

## ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНО-БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ТРАВМЫ СПИННОГО МОЗГА И ЕЕ УСИЛЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ЭПИДУРАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Щурова Е.Н.<sup>1</sup>, Качесова А.А.<sup>1</sup>, Ерохин А.Н.<sup>2</sup>, Прудникова О.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: elena.shurova@mail.ru;

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, Тюмень

В литературе не уделено должного внимания описанию патофизиологических особенностей компенсации функций чувствительной сферы (температурно-болевого чувствительности) пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы после частичного повреждения спинного мозга. Цель - выявить закономерности компенсации нарушений температурно-болевого чувствительности в отдаленном периоде позвоночно-спинномозговой травмы после частичного повреждения спинного мозга и ее усиление посредством эпидуральной электрической стимуляции. Проведено исследование 54 пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы при наличии частичного повреждения спинного мозга - тип В (по шкале ASIA). С помощью электрического эстезиометра осуществляли исследование температурно-болевого чувствительности по общепринятой схеме дерматомов. Исследование проводилось при поступлении и после эпидуральной электрической стимуляции. Был определен смешанный и разнообразный характер состояния температурно-болевого чувствительности, который проявлялся в наличии различных величин порогов (нормостезии, гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезии болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии) как в дерматомах, соответствующих уровню повреждения, так и в дерматомах, расположенных более дистально (первая закономерность). Регистрировалась прямая взаимосвязь между количеством дерматомов от уровня повреждения и долей термоанестезии и термоаналгезии, и обратная связь с процентом гипестезии болевой чувствительности (вторая закономерность). После эпидуральной электрической стимуляции компенсация нарушений в большинстве случаев осуществлялась посредством снижения термоаналгезии за счет формирования нормостезии либо гипестезии, в меньшей степени гиперестезии. Увеличение случаев нормостезии болевой чувствительности происходило как за счет снижения термоаналгезии, так и уменьшения гипестезии. Процесс компенсации нарушений температурно-болевого чувствительности у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы при частичном повреждении спинного мозга имел смешанный (адаптивный и дезадаптивный) характер и зависел от топографической локализации дерматомов. Основным направлением компенсации нарушений температурно-болевого чувствительности при эпидуральной стимуляции является переход термоаналгезии в нормостезию и гипестезию.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, травма спинного мозга, температурно-болевого чувствительность, компенсация нарушений, эпидуральная электрическая стимуляция.

## PATHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF COMPENSATION FOR DISTURBANCES IN THERMAL PAIN SENSITIVITY IN THE LONG-TERM PERIOD AFTER THE SPINE CEREBROSPINAL INJURY AND ITS INTENSIFICATION THROUGH EPIDURAL STIMULATION

Shchurova E.N.<sup>1</sup>, Kachesova A.A.<sup>1</sup>, Erokhin A.N.<sup>2</sup>, Prudnikova O.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSBI National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics of the RF Ministry of Health, Kurgan, e-mail: elena.shurova@mail.ru;

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution Tyumen State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tyumen

In the literature, due attention has not been paid to the description of the pathophysiological features of compensation of the functions of the sensitive sphere (thermal pain sensitivity) in patients with long-term consequences of the spine cerebrospinal injury after partial damage to the spinal cord. To reveal consistent patterns of compensation for disturbances in thermal pain sensitivity in the long-term period of the spine

cerebrospinal injury after partial damage to the spinal cord, and its intensification through epidural electrical stimulation. A study was performed in 54 patients with long-term consequences of the spine cerebrospinal injury in the presence of partial spinal cord injury – type B (according to the ASIA scale). By using an electric esthesiometer, thermal pain sensitivity was studied according to the generally accepted dermatome scheme. The study was performed on admission and after epidural electrical stimulation. Mixed and varied nature of the state of thermal pain sensitivity was determined, which manifested itself in the presence of different threshold values (normosthesia, hypoesthesia of thermal and pain sensitivity, hyperesthesia of pain sensitivity, thermal anesthesia and thermal analgesia), both in the dermatomes corresponding to the level of damage, and in the dermatomes located more distally (first pattern). A direct interdependence was recorded between the number of dermatomes from the level of damage and the proportions of thermo-anesthesia and thermos-analgesia, and an inverse relationship with the percentage of hypoesthesia of pain sensitivity (the second pattern). After epidural electrical stimulation, the compensation for disturbances, in most cases, was performed by reducing thermal analgesia due to the formation of normosthesia, or hypoesthesia, or, to a lesser extent, hyperesthesia. The increase in cases of normosthesia of pain sensitivity occurred both due to a decrease in thermal analgesia and a decrease in hypoesthesia. The process of compensation for disturbances in thermal pain sensitivity in patients with long-term consequences of the spine cerebrospinal injury with partial spinal cord damage was of mixed (adaptive and maladaptive) nature and depended on the topographic localization of the dermatomes. The main direction of the compensation for disturbances in thermal pain sensitivity during epidural stimulation is the transition of thermal analgesia to normosthesia and hypoesthesia.

Keywords: spine cerebrospinal injury, spinal cord injury, thermal pain sensitivity, compensation for disturbances, epidural electrical stimulation.

Последствия позвоночно-спинномозговой травмы являются серьезной медицинской и социально-экономической проблемой современного общества [1; 2]. В отдаленные сроки наблюдения у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой регистрируется сформированный комплекс морфофункциональных изменений на уровне повреждения с клиническими проявлениями грубых неврологических и функциональных нарушений [3; 4].

Процесс компенсации нарушенных функций у данной категории пациентов во многом обусловлен особенностями пластических изменений в нервной системе [4; 5]. В литературе понятие «нейропластичность» трактуется как возможность нервных структур к перестройке функциональных свойств под влиянием длительных внешних воздействий, локальных повреждений нервной ткани [5]. Однако по-прежнему нет четкого определения функционального значения нейропластичности после травмы спинного мозга [6].

В настоящее время в литературе отсутствует описание патофизиологических особенностей компенсации функций чувствительной сферы у данной категории пациентов ввиду того, что в большинстве случаев для оценки состояния пациента используются шкалы ISNCSCI и ASIA, в которых недостаточно уделено внимание сенсорной сфере (нет анализа температурно-болевого чувствительности) [7-9]. Кроме того, применение шкал ISNCSCI и ASIA не позволяет выявить субклинические изменения чувствительности и не может точно оценить результаты реабилитации.

Инструментальные исследования температурно-болевого чувствительности у пациентов в хронической фазе позвоночно-спинномозговой травмы с неполным повреждением спинного мозга представлены в редких публикациях, где нет распределения по типам повреждения (B, C, D) и уровню травмы спинного мозга [8-10].

Цель исследования - выявить закономерности компенсации нарушений температурно-болевой чувствительности в отдаленном периоде позвоночно-спинномозговой травмы после частичного повреждения спинного мозга и ее усиление посредством эпидуральной стимуляции.

### **Материал и методы исследования**

В исследовании принимали участие 54 пациента (49 мужчин и 5 женщин) с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы ( $3,6 \pm 0,6$  года, от 1,5 до 12 лет) в возрасте от 18 до 56 лет ( $31,3 \pm 1,5$  года). Пациенты имели частичное повреждение спинного мозга - тип В по шкале ASIA. Последствия позвоночно-спинномозговой травмы были зарегистрированы: в шейном отделе позвоночника (C<sub>4</sub> - C<sub>7</sub> позвонки) у 23 пациентов (42,6%); в грудном отделе (Th<sub>3</sub> - Th<sub>10</sub> позвонки) в 16 случаях (30,0%); в - груднопоясничном отделе (Th<sub>11</sub> - L<sub>1</sub> позвонки) у 15 пациентов (27,4%). Критериями включения в группу обследуемых являлись: отдаленный период позвоночно-спинномозговой травмы; уровень повреждения – шейный, грудной, поясничный отдел позвоночника; тип В неврологических нарушений по шкале ASIA. Критериями исключения были: тип неврологических нарушений - А, С, D по шкале ASIA; острый, промежуточный периоды травмы спинного мозга.

Неврологический статус пациентов оценивался с помощью шкал: ISNCSCI (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury); ASIA (American Spinal Injury Association) [7]. Сенсорные нарушения проявлялись в виде снижения тактильной, болевой и проприоцептивной чувствительности ниже уровня повреждения.

Все обследуемые пациенты имели в анамнезе хирургический этап лечения (декомпрессивно-стабилизирующие операции) и неоднократные курсы лечебно-реабилитационных мероприятий.

Анализ температурно-болевой чувствительности производился с применением электрического эстеziометра (термистор фирмы EPCOS Inc., Германия) по общепринятой схеме дерматомов. Определялся порог тепловой и болевой (от горячего) чувствительности (в градусах по Цельсию). Параллельно осуществлялось измерение температуры кожного покрова (Termostar, фирмы Nihon Kohden, Япония).

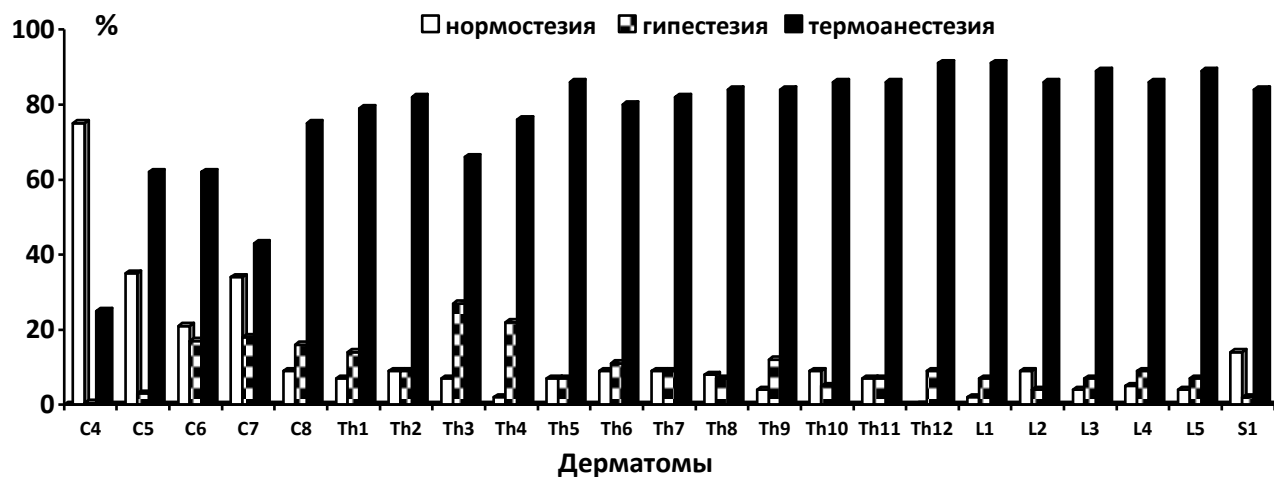
Пациенты обследовались при поступлении в Центр и после эпидуральной электрической стимуляции. Имплантацию временного эпидурального электрода осуществляли малоинвазивно. Эпидуральную электрическую стимуляцию выполняли с использованием нейромышечного стимулятора «РехаБраво» (MTR+ Vertriebs GmbH, Германия), в режиме Continuous (непрерывный), с частотой следования 5 Гц и продолжительностью импульсов 450 мс. Длительность выполняемой процедуры составляла 10 мин., два раза в сутки в течение 10 дней.

Выполненные исследования были одобрены комитетом по этике ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава РФ (22.10.2019 № 4 (64)) и соответствовали этическим стандартам Хельсинкской декларации с последующими поправками. Лица, принимающие участие в исследовании, подписали информированное согласие на проведение исследований, публикацию соответствующей медицинской информации.

Статистическую оценку полученных данных осуществляли с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel 2010 с надстройкой Attestat. С помощью критерия Шапиро - Уилка и Колмогорова - Смирнова определялась нормальность распределения полученных показателей. В случаях нормального распределения данных был использован параметрический метод – t-критерий Стьюдента. При отсутствии нормального распределения применялся непараметрический принцип статистической обработки, где показатели представлены в виде медианы (Me), первого (Q1) и третьего (Q3) квартилей и использовались непараметрические методы статистического анализа (критерий Вилкоксона, U-критерий Манна – Уитни). Производили расчет частоты встречаемости (в %) разных видов изменений температурно-болевой чувствительности как отношение количества наблюдений ( $n$ ) разных вариантов к общему количеству наблюдений ( $N$ ) по формуле:  $f_i = n_i / N * 100\%$ , где  $f_i$  - частота  $i$ -го признака,  $n_i$  – число наблюдений  $i$ -го признака,  $N$  – общее количество наблюдений в данной группе обследуемых. Взаимосвязь между показателями определяли с помощью теста корреляции Пирсона. Результаты корреляционного анализа представлены коэффициентом корреляции ( $r$ ) и уровнем значимости ( $p$ ) с оценкой тесноты связи по шкале Чеддока. Критический уровень значимости при проверке результатов составлял 0,05.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Результаты исследования подтвердили наличие определенных закономерностей в состоянии температурно-болевой чувствительности в отдаленные сроки после частичной травмы спинного мозга. Первая закономерность заключалась в смешанном характере, многообразии, наличии различных величин порогов (нормостезии, гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезия болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии) как в дерматомах, соответствующих уровню повреждения, так и в дерматомах, расположенных более дистально. Данный факт прослеживается при исследовании последствий позвоночно-спинномозговой травмы в шейном, грудном и груднопоясничном отделах позвоночника (рис. 1-3).

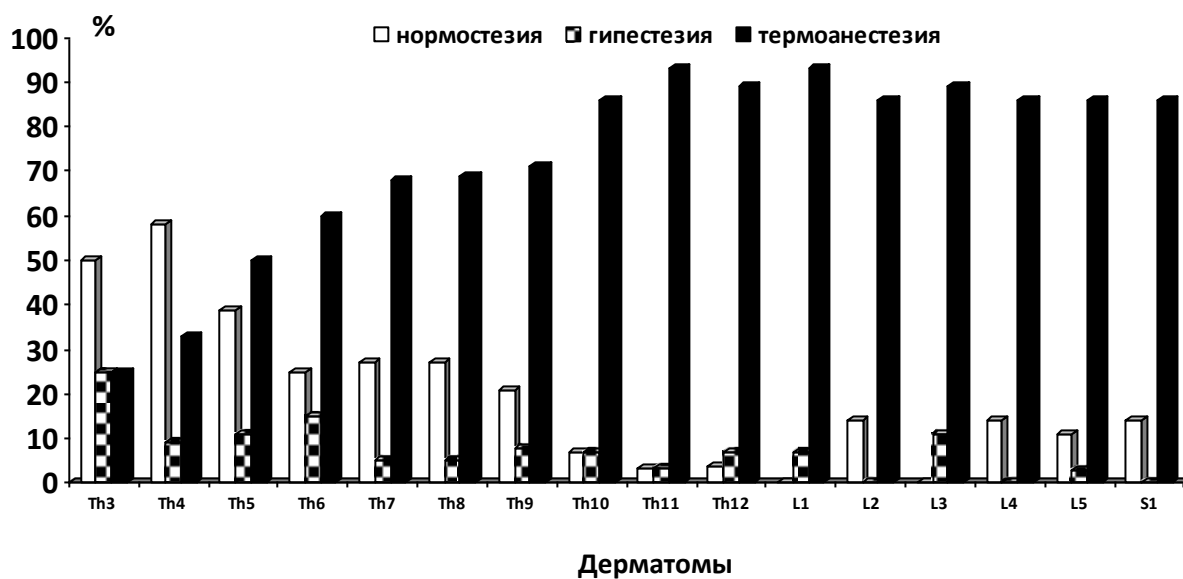


А

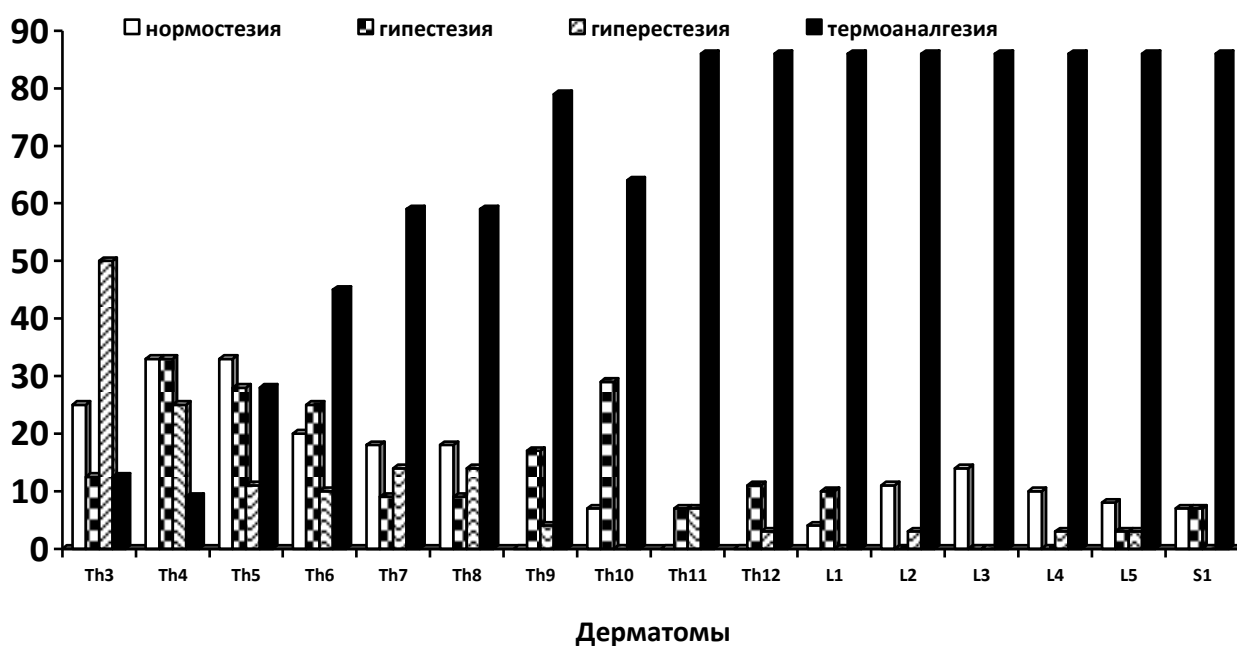


Б

Рис. 1. Частота встречаемости (%) нарушений температурно-болевой чувствительности у пациентов с отдаленными последствиями частичного повреждения шейного отдела спинного мозга (тип В по шкале ASIA). А - тепловая чувствительность, Б - болевая чувствительность

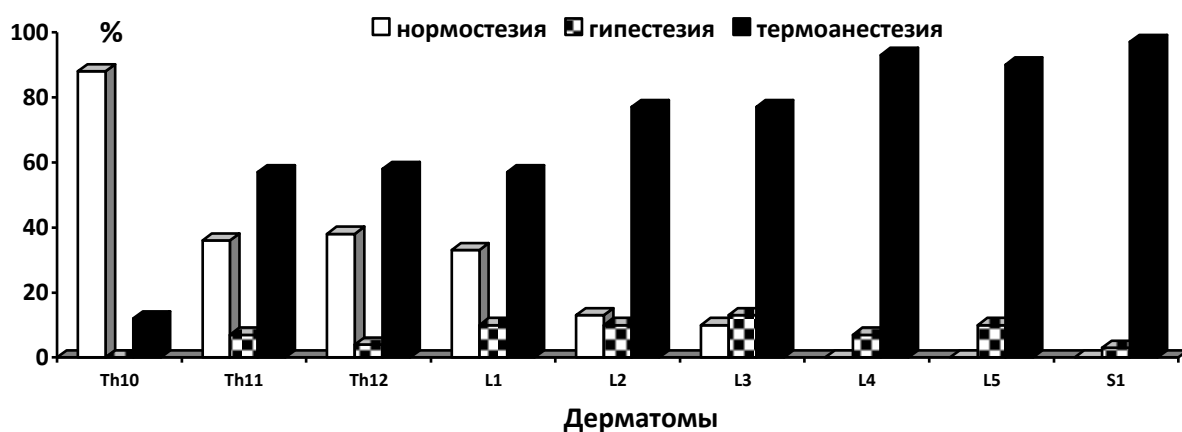


А

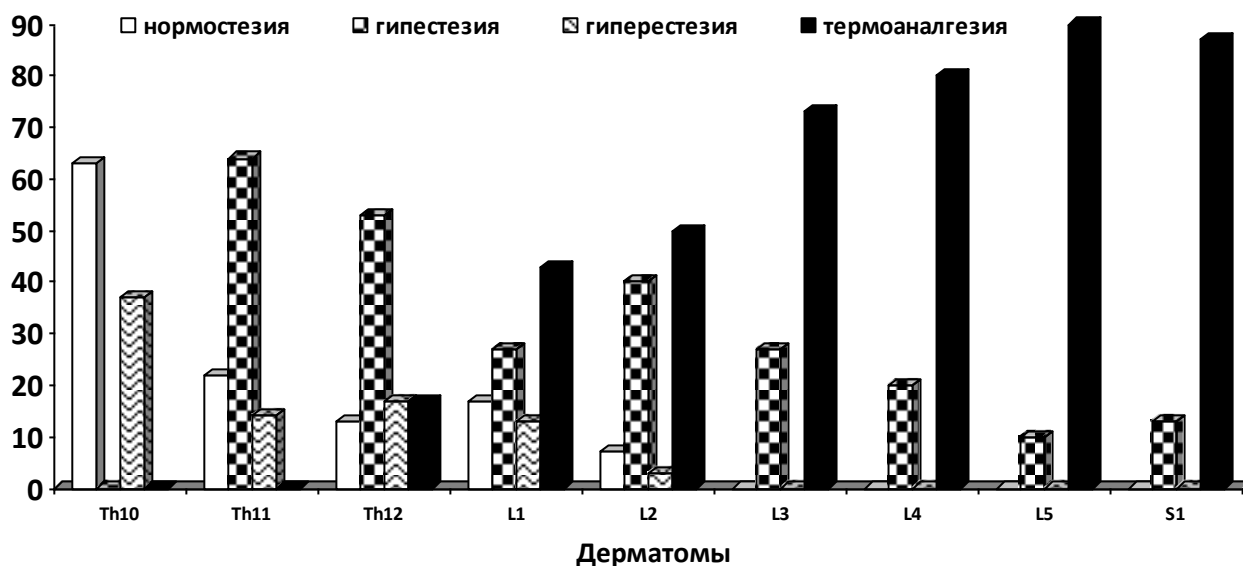


Б

Рис. 2. Виды нарушений температурно-болевой чувствительности (%) у пациентов с отдаленными последствиями неполного повреждения грудного отдела спинного мозга (тип В по шкале ASIA). А - тепловая чувствительность, Б - болевая чувствительность



А



Б

*Рис. 3. Нарушения температурно-болевого чувствительности у пациентов с отдаленными последствиями травмы груднопоясничного отдела позвоночника с частичным повреждением спинного мозга (тип В по шкале ASIA). А - тепловая чувствительность, Б - болевая чувствительность*

Вторая закономерность заключается в том, что чем более дистально располагается область исследования (дерматом) от уровня повреждения позвоночника и спинного мозга, тем больше доля термоанестезии, сочетающейся с термоаналгезией, гипестезии болевой чувствительности. Эти два факта присутствуют как при травме в шейном, так и в грудном и груднопоясничном отделах (рис. 1-3).

На всех уровнях повреждения (шейный, грудной, груднопоясничный) определялась прямая корреляционная взаимосвязь между количеством дерматомов от уровня повреждения

и долей термоанестезии и термоаналгезии (табл. 1). Сила связи имела заметный и высокий характер (по шкале Чеддока). Доля гипестезии болевой чувствительности, также во всех отделах, имела достоверную обратную связь (заметную и высокую) с количеством дерматомов от уровня повреждения. Процент нормостезии тепловой и болевой чувствительности в шейном и груднопоясничном отделе имел обратную корреляцию с количеством дерматомов от уровня повреждения. В грудном отделе эта взаимосвязь отсутствовала. Количество гипестезий тепловой чувствительности коррелировало со степенью удаления от очага повреждения только в шейном отделе (табл. 1) с высокой степенью связи.

Таблица 1

Коэффициент корреляции удаленности (количество дерматомов) области исследования от уровня повреждения и долей различных видов состояния температурно-болевой чувствительности

Уровень повреждения позвоночника	Тепловая чувствительность			Болевая чувствительность		
	Нормостезия	Гипестезия	Термоанестезия	Нормостезия	Гипестезия	Термоаналгезия
Шейный	- 0,568 p=0,007	- 0,747 p=0,0001	0,840 p=0,0002	- 0,505 p=0,0194	- 0,800 p=0,00002	0,852 p=0,000
Грудной	- 0,494 p=0,14	- 0,451 p=0,11	0,640 p=0,025	- 0,134 p=0,667	- 0,622 p=0,042	0,696 p=0,008
Грудно-поясничный	- 0,885 p=0,019	- 0,639 p=0,17	0,925 p=0,0082	- 0,815 p=0,046	- 0,825 p=0,042	0,945 p=0,005

Анализ реакций показателей температурно-болевой чувствительности на электрическую эпидуральную стимуляцию определил характерные особенности компенсации. Так, у пациентов с последствиями травмы в шейном отделе позвоночника после первого курса эпидуральной стимуляции (табл. 2) при оценке состояния тепловой чувствительности определялось снижение доли (в %) термоанестезии в дерматомах: C<sub>5</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, Th<sub>1</sub>-Th<sub>4</sub>, Th<sub>7</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>5</sub> (на 10-50%). Статистический анализ показал, что в среднем по всем дерматомам (от C<sub>4</sub> до S1 дерматома) доля термоанестезии достоверно уменьшилась (на 11%, p=0,015) (табл. 5). В то же время происходило увеличение доли: нормостезии тепловой чувствительности в дерматомах C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub>, Th<sub>1</sub>, Th<sub>5</sub>, L<sub>1</sub>; гипестезии – в дерматомах C<sub>8</sub>-Th<sub>4</sub>, Th<sub>7-8</sub>, L<sub>2</sub>-L<sub>5</sub>. В дерматомах C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>, Th<sub>5</sub> уменьшился процент гипестезии. Однако в среднем по всем дерматомам (от C<sub>4</sub> до S1 дерматома) доля нормостезии и гипестезии достоверно не изменяется. Увеличение доли нормостезии формируется в дерматомах: C<sub>5</sub> - за счет снижения процента термоанестезии и гипестезии; C<sub>6</sub>, Th<sub>5</sub> – снижения доли гипестезии; C<sub>7</sub>-Th<sub>1</sub>, L<sub>1</sub> - снижения процента термоанестезии. В то же время термоанестезия трансформируется в гипестезию в дерматомах Th<sub>2</sub>-Th<sub>3</sub>, Th<sub>7</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>5</sub> либо частично в дерматомах C<sub>8</sub>, Th<sub>1</sub>.



Таблица 2

Изменения распределения различных видов нарушений температурно-болевого чувствительности у пациентов в отдаленном периоде позвоночно-спинномозговой травмы после частичного повреждения шейного отдела спинного мозга (тип В по шкале ASIA) после первого курса эпидуральной стимуляции

Дерматомы	Тепловая чувствительность						Болевая чувствительность							
	Нормостезия (%)		Гипестезия (%)		Термо-анестезия (%)		Нормостезия (%)		Гипестезия (%)		Гиперестезия (%)		Термо-аналгезия (%)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
C <sub>5</sub> (n=10)	25	63	12	0	63	37	25	25	25	25	25	37	25	12
C <sub>6</sub> (n=10)	20	40	30	10	50	50	20	30	50	30	0	20	30	20
C <sub>7</sub> (n=10)	10	30	30	30	50	40	10	20	70	60	0	0	20	20
C <sub>8</sub> (n=10)	10	20	10	30	80	50	0	20	60	60	10	0	30	20
Th <sub>1</sub> (n=10)	0	10	10	50	90	40	0	10	50	50	0	0	50	40
Th <sub>2</sub> (n=10)	10	10	10	30	80	60	0	20	50	40	0	0	50	40
Th <sub>3</sub> (n=10)	10	10	10	30	80	60	0	20	60	50	0	0	40	30
Th <sub>4</sub> (n=10)	20	10	0	10	80	80	0	10	20	30	0	0	80	60
Th <sub>5</sub> (n=10)	0	10	10	0	90	90	0	0	20	40	0	0	80	60
Th <sub>6</sub> (n=10)	10	10	0	0	90	90	0	0	20	40	0	0	80	60
Th <sub>7</sub> (n=10)	20	10	0	10	80	60	10	10	10	30	0	0	80	60
Th <sub>8</sub> (n=10)	10	0	10	20	80	80	0	0	20	30	0	0	80	70
Th <sub>9</sub> (n=10)	10	10	10	0	80	90	0	20	20	10	0	0	80	70
Th <sub>10</sub> (n=10)	10	10	10	0	80	90	10	20	10	0	0	0	80	80
Th <sub>11</sub> (n=10)	20	20	0	0	80	80	0	20	20	0	0	0	80	80
Th <sub>12</sub> (n=10)	20	20	0	0	80	80	0	20	20	0	0	0	80	80
L <sub>1</sub> (n=10)	0	20	0	0	100	80	0	10	20	10	0	0	80	80
L <sub>2</sub> (n=10)	10	0	0	20	90	80	10	0	10	20	0	0	80	80
L <sub>3</sub> (n=10)	20	0	0	20	80	80	0	10	20	10	0	0	80	80
L <sub>4</sub> (n=10)	20	0	0	20	80	80	0	10	20	10	0	0	80	80
L <sub>5</sub> (n=10)	10	10	0	10	90	80	0	10	20	10	0	0	80	80
S <sub>1</sub> (n=10)	10	0	10	10	80	90	10	10	10	10	0	0	80	80
Me [Q1;Q3]	10 [10;20 ]	10 [10;20 ] p=0,53	10 [0;10 ]	10 [0;200] ] p=0,084	80 [80;90 ]	80 [60;80] ] p=0,015	0 [0;10 ]	10* [10;20] ] p=0,001	20 [10;50] ] p=0,40	27,5 [10;40] ] p=0,40	-	-	80 [50;80] ] p=0,002	65* [40;80] ] p=0,002
M±m	12,5± 1,5	14,7± 3,1 p=0,48	7,82± 1,9	13,6± 3,0 p=0,079	80,0± 2,3	71,2± 3,9* p=0,015	4,3± 1,6	13,4± 1,9* p=0,000	28,4 ±4,0	25,7± 4,1 p=0,33	-	-	65,7 ±4,8	58,3± 5,2* p=0,002

Примечание: I - до эпидуральной электрической стимуляции; II - после эпидуральной электрической стимуляции. \* - достоверность отличия от показателей до эпидуральной стимуляции, p≤0,05.

Оценка реакции состояния болевой чувствительности показала более выраженные изменения. Снижалась доля (в %) термоаналгезии в дерматомах: C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>, с C<sub>8</sub> по Th<sub>9</sub> (на 10-20%). В среднем по всем дерматомам (от C<sub>4</sub> до S1 дерматома) доля термоаналгезии достоверно уменьшилась на 19% (p=0,02) (табл. 2). Одновременно с этим процессом регистрировалось увеличение доли нормостезии болевой чувствительности с C<sub>6</sub> по Th<sub>4</sub>; с Th<sub>9</sub>

по L<sub>1</sub>; с L<sub>3</sub> по L<sub>5</sub> (на 10-20%). С учетом всех дерматомов (от С<sub>4</sub> до S<sub>1</sub> дерматома) в среднем доля нормостезии увеличилась на 211% (p=0,001). Термоаналгезия трансформируется либо в гиперестезию (дерматом С<sub>5</sub>), нормостезию и гиперестезию (С<sub>6</sub>), нормостезию (Th<sub>1</sub>-Th<sub>4</sub>, Th<sub>4</sub>; Th<sub>9</sub>), гипестезию (Th<sub>5</sub>-Th<sub>8</sub>). С Th<sub>10</sub> до S<sub>1</sub> доля термоаналгезии не изменяется. Однако в дерматомах Th<sub>10</sub>-L<sub>1</sub> и L<sub>3</sub>-L<sub>5</sub> увеличивается доля нормостезии (на 10-20%), по всей видимости, за счет снижения процента гипестезии.

После 2-3 курса этот процесс восстановления температурно-болевого чувствительности усиливается (табл. 3): увеличивается количество случаев появления тепловой чувствительности на 46,0% (p=0,0016); болевой чувствительности - 75,5% (p=0,00003) относительно показателей после первого курса.

Таблица 3

Процент восстановления температурно-болевого чувствительности после электрической эпидуральной стимуляции у пациентов с отдаленными последствиями неполного повреждения шейного отдела спинного мозга

Дерматомы	Тепловая чувствительность		Болевая чувствительность	
	1 стимуляция	2-3 стимуляция	1 стимуляция	2-3 стимуляция
C <sub>5</sub> (n=10)	40	50	50	50
C <sub>6</sub> (n=10)	0	20	33	33
C <sub>7</sub> (n=10)	33	40	0	30
C <sub>8</sub> (n=10)	50	40	33	35
Th <sub>1</sub> (n=10)	55	55	20	20
Th <sub>2</sub> (n=10)	37	33	20	30
Th <sub>3</sub> (n=10)	33	33	25	25
Th <sub>4</sub> (n=10)	0	12	25	30
Th <sub>5</sub> (n=10)	0	0	25	30
Th <sub>6</sub> (n=10)	11	11	25	25
Th <sub>7</sub> (n=10)	0	12	25	30
Th <sub>8</sub> (n=10)	0	11	25	34
Th <sub>9</sub> (n=10)	0	9	25	30
Th <sub>10</sub> (n=10)	0	12	0	35
Th <sub>11</sub> (n=10)	0	11	0	30
Th <sub>12</sub> (n=10)	0	10	0	15
L <sub>1</sub> (n=10)	20	11	0	15
L <sub>2</sub> (n=10)	11	11	0	18
L <sub>3</sub> (n=10)	0	10	0	15
L <sub>4</sub> (n=10)	0	12	0	20
L <sub>5</sub> (n=10)	11	11	0	15
S <sub>1</sub> (n=10)	0	12	0	18
Me [Q1;Q3]	0 [0;33]	12 [11;33]* p=0,0013	20 [0;25]	30 [18;30]* p=0,00015
M±m	13,7±3,9	20,0±3,2* p=0,0016	15,1±3,3	26,5±1,9* p=0,00003

Примечание: \* - достоверность отличия от показателей после первого курса эпидуральной электрической стимуляции, p≤0,05.

Таким образом, у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с неполным повреждением шейного отдела спинного мозга процесс

компенсации после эпидуральной стимуляции происходит посредством снижения доли термоанестезии и термоаналгезии, увеличения количества случаев нормостезии болевой чувствительности в цепочке дерматомов с С<sub>6</sub> по L<sub>5</sub>. С увеличением курсов стимуляции растет количество случаев восстановления тепловой и болевой чувствительности.

У пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы грудного отдела позвоночника (n=6) после первого курса стимуляции отсутствовала направленная динамика показателей. Ухудшение чувствительности сочеталось с отсутствием изменений, положительной динамикой (30%) или гиперестезией. На последующих этапах реабилитационного процесса данная тенденция сохранялась. Это может быть обусловлено низким восстановительным потенциалом данного отдела спинного мозга, а также малочисленностью и неоднородностью выборки.

В случаях наличия последствий травмы грудопоясничного отдела позвоночника было определено, что после эпидуральной электростимуляции показатели тепловой чувствительности не имели выраженных значительных изменений (табл. 4).

Таблица 4

Распределение различных видов нарушений температурно-болевой чувствительности у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы грудопоясничного отдела позвоночника до и после 3-го курса эпидуральной электрической стимуляции

Дерматомы	Тепловая чувствительность						Болевая чувствительность							
	Нормостезия (%)		Гипестезия (%)		Термоанестезия (%)		Нормостезия (%)		Гипестезия (%)		Гиперестезия (%)		Термоаналгезия (%)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Th <sub>12</sub> (n=8)	0	0	17	75	75	25	0	50	50	50	0	0	50	0
L <sub>1</sub> (n=8)	25	38	25	0	50	62	0	0	50	38	25	50	25	12
L <sub>2</sub> (n=8)	25	38	13	0	62	62	13	0	50	50	12	25	25	25
L <sub>3</sub> (n=8)	0	0	25	25	75	75	0	0	25	62	0	0	75	38
L <sub>4</sub> (n=8)	0	0	13	13	87	87	0	0	13	25	0	0	87	75
L <sub>5</sub> (n=8)	0	0	38	0	62	100	0	0	13	25	0	0	87	75
S <sub>1</sub> (n=8)	0	0	13	0	87	100	0	0	25	25	0	0	75	75
Me [Q1;Q3]	0 [0;25]	0 [0;38] p=0,18	17 [13;38]	0 [0;75] p=0,50	75 [50;87]	75 [25;100] p=0,715	-	-	25 [13;50]	38 [25;62] p=0,27	-	-	75 [25;87] 1	38* [0;75] p=0,03

Примечание: I - до эпидуральной электрической стимуляции; II - после эпидуральной электрической стимуляции. \* - достоверность отличия от показателей до эпидуральной стимуляции, p≤0,05.

Зарегистрировано увеличение количества случаев нормальных порогов только в дерматоме L<sub>1</sub> и L<sub>2</sub> (на 13%), по-всей видимости, за счет снижения процента гипестезии. Регистрировалось снижение доли термоанестезии (на 50%) в дерматоме Th<sub>12</sub> (за счет увеличения доли гипестезии). В дерматомах L<sub>5</sub> - S<sub>1</sub> растет процент термоанестезии за счет

уменьшения гипестезии. Анализ болевой чувствительности у больных данной категории показал, что в дерматомах Th<sub>12</sub>, L<sub>1</sub>, L<sub>3</sub> – L<sub>5</sub> снижается доля случаев термоаналгезии (на 12-50%). В среднем в цепочке дерматомов Th<sub>12</sub> - S<sub>1</sub> наблюдалось достоверное снижение доли случаев термоаналгезии (на 49%, p=0,03). Количество случаев термоаналгезии уменьшалось в дерматоме: Th<sub>12</sub> – за счет увеличения нормостезии; L<sub>1</sub> - увеличения доли гиперестезии. Оценка степени восстановления тепловой и болевой чувствительности в тех дерматомах, где она первоначально отсутствовала (табл. 5), показала, что дистальнее дерматома L<sub>3</sub> этот процесс значительно уменьшался. А в области дерматома S<sub>1</sub> - он отсутствовал.

Таблица 5

Процент восстановления температурно-болевой чувствительности в тех дерматомах, где она первоначально отсутствовала, у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в груднопоясничном отделе позвоночника после 3-го курса эпидуральной электрической стимуляции

Дерматомы	Тепловая чувствительность	Болевая чувствительность
Th <sub>12</sub>	66	100
L <sub>1</sub>	25	66
L <sub>2</sub>	20	33
L <sub>3</sub>	33	50
L <sub>4</sub>	15	17
L <sub>5</sub>	-	15
S <sub>1</sub>	-	-

Нарушение чувствительности является тяжелейшим последствием позвоночно-спинномозговой травмы, которое может проявляться в виде гипестезии, гиперестезии, потери чувствительности, аллодинии или боли [9]. Анализ состояния чувствительности, исследование функции восходящих сенсорных путей имеет большое значение при оценке степени травматического повреждения и восстановления после позвоночно-спинномозговой травмы [11].

Процесс компенсации нарушенных функций у данной категории пациентов во многом обусловлен нейропластическими изменениями в сохранных нейронных цепях спинного мозга и в вышележащих отделах центральной нервной системы [6; 11; 12]. В хронической фазе позвоночно-спинномозговой травмы нейропластичность осуществляется посредством изменения синаптической эффективности, регенерации и проращением аксонов [6].

Анатомические и электрофизиологические исследования показали значительную пластичность сенсорных путей, что свидетельствует о наличии потенциала для компенсации нарушенных функций [11]. В настоящее время в литературе отсутствует описание

патофизиологических особенностей компенсации функций чувствительной сферы, в том числе и температурно-болевого чувствительности, у пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы.

Оценка состояния температурно-болевого чувствительности у пациентов в хронической фазе позвоночно-спинномозговой травмы с неполным повреждением спинного мозга представлена в единичных сообщениях, где нет распределения по типам и уровню травмы спинного мозга [8-10].

В нашей работе было определено, что в отдаленные сроки после частичной травмы спинного мозга наблюдается смешанный и многообразный характер состояния температурно-болевого чувствительности. Регистрируется наличие различных величин порогов: нормостезии, гипестезии тепловой и болевой чувствительности, гиперестезия болевой чувствительности, термоанестезии и термоаналгезии как в дерматомах, соответствующих уровню повреждения, так и в дерматомах, расположенных более дистально. Данная закономерность прослеживается при исследовании последствий позвоночно-спинномозговой травмы в шейном, грудном и груднопоясничном отделе позвоночника.

Таким образом, компенсаторная посттравматическая нейропластичность сенсорной системы температурно-болевого чувствительности имеет адаптивный и дезадаптивный характер у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с частичным повреждением спинного мозга. Кроме того, на всех уровнях повреждения (шейный, грудной, груднопоясничный) определялась прямая корреляционная взаимосвязь между количеством дерматомов от уровня повреждения и долей термоанестезии и термоаналгезии. Доля гипестезии болевой чувствительности, также во всех отделах, имела достоверную обратную связь с количеством дерматомов от уровня повреждения. Процент нормостезии тепловой и болевой чувствительности в шейном и груднопоясничном отделе имел обратную корреляцию с количеством дерматомов от уровня повреждения. В грудном отделе эта взаимосвязь отсутствовала.

Полученные нами данные соотносятся с результатами, представленными в литературе. Ряд авторов при исследовании тепловой чувствительности у данной категории пациентов также отмечал отсутствие или нарушение тепловой чувствительности (повышенные пороги) дистальнее уровня травмы [8; 10].

В отдаленном периоде после позвоночно-спинномозговой травмы нарушение функции спинальных нейронов ниже уровня повреждения может быть вызвано целым рядом негативных факторов, которые способствуют доминированию тормозного импульса в спинномозговых нейронных цепях, угнетению и потере потенциалов действия [6].

При электрической эпидуральной стимуляции имплантированные электроды формируют электрическое поле в дорсальном эпидуральном пространстве, воздействуя на окружающие ткани. Спинномозговая жидкость представляет собой высокопроводящую среду, позволяющую электрическому току распространяться на расстоянии [13]. Одним из возбудимых элементов при эпидуральной стимуляции могут быть чувствительные афферентные волокна задних корешков, которые трансинаптически передают информацию на чувствительные нейроны (2-нейрон) ядер заднего рога. Затем, по-всей видимости, происходит трансинаптическая интеграция с внутренними межнейронными сетями и остаточными супраспинальными входами, изменение возбудимости в спинальных и супраспинальных сетях и улучшение функционирования латерального спиноталамического тракта, взаимодействие с системой супраспинальных связей, высшими отделами центральной нервной системы [14; 15].

Анализ полученных нами данных показал, что у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с неполным повреждением шейного отдела спинного мозга процесс компенсации после эпидуральной стимуляции происходит посредством снижения доли термоанестезии и термоаналгезии, увеличения количества случаев нормостезии болевой чувствительности в цепочке дерматомов с С<sub>6</sub> по L<sub>5</sub>. С увеличением курсов стимуляции растет количество случаев восстановления тепловой и болевой чувствительности.

У пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы грудного отдела позвоночника отсутствовала направленная динамика показателей. Это может быть обусловлено низким восстановительным потенциалом данного отдела спинного мозга, а также малочисленностью и неоднородностью выборки.

В случаях наличия последствий травмы грудопоясничного отдела позвоночника было определено, что после эпидуральной электростимуляции показатели тепловой чувствительности не имели значительных изменений. Однако наблюдалось достоверное снижение доли случаев термоаналгезии в цепочке дерматомов Th<sub>12</sub> - S<sub>1</sub>. Процесс восстановления тепловой и болевой чувствительности дистальнее дерматома L<sub>3</sub> значительно уменьшался.

После эпидуральной электростимуляции компенсация термоаналгезии осуществлялась путем формирования нормостезии либо гипестезии, в меньшей степени гиперестезией. Увеличение случаев нормостезии болевой чувствительности происходило как за счет снижения термоаналгезии, так и уменьшения гипестезии.

### **Заключение**

Таким образом, у пациентов с отдаленными последствиями позвоночно-спинномозговой травмы с частичным повреждением спинного мозга процесс компенсации нарушений температурно-болевого чувствительности имел смешанный (адаптивный и дезадаптивный) характер и зависел от топографической локализации дерматомов. Основным направлением компенсации нарушений температурно-болевого чувствительности при эпидуральной стимуляции является переход термоаналгезии в нормостезию и гипестезию. Увеличение случаев нормостезии болевой чувствительности происходило как за счет снижения термоаналгезии, так и уменьшения гипестезии.

### Список литературы

1. Kumar R., Lim J., Mekary R.A., Rattani A., Dewan M.C., Sharif S.Y. et al. Traumatic spinal injury: global epidemiology and worldwide volume // *World Neurosurg.* 2018. Vol. 113. P. e345–e363. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.02.033.
2. Mirzaeva L., Gilhus N., Lobzin S. et al. Incidence of adult traumatic spinal cord injury in Saint Petersburg, Russia // *Spinal Cord.* 2019. Vol. 57. No 8. P. 692–699. DOI: 10.1038/s41393-019-0266-4.
3. Прудникова О.Г., Качесова А.А., Рябых С.О. Реабилитация пациентов в отдаленном периоде травмы спинного мозга: метаанализ литературных данных // *Хирургия позвоночника.* 2019. Т. 16. № 3. С. 8-16. DOI: 10.14531/ss2019.3.8-16.
4. Ong B., Wilson J.R., Henzel M.K. Management of the patient with chronic spinal cord injury // *Med Clin North Am.* 2020. Vol. 104. No 2. P. 263-278. DOI: 10.1016/j.mcna.2019.10.006.
5. Газенко О.Г. Словарь физиологических терминов. М.: «Наука», 1987. 446 с.
6. Dietz V., Fouad K. Restoration of sensorimotor functions after spinal cord injury // *Brain.* 2014. Vol. 137 (3). P. 654–667. DOI: 10.1093/brain/awt262.
7. Kirshblum S., Snider B., Eren F., Guest J. Characterizing Natural Recovery after Traumatic Spinal Cord Injury // *J. Neurotrauma.* 2021. Vol. 38. No 9. P. 1267-1284. DOI: 10.1089/neu.2020.7473.
8. Krassioukov A., Wolfe D.L., Hsieh J.T., Hayes K.C., Durham C.E. Quantitative sensory testing in patients with incomplete spinal cord injury // *Arch Phys Med Rehabil.* 1999. Vol. 80. No 10. P. 1258-1263. DOI: 10.1016/s0003-9993(99)90026-6.
9. Nicotra A., Ellaway P. Thermal perception thresholds: Assessing the level of human spinal cord injury // *Spinal Cord.* 2006. Vol. 44. No 10. P. 617-624. DOI: 10.1038/sj.sc.3101877.

10. Savic G., Bergström E.M.K., Davey N.J., Ellaway P.H., Frankel H.L., et al. Quantitative sensory tests (perceptual thresholds) in patients with spinal cord injury // *J. Rehabil Res Dev.* 2007. Vol. 44. No 1. P.77-82. DOI: 10.1682/jrrd.2005.08.0137.
11. Ozdemir R.A., Perez M.A. Afferent input and sensory function after human spinal cord injury // *J. Neurophysiol.* 2018. Vol. 119, No 1. P. 134-144. DOI: 10.1093/brain/awt262.
12. Mohammed H., Hollis E.R. Cortical Reorganization of Sensorimotor Systems and the Role of Intracortical Circuits After Spinal Cord Injury // *Neurotherapeutics.* 2018. Vol. 15. No 3. P. 588-603. DOI: 10.1007/s13311-018-0638-z.
13. Sayenko D.G., Angeli C., Harkema S.J., Edgerton V.R., Gerasimenko Y.P. Neuromodulation of evoked muscle potentials induced by epidural spinal-cord stimulation in paralyzed individuals // *J. Neurophysiol.* 2014. Vol. 111. P. 1088–1099. DOI: 10.1152/jn.00489.2013.
14. Calvert J.S., Grahn P.J., Zhao K.D., Lee K.H.. Emergence of Epidural Electrical Stimulation to Facilitate Sensorimotor Network Functionality After Spinal Cord Injury // *Neuromodulation.* 2019. Vol. 22. No 3. P. 244-252. DOI: 10.1111/ner.12938.
15. McHugh C., Taylor C., Mockler D., Fleming N. Epidural spinal cord stimulation for motor recovery in spinal cord injury: A systematic review // *NeuroRehabilitation.* 2021. Vol. 49. No 1. P. 1-22. DOI: 10.3233/NRE-210093.