

Вопросы курортологии, физиотерапии  
и лечебной физической культуры,  
2020, Т. 97, №5, с. 22-30  
<https://doi.org/10.17116/kurort20209705122>

Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy=  
Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury  
2020, Vol. 97, no 5, pp. 22-30  
<https://doi.org/10.17116/kurort20209705122>

## Сравнительный анализ предикторов функциональной независимости у пациентов с цервикальной тетраплегией

© Ф.А. БУШКОВ<sup>1</sup>, А.Н. РАЗУМОВ<sup>2</sup>, Н.В. СИЧИНАВА<sup>2</sup>, Е.В. РОМАНОВСКАЯ<sup>1</sup>, Е.В. УСАНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Реабилитационный центр «Преодоление», Москва, Россия;

<sup>2</sup>ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия

### Резюме

**Цель исследования** — изучить клинические предикторы функциональной независимости у пациентов с цервикальной тетраплегией в разные периоды после спинномозговой травмы (СМТ).

**Материал и методы.** В ретроспективное исследование вошли 190 пациентов (151 мужчина и 39 женщин) с давностью СМТ от 3 мес до 6 лет, средний возраст пациентов составил 27 лет. Исследование выполнялось с применением международного стандарта неврологической классификации травмы спинного мозга (ASIA) с определением двигательного счета ASIA для верхней конечности (ASIA<sub>рука</sub>), неврологического (НУ) и двигательного уровней (ДУ), полноты повреждения спинного мозга (AIS). Функциональную оценку осуществляли по двигательной субшкале FIM, исследование нейромышечной проводимости срединных нервов — по данным стимуляционной электронейромиографии (СЭНМГ). Степень функциональной независимости оценивалась как тяжелое ограничение жизнедеятельности при FIM менее 42 баллов, легкое и умеренное — FIM 42 балла и более.

**Результаты.** С помощью логит-регрессионного анализа установлено, что в первые 6 мес после СМТ главными предикторами являются AIS<sub>рука</sub> (AUC=0,84;  $X^2=3,32$ ;  $p=0,06$ ) и НУ (AUC=0,80;  $X^2=2,96$ ;  $p=0,09$ ). При наблюдении в первые 12 мес ведущим предиктором остается ASIA<sub>рука</sub> (AUC=0,86), при этом выраженные функциональные ограничения можно прогнозировать с помощью предикторов ASIA<sub>рука</sub> в 84,4% и полноты повреждения (AIS) в 81,2% случаев, умеренные и легкие ограничения — ASIA<sub>рука</sub> в 81,4%, НУ в 86,0% и функционального тенодеза (ФТ) в 100% случаев. В отдаленном периоде (более 12 мес) отмечается исключительная предиктивная мощь предиктора ASIA<sub>рука</sub> (AUC=0,92) как при прогнозировании выраженных (82,5% случаев), так и умеренных и легких функциональных нарушений (91,8% случаев). Кроме того, в отдаленном периоде СМТ при тяжелых нарушениях значимую роль играет предиктор AIS (в 82,5% случаев), а при умеренных и легких нарушениях — НУ (88,2%) и ФТ (100%). Границей между функциональными группами по функциональной независимости в группах 12 мес и более 12 мес после СМТ являются: ASIA<sub>рука</sub> 22,4 и 22,6 балла, ДУ более 6,5 и наличие ФТ с ДУ более 5,6 баллов соответственно, при этом результаты СЭНМГ показали низкую предиктивную значимость.

**Заключение.** Двигательный счет ASIA<sub>рука</sub> — ведущий предиктор во все периоды после СМТ, при этом полнота повреждения (AIS) точнее прогнозирует выраженные функциональные ограничения, а ДУ и ФТ — умеренные функциональные ограничения. Критериями достижения умеренной функциональной независимости являются наличие ФТ, неврологический уровень С6 и выше, двигательный счет ASIA<sub>рука</sub> более 22 баллов.

**Ключевые слова:** функциональная независимость, цервикальная тетраплегия, предикторы.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бушков Ф.А. — <https://orcid.org/0000-0002-3001-0985>

Разумов А.Н. — <https://orcid.org/0000-0001-5389-7235>

Сичинава Н.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7732-6020>

Романовская Е.В. — <https://orcid.org/0000-0002-7040-5017>

Усанова Е.В. — <https://orcid.org/0000-0002-0694-5545>

Автор, ответственный за переписку: Бушков Ф.А. — e-mail: bushkovfedor@mail.ru

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Бушков Ф.А., Разумов А.Н., Сичинава Н.В., Романовская Е.В., Усанова Е.В. Сравнительный анализ предикторов функциональной независимости у пациентов с цервикальной тетраплегией. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020;97(5):22–30. <https://doi.org/10.17116/kurort20209705122>

## Comparative analysis of functional independence predictors in patients with cervical tetraplegia

© F.A. BUSHKOV<sup>1</sup>, A.N. RAZUMOV<sup>2</sup>, N.V. SICHINAVA<sup>2</sup>, E.V. ROMANOVSKAYA<sup>1</sup>, E.V. USANOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rehabilitation center «Overcoming», Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Moscow center for research and practice in medical, rehabilitation, restorative and sports medicine, Moscow, Russia

### Abstract

Purpose of the study was to investigate clinical predictors of functional independence in patients with cervical tetraplegia at different periods after a spinal cord injury (SCI).

**Material and methods.** 190 patients (151 men and 39 women) with an SCI from 3 months to 6 years old were included in a retrospective study. The average age was 27 years. The examination was carried out using the international standard for neurological classification of spinal cord injury (ASIA) with the definition of motor score ASIA for the upper extremity (ASIA<sub>upper extremity</sub>), neurological (NL) and motor levels (ML), and the completeness of spinal cord injury (AIS). Functional assessment was performed using the FIM motor subscale. The study of neuromuscular conduction of the median nerves — according to stimulation electroneuro-myography (SENMG). The degree of functional independence was assessed as a severe disability with FIM less than 42 points, mild and moderate — FIM 42 points or more.

**Results.** Using logistic regression analysis, it was found that in the first 6 months after SCI, the main predictors are ASIA<sub>upper extremity</sub> (AUC=0.84;  $X^2=3.32$ ;  $p=0.06$ ) and NL (AUC=0.80;  $X^2=2.96$ ;  $p=0.09$ ). When observed in the first 12 months, ASIA<sub>upper extremity</sub> (AUC=0.86) remains the leading predictor. Moreover, pronounced functional limitations can be predicted using predictors of ASIA<sub>upper extremity</sub> in 84.4% and completeness of injury (AIS) in 81.2% of cases, moderate and mild limitations — ASIA<sub>upper extremity</sub> in 81.4%, NL in 86.0% and functional tenodesis (FT) in 100% of cases. In the long-term period (more than 12 months), the exceptional predictive power of the predictor ASIA<sub>upper extremity</sub> (AUC=0.92) is noted both in the prediction of severe (82.5%) cases and moderate and mild functional disorders (91.8% of cases). In addition, in the SCI long-term period, the predictor AIS plays a significant role in severe disorders (in 82.5% of cases), and NL (88.2%) and FT (100%) — in moderate and mild disorders. The boundaries between functional groups according to functional independence in groups of 12 months and more than 12 months after SMT are presented: ASIA<sub>upper extremity</sub> 22.4 and 22.6 points, ML more than 6.5 and the presence of FT with a ML of more than 5.6, respectively. At the same time, the results of SENMG showed low predictive significance.

**Conclusion.** Motor score ASIA<sub>upper extremity</sub> is a leading predictor in all periods after SCI, while completeness of spinal cord injury (AIS) more accurately predicts pronounced functional limitations, and ML and FT predict moderate functional limitations. The FT, a neurological level of C6 and higher, a motor score ASIA<sub>upper extremity</sub> of more than 22 points are criteria for achieving moderate functional independence.

**Keywords:** functional independence, cervical tetraplegia, predictors.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Bushkov F.A. — <https://orcid.org/0000-0002-3001-0985>

Razumov A.N. — <https://orcid.org/0000-0001-5389-7235>

Sichinava N.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7732-6020>

Romanovskaya E.V. — <https://orcid.org/0000-0002-7040-5017>

Usanova E.V. — <https://orcid.org/0000-0002-0694-5545>

**Corresponding author:** Bushkov F.A. — e-mail: bushkovfedor@mail.ru

#### TO CITE THIS ARTICLE:

Bushkov FA, Razumov AN, Sichinava NV, Romanovskaya EV, Usanova EV. Comparative analysis of functional independence predictors in patients with cervical tetraplegia. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2020;97(5):22–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20209705122>

## Введение

Частота встречаемости спинномозговой травмы (СМТ) составляет 15–29 случаев на 1 млн населения в год, при этом частота представленности цервикальной тетраплегии (ТП) варьирует от 22% в Эстонии до 75% в Японии [1]. Распространенность СМТ в мире за последние 40 лет возросла в несколько раз и составляет в развитых странах 490–526 спинномозговых повреждений на 1 млн населения [2]. Пациенты с церебральной тетраплегией (ЦТП) придают важное значение функциям рук, даже ставя их выше других (контроль за тазовыми органами, ходьба, сексуальная функция) [3, 4].

Популяция пациентов с ЦТП гетерогенна. Так, пациенты с уровнем поражения С5 могут принимать пищу и частично осуществлять личный уход с ассистенцией или с помощью адаптивных приспособлений, с уровнем С6 — с помощью адаптивных приспособлений или модификации выполнения навыков независимы при приеме пищи, купании, самостоятельном уходе, управлении автомобилем, частичном приготовлении пищи. Пациенты с С7 и уровня-

ми ниже могут выполнять большинство навыков самообслуживания и жить самостоятельно с помощью адаптивных приспособлений для кисти и модификации среды [5].

По данным международного обзора эпидемиологии спинномозговых повреждений, 40% случаев являются полными и 60% — неполными, при этом от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{2}$  общей популяции пациентов имеют ТП [6]. Около 50% пациентов с ТП травматического генеза имеют неполное повреждение спинного мозга, при этом часть авторов утверждают, что неврологическое восстановление происходит именно в первые 3–6 мес [7, 8]; по свидетельству других авторов, восстановление происходит в первые 3–9 мес после травмы [9, 10], а к концу первого года его динамика практически полностью завершается [11, 12]. По мнению J. Ditunno [13], предсказать двигательные способности и степень функциональной независимости возможно уже в первую неделю после повреждения. Наибольшее прогностическое значение имеют полнота и уровень неврологического повреждения спинного мозга в первые 72 ч и 1 мес после СМТ [14]. Также известно, что наличие болевой чувствительности

в сегменте спинного мозга с мышечной силой в 0 баллов (приводится терминология неврологического стандарта ASIA) в раннем периоде приводит к увеличению силы в нем до 3 и более баллов у 85% пациентов в позднем периоде [15], а предиктором восстановления разгибателей кисти является изначальная сила бицепса плеча [16].

Таким образом, важной является оценка сравнительной прогностической значимости факторов (предикторов), влияющих на функциональную независимость в остром, подостром и позднем периоде у пациентов с ЦТП.

## Материал и методы

В ретроспективное исследование вошли 190 пациентов с ЦТП, поступивших в реабилитационный центр в период с 2008 по 2018 г.: 151 (79%) мужчина и 39 (21%) женщины. Отбор пациентов производился методом случайной выборки. Возраст пациентов составил 27 [21,0; 36,0] лет, средняя давность повреждения (СМТ) — 2 [1,0; 5,0] года. Причинами повреждения спинного мозга на шейном уровне в 87 (46%) случаях было ныряние на мелководье, в 55 (29%) — участие в дорожно-транспортном происшествии, в 26 (13,5%) — падения, в 5 (2,5%) — избивание, в 3 (1,5%) — спортивные травмы, в 14 (7,5%) — нетравматические виды повреждений (опухоль, дегенеративный или врожденный стеноз позвоночного канала, нарушение спинального кровообращения).

**Критерии включения в исследование:** повреждение шейного отдела позвоночника давностью более 1 мес, возможность пациента находиться в кресле-коляске в сидячем положении более 1 ч подряд.

**Критерии невключения в исследование:** острые и хронические инфекционные или соматические заболевания или их обострение, прогрессирующая синингомиелия, большие пролежни на пятках и ягодичной области.

С учетом ретроспективного характера исследования подписание информированного согласия об участии в исследовании не требовалось.

Пациентов классифицировали по структурному принципу в соответствии с международным стандартом неврологической классификации травмы спинного мозга Американской ассоциации спинальной травмы (International standards for neurological classification of spinal cord injury American Spinal Injury Association — ASIA) [17] на основании данных, полученных из историй болезни. Неврологический уровень (НУ) определялся как наиболее каудальный сегмент спинного мозга с нормальной чувствительной и двигательной функцией (сила ключевой мышцы не менее 3 баллов) на обеих сторонах тела, определяемой в результате тестирования 28 дерматомов и ключевых мышц (10 миотомов) на правой и левой половине тела, двигательный уровень (ДУ) — как

наиболее каудальный сегмент с нормальной двигательной функцией.

По НУ пациенты распределились следующим образом С3 — 1 (0,5%); С4 — 14 (7%), С5 — 36 (19%), С6 — 67 (35%), С7 — 49 (26%), С8 — 16 (8,5%), D1 — 7 (4%); по полноте повреждения (ASIA impairment scale — AIS) тип А — 118, В — 16, С — 44, D — 11, E — 1. По унилатеральному ДУ имелись различия между правой и левой сторонами тела; ДУ слева: С4 — 9, С5 — 21, С6 — 74, С7 — 42, С8 — 27, D1 — 17 (критерий Холмогорова—Смирнова  $d=0,22181$ ,  $p<0,01$ ); справа: С4 — 8, С5 — 32, С6 — 66, С7 — 43, С8 — 24, D1 — 17 (критерий Холмогорова—Смирнова  $d=0,20837$ ,  $p<0,01$ ). Двигательный счет для верхней конечности по ASIA составил 24,5 [16,0; 34,0] балла (AISA<sub>рука</sub>).

Оценивалось наличие функционального тенодеза (ФТ) кисти как важнейшего элемента восстановления ее хватательной функции в виде пассивного сгибания пальцев кисти за счет разгибания в лучезапястном суставе; его оценка выполнялась в положении сидя в кресле-коляске по способности пациента обхватить и поднять со стола теннисный мяч в пронарированном положении кисти [18].

Пациентами в сроки более 12 мес после СМТ выполнялась стимуляционная электронейромиография (СЭНМГ) на электромиографе Keypoint Medtronic. Исследовался срединный нерв с регистрацией М-ответа и скорости распространения возбуждения (СРВ) с *m. abductor pollicis brevis*. За нормативные значения для срединного нерва принимались амплитуда М-ответа более 4 мВ, СРВ — более 49 м/с [19]. Степень выраженности денервационных изменений в срединном нерве классифицировалась в соответствии с рекомендациями A. Curt, V. Dietz [20]:

1-й тип — нет М-ответа (полное повреждение по типу Валлеровского перерождения);

2-й тип — патологическое уменьшение М-ответа и СРВ (тяжелое аксональное повреждение нерва),

3-й тип — уменьшение М-ответа, а СРВ — норма (легкое аксональное повреждение нерва);

4-й тип — нормальный М-ответ и СРВ.

Всего было исследовано 306 срединных нервов: 161 левый и 145 правых, в сроки от 1 до 8 лет (медиана 3 года) после СМТ. В группу сравнения по срединному нерву вошли пациенты с травматической параплегией (10 нервов у 10 пациентов), активно передвигающихся в ручном кресле-коляске. Выбор этой категории пациентов позволил нивелировать влияние повышенной нагрузки на верхние конечности за счет передвижения в ручном кресле-коляске с возможным риском развития синдрома карпального канала, при этом возраст пациентов составил 36 [24,0; 43,0] лет, давность СМТ — 6 [0,5; 15,0] лет, уровень скелетного повреждения Th<sub>IV</sub>—Th<sub>XII</sub>, по полу — 2 женщины.

Количественная оценка результатов реабилитации осуществлялась определением степени функциональной независимости по доменам активно-

Таблица. Характеристика пациентов с ТП в зависимости от модельной группы

Table. Characterization of patients with TP depending on the model group

Параметр/Parameter	Модельная группа/Model group		
	A (<6 мес)/A (<6 months)	B (<12 мес)/B (<12 months)	C (>12 мес)/C (>12 months)
Число пациентов, абс./Number of patients, abs.	49	75	190
Возраст, лет/Age, years	28 [21,0; 37,0]	28 [23,0; 43,0]	27 [21,0; 36,0]
Пол (м/ж)/Gender (m/f)	41/8	64/11	151/39
Давность СМТ, годы/Time since SCI, year	0,3 [0,25; 0,50]	0,8 [0,60; 0,90]	2 [1,0; 5,0]
НУ/NL	C4 — 4, C5 — 14, C6 — 20, C7 — 9, C8 — 1, D1 — 1	C4 — 3, C5 — 17, C6 — 30, C7 — 16, C8 — 6, D1 — 3	C3 — 1, C4 — 14, C5 — 36, C6 — 67, C7 — 49, C8 — 16, D1 — 7
Полнота повреждения (AIS) ASIA impairment scale (AIS)	тип А — 34, тип В — 5, тип С — 8, тип D — 2 type А — 34, type В — 5, type С — 8, type D — 2	тип А — 50, тип В — 6, тип С — 15, тип D — 3, тип E — 1 type А — 50, type В — 6, type С — 15, type D — 3, type E — 1	тип А — 118, тип В — 16, тип С — 44, тип D — 11, тип E — 1 type А — 118, type В — 16, type С — 44, type D — 11, type E — 1
Двигательный счет рука (ASIA) Upper extremity motor score (ASIA)	20 [14,0; 28,0]	23 [16,0; 32,0]	24,5 [16,0; 34,0]

сти МКФ: легкое ограничение на 5–24%, умеренное — на 25–49%, выраженное — на 50–95% (МКФ, 2001). За границу между тяжелой и умеренной степенью функциональной зависимости была взята граница 50% независимости по двигательному домену шкалы функциональной независимости (Functional Independence Measure — FIM). Шкала FIM состоит из 13 разделов с ранжированием оценивания от 0 до 7 баллов и максимальной суммой в 91 балл [21], а за вычетом оценки способности к ходьбе (7 баллов) получается сумма в 84 балла, следовательно, граница 50% независимости по МКФ соответствует 42 баллам по двигательной подшкале FIM (МКФ 50%). Пациенты, набравшие менее 42 баллов, относились к группе с выраженным функциональным ограничением и классифицировались как «0» (МКФ 50% и менее), набравшие 42 балла и более — к группе с умеренным и легким функциональным ограничением и классифицировались как «1» (МКФ более 50%).

Из общего массива данных в зависимости от сроков после СМТ были выделены три группы пациентов, поступивших в сроки менее 6 мес, в сроки от 6 до 12 мес и более 1 года после СМТ, чью судьбу можно было ретроспективно оценить по медицинским картам. Это позволило построить 3 модели классификации. В первую модельную группу вошли пациенты со сроком СМТ и оценкой функционального исхода менее 6 мес (модель А); во вторую — 6–12 мес (модель В); в третью — более 12 мес (модель С) (таблица).

Статистический анализ классификаций выполнялся с помощью бинарной логистической регрессии ( $X^2$ ), в которой отношение шансов (Odds Ratio — OR) указывает на силу связи между зависимой и независимой переменными: слабое OR — [1,1; 1,5], умеренное — [1,6; 3,0], сильное — более 3. Графическая характеристика качества бинарного классификатора функциональной независимости по МКФ определялась площадью (Area Under Curve — AUG) под

ROC-кривой (Receiver Operation Characteristic, модель считалась значимой при  $AUC > 0,80$ ). Использовался иерархический классификационный анализ с дискриминативным одномерным ветвлением и остановкой по ошибке классификации (с расчетом априорных вероятностей), выполнялось построение графиков ранговой значимости предикторов функциональной независимости (с ранжированием по шкале от 0 — низкая значимость до 100 — высокая). В большинстве наблюдений имелось ненормальное распределение данных, что определило их представление в виде медианы с интерквартильным размахом в 25 и 75 процентилей ( $Me [Q_{25}; Q_{75}]$ ). Уровень значимости принятия нулевой гипотезы был менее 5%. Полученные результаты обрабатывались при помощи статистического пакета Statistica 10.0.

## Результаты

### Первая модельная группа (А)

Число пациентов с умеренным и легким функциональным ограничением («МКФ более 50%» — классификатор «1») составило 5, а с выраженным функциональным ограничением («МКФ 50% и менее» — классификатор «0») — 44 (90%). При анализе ROC-кривых значимыми предикторами функциональной независимости являлись  $AISA_{рука}$  ( $AUC=0,84$ ) и НУ ( $AUC=0,80$ ),  $AUC$  для ФТ составило 0,36. В раздельном логит-регрессионном анализе ни один из рассматриваемых предикторов, в том числе и полнота повреждения, не обладали статистической значимостью ( $ASIA_{рука}$ :  $X^2=3,32$ ,  $p=0,06$ ; НУ:  $X^2=2,96$ ,  $p=0,09$ ; ФТ:  $X^2=0,57$ ,  $p=0,44$ ; AIS:  $X^2=0,38$ ,  $p=0,53$ ). Обращает на себя внимание, что этот временной период — полнота повреждения (AIS) — являлся наиболее слабым классификатором (предиктором). При этом значимость всех трех предикторов ( $ASIA_{рука}$ , НУ и ФТ), проанализированных вместе, оценить было невозможно (от-

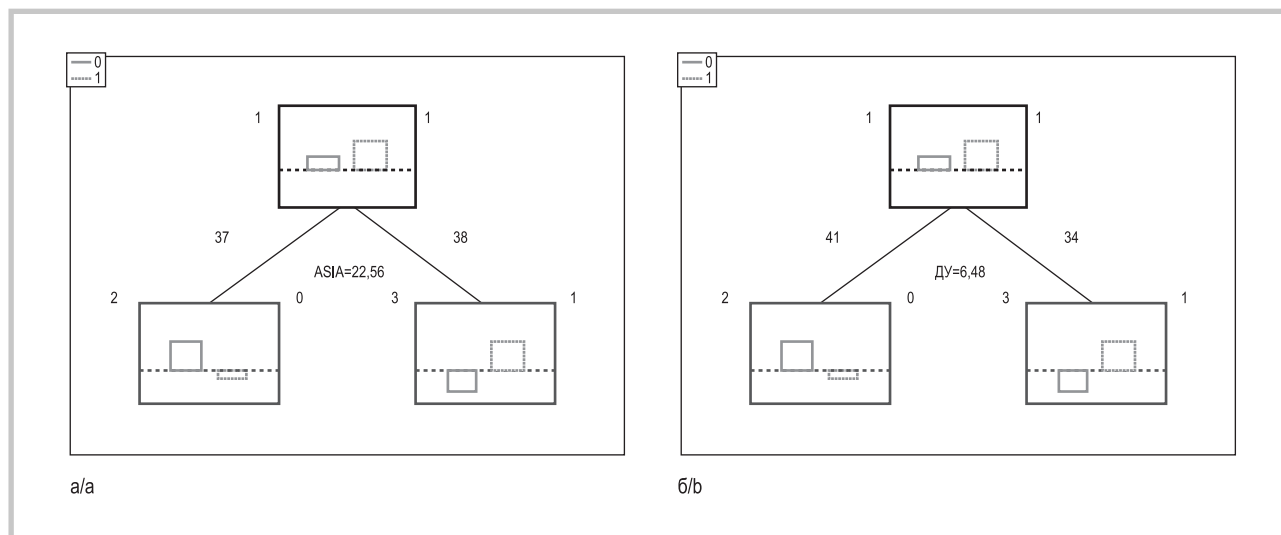


Рис. 1. Дерево классификации степени функциональной независимости (модельная группа В).

Число ветвлений 1, число терминальных вершин классификации 2.

Fig. 1. Classification tree of the degree of functional independence (model group B).

The number of branches 1, the number of terminal vertices of classification 2.

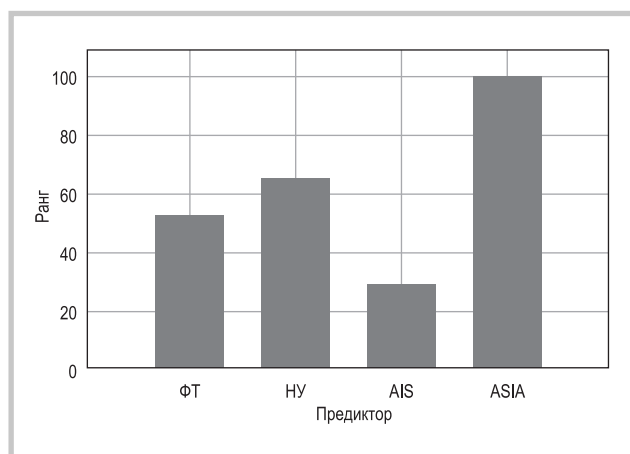


Рис. 2. Ранги значимости предикторов функциональной независимости пациентов (модельная группа В).

Значимость предикторов: ASIA — 100; НУ — 65; ФТ — 53; AIS — 29.

Fig. 2. Ranks of significance of predictors of functional independence of patients (model group B).

Significance of predictors: ASIA — 100; NL — 65; FT — 53; AIS — 29.

ношения шансов — бесконечность), так же как и построить дерево классификаций в связи с малым количеством переменных классификатора «1».

### Вторая модельная группа (В)

В этой группе тяжелые нарушения жизнедеятельности «МКФ 50% и менее» (классификатор «0») были у 32 (43%) пациентов, умеренные и легкие нарушения «МКФ более 50%» (классификатор «1») — у 43 (57%). При рассмотрении ROC-кривых предикативной значимостью обладал только показатель  $ASIA_{рука}$  ( $AUC=0,86$ ), значение  $AUC$  для НУ составило 0,72, для ФТ — 0,59.

Все рассматриваемые предикторы при выполнении логит-регрессионного анализа были статистически значимыми, с максимальной предикативной мощностью для  $ASIA_{рука}$  и минимальной для полноты повреждения (AIS).  $ASIA_{рука}$ :  $X^2=41,0$ ,  $p=0,00$ ,  $OR=23,6$ , доля предсказаний «0» ( $n=32$ ) — 84,4%, доля предсказаний «1» ( $n=43$ ) — 81,4%; НУ:  $X^2=20,7$ ,  $p=0,00$ ,  $OR=4,8$ , доля предсказаний «0» — 43,7%, «1» — 86,0%; ФТ:  $X^2=19,1$ ;  $p$  не определен, доля предсказаний «0» ( $n=32$ ) — 31,3%, доля предсказаний «1» ( $n=43$ ) — 100%; полнота повреждения (AIS):  $X^2=8,4$ ,  $p=0,00$ , доля предсказаний «0» — 81,2%, «1» — 44,2%. Таким образом, сохраняется исключительная предикативная мощность  $ASIA_{рука}$  классификатора (более 80% для обоих событий классификатора). Кроме того, выраженные функциональные ограничения можно прогнозировать с помощью НУ в 43,7%, ФТ в 31,3%, полноты повреждения (AIS) 81,2%, а умеренные и легкие ограничения — с помощью НУ в 86,0%, ФТ в 100% случаев, полноты повреждения (AIS) — в 44,2%.

Граница между функциональными статусами по МКФ 50% (классификаторы «0» и «1») по предиктору  $ASIA_{рука}$  составляет 22,6 балла («0» — 37 случаев, «1» — 38), по ДУ — 6,5 балла («0» — 41, «1» — 34); априорные вероятности: «0» —  $p=0,43$  ( $n=32$ ); «1» —  $p=0,57$  ( $n=43$ ); для НУ иерархический классификационный анализ был не информативен (рис. 1).

При ранжировании ранговой значимости предикторов функциональной независимости была обнаружена высокая предикативная мощь  $ASIA$ -критерия (100 рангов), средняя — у ФТ и НУ (53 и 65 рангов соответственно) и низкая — у полноты повреждения (AIS) (29 рангов) (рис. 2).

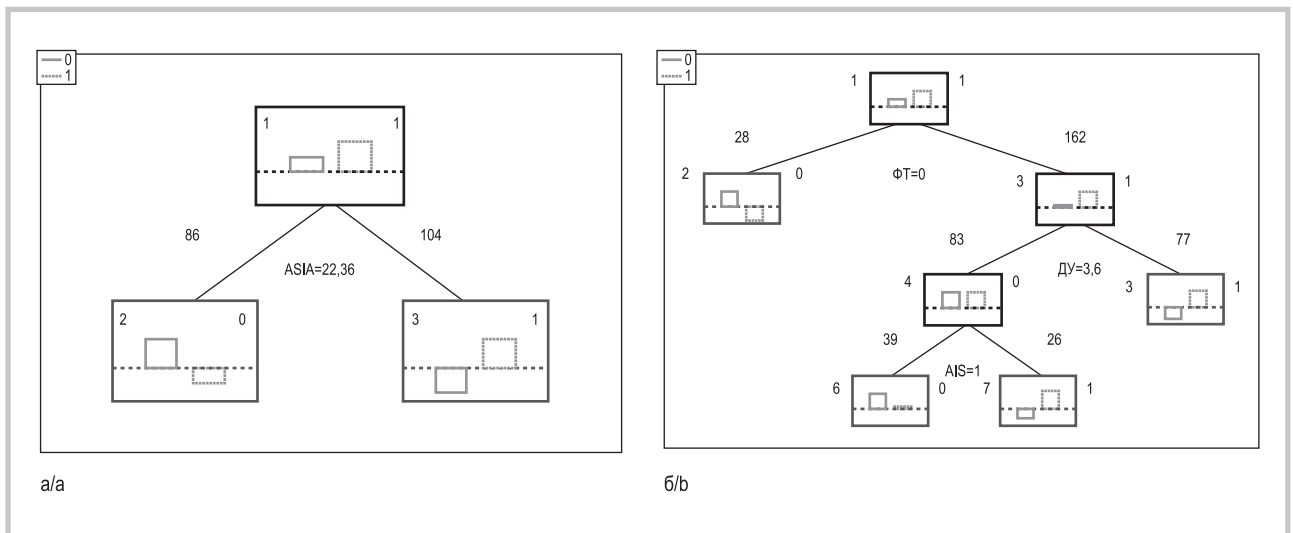


Рис. 3. Дерево классификации степени функциональной независимости (третья модельная группа).

а — число ветвлений 1, число терминальных вершин классификации 2; б — число ветвлений 3, число терминальных вершин 4.

Fig. 3. Classification tree of the degree of functional independence (third model group).

a — the number of branches 1, the number of terminal vertices of classification 2; b — the number of branches 3, the number of terminal vertices 4.

### Третья модельная группа (С)

Тяжелые нарушения жизнедеятельности «МКФ 50% и менее» (классификатор «0») были выявлены у 80 (42%) пациентов с умеренным и легким ограничением, «МКФ более 50%» (классификатор «1») — у 110 (58%). Предикативная мощность  $ASIA_{рука}$  предиктора достигала своего максимума, оставаясь единственным статистически значимым ( $AUC=0,92$ ), остальные предикторы имели статистически незначимую мощность  $НУ = 0,79$ ;  $ФТ = 0,71$ ,  $AIS = 0,64$ .

Анализ значимости предикторов в логит-регрессионном анализе показал предикативную мощь всех четырех предикторов ( $ASIA_{рука}$ :  $X^2=160,9$ ,  $p=0,00$ ,  $OR=52,9$ , верность предсказаний «0» — 82,5%, «1» — 91,8%;  $НУ$ :  $X^2=57,1$ ,  $p=0,00$ ,  $OR=6,8$ , верность предсказаний «0» 47,5%, «1» — 88,2%; полнота повреждения ( $AIS$ ):  $X^2=28,3$ ,  $p=0,00$ ,  $OR=5,25$ , доля предсказанных «0» — 82,5, «1» — 57,7%;  $ФТ$ :  $X^2=55,3$ ,  $p$  не определен,  $OR$  — бесконечность, доля верных предсказаний «0» — 35%, «1» — 100%). Предикторы  $ФТ$ ,  $ASIA_{рука}$  с вероятностью более 90%, указывали на значение классификатора «1» — умеренные и легкие функциональные ограничения, в то время как  $ASIA_{рука}$  и полнота повреждения ( $AIS$ ) с точностью 82,5% предсказывали значения классификатора «0» (тяжелые функциональные нарушения). Четырехкомпонентная логит-регрессионная предикативная модель обладала достаточной мощностью ( $ASIA_{рука}$ :  $X^2=68,4$ ;  $p=0,00$ ;  $НУ$ :  $X^2=57,1$ ,  $p=0,00$ ;  $AIS$ :  $X^2=0,2$ ,  $p=0,65$ ;  $ФТ$ :  $X^2=10,2$ ,  $p$  не определено,  $OR=42,2$ , доля предсказанных «0» — 85,0%, «1» — 88,2%), хотя все же и немного уступала по мощности предиктору  $ASIA_{рука}$ .

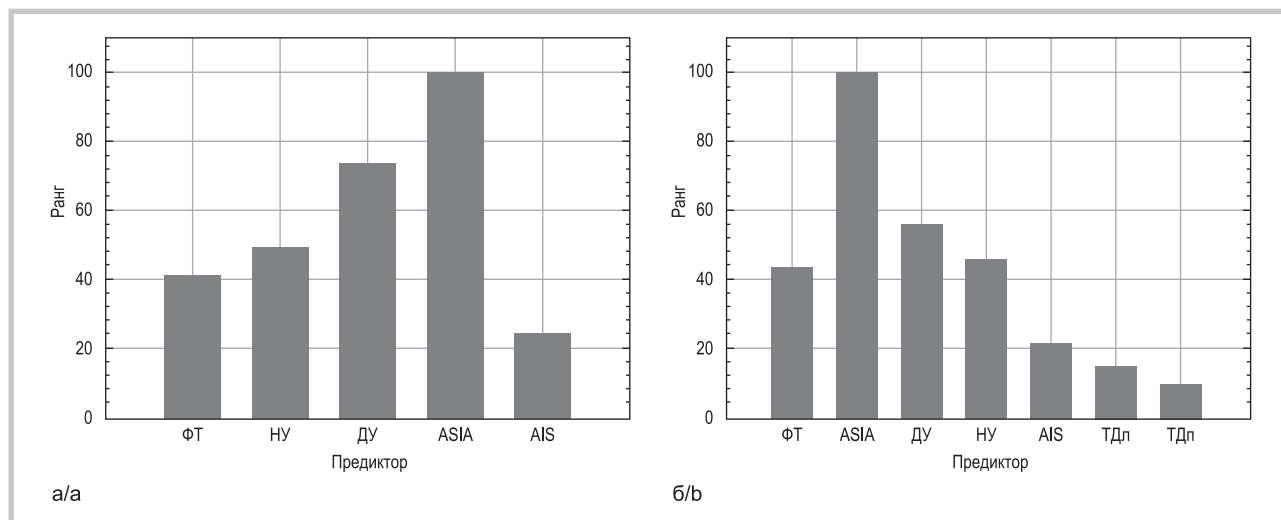
Граница между группами по функциональной независимости по предиктору  $ASIA_{рука} = 22,36$  бал-

ла («0» — в 86 случаях; «1» — в 104), априорные вероятности «0» —  $p=0,42$  ( $n=80$ ); «1» —  $p=0,58$  ( $n=110$ ) (рис. 3, а). При исключении предиктора  $AISA_{рука}$  образуется другое дерево классификации с 3 ветвлениями и 4 терминальными вершинами, где первой точкой ветвления является  $ФТ$  («0» — 28; «1» — 162), второй —  $ДУ=5,6$  («0» — 85; «1» — 77), третьей — полнота повреждения ( $AIS$ ), равная 1 (соответствует типу А) («0» — 59; «1» — 26) (рис. 3, б), что опять же позволяет распределить предикторы по возрастанию значимости: полнота повреждения (тип А), неврологический уровень (С5 и С6),  $ФТ$ ,  $ASIA_{рука}$ .

Путь классификации пациентов в группу «МКФ «более 50%» (умеренные и легкие функциональные ограничения):  $ФТ$  — «да» и  $ДУ$  более 5,6 или  $ДУ$  менее 5,6, но с неполным повреждением спинного мозга. Путь классификации пациентов в группу «МКФ 50 и менее» (с тяжелым ограничением самообслуживания):  $ФТ$  — «нет»;  $ФТ$  — «да», но  $ДУ$  менее 5,6 при полном повреждении спинного мозга (тип А соответствует «1»), априорные вероятности для  $ASIA$ : «0» —  $p=0,42$  ( $n=80$ ); «1» —  $p=0,58$  ( $n=110$ ).

При ранжировании ранговой значимости предикторов функциональной независимости было обнаружено, что двигательный счет по  $ASIA$  — 100 рангов,  $ДУ$  — 74,  $НУ$  — 49,  $ФТ$  — 41, полноты повреждения ( $AIS$ ) — 25 рангов; априорная вероятность: «0» —  $p=0,42$  ( $n=80$ ); «1» —  $p=0,58$  ( $n=110$ ); объем обучающей выборки — 136 пациентов (рис. 4, а).

По результатам СЭНМГ-обследования срединных нервов в основной группе (306 нервов) М-ответ составил 4,1 [1,6; 6,1] мВ, СРВ — 56 [51,0; 61,0] м/с, в группе сравнения М-ответ — 11 [7,50; 16,40] мВ, СРВ — 59 [58,0; 62,0] м/с, все обнаруженные изме-



**Рис. 4. Ранги значимости предикторов функциональной независимости пациентов (третья модельная группа).**

а — ранги значимости предикторов: ASIA — 100, ДУ — 74, НУ — 49, ФТ — 41, AIS — 25; б — ранги значимости предикторов: ASIA — 100, ФТ — 44, НУ — 46; ДУ — 56, AIS — 22. ТДл=15; ТДп=10. ТД — тип денервации (л — слева; п — справа).

**Fig. 4. Ranks of significance of predictors of functional independence of patients (third model group).**

а — ranks of predictors significance: ASIA — 100, ML — 74, NL — 49, FT — 41, AIS — 25; б — ranks of predictors significance: ASIA — 100, FT — 44, NL — 46; ML — 56, AIS — 22. TDr=15; TDl=10. TD — type of denervation (l — on the left; p — on the right).

нения являлись статистически значимыми и указывали на развитие аксонального «обеднения»; при этом достоверных различий по возрасту ( $p=0,15$ ), полу ( $p=0,98$ ) и давности повреждения ( $p=0,66$ ) между группами обнаружено не было. При анализе по степени выраженности процессов денервации было обнаружено отсутствие признаков денервации (4-й тип) только у  $1/2$  (52—53%) пациентов, легкие изменения — у  $1/3$ , а выраженные денервационные изменения (1-й и 2-й тип) — в 15—16% исследованных нервах.

При включении в ранжирование параметров СЭНМГ (тип денервационной группы) предикторы получили следующие ранги: ASIA — 100 рангов, ДУ — 56, НУ — 46, ФТ — 44, полнота повреждения (AIS) — 22, тип денервации срединного нерва: справа — 15 рангов, слева — 10; априорная вероятность: «0» —  $p=0,47$  ( $n=54$ ); «1» —  $p=0,53$  ( $n=72$ ); объем обучающей выборки — 136 пациентов (рис. 4, б). Включение в классификатор величины М-ответа и СРВ с срединного нерва в качестве предикторов дает нулевые значения ранговой значимости.

Таким образом, в позднем периоде СМТ (более 12 мес) НУ и ДУ, ФТ имели примерно равную предиктивную мощность (ранговую значимость 40—60), в то время как полнота повреждения (AIS), СЭНМГ со срединного нерва (группа денервации) — наименьшую предиктивную мощность.

## Обсуждение

Остаточные моторные функции являются основным предиктором двигательного исхода после СМТ [9, 10, 13]. В свою очередь ФТ как важнейший компонент

восстановления хватательной функции кисти наиболее широко обсуждается у пациентов с НУ С6 и С7, однако, по мнению эрготерапевтов, он возможен при НУ С5 за счет супинации предплечья. С другой стороны, пациенты с НУ С6 крайне неоднородны, имея разную силу мышц плечевого сустава, они показывают разные способности к трансферам и опорным навыкам самообслуживания [22]. Расположение ФТ в начале дерева классификации указывает на его особенную роль в качестве комплексного теста оценки хватательной функции кисти и прогнозирования функциональной независимости в паре с ДУ С6. Также обращает на себя внимание возрастание предикативной мощности ФТ с течением времени после СМТ.

Вполне известным предиктором двигательного прогноза в раннем периоде является полнота повреждения спинного мозга [23], в настоящем исследовании этот критерий занял «скромное» место, что можно объяснить поздним сроком его анализа. С другой стороны, исследовался не двигательный прогноз, а функциональные ограничения или ограничения жизнедеятельности, что является не одним и тем же. Зачастую мы наблюдаем пациентов с хорошим двигательным статусом, но абсолютно беспомощных либо в силу сформировавшихся суставных контрактур, высокой степени спастичности, либо просто в силу необученности пользоваться остаточными двигательными возможностями. Важным является и то, что сила в сохранных мышечных группах может увеличиваться на протяжении от 15 мес после спинномозговой катастрофы в рамках имеющегося НУ или ДУ [24], что в ряде случаев может заложить фундамент для «длительного» функционального прогрессирования и сле-



лать двигательный счет ASIA более «гибким» и чувствительным предиктором функционального статуса.

Следует обратить внимание на низкую ранговую значимость СЭНМГ, что совпадает с данными, полученными Р.А. Бодровой [25], указавшей эквивалентом денервации на поверхностной ЭМГ (2 тип) при определении реабилитационного потенциала низкие весовые показатели (15—30/100). Другой важной тенденцией является уменьшение порога функциональной независимости по ДУ более 6,5 (12 мес) и наличию ФТ с ДУ более 5,6 (более 12 мес) при достаточно стабильном показателе ASIA<sub>рука</sub> 22,6 (12 мес) — 22,4 балла (более 12 мес), что, вероятно, указывает на реализацию реабилитационного потенциала на функциональном уровне. Другими словами, пациенты с более высоким ДУ (НУ) уровнем после первого года заболевания выходят из группы с тяжелыми функциональными ограничениями на фоне адекватного реабилитационного обеспечения, что может быть принято за один из критериев эффективности реабилитационных программ на первом году после СМТ.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Lee BB, Cripps RA, Fitzharris M et al. The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology: update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord*. 2014;52:110-116. <https://doi.org/10.1038/sc.2012.158>
- Kang Y, Ding H, Zhou H et al. Epidemiology of worldwide spinal cord injury: a literature review. *Journal of Neurorestoratology*. 2018;6:1-9. <https://doi.org/10.2147/JN.S143236>
- Snoek GJ, Ijzerman MJ, Hermens HJ et al. Survey of the needs of patients with spinal cord injury: impact and priority for improvement in hand function in tetraplegics. *Spinal Cord*. 2004;42(9):526-532. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101638>
- Wagner JP, Curtin CM, Gater DR et al. Perceptions of people with tetraplegia regarding surgery to improve upper extremity function. *J Hand Surg [Am]*. 2007;32:483-490. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2007.01.015>
- Welch RD, Lobley SJ, O'Sullivan SB et al. Functional independence in quadriplegia: critical levels. *Arch Phys Med Rehabil*. 1986;67(4):235-240.
- Wyndaele M, Wyndaele JJ. Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal Cord*. 2006;44(9):523-529. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101893>
- Geisler FH, Dorsey FC, Coleman WP. Recovery of motor function after spinal-cord injury — a randomized, placebo-controlled trial with GM-1 ganglioside. *N Engl J Med*. 1991;324(26):1829-1838. <https://doi.org/10.1056/NEJM199106273242601>
- Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR. Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Third National Acute Spinal Cord Injury Randomized Controlled Trial. *National Acute Spinal Cord Injury Study*. *JAMA*. 1997;277(20):1597-1604.
- Waters RL, Adkins RH, Yakura JS, et al. Motor and sensory recovery following complete tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74(3):242-247.
- Ditunno JF Jr, Stover SL, Freed MM, et al. Motor recovery of the upper extremities in traumatic quadriplegia: a multicenter study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(5):431-436.
- Piepmeyer JM, Jenkins NR. Late neurological changes following traumatic spinal cord injury. *J Neurosurg*. 1988;69(3):399-402.
- Waters RL, Adkins RH, Yakura J, et al. Profiles of spinal cord injury and neurologic recovery following gunshot. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;267:14-21.
- Ditunno JF, Cohen ME, Hauck WW. Recovery of upper-extremity strength in complete and incomplete tetraplegia: a multicenter study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81:389-393. <https://doi.org/10.1053/mr.2000.3779>
- Burns AS, Ditunno JF. Establishing prognosis and maximizing functional outcomes after spinal cord injury: a review of current and future directions in rehabilitation management. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(24 suppl):137-145. <https://doi.org/10.1097/00007632-200112151-00023>
- Poynton AR, O'Farrell DA, Shannon F. Sparing of sensation to pinprick predicts recovery of a motor segment after injury to the spinal cord. *J Bone Joint Surg*. 1997;79:952-954.
- Ditunno JF, Sipski ML, Posuniak EA. Wrist extensor recovery in traumatic quadriplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1987;68:287-290.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (Revised 2011). *J Spinal Cord Med*. 2011;34(6):535-546. <https://doi.org/10.1179/204577211X13207446293695>
- Бушков Ф.А., Романовская Е.В., Усанова Е.В., Федоткина Л.Е. Значение теста Ван-Люшот в оценке функции верхней конечности у пациентов с цервикальной тетраплегией. *Фарматека*. 2019;3:51-56. Bushkov FA, Romanovskaya EV, Usanova EV, Fedotkina LE. Znachenie testa Van-Lyushot v ocenke funkcii verhnjej konechnosti u pacientov s cervikal'noj tetraplegiej. *Farmateka*. 2019;3:51-56. (In Russian). <https://doi.org/10.18565/pharmateca.2019.3.51-56>
- Hennessey WJ, Falco FJE, Braddom RL. Median and ulnar nerve conduction studies: normative data for young adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75:259-264. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(94\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0003-9993(94)90025-6)
- Curt A, Dietz V. Neurographic assessment of intramedullary motoneuron lesions in cervical spinal cord injury: Consequences for hand function. *Spinal Cord*. 1996;34:326-332. <https://doi.org/10.1038/sc.1996.60>
- Hall KM, Cohen ME, Wright J, et al. Characteristics of the Functional Independence Measure in traumatic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(11):1471-1476. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(99\)90260-5](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(99)90260-5)
- Fujiwara T, Hara Y, Akaboshi K, et al. Relationship between shoulder muscle strength and functional independence measure (FIM) score among C6 tetraplegics. *Spinal Cord*. 1999;37(1):58-61. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3100715>

## Заключение

Двигательный счет ASIA для руки — ведущий предиктор во все периоды после СМТ; ДУ или НУ и ФТ являются равнозначными предикторами функциональной независимости в подостром и хроническом периоде цервикальной ТП. Критериями достижения функциональной независимости в первые 12 мес после СМТ является ASIA<sub>рука</sub> более 22,6 балла, ДУ выше 6,5; в сроки более 12 мес — ASIA<sub>рука</sub> более 22,4 балла и наличие ФТ совместно с ДУ более 5,6.

## Участие авторов:

написание рукописи, организация исследования, сбор материала — Ф.А. Бушков; окончательное утверждение для публикации — А.Н. Разумов; доработка и исправление рукописи — Н.В. Сичинава, сбор материала, проведение обследований — Е.В. Романовская, Е.В. Усанова.

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



23. Burns AS, Ditunno JF. Establishing prognosis and maximizing functional outcomes after spinal cord injury: a review of current and future directions in rehabilitation management. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(24 suppl):137-145. <https://doi.org/10.1097/00007632-200112151-00023>
24. Drolet M, Noreau L, Vachon J, et al. Muscle strength changes as measured by dynamometry following functional rehabilitation in individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(7):791-800. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(99\)90229-0](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(99)90229-0)
25. Бодрова Р.А. Определение реабилитационного потенциала у лиц, перенесших травму спинного мозга с позиций Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья. *Вестник восстановительной медицины*. 2015;4(68):13-22. Bodrova RA. Opredelenie reabilitacionnogo potenciala u lic, perenessih travmu spinnogo mozga s pozicij Mezhdunarodnoj klassifikacii funkcionirovaniya, ogranichenij zhiznedeyatel'nosti i zdorov'ya. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny*. 2015;4(68):13-22. (In Russ.).

Получена 27.11.2019

Received 27.11.2019

Принята в печать 20.03.2020

Accepted 20.03.2020