

***ГЕРАСИМОВ А.А., *САКОВИЧ В.П.,
*МОРГАНЬИ М.А., **ЮЖАКОВ Д.И.**

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ СПИННОГО МОЗГА
ВНУТРИКАНЕВОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИЕЙ
ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ТРАВМЕ**
(экспериментально-клиническое исследование)

**Уральская государственная медицинская академия,
**Уральский нейрохирургический центр им. Д.Г. Шеффера*

Актуальность восстановления функций спинного мозга не вызывает сомнений, особенно в связи с возрастанием в последние десятилетия частоты и тяжести различных повреждений осложненных травм позвоночника (8). Из многочисленных методов восстановления функций спинного мозга преимущество отдается методам электростимуляции. Известно, что кожа блокирует электрический ток [2], поэтому исследователи подводят ток непосредственно к спинному мозгу. При такой электростимуляции спинного мозга с применением погружных электродов эффективность достаточно высока [3,6,10]. Недостатками прямой стимуляции спинного мозга являются: сложность и трудоемкость техники подведения электрода, дороговизна её выполнения и стоимости систем для электростимуляции, необходимость операции, опасность развития стойкого, трудно поддающегося лечению электролитического поражения спинного мозга и гнойные осложнения.

Для устранения этих недостатков разработана методика внутритканевой электростимуляции (ВТЭС) с целью восстановления функции спинного мозга, сущность которой заключается в пункционном подведении иглы-электрода к остистому отростку или дужке позвонка. Позвоночник и спинной мозг следует рассматривать как единый комплекс, так как они имеют один источник кровоснабжения и иннервации [4,5]. На основе этих анатомических особенностей экспериментально доказана возможность подведения электрического импульсного тока к спинному мозгу через окружающие ткани и в частности через костную ткань позвоночника [1,9].

Целью настоящей работы было оценить в эксперименте эффективность ВТЭС в сравнении с прямой эпидуральной и кожной электростимуляциями спинного мозга после нанесения животным позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ) и показать результативность ВТЭС в лечении больных, перенесших ПСМТ.

Материалы и методы исследования. Сначала была проведена экспериментальная работа на 34 крыс линии Вистар для изучения эффективности ВТЭС. Во всех случаях животным проводилось одинаковое повреждение спинного мозга только с одной стороны. Повреждение производили во время операции после ламинэктомии, иглой диаметром 1,2 мм.

Животные были разделены на четыре группы. Первая группа являлась контрольной и состояла 6 без лечения. Во второй группе из 14 крыс, восстановление проводили внутритканевой электростимуляцией по А.А. Герасимову. В третьей группе 7 крыс лечение проводили методом эпидуральной электростимуляцией [6]. В четвертой группе (7) животных лечение проводили методом накожной электростимуляции.

Контрольная группа (первая группа - плацебо эффект). Один электрод в виде иглы вводили в дужку позвонка, а второй накожный электрод укладывали на конечности. Ток через электроды не проводили. Внутритканевая электростимуляция по А.А. Герасимову (вторая группа) заключалась в применении импульсного тока частотой 20 Гц и силой 10-20 мА, вызывающей сокращение мышц. Способ осуществлялся в 3 этапа. На первом этапе: игла-электрод, являясь анодом, вводилась к остистому отростку по средней линии на уровне T₉ ниже места повреждения, а накожный электрод – катод, площадью 0,5 см², располагали в лобно-теменной области. Второй этап: игла-электрод, являясь катодом, вводилась к остистому отростку по средней линии на уровне T₁₁ выше места повреждения, а накожный электрод – анод, площадью 0,5 см², располагается в проекции нервного пучка (малоберцовой и передней большеберцовой мышц). Третий этап: игла-электрод остается в той же точке, что и во время второго этапа, только полярность меняется на положительную.

Прямая эпидуральная электростимуляция (третья группа), проводилась следующим образом. Электрод вводили в эпидуральное пространство во время операции путем подведения электрода длиной 5 мм под дужку позвонка выше и ниже уровне повреждения и фиксировали узловым швом на коже. Электростимуляция проводилась по вышеописанной методике.

Накожная электростимуляция (четвертая группа) проводилась установлением электродов на выбритую кожу. В области мышц голени укладывали два электрода площадью 0,5 см² в проекции большеберцового нерва.

Во всех группах процедуры проводили со второго дня после операции до 28 дня по 30 минут каждая. Для лечения использовали во всех случаях один и тот же аппарат, а также одинаковые характеристики тока. Фактически группы животных отличались друг от друга места подведения активного электрода к спинному мозгу. Для контроля эффективно-

сти восстановления функции спинного мозга проводили исследования на 2, 7, 14, 21, 28 сутки после операции. Для оценки функции спинного мозга использовали следующие методы: оценка по шкале Basso [7], проба на тредбане, электронейромиография (ЭНМГ) и гистологическое исследование препаратов спинного мозга. Оценка по шкале Basso включала увеличение движений от 0 до 21 балла [7]. Проба на тредбане оценивалась во время ходьбы по дорожке со скоростью 8 м/мин.

ЭНМГ-исследования проводили на аппарате "Нейромиан". ЭНМГ-электрод имплантировали во время операции в большеберцовую мышцу (сгибатель стоп) у 12 крыс (по 3 крысы в каждой группе). Норму показателей ЭМГ набирали у трех крыс без повреждения спинного мозга. Значения амплитуды составили $1734,7 \pm 97$ мВ и частоты – $139,2 \pm 9,4$ Гц. Регистрация ЭМГ проводилась у всех животных при нагрузке на 28 день.

Гистологическое исследование спинного мозга производили на 29 сутки после операции с окрашиванием препаратов спинного мозга гематоксилином и эозином, по Ван-гизону и Суданом Б, на фосфолипиды (для оценки миелиновых оболочек).

Клинические исследования проведены на 30 пациентах, перенесших ПСМТ. Все больные с ПСМТ разной степени тяжести были разделены на две группы. Первая группа состояла из больных в позднем периоде (15 человек), а вторая из больных в раннем и промежуточном периодах ПСМТ (15 человек). Результаты лечения у больных первой и второй группы оценивались по следующим критериям: динамика двигательных, чувствительных и тазовых нарушений; динамика нейрофизиологических показателей; сроки и степень социальной адаптации. Динамика двигательных нарушений оценивалась по классификации ASIA/AMSOP и по 5-ти бальной шкале силы мышц конечностей.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Оценку по Шкале Basso проводили на второй 7, 14, 21, 28 сутки после операции. Наблюдения проводили за животными для регистрации результатов каждого теста в течение 8 мин двумя наблюдателями. До операции у всех животных оценка составляла 21 балл (здоровые животные). После пробуждения животных из наркоза у всех крысы отмечался парализованность мышц тазовых конечностей. Передвижение животных вперед происходило с помощью передних конечностей, при этом стопа в положении разгибания и отведения. Результат лечение на 28 день во второй группе $19,5 \pm 2,9$, в первой $15,7 \pm 0,6$, в третьей $19,43 \pm 0,48$ и в четвертой $15,57 \pm 0,90$.

Оценка ходьбы по узкой деревянной доске (Narrow-beam crossing).

До операции все животные смогли без затруднения пройти 3 разных препятствия, набрав 6 баллов. На 2,7, 21,28 день после опера-

ции, при хождении крыс без лечения на доске результаты были следующие: на вторые сутки 0; на 7 сутки - 1; на 21 - 1,5; на 28 - 2. После лечения ВТЭС в соответствующие дни результаты были следующие: 0, 2, 5,5; после ПЭЭС: 0, 2, 5,5; при накожной процедуре ЭС: 0, 1, 2, 3.

Ходьба на тредбане. Проводилась на 28 сутки. Исследовали среднюю продолжительность ходьбы. Во второй группе продолжительность ходьбы составила 48 мин; в третьей группе 49 мин, в четвертой группе 8 минут.

При ЭМГ-исследовании электрод имплантировали во время операции в большеберцовую мышцу (сгибатель стоп) у 12 крыс (по 3 крысы в каждой группе). Норму показателей ЭМГ набирали у трех крыс без повреждения спинного мозга. Значения амплитуды составили $1734,7 \pm 97$ мВ и частоты - $139,2 \pm 9,4$ Гц. Регистрация ЭМГ проводилась у всех животных при нагрузке на 28 день. Значение амплитуды в первой группе (без лечения) составило $715,67 \pm 156,36$ мВ., во второй группе (ВТЭС) - $1345,5 \pm 117$ мВ., в третьей группе (ПЭЭС) - $1424 \pm 138,79$ мВ., в четвертой группе (накожная ЭС) - $888,33 \pm 56,05$ мВ.

Значение частоты ЭМГ на 28 день после повреждения спинного мозга составило в первой группе (без лечения) $68,67 \pm 10,17$ Гц, во второй группе (ВТЭС) - $117 \pm 10,46$ Гц, в третьей группе (ПЭЭС) - $111 \pm 13,05$ Гц, в четвертой группе - $74,67 \pm 6,39$ Гц. Выявлена достоверная корреляция 0,7 между результатами шкалы Basso и параметрами частоты полученных при ЭМГ-исследованиях.

Отмечалось достоверное отличие по Шкале Basso ($P < 0,001$) и по параметрам (частота и амплитуда) ЭМГ ($P < 0,02$) на 28 сутки между второй (ВТЭС) и первой (контрольной) группой, между второй (ВТЭС) и четвертой (н/кЭС) группой, между третьей (ПЭЭС) и первой (контрольной) группой, а также между третьей (ПЭЭС) и четвертой (н/кЭС) группой. В свою очередь, между ВТЭС и ПЭЭС, равно как между н/кЭС и контрольной группой достоверных отличий не отмечалось.

Результаты лечения оценивались по следующим критериям. Отличные: по шкале Basso составили 20,21 балл; при ЭМГ-исследованиях амплитуды ≥ 1400 , а частота ≥ 120 ; при исследованиях на тредбане во время бега животных ≥ 10 мин.

Хорошие результаты: Basso - 18, 19 баллов; при ЭМГ-исследованиях амплитуды ≥ 1100 и < 1400 , частота ≥ 90 и < 120 ; время бега на тредбане < 10 мин.

Удовлетворительные: Basso - 14, 15, 16, 17 баллов; ЭМГ-показатели - амплитуды ≥ 800 и < 1100 , частота ≥ 70 и < 90 .

Неудовлетворительные: Basso - 0-13 баллов; ЭМГ-показатели - амплитуды < 800 , частота < 70 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты лечения

Группа	Результаты (%)			
	Отличные	Хорошие	Удовлетв.	Неудов.
Контрольная (без лечения)	0	0	6 (100,0)	0
Внутриклеточная электростимуляция	7 (50%)	7(50.%)	0	0
Эпидуральная ЭС	3 (42,9 %)	4(57,1%)	0	0
Накожная ЭС	0	2(14,28%)	6(85,71%)	0

Из результатов анализа данных эксперимента, следует, что полное восстановление функции спинного мозга наблюдалось во второй у 7 (50%) и третьей 3 (42,9%) группах. Незначительный дефицит функции (хороший результат) был во второй группе у 7 (50%) животных, в третьей - у 4 (57,1%) крыс и в четвертой группе у 2 (28,6%) животных. Значительной дефицит функции спинного мозга (удовлетворительный результат) наблюдали в первой группе у 5 (57,1%) и в четвертой группе у 6 (100%). Следовательно, внутриклеточная электростимуляция и эпидуральная электростимуляция дают значительно лучшие результаты восстановления функций спинного мозга, по сравнению с накожной ЭС и в случаях отсутствия какого либо лечения.

Гистологическими исследованиями доказано, что при внутриклеточной и эпидуральной электростимуляции менее выражены признаки воспаления и деструкции нервной ткани. Через 29 суток нами показано, что процесс ремиелинизации (формирование миелиновых оболочек вокруг части аксонов тканей спинного мозга) и её объем выше по сравнению с опытной группой животных, лечивших накожной ЭС и не получавших лечения. Эти результаты доказывают эффективность метода ВТЭС и возможность использования его в клинической практике.

Результаты использования ВТЭС в клинической практике. Результаты применения метода ВТЭС в первой группе (позднем периоде) ASIA/AMSOP были следующими: из В группы в Д перешел 1 больной, из Д в Е – 5, из С в Д – 4 пострадавших. Классификации ASIA/AMSOP не отражает полностью динамики восстановления двигательной активности, так как не учитывает силу мышц. Мышечная сила была полностью восстановлена у 4 (30%) больных, улучшение у 10 (63,3%)больных, у 1 (6,7%) пациентов не было динамики. Нарастание мышечной силы составляло в среднем 1,2 балла. Во второй группе (раннем и промежуточном периодах) результаты по ASIA/AMSOP были следующими: из С группы в Д перешли 2 больных, из Д в Е – 3 по-

страдавших. Мышечная сила была полностью восстановлена у 3 (20%) больных, улучшение у 9 (60%) и у 3(20%) пациентов с полным нарушением проводимости спинного мозга не было динамика. Нарастание мышечной силы составляло в среднем 2,2 балла.

В первой группе отмечено полное восстановление чувствительности у 3 (20%), улучшение у 6 (73,3%) больных и у одного пациента с полным нарушением проводимости (6,7%) без динамики. Нарастание чувствительности составляло в среднем 0,5 балла. Во второй группе отмечено полное восстановление чувствительности у двух (13,3%) и улучшение у 9 (60%), без изменения 3 (20%) больных. Нарастание чувствительности составляло в среднем 0,6 балла. В первой группе после лечения у 3 (37,5%) функции мочевого пузыря полностью восстановилась, у 4 (50%) наблюдали улучшение, без динамики - у одного (12,5%) пострадавшего. Функция кишечника восстановилась у одного (25%), улучшение - у 3 (75%). Функция мочевого пузыря во второй группе после лечения была следующей: полное восстановление у 3 больных (37,5), улучшение у 5 (45,5%), и у 3 (37,5%) пострадавших без динамики кроме появления чувства наполнения мочевого пузыря. Функция кишечника восстановилась у двух (25%), улучшение - у 3 (37,3%), без динамики - у 3 (37,3%). В первой и второй группе ухудшение первоначальных показателей не наблюдалось.

По степени ЭНМГ нарушений I и II группы были сопоставимы. В I группе ЭНМГ нарушения нормализовались в результате лечения у 26,7% больных, в 40% случаев наблюдались легкие остаточные нарушения, достаточно выраженные изменения на электронейромиограмме сохранялись в 6,7% случаев. Во II группе в результате лечения нарушения нормализовались у 26,7% больных, в 43,3% случаев наблюдались легкие остаточные нарушения, достаточно выраженные изменения на электромиограмме сохранялись в 20% случаев, в зоне иннервации отдельных ветвей сплетения. После лечения увеличилось количество больных с ЭНМГ изменениями легкой степени тяжести.

При проведении ВТЭС осложнений не было. Наблюдались следующие побочные реакции: болезненность места вкола иглы у 7% пациентов после первой процедуры, что объясняется перераздражением нервных рецепторов кожи при длительной или интенсивной токовой нагрузке; у 11 (36,7%) пациентов имелись точечные локальные ожоги кожи в месте введения иглы-электрода. Такие точечные ожоги не требуют лечения. Под действием электролечения у больных с лабильной гемодинамикой или с гипертонической болезнью временно повышается артериальное давление, такие реакции отмечены у 4 больных. Прием гипотензивных препаратов позволил закончить у них курс лечения внутритканевой электростимуляцией.

Профилактикой таких реакций является строгий учет противопоказаний для ВТЭС: сердечно-сосудистая недостаточность, стенокардия, гипертоническая болезнь II стадии, нарушение ритма сердца, онкологические заболевания, психические болезни, острые воспалительные процессы, беременность.

Выводы

1. Комплекс методов объективной оценки по шкале Бассо, проба на тредбане, ЭНМГ позволяют контролировать степень восстановления функций спинного мозга у животных после экспериментального повреждения.

2. Инвазивные методы подведения тока к спинному мозгу более эффективны, чем неинвазивные способы электростимуляции. Методы внутритканевой и эпидуральной электростимуляции являются в одинаковой степени эффективными и позволяют качественно восстанавливать утраченные функции спинного мозга при неполном его повреждении.

3. Метод внутритканевой электростимуляции по Герасимову является простым и безопасным при восстановлении функций спинного мозга при травмах, а отсутствие осложнений является преимуществом при использовании его в клинической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов А.А. Лечение больных с дистрофическими заболеваниями суставов и позвоночника способом внутритканевой электростимуляции: Дисс... док. мед. наук. - СПб., 1995.-236с.
2. Джонсон С.С. Воздействие неионизирующего электромагнитного излучения на биологические среды // Журнал ТИИЭР.-1972.-Т.60.-№6.-С.49-82.
3. Медведева С.В. Электрическая стимуляция мозга и нервов у человека / С.В. Медведева.- СПб.: Наука, 1990. - 53-68с.
4. Отелин А.А. Иннервация скелета человека / А.А. Отелин.- М.: Медицина, 1965. - 34-43с.
5. Скоромец А.А., Тиссен Т.П., Панюшкин А.И., Скоромец Т.А. Сосудистые заболевания спинного мозга. - СПб: Сотис, 1998. - 526с.
6. Шапкова Е.Ю., Мушкин А.Ю., Гуторко В.А. Способ лечения больных с хроническим поражением спинного мозга. Заявлено 2000.08.10 // Открытия. Изобретения. -2001.- № 2204423 (13). 176.
7. Basso D.M., Beattie M.S., Bresnahan J.C. 1996. Graded histological and locomotor outcomes after spinal cord contusion using the NYU weight-drop device versus transection. // Exp. Neurol. -139: 244-256. -62.
8. Blumer C.E., Quine S. Prevalence of spinal cord injury: an international comparison. // Neuroepidemiology. 1995. 14(5):258-268. (1)
9. Steven D.G., John R.D., Ronaldo M.P., Jordan L., John R.J. Aprospective analysis of intraoperative electromyographic monitoring of pedicle screw placement with computed scan confirmation. // Spine. -1995. -Vol. 20. -P.1375-1379.
10. Richardson R. Transcutaneous electrical neurostimulation. // Illinois Med. J. - 1981. - Vol. 159, N4. - P.227-230.