

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

EDN: UUVZTP

УДК 619:617-089



Научная статья

**СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ
ТРАНСКРАНИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОВВОЗДЕЙСТВИЯ
НА РЕПАРАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Д.В. Дашко, М.А. Урядников

Аннотация

Электростимуляция с анальгетическими параметрами тока рассматривается как перспективный метод в разработке эффективных и неинвазивных методов обезболевания и терапии, благодаря легкоуправляемому и быстрому получению обезболевания, отсутствию побочных явлений, токсических и аллергических осложнений.

Цель. Изучение влияния транскраниальной электрической стимуляции антиноцицептивной системы мозга на процесс заживления кожных ран у лабораторных животных.

Материалы и методы. Объект исследования – нелинейные белые лабораторные крысы-самцы в количестве 80 гол. В первой опытной группе использовали режим транскраниальной электростимуляции в виде сочетания постоянного и переменного токов анальгетических параметров. Во второй и третьей опытных группах использовали то же сочетание, но с другими частотами импульса -50 и 90 Гц (частоты «неанальгетического раздражения»). Сеансы проводили один раз в день по 30 минут в течение трех дней после нанесения кожных ран. Дополнительно, проведены опыты с двумя режимами воздействия: в течение трех дней до нанесения раны и трех дней после операции («профилактическое» и «лечебное» действие): применялся как анальгетический, так и неанальгетический режимы электростимуляции.

Результаты. Под влиянием транскраниальной электростимуляции с анальгетическими параметрами тока (частота 70 Гц) наблюдается достоверное ускорение (на 21 %) процесса заживления и сокращение среднего срока полного заживления ран. Транскраниальные воздействия с «неанальгетическими частотами раздражения» (50 и 90 Гц) не вызывали каких-либо изменений скорости заживления, от контроля. Наибольшее ускорение заживления ран под влиянием лечебных процедур достоверно проявляется на 4-7 сутки после их нанесения, а в контрольной группе на 10-11 сутки. В «профилактической» группе изменение размеров ран значительно опережало таковое у крыс с «лечебным» воздействием: на 4-е сутки разница в площади ран между опытными группами и контролем статистически достоверна и составляет 12 %, в то время, как «лечебное» воздействие к 8-м суткам достигает аналогичного результата.

Заключение. Получена информация о влиянии электрического тока на электрическую активность мозга, поведенческие реакции и репаративные процессы.

Ключевые слова: электроанальгезия; электровоздействие; электростимуляция; рана; заживление; антиноцицепция; крыса

Для цитирования. Дашко Д.В., Урядников М.А. Стимулирующее влияние транскраниального электровоздействия на репаративные процессы в эксперименте // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 435-454. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

Original article

STIMULATING EFFECT OF TRANSCRANIAL ELECTRICAL EXPOSURE ON REPARATIVE PROCESSES IN AN EXPERIMENT

D.V. Dashko, M.A. Uryadnikov

Abstract

Electrical stimulation with analgesic current parameters is considered a promising method for developing effective and non-invasive pain relief and therapy methods due to its easily controllable and rapid pain relief, and the absence of side effects, toxic, and allergic complications.

Purpose: to study the effect of transcranial electrical stimulation of the brain's antinociceptive system on the healing process of skin wounds in laboratory animals.

Materials and methods. The study involved 80 male non-linear white laboratory rats. The first experimental group used a mode of transcranial electrical stimulation combining direct and alternating currents with analgesic parameters. The second and third experimental groups used the same combination but with different pulse frequencies, i.e. 50 and 90 Hz (“non-analgesic irritation” frequencies). Sessions were conducted once a day for 30 minutes for three days after skin wounds were inflicted. Additionally, experiments were conducted with two modes of exposure: for three days before the wound infliction and three days after the operation (i.e. “preventive” and “therapeutic” effects), using both analgesic and non-analgesic modes of electrical exposure.

Results. Under the influence of transcranial electrical stimulation with analgesic current parameters (70 Hz frequency), a significant acceleration by 21% of the healing process and a reduction in the average time for complete wound healing were observed. Transcranial exposures with “non-analgesic irritation frequencies” (50 and 90 Hz) did not cause any changes in the healing rate compared to the control. The greatest acceleration of wound healing under the influence of therapeutic procedures was significantly manifested on the 4th – 7th day after their infliction, while in the control group, it was on the 10th – 11th day. In the “preventive” group, the change in wound size significantly outpaced that of rats with “therapeutic” exposure: on the 4th day, the difference in wound area between the experimental groups and the control was statistically significant and amounted to 12%, while the “therapeutic” exposure reached a similar result by the 8th day.

Conclusion. Information was obtained on the effect of electric current on brain electrical activity, behavioral reactions, and reparative processes.

Keywords: electroanalgesia; electrical exposure; electrical stimulation; wound; healing; antinociception; rat

For citation. Dashko D.V., Uryadnikov M.A. Stimulating Effect of Transcranial Electrical Exposure on Reparative Processes in an Experiment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 435-454. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

Введение

В современной медицинской и ветеринарной практике существует проблема поиска инновационных и альтернативных методов обезболивания, выходящих за рамки традиционных подходов, которая остается в центре внимания исследователей [1; 2; 22; 29]. Более века ученые во всем мире неустанно проводят эксперименты и клинические исследования в области

электрообезболивания (электростимуляции), чтобы выявить оптимальные режимы и оценить эффективность этого метода [3; 27].

Транскраниальное электрообезболивание (электростимуляция) представляет собою электрическое воздействие на головной мозг, через наружные покровы черепа, оказывая стимулирующее влияние на кору и подкорковые структуры головного мозга, реализует свои анальгетические эффекты, в т.ч. и на периферии с последующей активацией защитно-адаптационных механизмов живого организма [4; 23-25].

Немедикаментозные методы обезболивания и стимуляции все шире применяются в клинической практике, и интерес к их изучению в последнее время растет. Наряду с различными видами терапии, в т.ч. и рефлексотерапии определенное место среди них отводится электроанальгезии, возникающей при действии тока на головной мозг через покровы черепа (транскраниальная электроанальгезия) [6]. Метод привлекает своей технической простотой и возможной перспективой достижения не только электроанальгезии, но и электростимуляции органно-тканевых структур организма [5; 7; 26].

Необходимо учесть, что порой задачи физиологических экспериментов, выполняемых в форме острых опытов, требуют исключения воздействия фармакологических препаратов, так или иначе влияющих на исследуемые органы или системы их управления [8-10]. Поэтому, весьма важно, чтобы длительность обезболивания соответствовала периоду препаровки, и действие обезболивания полностью прекращалось в период наблюдения, т.е. продолжительность воздействия должна произвольно управляться экспериментатором, а само воздействие должно прекращаться без последствий. Этим требованиям может удовлетворять электрообезболивание, как метод неинвазивного воздействия на организм [6; 28].

В недавних исследованиях было обнаружено, что морфиноподобные пептиды активизируют процессы регенерации в различных тканях и структурах организма, способствуя их более быстрому восстановлению [11]. Гипотеза заключается в том, что морфиноподобные пептиды, которые высвобождаются при активации антиноцицептивных механизмов в результате повреждений, выполняют важную функцию в поддержании структурного гомеостаза организма. Это означает, что опиоидные пептиды помогают организму восстановить и поддерживать нормальное состояние тканей и органов после повреждений, т.е. представлять собой некую патогенетическую составляющую [11; 12; 30]. Гомеостатическая направленность действия транскраниальной электростимуляции (ТЭС) проявляется

в полной мере при нарушениях регуляции функций систем и органов, не изменяя нормально текущие процессы. Из этого следует, что возможная эффективность лечебных воздействий ТЭС в определенной степени ограничена пределами гомеостатических возможностей организма.

Известно, что активация антиноцицептивных структур мозга вызывает анальгетический эффект, обусловленный высвобождением в организме опиоидных пептидов [11]. Неинвазивное транскраниальное электрическое воздействие (транскраниальная электрическая стимуляция) является одним из методов стимуляции опиоидных структур антиноцицептивной системы организма. Главный реализуемый принцип, при проведении транскраниального электровоздействия, соблюдение основного свойства данного метода: соответствие частотно-временных характеристик электрических импульсов квазирезонансным свойствам антиноцицептивной системы.

Было установлено, что в формировании анальгетического эффекта ТЭС участвует опиоидный нейрохимический механизм. Экспериментально-клиническими исследованиями было отмечено, что во время и после ТЭС усиливалось выделение опиоидного пептида - β -эндорфина в мозге и увеличивалась концентрация этого пептида в спинномозговой жидкости и крови [13]. При этом, наиболее интенсивное выделение β -эндорфина происходило при стимуляции частотой, оптимальной для анальгетического эффекта. В формировании анальгетического эффекта активно участвуют серотониновые механизмы антиноцицептивной системы (АНС), связанные, вероятно, с опиоидными последовательно. Все эти факты соответствуют общепринятым критериям, которые принимаются как доказательства участия опиоидных пептидов в эффектах стимуляции АНС.

Исследования в этой области продолжаются, и электростимуляция с анальгетическими параметрами тока рассматривается как перспективный метод в разработке эффективных и неинвазивных методов обезболивания и терапии, благодаря легкому и быстрому получению обезболивания, отсутствию побочных явлений, токсических и аллергических осложнений. В дополнение к приведенной выше информации, важно отметить следующее, что электрообезболивание является полезным дополнением к традиционным методам обезболивания, медикаментозной терапии и физиотерапии при лечении различных патологий у животных [14-16].

Цель

Изучить влияние транскраниальной электростимуляции на скорость заживления кожных ран у лабораторных животных.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе Иркутского ГАУ в 2023 году. Объектом исследования служили нелинейные белые лабораторные крысы-самцы в количестве 80 голов, живой массой 240 ± 25 гр. Всех животных разделили на четыре группы (одну контрольную и три опытные) по 15 голов в каждой. В контрольной группе у подопытных животных не применяли никаких способов терапии. В первой опытной (1-я опытная) группе использовали режим транскраниальной электростимуляции в виде сочетания постоянного и переменного токов анальгетических параметров: постоянный ток силой 0,8 мА и прямоугольный импульсный ток силой 0,4 мА, с частотой 70 Гц и длительностью импульса 3-3,5 мс [11]. Во второй (2-я опытная) и третьей (3-я опытная) опытных группах использовали то же сочетание постоянного и переменного токов, только менялась частота импульса на 50 Гц и 90 Гц (частоты «неанальгетического раздражения»), соответственно. Сеансы транскраниального электровоздействия (ТЭВ) в опытных группах проводили один раз в день по 30 минут в течение трех дней после нанесения кожных ран («лечебное воздействие»).

В ходе экспериментальной процедуры подопытные животные были зафиксированы в специальных станках, которые обеспечивали их естественное положение, чтобы избежать дискомфорта. Использовался генератор импульсов, который генерировал контролируемые параметры тока и был стабилизирован по напряжению. Генератор импульсов был настроен на подачу тока определенных параметров, включая силу тока, частоту импульсов и длительность импульсов обозначенных выше. Ток подавался через тонкие игольчатые электроды, имплантированные под кожу в определенных областях головы животных, после предварительного выстригания шерсти. Подкожно вводились электроды - в лобную область и позади ушных раковин.

С целью выяснения возможности использования транскраниальной электростимуляции для подготовки животных к операции были проведены опыты с двумя режимами воздействия: в течение трех дней до нанесения раны и трех дней после операции («профилактическое» и «лечебное» действие). Были созданы четыре группы (1-я и 2-я лечебная; 1-я и 2-я профилактическая) по 5 крыс в каждой. В обоих случаях применялся как анальгетический (1-я лечебная и 1-я профилактическая группы), так и неанальгетический (2-я лечебная и 2-я профилактическая группы) режимы электровоздействия по выше описанной методике.

Для создания модели кожной раны у крыс под общей неингаляционной анестезией («Золетил 100» - 0,4 мг/кг, интрамускулярно) удаляли кож-

ный лоскут в области спины диаметром 15 ± 2 мм, с соблюдением правил асептики [21]. В дальнейшем, животных содержали отдельно, для предотвращения от взаимного вылизывания раневой поверхности.

Динамику заживления кожных ран проводили с помощью метода планиметрии и оценивали средние сроки полного заживления с последующей математической обработкой, по общепринятой в биологии методике.

Одновременно, помимо описанных выше методик, проводили поведенческие наблюдения за животными в течение эксперимента, для выявления любых видимых изменений в их двигательной активности, реакции на стимулы и общем состоянии.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния транскраниальной электростимуляции на заживление ран проводилось на крысах с использованием различных параметров тока - анальгетических и неанальгетических. Результаты исследования показали, что использование анальгетических параметров тока с частотой 70 Гц приводит к ускорению процесса заживления ран на 21 %, в сравнении, с контролем. Наоборот, воздействие с неанальгетическими частотами (50 и 90 Гц) не оказывало никакого значимого влияния на скорость заживления ран на протяжении всего срока эксперимента (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние транскраниального электрического воздействия с различными параметрами тока на средний срок полного заживления ран

Номер группы	Условия эксперимента			Срок полного заживления, дни	Процент к контролю
	частота, Гц	сила постоянного тока, мА	сила импульсного тока, мА		
контрольная	-	-	-	$21,3 \pm 0,61$	100,0
1-я опытная	70	0,8	0,4	$16,8 \pm 0,26$	79,8*
2-я опытная	50	0,8	0,4	$21,8 \pm 0,52$	102,2
3-я опытная	90	0,8	0,4	$21,4 \pm 0,54$	100,0

*Достоверность результата ($P < 0.05$).

Характер ран у животных, которые подверглись электростимуляции с частотой 70 Гц, имели значительное отличие от животных контрольной группы: струп тонкий, просвечивает розовая поверхность раны, нежный. В свою очередь, одновременно с раневой контракцией, отмечается ускорение процесса эпителизации раневого дефекта и, как следствие, раньше происходит отторжение первичного струпа.

Наибольшее ускорение заживления кожных ран у крыс отмечается на 4-7 сутки после проведения лечебно-стимулирующих процедур (частота 70 Гц). У животных контрольной группы рост темпа заживления наблюдается спустя более длительное время, на 10-11 сутки. В то же время, раны у животных, получавших электровоздействие с «неоптимальными» частотами (50 и 90 Гц), носили аналогичные характерные особенности в заживлении ран у крыс контрольной группы - грубый и плотноспаенный с раневым дефектом струп, позднее его отторжение и, как следствие, замедленный процесс эпителизации. Получается, что в группах опытов, где использовали частоты прямоугольных импульсов 50 и 90 Гц (частоты «раздражения»), которые не являются оптимальными для получения анальгетического эффекта, эффективность заживления ран была ниже, чем при параметрах тока достигающих анальгетических показателей (рис. 1).

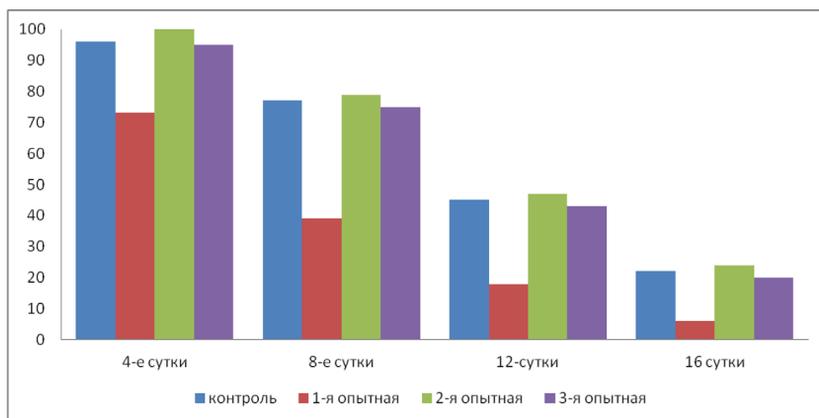


Рис. 1. Влияние транскраниального электрического воздействия при различных частотах на скорость заживления кожных ран, процентов/сутки

Весьма характерным было и поведение животных во время проведения процедуры. При применении к крысам электростимуляции с анальгетическими параметрами тока (способной подавлять болевые ощущения), наблюдается ряд характерных изменений в их поведении. Животные успокаиваются, прекращая спонтанную вокализацию (писки). Они становятся малоподвижными, проявляя минимальную активность. Во многих случаях крысы впадают в состояние, напоминающее сон («сноподобное» состояние), характеризующееся снижением двигательной активности и реакций на внешние раздражители.

При прекращении подачи тока на электроды крысы сразу же возвращаются к исходному состоянию. Они становятся активными и подвижными, пытаются освободиться от фиксирующего устройства, в которое они помещены для проведения эксперимента. Это свидетельствует о том, что эффект электростимуляции обратим и не приводит к длительным изменениям в поведении животных [13].

Электростимуляция с анальгетическими параметрами тока, способная подавлять болевые ощущения, широко используется в исследованиях нейрофизиологии боли и разработке новых методов обезболивания [17-19; 24]. Механизм действия такой электростимуляции связан с активацией нейронов, которые высвобождают эндогенные обезболивающие вещества, такие как эндорфины и энкефалины. Эти вещества взаимодействуют с опиоидными рецепторами в центральной нервной системе, что приводит к подавлению болевых сигналов и уменьшению болевых ощущений [7; 20; 30].

Кроме того, электростимуляция с анальгетическими параметрами тока может влиять на различные физиологические процессы, связанные с болью и стрессом, включая снижение частоты сердечных сокращений, артериального давления и уровня кортизола (гормона стресса). Эти эффекты могут усиливать обезболивающее действие электростимуляции и улучшать общее самочувствие животных, особенно при патологии.

При использовании же частот 50 и 90 Гц поведение животных было иным: в процессе воздействия животные в клетках оставались беспокойными, сохранялись спонтанные голосовые и двигательные ответные реакции.

В специальных экспериментах по изучению лечебного и профилактического влияния на раневую контракцию было установлено, что ускорение заживления отмечалось всегда при анальгетическом и никогда при неанальгетическом режиме транскраниального электровоздействия (табл. 2).

Процесс заживления и сокращение сроков регенерации был особенно выражен у животных с «профилактическим» проведением процедур транскраниальной электростимуляции. В «профилактической» группе у животных изменение размеров ран значительно опережало таковое у крыс с «лечебным» воздействием. Уже на 4-е сутки разница в площади ран между опытными группами и контролем статистически достоверна и составляет 12 %, в то время как «лечебное» воздействие лишь к 8-м суткам приводит к такой же раневой контракции. Ранняя раневая контракция, связанная с более ранним формированием грануляционной ткани, приводит к сокращению сроков полного заживления раны. Если в группе с «лечебным» применением электрического воздействия сокращение

срока полного заживления ран составило, в среднем, 3,4 дня, то у крыс «профилактическим» его применением - 4,1 дня, что равно 17 % и 21 %, соответственно.

Таблица 2.

Влияние транскраниальных электрических воздействий, при различных способах применения, на динамику полного заживления ран

Номер группы	Средний диаметр ран, мм				Срок полного заживления, дни	Процент к контролю
	4-е сутки	8-е сутки	12-е сутки	16-е сутки		
Контрольная	10,9±0,3	9,9±0,4	5,2±0,4	2,2±0,2	20,4±0,6	100
1 профилактическая	9,6±0,3	7,5±0,3	2,3±0,5	0,5±0,3	16,1±0,8	79*
2 профилактическая	10,8±0,2	9,8±0,3	5,7±0,6	2,0±0,4	20,3±0,6	100
1 лечебная	10,1±0,4	8,2±0,5	3,6±0,3	0,8±0,3	17,3±0,9	83*
2 лечебная	12,4±0,3	10,1±0,4	5,4±0,3	2,1±0,3	20,8±0,6	102

*Достоверность результата ($P < 0.05$).

Полученные данные свидетельствуют о том, что транскраниальные электрические воздействия, способствуют ускорению регенерации ран у животных. Как нам представляется, полученные результаты не оставляют сомнений в том, что физиотерапевтический способ воздействия на организм - транскраниальная электростимуляция помимо центральных структур весьма эффективно влияет на функцию периферических систем.

Транскраниальная электростимуляция дает не только анальгетический, но и другие эффекты, причем и тогда воздействие током с оптимальными параметрами имеет первостепенное значение [1; 12]. Наибольшую эффективность показали параметры электрического раздражения, вызывающие анальгетический эффект (АЭ). Активация эндорфинных структур антиноцицептивной системы является одним из механизмов, способствующих развитию анальгетического эффекта при транскраниальном электровоздействии. Данный способ раздражения, вызывал существенное увеличение β -эндорфина в ликворе и в крови у животных и это обстоятельство несомненно свидетельствует в пользу представления о важной роли опиоидных пептидов в механизмах репарации и поддержания структурного гомеостаза организма [3; 9].

Все эти факты соответствуют общепринятым критериям, которые принимаются как доказательства участия опиоидных пептидов в эффектах

стимуляции АНС. Все эффекты ТЭС по механизму можно условно разделить на: центральные, периферические и комбинированные (смешанные). При этом имеется в виду, что центральные эффекты связаны с влиянием усиленного выделения и действия эндорфинов, серотонина и, возможно, других биологически активных веществ непосредственно на структуры мозга, а периферические - с действием эндорфинов, поступивших в кровь. Следует подчеркнуть, что в формировании эффектов ТЭС, особенно периферических, ключевая (или триггерная) роль β -эндорфинов и других опиоидных пептидов несомненна. Кроме того, существенную роль в регенеративно-восстановительных процессах покровной ткани может оказывать нормализующее действие опиоидов на микроциркуляцию и лимфоток в месте кожного дефекта.

Важно отметить, что лечебное действие наблюдалось только в начальной фазе процесса репарации, что приводило к ускоренному заживлению ран в этот временной период с уменьшением общих сроков регенерации дефекта. Эти данные показывают, что ТЭС в анальгетическом режиме оказывает комплексное лечебное воздействие. Природа данного явления требует ещё более глубокого изучения, но уже сейчас можно констатировать факт наличия у животных ответных нейрохимических механизмов направленных на регенеративно-восстановительные возможности организма под неинвазивным действием транскраниальной электроанальгезии (электро-стимуляции) [4; 11; 14; 19; 23; 28].

Заключение

Полученные нами данные подтверждают представление о том, что в организме существует уникальный механизм восстановительных процессов, где значительную роль играют опиоидергические антиноцицептивные структуры головного мозга, которые, в свою очередь, существенно влияют на процессы поддержания структурного гомеостаза.

Вместе с тем, мы не считаем, что предлагаемая нами методика транскраниальной электростимуляции (электроанальгезии), не является какой-то абсолютной панацеей, в выше сказанном аспекте. Очень широкие показания к применению данной методике, при наличии ограниченного круга противопоказаний, являются естественным отражением основного свойства данного режима транскраниальной электростимуляции (электроанальгезии) - способности активировать защитные механизмы антиноцицептивной системы, которые обладают большим спектром гомеостатических эффектов. Поэтому гомеостатическая направленность

действия транскраниальной электростимуляции проявляется в полной мере при нарушениях регуляции функций систем и органов, не изменяя нормально текущие процессы. Из этого с очевидностью следует, что возможная эффективность лечебных воздействий ТЭС в определенной степени ограничена пределами гомеостатических возможностей организма, которые хотя и весьма велики, но отнюдь не беспредельны и имеют существенные индивидуальные различия. При этом, простота и доступность метода, практическое отсутствие осложнений и противопоказаний делают целесообразным его широкое использование в экспериментально-клинической практике.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Веселова Ф.А., Дашко Д.В. О перспективах применения транскраниальной электростимуляции при регенерации костной ткани // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сборник VII Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 20 декабря 2022 года. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 372-374.
2. Дашко Д.В. Влияние электростимуляции на регенерацию седалищного нерва // Иппология и ветеринария. 2023. № 1(47). С. 129-137. <https://doi.org/10.52419/2225-1537/2023.1.129-137>
3. Дашко Д.В. Гематологические изменения у собак при электроанальгезии // Вестник ИрГСХА. 2013. № 58. С. 102-108.
4. Дашко Д.В. Клинико-лабораторное обоснование способа электроанальгезии собак // Вестник ИрГСХА. 2013. № 57-3. С. 59-66.
5. Дашко Д.В. Лечение гнойно-некротической патологии осложненной бактериальной инфекцией в области дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота // Год науки и технологий 2021: Сборник тезисов по

- материалам Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 09–12 февраля 2021 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2021. С. 43.
6. Дашко Д.В. Определение оптимальных параметров тока и вариантов наложения электродов для проведения электроанальгезии у собак // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, Иркутск, 17–18 апреля 2013 года. Иркутск: Иркутская ГСХА, 2013. С. 183-187.
 7. Дашко Д.В. Оптимизация параметров тока и вариантов наложения электродов при электроанальгезии собак импульсным током прямоугольной формы // Актуальные вопросы аграрной науки. 2013. № 6. С. 27-32.
 8. Дашко Д.В. Экспериментально-клиническое обоснование способа электроанальгезии собак: специальность 16.00.05: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Дашко Денис Владимирович. Омск, 2003. 168 с.
 9. Дашко Д.В., Батомункуев А.С. К вопросу применения перкутанного метода кастрации продуктивных животных в условиях производства // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 4(61). С. 159-163. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.024>
 10. Дашко Д.В., Мельцов И.В. Гистологическая структура печени маньчжурского золотистого перепела // Морфология. 2020. Т. 157, № 2-3. С. 68.
 11. Дашко Д.В., Начатов Н.Я., Дарбинян А.А. Экспериментальное клинико-гематологическое обоснование параметров тока и вариантов наложения электродов при электроанальгезии собак импульсным током прямоугольной формы // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: Материалы Российской научно-практической конференции, Новосибирск, 13–14 февраля 2003 года. Новосибирск, 2003. С. 9-11.
 12. Дашко Д.В., Силкин И.И., Урядников М.А. О природе неинвазивного действия на организм при транскраниальном электрическом воздействии // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Александра Александровича Ежовского, п. Молодежный, 16–17 ноября 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежовского, 2023. С. 77-83.
 13. Инюшева А.И., Дашко Д.В. Экспериментальное изучение аналгетического эффекта транскраниального электровоздействия // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы XI Международной научно-прак-

- тической конференции, Иркутск, 28–29 апреля 2022 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет, 2022. С. 430–437.
14. Кравченко А.А., Дашко Д.В. О перспективе снижения послеоперационной боли у собак // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 16–17 февраля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 59–62.
 15. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниального неинвазивного раздражения антиноцицептивных структур мозга на процессы репарации // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 22–26 марта 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет, 2021. С. 41–44.
 16. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на исходную алкогольную мотивацию у крыс // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 22–26 марта 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет, 2021. С. 136–139.
 17. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на процессы репарации в эксперименте // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы X международной научно-практической конференции, Молодежный, 27–28 мая 2021 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет, 2021. С. 114–115.
 18. Марчук Т.Н., Дашко Д.В. Гематологические показатели у лабораторных животных при электростимуляции // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. С. 149–150.
 19. Марчук Т.Н., Дашко Д.В. О возможности снижения послеоперационной боли у мелких домашних животных // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. С. 147–148.
 20. Мухаметдинова А.В., Дашко Д.В. О возможности применения рефлексотерапии у овец // Научные исследования студентов в решении актуальных

- проблем АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 16–17 февраля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 80-83.
21. Силкин И.И., Дашко Д.В., Урядников М.А. Оптимизация способа общей анестезии кроликов // Климат, экология и сельское хозяйство Евразии: Материалы XII международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 27–28 апреля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 303-307.
 22. Dashko D.V. Treatment of purulo-necrotic pathology complicated by associated bacterial microflora in the hoof area in cows // E3S Web of Conferences, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021. P. 09015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202125409015>
 23. Dashko D.V., Byambaa B. Treatment of purulent-necrotic diseases of the distal region of limbs complicated by bacterial microflora in cattle // Vestnik IrGSHA. 2020. No. 101. P. 128-134. <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2020-101-128-134>
 24. Dashko D., Silkin I. Effect of transcranial electrotherapy stimulation on reparative regeneration of the damaged sciatic nerve in the experiment // E3S Web of Conferences, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021. P. 08010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125408010>
 25. Dashko D.V., Silkin I.I. Relevance of the use of postmortem biomaterial of domesticated yak (*Bos grunniens*) to obtain stem cells from bone marrow // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23>
 26. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil // E3S Web of Conferences, Yekaterinburg, October 15-16, 2020. Yekaterinburg, 2020. P. 02027. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202022202027>
 27. Kucharski P., Antończyk A., Prządka P., Liszka B., Lachowska S., Kielbowicz Z. Clinical usefulness of the anaesthetic protocol using low doses of Tiletamine – Zolazepam combination in continuous rate infusion as a partial intravenous anaesthesia in bitches undergoing laparoscopic surgery // Topics in Companion Animal Medicine. 2022. Vol. 49. P. 100664. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100664>
 28. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (*Bos mutus*) with a cow of a black-and-white Holstein breed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering,

- technology, innovation and digital technologies in agriculture. Ser. 3, Smolensk, January 25, 2021. Smolensk: IOP PUBLISHING LTD, 2021. P. 032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
29. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Morphofunctional changes in rabbit thymus with simultaneous vaccination and disinsection // IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products. Ser. 2, Smolensk, January 25, 2021. Vol. 723. Smolensk, 2021. P. 022060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022060>
30. Silkin I.I., Popov A.P., Dashko D.V. Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems // IOP conference series: earth and environmental science: The conference proceedings, Barnaul, April 19-20, 2019. Vol. 395. IOP Publishing: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012019>

References

1. Veselova F.A., Dashko D.V. On the prospects of transcranial electrical stimulation in bone tissue regeneration. *The role of agrarian science in the sustainable development of rural areas: Collection of VII All-Russian (national) scientific conference with international participation, Novosibirsk, December 20, 2022*. Novosibirsk: Golden Spike Publ., 2022, pp. 372-374.
2. Dashko D.V. Effect of electrical stimulation on the regeneration of the sciatic nerve. *Hippology and Veterinary Medicine*, 2023, no. 1(47), pp. 129-137. <https://doi.org/10.52419/2225-1537/2023.1.129-137>
3. Dashko D.V. Hematologic changes in dogs under electroanalgesia. *Bulletin of the IrGSA*, 2013, no. 58, pp. 102-108.
4. Dashko D.V. Clinical and laboratory substantiation of the method of electroanalgesia in dogs. *Vestnik IrGSKHA*, 2013, no. 57-3, pp. 59-66.
5. Dashko D.V. Treatment of purulent-necrotic pathology complicated by bacterial infection in the area of distal limbs in cattle. *The Year of Science and Technology 2021: Collection of abstracts on the materials of the All-Russian scientific-practical conference, Krasnodar, February 09-12, 2021*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Publ., 2021, p. 43.
6. Dashko D.V. Determination of optimal current parameters and variants of electrode application for electroanalgesia in dogs. *Scientific research and development to implementation in agroindustrial complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Irkutsk, April 17-18, 2013*. Irkutsk: Irkutsk State Agricultural Academy Publ., 2013, pp. 183-187.

7. Dashko D.V. Optimization of current parameters and variants of electrode superimposition at electroanalgesia of dogs by pulse current of rectangular shape. *Actual issues of agrarian science*, 2013, no. 6, pp. 27-32.
8. Dashko D.V. *Experimental and clinical substantiation of the method of electroanalgesia of dogs: specialty 16.00.05: dissertation for the degree of candidate of veterinary sciences*. Omsk, 2003, 168 p.
9. Dashko D.V., Batomunkuev A.S. To the question of application of the percutaneous method of castration of productive animals in production conditions. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*, 2020, no. 4(61), pp. 159-163. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.024>
10. Dashko D.V., Meltsov I.V. Histologic structure of the liver of Manchurian golden quail. *Morphology*, 2020, vol. 157, no. 2-3, p. 68.
11. Dashko D.V., Nachatov N.Y., Darbinyan A.A. Experimental clinical and hematological substantiation of current parameters and variants of electrode overlay at electroanalgesia of dogs with pulse current of rectangular shape. *Actual issues of veterinary medicine: Proceedings of the Russian scientific-practical conference, Novosibirsk, February 13-14, 2003*. Novosibirsk, 2003, pp. 9-11.
12. Dashko D.V., Silkin I.I., Uryadnikov M.A. On the nature of non-invasive action on the body at transcranial electric influence. *Problems and prospects of sustainable development of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation, dedicated to the memory of Alexander A. Ezevsky, Molodezhny, November 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 77-83.
13. Inyusheva A.I., Dashko D.V. Experimental study of the analgesic effect of transcranial electrical action. *Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, Irkutsk, April 28-29, 2022*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University Publ., 2022, pp. 430-437.
14. Kravchenko A.A., Dashko D.V. On the prospect of reducing postoperative pain in dogs. *Scientific research of students in solving urgent problems of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian student scientific-practical conference, Irkutsk, February 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 59-62.
15. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial non-invasive irritation of antinociceptive brain structures on the processes of repair. *Actual problems of veterinary science and practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference, Omsk, March 22-26, 2021*. Omsk: Omsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 41-44.

16. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial electrical stimulation on the initial alcohol motivation in rats. *Actual problems of veterinary science and practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference, Omsk, March 22-26, 2021*. Omsk: Omsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 136-139.
17. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial electrical stimulation on repair processes in the experiment. *Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the X international scientific-practical conference, Molodezhny, May 27-28, 2021*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 114-115.
18. Marchuk T.N., Dashko D.V. Hematological parameters in laboratory animals under electrical stimulation. *Challenges and innovative solutions in agrarian science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Production Conference, Maisky, April 12, 2023. Vol. 2*. Mayskiy: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin Publ., 2023, pp. 149-150.
19. Marchuk T.N., Dashko D.V. On the possibility of reducing postoperative pain in small domestic animals. *Challenges and innovative solutions in agrarian science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Production Conference, Maisky, April 12, 2023. Vol. 2*. Mayskiy: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin Publ., 2023, pp. 147-148.
20. Mukhametdinova A.V., Dashko D.V. On the possibility of using reflexotherapy in sheep. *Scientific research of students in solving urgent problems of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian student scientific-practical conference, Irkutsk, February 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 80-83.
21. Silkin I.I., Dashko D.V., Uryadnikov M.A. Optimization of the method of general anesthesia of rabbits. *Climate, ecology and agriculture of Eurasia: Proceedings of the XII International Scientific Conference, Molodezhny, April 27-28, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 303-307.
22. Dashko D.V. Treatment of purulo-necrotic pathology complicated by associated bacterial microflora in the hoof area in cows. *E3S Web of Conferences*, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021, 09015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202125409015>
23. Dashko D.V., Byambaa B. Treatment of purulent-necrotic diseases of the distal region of limbs complicated by bacterial microflora in cattle. *Vestnik IrGSHA*, 2020, no. 101, pp. 128-134. <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2020-101-128-134>
24. Dashko D., Silkin I. Effect of transcranial electrotherapy stimulation on reparative regeneration of the damaged sciatic nerve in the experiment. *E3S Web*

- of Conferences*, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021, 08010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125408010>
25. Dashko D.V., Silkin I.I. Relevance of the use of postmortem biomaterial of domesticated yak (*Bos grunniens*) to obtain stem cells from bone marrow. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23>
 26. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil. *E3S Web of Conferences*, Yekaterinburg, October 15-16, 2020. Yekaterinburg, 2020, 02027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202027>
 27. Kucharski P., Antończyk A., Prządka P., Liszka B., Lachowska S., Kielbowicz Z. Clinical usefulness of the anaesthetic protocol using low doses of Tiletamine – Zolazepam combination in continuous rate infusion as a partial intravenous anaesthesia in bitches undergoing laparoscopic surgery. *Topics in Companion Animal Medicine*, 2022, vol. 49, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100664>
 28. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (*Bos mutus*) with a cow of a black-and-white Holstein breed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture*. Ser. 3, Smolensk, January 25, 2021. Smolensk: IOP PUBLISHING LTD, 2021, 032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
 29. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Morphofunctional changes in rabbit thymus with simultaneous vaccination and disinsection. *IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products*. Ser. 2, Smolensk, January 25, 2021. vol. 723. Smolensk, 2021, 022060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022060>
 30. Silkin I.I., Popov A.P., Dashko D.V. Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems. *IOP conference series: earth and environmental science: The conference proceedings, Barnaul, April 19-20, 2019*. Vol. 395. IOP Publishing: IOP Publishing Ltd, 2019, 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012019>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дашко Денис Владимирович, кандидат ветеринарных наук, доцент,
доцент

*ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А.Ежевского*

*п. Молодёжный, Иркутский р-он., Иркутская обл., 664038, Россий-
ская Федерация*

den120577@bk.ru

Урядников Максим Алексеевич, аспирант

*ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А.Ежевского*

*п. Молодёжный, Иркутский р-он., Иркутская обл., 664038, Россий-
ская Федерация*

m.uriadnikov@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Dashko, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky

*Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian
Federation*

den120577@bk.ru

SPIN-code: 8335-0871

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-7301>

Scopus Author ID: 57221097546

Maksim A. Uryadnikov, Postgraduate Student

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky

*Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian
Federation*

m.uriadnikov@yandex.ru

SPIN-code: 9355-8555

Поступила 26.05.2024

После рецензирования 09.06.2024

Принята 26.06.2024

Received 26.05.2024

Revised 09.06.2024

Accepted 26.06.2024