снега, вызванный приемом наркотических средств (персистирующее расстройство восприятия, вызванное галлюциногенами, Hallucinogen Persisting Perception Disorder — HPPD) [10, 11]
Синдром визуального снега, вызванный приемом лекарственных препаратов, таких как селективные ингибиторы обратного захвата серотонина (эсциталопрам), селективные ингибиторы обратного захвата серотонина и норадреналина (дулоксетин), амантадин, ингибиторы протонной помпы, ципрофлоксацин, бупропион, глюкокортикоиды [12]
Заболевания органа зрения, имитирующие синдром визуального снега, такие как пигментный ретинит, палочко-колбочковая дистрофия сетчатки, дробьевидная хориоретинопатия, оптическая нейропатия, деструкция стекловидного тела, отслойка стекловидного тела [13—18]
Синдром визуального снега при психических расстройствах, таких как синдром дереализации и деперсонализации, зрительное головокружение, персистирующее постурально-перцептивное головокружение [19—21]
Синдром визуального снега при органических патологиях головного мозга, таких как опухоли, симптоматическая эпилепсия, ишемический инсульт, диссекция церебральных артерий [22—25]

вания или коррекции симптомов мигрени с аурой (моно-клональные антитела к **CGRP**, антиконвульсанты и блокаторы кальциевых каналов), малоэффективны в отношении СВС, что может свидетельствовать об иной природе зрительных феноменов при СВС [7—9].

Вторичный СВС, или расстройства, имитирующие СВС

Клинические проявления СВС могут развиваться в результате использования запрещенных наркотических веществ, некоторых лекарственных препаратов, при ряде органических заболеваний головного мозга и органа зрения, а также психических расстройств. Основные причины вторичного СВС представлены в табл. 1.

Патофизиология синдрома визуального снега

На сегодняшний день патофизиология СВС остается малоизученной. Имеющиеся данные нейровизуализационных и электрофизиологических исследований позволяют нам лишь предположить возможные причины и механизмы развития этого заболевания.

Гипотеза таламокортикальной дизритмии корковой гипервозбудимости. При нормальном функционировании таламокортикальной системы отмечается так называемый резонанс между корой головного мозга и таламусом, в том числе подавление тета-ритмов и дельта-ритмов в момент бодрствования. При сочетании факторов ритмичность афферентации «сетчатка — таламус» и «таламус — кора голов-

ного мозга» нарушается, в связи с чем неотфильтрованная в таламусе информация, включающая продуктивную визуальную информацию, может достигать коры головного мозга и, как следствие, приводить к характерной для СВС симптоматике [9, 22, 26].

Феномены, аналогичные центральной сенситизации, описанной при хронических болевых синдромах, вполне вероятно, играют роль и в патогенезе СВС: длительное восприятие и анализ неотфильтрованной визуальной информации приводит к морфофункциональной перестройке и персистирующей гипервозбудимости коры [27, 28].

Теория десинхронизации между нейросетями головного мозга. Учитывая высокий уровень коморбидности СВС с мигренью (до 72%) и тиннитусом (до 97%), можно предположить десинхронизацию сразу между несколькими системами мозга: зрительной, слуховой, дорсальной сетью внимания, сенсомоторной сетью, сетью пассивного режима работы мозга и другими. Это предположение подтверждается серией исследований с оценкой данных функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) у пациентов с СВС, авторы которых выявили признаки гипервозбудимости коры сразу в нескольких напрямую не связанных друг с другом по функциям участках коры головного мозга, что привело к предположению о так называемом нейросетевом дисбалансе [2, 29—31].

Кроме того, детализированное исследование МР-изображений продемонстрировало изменения микроструктуры и функциональных связей во многих областях коры и таламуса и к тому же косвенно подтвердило нарушение глутаматергической и серотонинергической нейротрансмиссии [32].

Теория влияния нескольких нейросетей на зрительное восприятие подтверждается облегчением симптоматики СВС при достаточном количестве сна, снижении уровня стресса, а также обострениями в результате потребления кофеина, выполнения трудных когнитивных задач, стрессовых ситуаций, усталости.

Терапия синдрома визуального снега

Использование методов когнитивно-поведенческой терапии является одним из наиболее эффективных способов помочь пациентам с СВС. Объяснение возможных причин, доброкачественного характера течения, отсутствия рисков для зрения и жизни снижает уровень тревоги и приносит облегчение пациентам с СВС [7, 8]. В то же время у некоторых пациентов, особенно в дебюте заболевания, зрительные нарушения приводят к выраженному снижению качества жизни, ухудшению течения тревожных расстройств, депрессии и нарушению сна, что требует обсуждения терапии.

Фармакотерапия синдрома визуального снега

Данные по лекарственной терапии СВС немногочисленны и противоречивы. В большинстве работ эффективность лечения оценивается на маленьких выборках пациентов, описаниях клинических случаев в совокупности с мнением экспертов. В одном исследовании проведен анализ эффективности и безопасности фармакотерапии СВС у 47 пациентов [33]. После обсуждения с доктором 29 пациентов из 47 отказались от использования лекарственной терапии. При этом ни у одного пациента на фоне фармакотерапии не отмечалось полного регресса и ремиссии зрительных расстройств. Наиболее часто назначаемым препаратом для терапии СВС является ламотриджин в средней дозировке 50 мг 2 раза в день. При описании единичных клинических наблюдений отмечались случаи полного регресса проявлений СВС на фоне использования ламотриджина [34]. По данным открытого исследования, из 26 пациентов, принимавших ламотриджин, только 5 человек отметили частичное снижение симптомов, при этом в 13 случаях из 26 зафиксированы нежелательные реакции на фоне терапии [33]. По данным клинических наблюдений, у некоторых пациентов с СВС частичную эффективность продемонстрировали амитриптилин, ацетазолamid, β -адреноблокаторы, вальпроевая кислота, блокаторы кальциевых каналов, антипсихотики [2, 7, 8]. Однако в большинстве случаев использование препаратов вышеуказанных групп не приводило к регрессу зрительных нарушений, поэтому они не могут рекомендоваться как средства выбора при СВС.

Терапия коморбидных расстройств (таких как мигрень, фибромиалгия, тиннитус, тревожные расстройства, депрессия, нарушения сна) является важной составляющей мультидисциплинарной помощи пациентам с СВС [8].

В последние годы активно изучается и применяется метод биологической обратной связи (БОС) на основе фМРТ в реальном времени. Продемонстрирована эффективность БОС на основе фМРТ при терапии тревожных расстройств и депрессии [35, 36]. С учетом выявленных по данным фМРТ изменений при СВС возможно предположить целесообразность исследования данного метода БОС.

Транскраниальная магнитная стимуляция

В ряду рассматриваемых немедикаментозных методов лечения при нарушениях зрительного восприятия транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) занимает особую позицию, так как может не только иметь симптоматический эффект, но и, вероятно, оказывать влияние на патофизиологические звенья функциональных зрительных нарушений. В общей терминологии ТМС — метод воздействия фокусированным магнитным полем на определенные участки коры головного мозга, приводящего к деполяризации аксонов нейронов и распространению возбуждения по афферентным путям и/или нейросетевым связям головного мозга (в зависимости от технических параметров стимуляции). Оборудование для проведения ТМС представляет собой блок-конденсатор для генерации электрического тока, который подается на специальный индуктор (койл) и преобразуется в магнитное поле. Именно с помощью койла производится стимуляция коры головного мозга. В основе диагностической ТМС лежит нанесение одиночных или парных (сдвоенных) стимулов с последующей регистрацией вызванных моторных ответов с мышц конечностей с помощью стандартных электромиографических электродов. В качестве терапевтической ТМС используется так называемая ритмическая ТМС (рТМС) — курс стимуляции из дискретных серий стимулов различной интенсивности и частоты (в общей сумме — от нескольких сотен до нескольких тысяч магнитных стимулов за сеанс) в течение определенного периода времени, чтобы вызвать долгосрочное изменение функционального состояния мозга путем избирательного увеличения или уменьшения активности нейронов. Традиционное клиническое применение рТМС в психоневрологической практике и реабилитации подразумевает использование либо низкочастотной стимуляции (обычно 1 Гц), либо высокочастотной стимуляции (обычно 10 Гц и более). Например, опираясь на устойчивую доказательную базу, в лечении нейропатической боли используют высокочастотную стимуляцию, а в реабилитации постинсультных нарушений или слуховых галлюцинаций может использоваться низкочастотная стимуляция той или иной области коры головного мозга [37].

Нейрофизиологические и нейрохимические механизмы терапевтических эффектов рТМС в точности не определены и, по всей видимости, многообразны. Однако обобщенно их можно разделить на два типа. В одних случаях рТМС способствует активации какой-либо функции или процесса (например, при лечении нейропатической боли, фибромиалгии или мигрени высокочастотная стимуляция способствует активации антиноцицептивных эффектов и стимуляции секреции β -эндорфинов) [38]. В других случаях рТМС может привести к торможению функции или процесса (например, низкочастотная стимуляция при зрительных и слуховых галлюцинациях в рамках шизофрении способствует усилению ГАМКергической тормозной нейротрансмиссии) [39].

Считается, что механизм, вызывающий более стойкие изменения (возбуждение или торможение) в активности нейронов, обусловлен изменением синаптических связей и синаптической пластичности после повторяющихся сеансов рТМС — ремоделированием нейропластичности с патологической (возникшей в результате длительно протекающей дизрегуляции) на физиологическую (адап-

тационную). Эти изменения на синаптическом уровне, по-видимому, сродни нейрофизиологическим феноменам долговременной депрессии (LTD) или долговременной потенциации (LTP) [40].

Транскраниальная магнитная стимуляция с терапевтической целью

Идеи использования рТМС у пациентов с СВС для коррекции визуальных симптомов возникли у специалистов на основании гипотезы влияния стимуляции на патофизиологические звенья: таламокортикальную дизритмию с недостаточностью тормозных механизмов контроля визуальной афферентации, а также гипервозбудимость первичной зрительной коры и вторичных мультисенсорных интегративных корковых зон [41]. Кроме того, вероятная терапевтическая эффективность рТМС ожидается специалистами в связи с тем, что подобная терапия коморбидных СВС заболеваний — мигрени с аурой и тиннитуса имеет определенный успех [42, 43].

Вместе с тем на сегодняшний день, несмотря на оптимизм от, возможно, эффективного использования рТМС в лечении СВС, опубликованных данных крайне мало. Отчасти это связано с тем, что официально СВС внесен в МКГБ-3 совсем недавно — лишь в 2018 г., отчасти — со сложностью рекрутирования пациентов из-за недостаточной осведомленности пациентов и врачей касательно данной патологии.

Сложность формирования дизайна исследований по оценке эффективности рТМС при СВС может быть также продиктована сомнениями в выборе зоны стимуляции. Очевидным претендентом для стимуляции может быть первичная зрительная (затылочная) кора. Однако в патофизиологии восприятия и анализа зрительной информации принимают участие вторичные и третичные зрительные центры в теменной и височной коре головного мозга. Существует предположение, что нейропластичность первичной зрительной коры существенно менее выражена, чем прочих корковых центров, что уменьшает терапевтический потенциал рТМС [44]. Кроме того, стимуляция затылочной коры при стечении ряда факторов может восприниматься пациентами как дискомфортная из-за неправильно подобранной интенсивности стимуляции, провоцирования возникновения фосфенов и раздражения затылочных мышц. Неясным остается вопрос выбора низкочастотного или высокочастотного режима стимуляции, так как каждый из них в разных обстоятельствах может вызывать разнонаправленные эффекты: и активацию и торможение корковых нейронов. Следует упомянуть исследование, в котором оценивалась эффективность рТМС при коррекции родственных СВС зрительных симптомов — у пациентов с мигренью с аурой. Низкочастотная стимуляция затылочной коры не показала эффективности в коррекции визуальных симптомов. Напротив, выраженность визуальных симптомов ауры на фоне условно тормозящей низкочастотной стимуляции возросла [45].

Авторы одного из первых пилотных исследований, посвященных оценке эффективности рТМС у пациентов с СВС (2020 г.), предпочли выбрать высокочастотную стимуляцию 10 Гц первичной зрительной коры для пациентов основной группы. Всего было проведено 10 ежедневных сеансов 9 пациентам с СВС. В качестве контрольной груп-

пы были рекрутированы пациенты с СВС, которым проводилась имитация стимуляции (**sham**-стимуляция) в том же режиме 10 Гц области вертекса (вероятно, имеется в виду первичная моторная зона). Авторы заявляют о значимом положительном влиянии рТМС на течение симптомов визуального снега у пациентов основной группы по сравнению с контрольной группой по данным ведения пациентами специального дневника симптомов визуального снега после 10 сеансов стимуляции. Из ограничений этого исследования можно выделить малое количество включенных пациентов, отсутствие рандомизации, отсутствие точных данных по позиционированию койла на первичную визуальную кору и выбору интенсивности стимуляции, а также отсутствие истинной имитации стимуляции с **sham**-койлом [46]. Авторы статьи заявляют об отсутствии каких-либо побочных эффектов на фоне проведения высокочастотной стимуляции затылочной коры, однако, к сожалению, оценка вопросов субъективной переносимости и комфорта пациентов во время процедуры не проводилась.

Авторы другого пилотного исследования, из Колорадо (США), анонсировали дизайн в 2020 г. с подробным описанием методологии [47]. Отмечается, что в основную группу будут рекрутированы 10 пациентов с подтвержденным СВС в возрасте от 19 до 65 лет, стимуляция будет проводиться в режиме 1 Гц на язычковую извилину с обеих сторон с помощью специального 8-образного углового койла. Выбор зоны стимуляции был обоснован результатами предварительной фМРТ, проведенной включенным в исследование участникам, при которой выявлено наибольшее снижение активности в области язычковой извилины с обеих сторон. Всего будет проведено 10 ежедневных сеансов (по 5 сеансов каждую неделю), каждый сеанс подразумевает нанесение 1800 стимулов. Оценка эффективности стимуляции в коррекции клинических симптомов СВС будет проводиться сразу после окончания курса, через 1 мес и через 3 мес после окончания курса путем оценки данных, полученных с использованием шкалы визуального снега Колорадо (**CVSS**), визуального функционального опросника национального института офтальмологии (**VFQ-25**), шкалы общего тревожного расстройства (**GAD-7**) и других функциональных тестов. Единственным ограничением пилотного исследования является отсутствие группы контроля с **sham**-стимуляцией, однако авторы заявляют, что намерены использовать ее в последующих, более крупных исследованиях. К сожалению, результаты этого исследования до сих пор не опубликованы.

Независимо от авторов колорадского исследования, наиболее известными специалистами в области СВС (**C. Schankin** и **F. Puledra**) также было подтверждено по данным фМРТ значительное снижение активности в области язычковых извилин, что подтверждает потенциальную роль этих зон-кандидатов для рТМС [29, 30]. В то же время для этого должны быть соблюдены два важных условия: наличие навигационной системы для рТМС и специального мощного койла для проникновения магнитного стимула в более глубокие зоны коры, что в рутинных клинических условиях большинства клиник практически невозможно. Следует заметить, что авторы исследования не столько подтвердили значение язычковых извилин в патофизиологии СВС, сколько подчеркивают, что это лишь одни из зон в череде других важных корковых зон, участвующих в измененной обработке зрительной информации, что ключевое значение в развитии и поддержании симптомов визуального сне-

га имеет нарушение связности и взаимодействия нескольких нейросетевых функциональных зон головного мозга.

Одним из вариантов решения вопроса выбора зоны и частотного режима стимуляции могла бы стать оценка альфа-ритма с помощью электроэнцефалографии, так как именно альфа-ритм рассматривается как коррелят тормозной модуляции в зрительной сети головного мозга в контексте нарушения зрительного восприятия. В исследовании 2024 г., посвященном анализу электроэнцефалограммы у пациентов с СВС, выявлено снижение спектральной плотности мощности альфа-диапазона над теменными и височными электродами, что дало основание авторам рекомендовать именно эти зоны в качестве мишеней для неинвазивной стимуляции мозга при СВС в режиме усиления мощности альфа-ритма, то есть с целью усиления тормозных механизмов контроля зрительной афферентации [48].

Опыт использования рТМС имел место у пациентов не только с СВС, но и с другими родственными по патофизиологическим звеньям нарушениями зрительного восприятия: при синдроме дереализации и деперсонализации (СДД) и **НППД II** типа. Например, в 2024 г. опубликовано первое описание клинического случая успешного лечения пациента с **НППД II** типа путем стимуляции области правого теменно-височного перехода с помощью рТМС [41]. Авторы заявляют о клинически значимом снижении выраженности не только зрительных нарушений (визуального снега, фотофобии, палинопсии), но и симптомов дереализации, тревоги и депрессии. Однако в работе не раскрывается информация о частотном режиме стимуляции, общем количестве нанесенных стимулов и количестве сеансов рТМС. При этом выбор теменно-височного перехода для стимуляции был неслучаен, так как авторы опирались на опыт предыдущих работ, посвященных лечению с помощью рТМС пациентов с СДД, поскольку фенотипически нарушения зрительного восприятия при СДД, **НППД II** типа и СВС очень схожи. Именно стимуляция теменно-височного перехода (слева и/или справа) у таких пациентов значимо и стойко редуцирует зрительные симптомы: визуального снега, никталопии, палинопсии, фотофобии, «плавунов», эффекта Ширера и пр. [37, 49, 50]. При этом в большинстве работ эффективная стимуляция мультисенсорного хаба — теменно-височного перехода была низкочастотной (1 Гц). Однако в ряде других работ у пациентов с СДД для коррекции как не визуальных, так и визуальных симптомов оказался эффективным протокол стимуляции левой дорсолатеральной префронтальной коры в режиме 10 Гц — классический протокол стимуляции, эффективность которого доказана при многих психических расстройствах и болевых синдромах [37, 51, 52].

Транскраниальная магнитная стимуляция как диагностический и исследовательский инструмент

Место ТМС в исследовательской диагностике СВС и других расстройств зрительного восприятия еще более скромное, чем использование рТМС в лечении этих заболеваний. Имеются единичные работы, в которых ТМС использовалась как инструмент воздействия одиночными или парными магнитными стимулами для оценки процессов возбуждения и торможения в головном мозге.

Одной из любопытных работ, представляющих новые данные касательно различий нейропатологии СВС

и мигрени с аурой, является исследование 2021 г. [53]. Авторы использовали ТМС как инструмент подавления первичной зрительной (затылочной) коры у пациентов с СВС и мигренью с аурой путем нанесения одиночных субпороговых магнитных стимулов во время выполнения испытуемыми когнитивной зрительной задачи (воспроизведения разнообразных рядов чисел) с оценкой точности восприятия на фоне такого подавления. Основным результатом этого исследования является то, что магнитное подавление точности восприятия не снижается у пациентов с СВС по сравнению с группой больных мигренью с аурой. Полученные результаты демонстрируют, что предполагаемая гипервозбудимость при СВС, по-видимому, не возникает из первичной зрительной коры, но, вероятно, объясняется дисфункцией зрительной коры высшего порядка (вторичных и третичных зрительных центров — теменной, височной коры и теменно-височного перехода).

Не менее перспективным в свете оценки патофизиологических аспектов течения СВС и других нарушений зрительного восприятия может являться анализ феномена так называемого короткоинтервального внутрикоркового торможения (**short-interval intracortical inhibition — SICI**) с помощью ТМС. Методика подразумевает нанесение последовательных парных (сдвоенных) магнитных стимулов на области моторной коры головного мозга с интервалом между стимулами от 1 до 6 мс (первый стимул — кондиционирующий подпороговый, второй — тестовый надпороговый) и регистрацию вызванных моторных ответов с мышц кисти с помощью накожных электродов. В норме факт нанесения кондиционирующего стимула способствует тому, что тестовый стимул приводит к регистрации вызванного моторного ответа сниженной амплитуды по сравнению с тем, если бы тестовый стимул наносился только изолированно. Феномен **SICI** отражает физиологические принципы реализации тормозных процессов в коре головного мозга. Снижение **SICI** означает отсутствие должного падения амплитуды вызванного моторного ответа при тестовом стимуле в ответ на предшествующее нанесение кондиционирующего стимула. Оценка феномена **SICI** зарекомендовала себя как чувствительная методика в оценке дефицита процессов внутрикоркового торможения, и, следовательно, снижение **SICI** является маркером гипервозбудимости коры (не только моторной коры, так как принято считать, что факт выявленной гипервозбудимости моторной коры можно экстраполировать на другие корковые отделы).

Регистрация феномена **SICI** оказалось очень востребованной в диагностике не только гипервозбудимости моторной коры (например, при поражении верхнего мотонейрона при боковом амиотрофическом склерозе), но и гипервозбудимости коры при немоторных заболеваниях, патофизиологически родственных СВС: при нейропатической боли и мигрени с аурой [54]. В частности, снижение **SICI** при нейропатической боли является параметром, объективизирующим снижение активности тормозных антиноцицептивных механизмов, а также маркером, определяющим прогноз эффективности противоболевой терапии: чем значимее выражено снижение **SICI**, тем выше ожидаемая эффективность лечения нейропатической боли у пациента с помощью стандартных методов (лекарственной терапии, рТМС, психотерапии) [37, 54]. При МА реализация феномена **SICI** зависит от ряда факторов: от частоты приступов, от фазы (иктальная или интериктальная), фонового приема профилактической медикаментозной тера-

пии (топирамата, β -блокаторов) и т.д. Вместе с тем результаты большинства исследований продемонстрировали, что в интериктальную фазу у пациентов с эпизодической мигренью с аурой феномен **SICI** снижен, это свидетельствует о фоновой гипервозбудимости коры головного мозга [55—57]. **SICI** потенциально является также объективным маркером нейрофизиологической динамики эффективности терапии: у пациентов с мигренью с аурой и нейропатической болью на фоне успешной терапии и снижения выраженности симптомов значения **SICI** возвращались к нормальным значениям, что подтверждает также нормализацию соотношения активирующих и тормозных механизмов регуляции в коре головного мозга. Исследования, напрямую оценивающие **SICI** у пациентов с СВС и другими нарушениями зрительного восприятия, еще не проводились. В этой связи, учитывая предполагаемый патогенез СВС, исследовательская деятельность в данном направлении должна быть инициирована, что важно с точки зрения внесения дополнительной ясности в нейрофизиологическое течение нарушений зрительного восприятия и совершенствования алгоритмов помощи пациентам.

Заключение

Синдром визуального снега и персистирующее расстройство восприятия, вызванное галлюциногенами, **II** типа не столько редкие, сколько мало освещенные в профессиональном поле и среди пациентов заболевания. Недостаточно персонализированное отношение к жалобам и симптомам пациентов с этими нозологиями приводит к стигматизации их болезни и существенному снижению качества их жизни, поэтому требуется консолидация знаний, практического опыта и усилий неврологов, психиатров, офтальмологов, клинических нейрофизиологов и врачей реабилитационной медицины для наиболее точного установления диагноза и совершенствования алгоритмов лечения. Несмотря на бурное развитие и расши-

рение доказательной базы методов неинвазивной стимуляции мозга в мире, применение транскраниальной магнитной стимуляции в России в исследовательской и диагностической практике, лечении болезней нервной системы и психических расстройств остается ограниченным. При этом транскраниальная магнитная стимуляция является неинвазивным, безопасным и доступным инструментом как для оценки нарушений баланса тормозной и активирующей регуляции в головном мозге, так и для эффективной адъювантной терапии или монотерапии различных заболеваний. В лечении синдрома визуального снега и персистирующего расстройства восприятия, вызванного галлюциногенами, **II** типа определенные оптимизм демонстрируют первые исследовательские работы, в которых ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция показала свою предварительную эффективность при стимуляции затылочной коры и теменно-височного перехода; первичная моторная и дорсолатеральная префронтальная кора также потенциально могут рассматриваться как целевые зоны стимуляции. Существенными ограничениями исследований, имеющихся на сегодняшний день в области оценки эффективности и полезности транскраниальной магнитной стимуляции при синдроме визуального снега и других нарушениях зрительного восприятия, являются малые выборки пациентов, разнообразие критериев оценки эффективности, неоднородность дизайнов исследований: частотных режимов стимуляции, выбора зон и сторон стимуляции коры головного мозга, а также отсутствие контрольных групп и **sham**-стимуляции. Следует продолжить исследования более крупного масштаба с формированием групп сравнения и контроля, включением в дизайн **sham**-стимуляции, использованием аргументированных клинических и нейрофизиологических критериев оценки, в том числе в долгосрочном периоде наблюдения пациентов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Headache Classification Committee of the International Headache Society. The International Classification of Headache Disorders 3rd edition. *Cephalalgia*. 2018;38:1-211. <https://doi.org/10.1177/0333102417738202>
- Puledda F, Schankin C, Goadsby PJ. Visual snow syndrome: A clinical and phenotypical description of 1,100 cases. *Neurology*. 2020 Feb 11;94(6):e564-e574. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000008909>
- Liu GT, Schatz NJ, Galetta SL, Volpe NJ, Skobieranda F, Kosmorsky GS. Persistent positive visual phenomena in migraine. *Neurology*. 1995;45: 664-668. <https://doi.org/10.1212/wnl.45.4.664>
- Klein A, Schankin CJ. Visual snow syndrome, the spectrum of perceptual disorders, and migraine as a common risk factor: A narrative review. *Headache*. 2021 Oct;61(9):1306-1313. <https://doi.org/10.1111/head.14213>
- Schankin CJ, Maniyar FH, Sprenger T, Chou DE, Eller M, Goadsby PJ. The relation between migraine, typical migraine aura and “visual snow”. *Headache*. 2014 June;54(6):957-966. <https://doi.org/10.1111/head.12378>
- Schankin CJ, Maniyar FH, Digre KB, Goadsby PJ. ‘Visual snow’ — a disorder distinct from persistent migraine aura. *Brain*. 2014 May;137(Pt 5): 1419-1428. <https://doi.org/10.1093/brain/awu050>
- Silva EM, Puledda F. Visual snow syndrome and migraine: a review. *Eye (Lond)*. 2023 Aug;37(12):2374-2378. Epub 2023 Feb 14. <https://doi.org/10.1038/s41433-023-02435-w>
- Fraser CL, Hepschke JL, Jenkins B, Prasad S. Migraine Aura: Pathophysiology, Mimics, and Treatment Options. *Semin Neurol*. 2019 Dec;39(6):739-748. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1700525>
- Traber GL, Piccirelli M, Michels L. Visual snow syndrome: a review on diagnosis, pathophysiology, and treatment. *Curr Opin Neurol*. 2020 Feb;33(1):74-78. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000768>
- Шайдеггер Ю.М., Клименко Т.В. Персистирующее расстройство восприятия, вызванное галлюциногенами (**HPPD**): обзор литературы. *Вопросы наркологии*. 2021;8(203):23-38. Shaidegger YuM, Klimenko TV. Persistiruyushchee rasstrojstvo vospriyatiya, vyzvanное gallyutsinogenami (**HPPD**): obzor literatury. *Voprosy narkologii*. 2021;8(203):23-38. (In Russ.). https://doi.org/10.47877/0234-0623_2021_08_23
- Vis PJ, Goudriaan AE, Ter Meulen BC, Blom JD. On Perception and Consciousness in HPPD: A Systematic Review. *Front Neurosci*. 2021 Aug 11;15:675768. PMID: 34456666; PMCID: PMC8385145. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.675768>
- Hang C, Leishangthem L, Yan Y. Not All Cases of Visual Snows are Benign: Mimics of Visual Snow Syndrome. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2021 Nov 10;17:3293-300. <https://doi.org/10.2147/NDT.S338111>

13. Tuekprakhon A, Pawestri AR, Suvannaboon R, Thongyou K, Trinavarat A, Atchaneeysakul LO. Rare Co-Occurrence of Visual Snow in a Female Carrier With RPGORF15-Associated Retinal Disorder. *Front Genet.* 2021 Oct 01;12:728085. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.728085>
14. Hamel CP. Cone rod dystrophies. *Orphanet J Rare Dis.* 2007 Feb 01;2:7. <https://doi.org/10.1186/1750-1172-2-7>
15. Behbehani R. Clinical approach to optic neuropathies. *Clin Ophthalmol.* 2007 Sept;1(3):233-246. PMID: 19668477; PMCID: PMC2701125.
16. Minos E, Barry RJ, Southworth S, Folkard A, Murray PI, Duker JS, Keane PA, Denniston AK. Birdshot chorioretinopathy: current knowledge and new concepts in pathophysiology, diagnosis, monitoring and treatment. *Orphanet J Rare Dis.* 2016 May 12;11(1):61. <https://doi.org/10.1186/s13023-016-0429-8>
17. Duker JS, Kaiser PK, Binder S, de Smet MD, Gaudric A, Reichel E, Sadra SR, Sebag J, Spaide RF, Stalmans P. The International Vitreomacular Traction Study Group classification of vitreomacular adhesion, traction, and macular hole. *Ophthalmology.* 2013 Dec;120(12):2611-2619. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.07.042>
18. Gishiti O, van den Nieuwenhof R, Verhoeckx J, van Overdam K. Symptoms related to posterior vitreous detachment and the risk of developing retinal tears: a systematic review. *Acta Ophthalmol.* 2019 June;97(4):347-352. <https://doi.org/10.1111/aos.14012>
19. Michal M, Lüchtenberg M, Overbeck G, Fronius M. Gestörte visuelle Wahrnehmung beim Depersonalisations-Derealisationssyndrom [Visual distortions and depersonalization-de-realization syndrome]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde.* 2006;223(4):279-284. (In German). <https://doi.org/10.1055/s-2005-858716>
20. Staab JP, Eckhardt-Henn A, Horii A, Jacob R, Strupp M, Brandt T, Bronstein A. Diagnostic criteria for persistent postural-perceptual dizziness (PPPD): Consensus document of the committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society. *J Vestib Res.* 2017;27(4):191-208. PMID: 29036855; PMCID: PMC9249299. <https://doi.org/10.3233/VES-170622>
21. Дюкова Г.М., Замерград М.В., Голубев В.Л., Адилова С.М., Макаров С.А. Функциональное (психогенное) головокружение. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2017;117(6):91-98. Diukova GM, Zamergrad MV, Golubev VL, Adilova SM, Makarov SA. Functional (psychogenic) vertigo. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2017;117(6):91-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro20171176191-98>
22. Камаева АС, Кирьянова ЕА, Табеева ГР. Синдром «визуального снега»: клинико-патофизиологические корреляции, дифференциальная диагностика и лечение (обзор литературы). *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2023;15(5):65-71. Kamaeva AS, Kiryanova EA, Tabeeva GR. The phenomenon of “visual snow”: clinical and pathophysiological correlations, differential diagnosis and treatment (literature review). *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psichosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2023;15(5):65-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-5-65-71>
23. Catarci T. Occipital ischaemic stroke after visual snow phenomenon — a case report. *Cephalalgia.* 2021 June;41(7):871-874. <https://doi.org/10.1177/0333102420985444>
24. Puledda F, Villar-Martínez MD, Goadsby PJ. Case Report: Transformation of Visual Snow Syndrome From Episodic to Chronic Associated With Acute Cerebellar Infarct. *Front Neurol.* 2022 Feb 15;13:811490. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.811490>
25. Virdee J, Mollan SP. Photopsia. *Pract Neurol.* 2020;20(5):415-419. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2019-002460>
26. Eren O, Schankin CJ. Insights into pathophysiology and treatment of visual snow syndrome: A systematic review. *Prog Brain Res.* 2020;255:311-326. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.05.020>
27. Grangeon L, Lange KS, Waliszewska-Prosoń M, Onan D, Marschollek K, Wiels W, Mikulenk P, Farham F, Gollion C, Ducros A; European Headache Federation School of Advanced Studies (EHF-SAS). Genetics of migraine: where are we now? *J Headache Pain.* 2023 Feb 20;24(1):12. <https://doi.org/10.1186/s10194-023-01547-8>
28. Volcheck MM, Graham SM, Fleming KC, Mohabbat AB, Luedtke CA. Central sensitization, chronic pain, and other symptoms: Better understanding, better management. *Cleve Clin J Med.* 2023 Apr 03;90(4):245-254. <https://doi.org/10.3949/ccjm.90a.22019>
29. Puledda F, Ffytche D, Lythgoe DJ, O'Daly O, Schankin C, Williams SCR, Goadsby PJ. Insular and occipital changes in visual snow syndrome: a BOLD fMRI and MRS study. *Ann Clin Transl Neurol.* 2020 Mar;7(3):296-306. <https://doi.org/10.1002/acn3.50986>
30. Puledda F, O'Daly O, Schankin C, Ffytche D, Williams SC, Goadsby PJ. Disrupted connectivity within visual, attentional and salience networks in the visual snow syndrome. *Hum Brain Mapp.* 2021 May;42(7):2032-2044. <https://doi.org/10.1002/hbm.25343>
31. Puledda F, Dipasquale O, Gooddy BJM, Karsan N, Bose R, Mehta MA, Williams SCR, Goadsby PJ. Abnormal Glutamatergic and Serotonergic Connectivity in Visual Snow Syndrome and Migraine with Aura. *Ann Neurol.* 2023 Nov;94(5):873-884. <https://doi.org/10.1002/ana.26745>
32. Aeschlimann SA, Klein A, Schankin CJ. Visual snow syndrome: recent advances in understanding the pathophysiology and potential treatment approaches. *Curr Opin Neurol.* 2024 June 01;37(3):283-288. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000001258>
33. van Dongen RM, Waaijer LC, Onderwater GLJ, Ferrari MD, Terwindt GM. Treatment effects and comorbid diseases in 58 patients with visual snow. *Neurology.* 2019 July 23;93(4):e398-e403. Epub 2019 June 18. PMID: 31213497; PMCID: PMC6669936. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000007825>
34. Fekete R. Visual snow syndrome successfully treated with lamotrigine: case report. (P4.129). *Neurology.* 2018 Apr 10;90(15 Suppl):129. https://doi.org/10.1212/WNL.90.15_supplement.P4.129
35. Mehler DMA, Sokunbi MO, Habes I, Barawi K, Subramanian L, Range M, Evans J, Hood K, Lührs M, Keedwell P, Goebel R, Linden DEJ. Targeting the affective brain—a randomized controlled trial of real-time fMRI neurofeedback in patients with depression. *Neuropsychopharmacology.* 2018 Dec;43(13):2578-2585. Epub 2018 June 23. PMID: 29967368; PMCID: PMC6186421. <https://doi.org/10.1038/s41386-018-0126-5>
36. Zhao Z, Yao S, Li K, Sindermann C, Zhou F, Zhao W, Li J, Lührs M, Goebel R, Kendrick KM, Becker B. Real-Time Functional Connectivity-Informed Neurofeedback of Amygdala-Frontal Pathways Reduces Anxiety. *Psychother Psychosom.* 2019;88(1):5-15. Epub 2019 Jan 30. PMID: 30699438. <https://doi.org/10.1159/000496057>
37. Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, Benninger DH, Brunelin J, Di Lazzaro V, Filipović SR, Grefkes C, Hasan A, Hummel FC, Jääskeläinen SK, Langguth B, Leocani L, Londero A, Nardone R, Nguyen JP, Nyffeler T, Oliveira-Maia AJ, Oliviero A, Padberg F, Palm U, Paulus W, Poulet E, Quartarone A, Rachid F, Rektorová I, Rossi S, Sahlsten H, Schecklmann M, Szekely D, Ziemann U. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018). *Clin Neurophysiol.* 2020 Feb;131(2):474-528. Epub 2020 Jan 01. Erratum in: *Clin Neurophysiol.* 2020 May;131(5):1168-1169. PMID: 31901449. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.002>
38. Misra UK, Kalita J, Tripathi G, Bhoi SK. Role of β endorphin in pain relief following high rate repetitive transcranial magnetic stimulation in migraine. *Brain Stimul.* 2017 May-June;10(3):618-623. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.02.006>
39. Paillère-Martinot ML, Galinowski A, Plaze M, Andoh J, Bartres-Faz D, Bellivier F, Lefaucheur JP, Rivière D, Gallarda T, Martinot JL, Artiges E. Active and placebo transcranial magnetic stimulation effects on external and internal auditory hallucinations of schizophrenia. *Acta Psychiatr Scand.* 2017 Mar;135(3):228-238. <https://doi.org/10.1111/acps.12680>
40. Klomjai W, Katz R, Lackmy-Vallée A. Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS). *Ann Phys Rehabil Med.* 2015 Sep;58(4):208-213. Epub 2015 Aug 28. PMID: 26319963. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.05.005>
41. Creton S, Boulanger G, Pereon T, Batail JM, Drapier D. Treatment of Hallucinogen-Persisting Perception Disorder: A case report on repetitive transcranial magnetic stimulation targeting the right temporoparietal junction. *Brain Stimul.* 2024 Jan-Feb;17(1):107-108. Epub 2024 Jan 05. PMID: 38185321. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2023.12.015>
42. Eichhammer P, Kleinjung T, Landgrebe M, Hajak G, Langguth B. TMS for treatment of chronic tinnitus: neurobiological effects. *Prog Brain Res.* 2007;166:369-375. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)66035-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)66035-X)
43. Cacace AT, Hu J, Romero S, Xuan Y, Burkard RF, Tyler RS. Glutamate is down-regulated and tinnitus loudness-levels decreased following rTMS over auditory cortex of the left hemisphere: A prospective randomized single-blinded sham-controlled cross-over study. *Hear Res.* 2018 Feb;358:59-73. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.10.017>
44. Lau CI, Chen WH, Walsh V. The visual system as target of non-invasive brain stimulation for migraine treatment: Current insights and future challenges. *Prog Brain Res.* 2020;255:207-247. Epub 2020 June 15. PMID: 33008507. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.05.018>

45. Brighina F, Piazza A, Daniele O, Fierro B. Modulation of visual cortical excitability in migraine with aura: effects of 1 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation. *Exp Brain Res*. 2002 July;145(2):177-181. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1096-7>
46. Grey V, Klobusiakova P, Minks E. Can repetitive transcranial magnetic stimulation of the visual cortex ameliorate the state of patients with visual snow? *Bratisl Med J*. 2020;121:395-399. https://doi.org/10.4149/BLL_2020_064
47. Grande M, Lattanzio L, Buard I, McKendrick AM, Chan YM, Pelak VS. A Study Protocol for an Open-Label Feasibility Treatment Trial of Visual Snow Syndrome With Transcranial Magnetic Stimulation. *Front Neurol*. 2021 Sept 24;12:724081. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.724081>
48. Klein A, Aeschlimann SA, Zubler F, Scutelnic A, Riederer F, Ertl M, Schankin CJ. Alterations of the alpha rhythm in visual snow syndrome: a case-control study. *J Headache Pain*. 2024 Apr 08;25(1):53. PMID: 38584260; PMCID: PMC11000394. <https://doi.org/10.1186/s10194-024-01754-x>
49. Orrù G, Bertelloni D, Cesari V, Conversano C, Gemignani A. Targeting temporal parietal junction for assessing and treating disembodiment phenomena: a systematic review of TMS effect on depersonalization and derealization disorders (DPD) and body illusions. *AIMS Neurosci*. 2021;8(2):181-194. <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2021009>
50. Lev-Ran S, Feingold D, Goodman C, Lerner AG. Comparing triggers to visual disturbances among individuals with positive vs negative experiences of hallucinogenpersisting perception disorder (HPPD) following LSD use. *Am J Addict*. 2017;26(6): 568-571. <https://doi.org/10.1111/ajad.12577>
51. Jay EL, Nestler S, Sierra M, McClelland J, Kekic M, David AS. Ventrolateral prefrontal cortex repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of depersonalization disorder: A consecutive case series. *Psychiatry Res*. 2016 June 30;240:118-122. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.04.027>
52. Karris BC, Capobianco M, Wei X, Ross L. Treatment of Depersonalization Disorder With Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation. *J Psychiatr Pract*. 2017 Mar;23(2):141-144. <https://doi.org/10.1097/PRA.0000000000000215>
53. Eren OE, Ruscheweyh R, Rauschel V, Eggert T, Schankin CJ, Straube A. Magnetic Suppression of Perceptual Accuracy Is Not Reduced in Visual Snow Syndrome. *Front Neurol*. 2021 May 04;12:658857. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.658857>
54. Vucic S, Stanley Chen KH, Kiernan MC, Hallett M, Benninger DH, Di Lazzaro V, Rossini PM, Benussi A, Berardelli A, Currà A, Krieg SM, Lefaucheur JP, Long Lo Y, Macdonell RA, Massimini M, Rosanova M, Picht T, Stinear CM, Paulus W, Ugawa Y, Ziemann U, Chen R. Clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation in neurological disorders. Updated report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol*. 2023 June;150:131-175. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.03.010>
55. Valente M, Lettieri C, Russo V, Janes F, Gigli GL. Clinical and Neurophysiological Effects of Botulinum Neurotoxin Type A in Chronic Migraine. *Toxins (Basel)*. 2021 May 29;13(6):392. <https://doi.org/10.3390/toxins13060392>
56. Neverdahl JP, Omland PM, Uglem M, Engström M, Sand T. Reduced motor cortical inhibition in migraine: A blinded transcranial magnetic stimulation study. *Clin Neurophysiol*. 2017 Dec;128(12):2411-2418. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.08.032>
57. Marchetti E, Lise I, Galmonete A, Murena L, Manganotti P. Efficacy of a dual task protocol on neurophysiological and clinical outcomes in migraine: a randomized control trial. *Neurol Sci*. 2024 Aug;45(8):4015-4026. <https://doi.org/10.1007/s10072-024-07611-8>

Поступила 19.09.2024

Received 19.09.2024

Принята к печати 13.11.2024

Accepted 13.11.2024