

Разработка методов численного анализа динамики функциональной активности спинного мозга у пациентов, перенесших осложненную спинальную травму

Ю. Е. Педаченко, А. С. Нехлопочин

Институт нейрохирургии имени академика А. П. Ромоданова НАМН Украины, г. Киев

Elaboration of methods of numerical analysis of dynamics of the spinal cord functional activity in patients, suffering complicated spinal trauma

Yu. E. Pedachenko, A. S. Nekhlopochin

Romodanov Institute of Neurosurgery, Kyiv

Реферат

Цель. Разработка методов численного анализа оценки неврологического статуса пациентов, перенесших позвоночно–спинномозговую травму (ПСМТ).

Материалы и методы. На основании клинических наблюдений рассмотрены возможные варианты математической интерпретации динамики восстановления неврологического статуса и регресса неврологических расстройств.

Результаты. Разработаны методы расчета параметров «Динамика восстановления неврологического статуса» и «Динамика восстановления неврологических расстройств», характеризующих различные сферы регресса функционального дефицита у пациентов с травматическим поражением спинного мозга (СМ).

Выводы. Предложенные методы численного анализа могут использоваться для определения целесообразности и эффективности различных методов хирургической и медикаментозной коррекции у пациентов с ПСМТ.

Ключевые слова: неврологический статус; травма спинного мозга; численный анализ; динамика восстановления.

Abstract

Objective. Elaboration of methods of numerical analysis, concerning estimation of neurological status in patients, suffering consequences of vertebra–spinal trauma (PSMT).

Materials and methods. Basing on clinical observations, possible variants of mathematical interpretation of the restoration dynamics of neurological status and the neurological disorders regress were considered.

Results. The methods of the parameters calculation «Dynamics of the neural status restoration» and «Dynamics restoration in neurological disorders», which characterizes various spheres of the functional deficiency regress in patients, suffering traumatic affection of spinal cord, were elaborated.

Conclusion. The proposed methods of numerical analysis may be used for determination of expediency and efficacy of various methods of surgical and medicinal correction in patients with traumatic vertebro–spinal affection.

Keywords: neurological status; spinal trauma; numerical analysis; dynamics of restoration.

Травматическое повреждение СМ является одним из наиболее тяжелых последствий механического воздействия на организм человека и характеризуется стабильно высокой летальностью в острый период травмы, стойкими ограничениями жизнедеятельности и утратой трудоспособности в отдаленном периоде. По данным ВОЗ, в мире около 2,5 млн. человек, средний возраст которых составляет 33,4 года, страдают от последствий перенесенной травмы СМ.

Согласно данным International Campaign for Cures of Spinal Cord Injury Paralysis только в четырех странах – США, Канаде, Австралии и Англии – ежегодные расходы на медицинское обеспечение пациентов с последствиями ПСМТ превышают 10 млн. долларов. Последнее десятилетие характеризуется постоянным увеличением частоты ПСМТ, которое является наибольшим в странах с низкими доходами населения. Внедрение в практическое здравоохранение унифицированных протоколов

оказания экстренной помощи, современных методов нейровизуализации, оптимизированных методов анестезиологического пособия и хирургического лечения позволили в значительной степени снизить летальность у данной категории пострадавших, что закономерно привело к увеличению количества пациентов с травматической болезнью СМ, нуждающихся в усовершенствованных методах лечения на всех этапах ее развития.

Опубликованы результаты значительного количества исследований, направленных на разработку методов минимизации последствий ПСМТ, включающих хирургическое, фармакологическое и физическое воздействие.

Закономерно предложено множество систем оценки эффективности проводимой терапии.

На основании анализа данных литературы нами выделены следующие методы оценки регресса последствий ПСМТ:

клинико–неврологические – международные стандарты неврологической классификации травмы СМ (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury – ISNCSCI), стандарты оценки Американской ассоциации проблем повреждения позвоночника (American Spinal Injury Association – ASIA) и др. [1 – 3];

электронейрофизиологические – двигательные и чувствительные вызванные потенциалы, функциональная нейрофизиологическая оценка и др. [4 – 6];

основанные на нейровизуализации – магнитно–резонансная томография, функциональная магнитно–резонансная томография и др. [7 – 9];

функциональной самооценки: тест 6– и 10–минутной ходьбы, шкала баланса Берга, шкала ограничения качества жизни и др. [10 – 12].

Наиболее широко используются, особенно в остром периоде ПСМТ, клинико–неврологические шкалы. «Золотым стандартом» признана шкала ISNCSCI, преимуществами которой неоспоримы: простота оценки, основанная на классических принципах описания неврологического статуса, высокая детализация, сопоставимость результатов в динамике.

Однако эта шкала имеет ряд существенных недостатков, один из которых – отсутствие математического алгоритма оценки эффективности применяемых методов лечения у пациентов с различным уровнем поражения СМ, из–за чего ее применение в значительной мере лимитируется и фактически ограничивается 5–буквенной шкалой ASIA.

Цель исследования: разработка метода численного анализа результатов оценки неврологического статуса по шкале ISNCSCI для сравнения эффективности терапии у пациентов с различным уровнем поражения СМ.

Материалы и методы исследования

Проанализированы данные литературы для определения существующих методов численной интерпретации результатов тестирования по шкале ISNCSCI. На основании изучения клинической картины у пациентов с травмой позвоночника, сочетающейся с поражением СМ, рассмотрены варианты математической интерпретации динамики восстановления неврологического статуса и регресса неврологических расстройств.

Система оценки неврологического статуса ISNCSCI, утвержденная в 1992 г. Американской ассоциацией спинальной травмы, это четко стандартизированный алгоритм действий, направленный на определение уровня и степени повреждения СМ. Обследование пациента проводится в положении лежа. Последовательно сверху вниз оценивается тактильная и болевая чувствительность. Предусмотрен анализ 28 дерматомов по схеме, изображенной на стандартном бланке ISNCSCI, с цифровым отображением результата тестирования на каждом уровне. Возможны три варианта оценки сенсорной функции: 0 – отсутствие чувствительности, 1 – измененная (пониженная либо повышенная) чувствительность, 2 – нормальная чувствительность. Когда пациент не может дифференцировать касание и укол, подразумевается отсутствие болевой чувствительности. Когда проверка чувствительности в определенной зоне не представляется возможной (выраженный болевой синдром, иммобилизация, ампутация либо контрактура, нарушающая более 50% объема движений), используется аббревиатура NT. Двигательная функция оценивается с двух сторон по 10 ключевым группам мышц с определенным одним из 6 вариантов согласно шкале Медицинского исследовательского совета (шкала MRC) [13]: 0 баллов

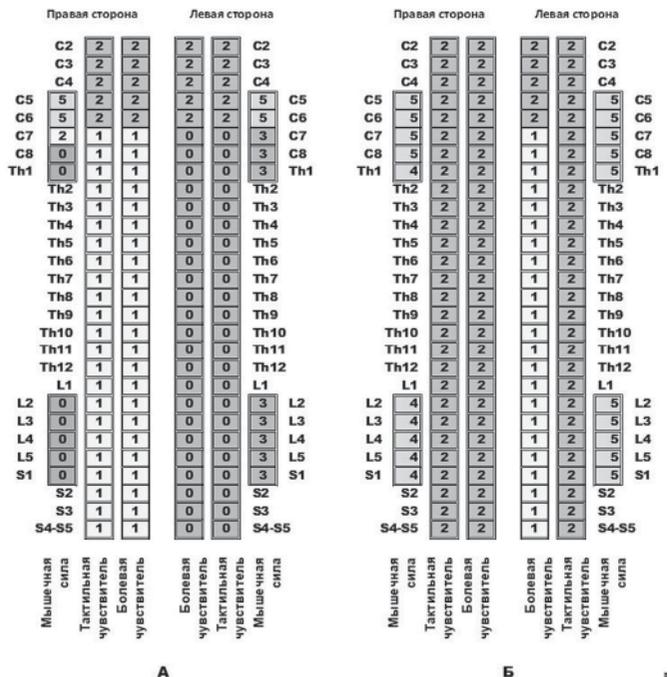


Рис. 1. Оценка неврологического статуса пациента с травмой шейного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ. А – при госпитализации, Б – через 6 мес после оперативного вмешательства. ASIA D.

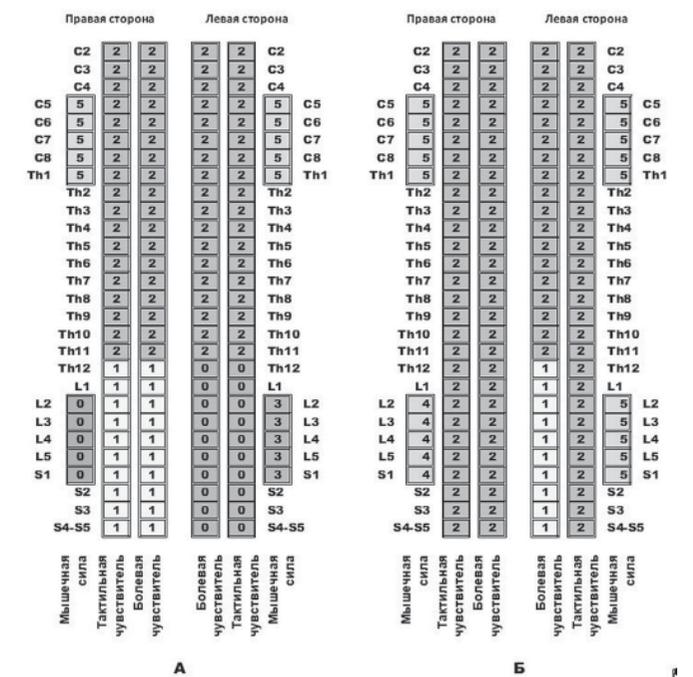


Рис. 2. Оценка неврологического статуса пациента с травмой нижнегрудного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ. А – при госпитализации, Б – через 6 мес после оперативного вмешательства. ASIA D.

– полный паралич; 1 балл – пальпируемые или видимые сокращения мышц; 2 балла – активные движения в полном объеме без преодоления силы тяжести; 3 балла – активные движения в полном объеме с преодолением силы тяжести; 4 балла – активные движения в полном объеме с преодолением силы тяжести и небольшого внешнего противодействия; 5 баллов – активные движения в полном объеме с преодолением силы тяжести и максимального внешнего противодействия (нормальные).

Максимальная сумма баллов при условии оценки всех предусмотренных методикой дерматомов для чувствительной сферы (ЧС) – 224, для двигательной сферы (ДС) – 100.

Результаты

Анализ алгоритмов цифровой обработки существующих систем оценки неврологического статуса не выявил схем, позволяющих сравнить динамику регресса расстройств неврологических функций у пациентов с различным уровнем поражения СМ. Шкала ASIA – единственная широко распространенная система оценки, которая используется в большинстве современных исследований [14]. Следует отметить, что по шкале ASIA переход из уровня А в другие подгруппы либо переход в уровень Е из других подгрупп не имеет сложностей в оценке изменения неврологического статуса пострадавших и вариантов трактовки, но для всех других разновидностей динамики, например для перехода из ASIA В в ASIA С, возможно значительное количество клинико-неврологических вариаций. Соответственно минимальные изменения, имеющие, однако, существенное значение как для функциональной активности пациента, так и для оценки эффективности терапии, в процессе статистической обработки в связи с недостаточными разрешающими возможностями методик оценки упускаются.

Нами проведена оценка неврологического статуса пациента с травмой шейного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ, при госпитализации (рис. 1А). Неврологическая картина соответствовала «неполному синдрому Броун–Секара». Через 6 мес после проведенного хирургического лечения наблюдался значительный регресс как двигательных, так и чувствительных расстройств (рис. 1Б), однако при оценке статуса по шкале ASIA динамика отсутствовала.

Цифровая интерпретация оценки неврологического статуса по шкале ISNCSCI у пациента с травмой шейного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ, приведена в табл. 1.

Разница сумм баллов, приведенная в табл. 1, является разницей между конечным и начальным значениями анализируемого показателя и фактически отражает динамику восстановления неврологического статуса (ДС либо ЧС). В относительных величинах динамика восстановления неврологического статуса составила 48% – для ДС и 51,3% – для ЧС.

Рассчитывали относительные величины по формуле:

$$\text{Восстановление ДС} = \frac{\text{сумма баллов ДС после операции} - \text{сумма баллов ДС до операции}}{\text{максимальная сумма баллов}} \times 100\%$$

Аналогичным образом определяли динамику восстановления ЧС.

Проведен также расчет оценки неврологического статуса у пациента с травмой нижнегрудного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ (табл. 2).

Данные в табл. 2 соответствуют схеме распределения неврологических нарушений по шкале ISNCSCI, приведенной на рис. 2.

Несмотря на значимую положительную динамику, неврологический статус пациента и непосредственно после травмы (рис. 2А) и через 6 мес после оперативного вмешательства (рис. 2Б) соответствовал ASIA D.

Таблица 1. Оценка динамики изменения неврологического статуса у пациента с травмой шейного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ

Тип	Показатель	До операции, баллы			Через 6 мес после операции, баллы			Разница сумм баллов
		справа	слева	сумма	справа	слева	сумма	
ДС	UEMS	12	19	46	24	25	94	48
	LEMS	0	15		20	25		
ЧС	Тактильная чувствительность	33	10	86	56	33	201	115
	Болевая чувствительность	33	10		56	56		

Таблица 2. Оценка динамики изменения неврологического статуса у пациента с травмой нижнегрудного отдела позвоночника, осложненной повреждением СМ

Тип	Показатель	До операции, баллы			Через 6 мес после операции, баллы			Разница сумм баллов
		справа	слева	сумма	справа	слева	сумма	
ДС	UEMS	25	25	65	25	25	95	30
	LEMS	0	15		20	25		
ЧС	Тактильная чувствительность	46	36	164	56	46	214	50
	Болевая чувствительность	46	36		56	56		

Таблиця 3. Значення СФА для сегментів СМ, розположених на рівні і нижче поразення, у обох пацієнтів

Тип	Пацієнт з травмою шийного відділа позвоночника			Пацієнт з травмою нижнегрудного відділа позвоночника		
	СФА, балли		Δ СФА	СФА, балли		Δ СФА
	до операції	через 6 мес після операції		до операції	через 6 мес після операції	
ДС	1,652	4,625	3	1,5	4,5	3
ЧС	0,5	1,75	1,25	0,5	1,75	1,25

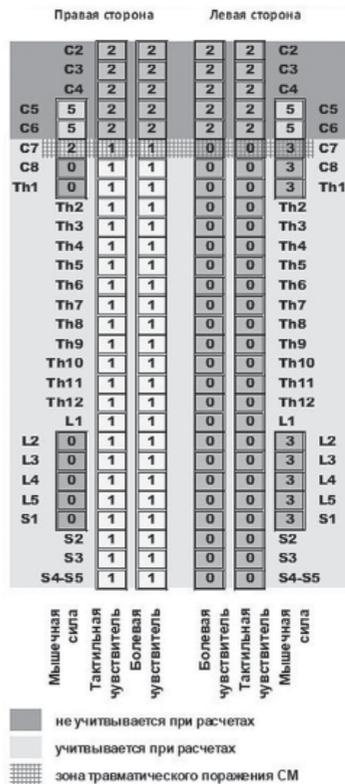


Рис. 3. Схема сегментів СМ, що враховуються при розрахунку СФА.

Таким образом, у пацієнта з травмою шийного відділа позвоночника, ускладненою поразенням СМ, відновлення ДС склало 48%, ЧС – 51,3%, неврологічного статусу – 50,3%; у пацієнта з травмою нижнегрудного відділа позвоночника, ускладненою поразенням СМ, відповідно – 30, 22,3 і 24,7%.

С метою реалізації поставленої задачі оцінка проведена у пацієнтів со схожими по ступеню вираженості порушеннями функції СМ і динамікою відновлення. Ісходно у обох пацієнтів нижче рівня поразення СМ сила в лівих кінцівках оцінена в 0 баллів, правих – в 3 бали, після проведеної терапії – відповідно в 4 і 5 баллів. При дослідженні чутливості в обох пацієнтів справа відзначалась болева і тактильна гіпестезія нижче рівня поразення, слева – анестезія. Після терапії справа зареєстрована нормальна чутливість, слева – тактильна гіпестезія і нормальна болева чутливість.

Приймаючи во увагу, що клінічна картина у подавляючого більшості пацієнтів з ускладненою

ми поразеннями позвоночника визначається провідниковими порушеннями СМ на рівні поразення, ефективність терапії в обох пацієнтів можна вважати ідентичною, що в принципі відображається відповідністю числових значень вивченого признака.

Обсуждение

Предложеному термину «Динаміка відновлення неврологічного статусу» достатньо інформативен і має етимологічне обґрунтування, так як при його розрахунку враховується стан всіх сегментів СМ, передбачених методикою ISNCSCI, тобто неврологічний статус.

Показатель може застосовуватися для індивідуальної оцінки динаміки течії травматичної хвороби СМ або для аналізу групи пацієнтів при умові, що травмовані ідентично по рівню сегменту. Рассчитанне значення фактично демонструє, на скільки відсотків від абсолютної норми змінилась функціональна активність СМ в цілому.

С метою розрахунку показателя, що характеризує ефективність проведеної терапії у пацієнтів з різним рівнем травматичного поразення СМ, пропонується враховувати тільки сегменти, розположені на рівні і нижче травми, тобто те, функціональна активність яких була змінена в результаті механічного впливу на СМ з наступними сегментарними і провідниковими порушеннями.

Згідно даної концепції у пацієнта з травмою шийного відділа позвоночника, ускладненою поразенням СМ, до операції середня функціональна активність (СФА) рухових сегментів буде рівнятися сумі баллів, отриманої при діленні сумми баллів C7–S1 зліва і справа на кількість сегментів, помножену на кількість аналізованих значень в одному сегменті, тобто $26/16 = 1,652$ бала.

Таким образом, СФА сегментів, розположених на рівні і нижче травми, розраховується по формулі:

$$\text{СФА} = \frac{\text{сума баллів аналізованих сегментів}}{\text{кількість сегментів} \times \text{кількість аналізованих значень в одному сегменті}}$$

При аналізі ДС кількість аналізованих значень в одному сегменті буде 2 (ключові м'язи зліва і справа), ЧС – 4 (тактильна і глибока чутливість в сегменті зліва і справа).

Значення СФА, розраховані для обох пацієнтів, наведені в табл. 3.

Схематично зона сегментів СМ, що враховуються при розрахунку СФА, у пацієнта з травмою шийного відділа позвоночника представлена на рис. 3.

Как видно из представленных данных, динамика восстановления СФА сегментов СМ на уровне и ниже воздействия травмирующего фактора (ДСФА) в обоих пациентов идентична. Исходя из этимологии и учитывая, что в расчет принимаются только сегменты с измененной функциональной активностью, рассчитанный параметр целесообразно характеризовать как динамику восстановления неврологических расстройств.

При проведении расчетов количество анализируемых сегментов СМ в каждом индивидуальном случае должно оставаться постоянным, что позволяет получить наиболее достоверные данные.

Приведенные результаты анализа показывают, что предложенный параметр адекватно отражает динамику регресса функциональных нарушений СМ и может применяться для анализа эффективности терапии у пациентов с различным анатомическим уровнем поражения СМ.

Выводы

1. Разработаны два критерия оценки динамики состояния функциональной активности СМ у пациентов с осложненной спинальной травмой: «Динамика восстановления неврологического статуса», который отражает изменение функциональной активности СМ в целом и может быть использован для индивидуальной оценки эффективности терапии у пациента, и «Динамика восстановления неврологических расстройств», который характеризует изменение функциональной активности сегментов СМ, расположенных на уровне и ниже травмы, и целесообразен для оценки различных методов лечения у пациентов вне зависимости от анатомического уровня поражения СМ.

2. Продемонстрирована низкая информативность широко используемой системы оценки неврологических расстройств по шкале ASIA.

3. Основным преимуществом предложенных критериев является их цифровое представление, что позволяет выполнять полноценную статистическую обработку полученных результатов с учетом уровня погрешности и статистической достоверности.

4. Разработанная система оценки в случае успешной клинической апробации может быть рекомендована для определения целесообразности и эффективности различных методов хирургической и медикаментозной коррекции при травматических повреждениях СМ.

References

1. Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med.* 2011 Nov;34(6):535–46.
2. Kalsi-Ryan S, Beaton D, Curt A, Duff S, Popovic MR, Rudhe C, et al. The Graded Redefined Assessment of Strength Sensibility and Prehension: Reliability and Validity. *J Neurotrauma.* 2012 Mar 20;29(5):905–14.
3. Krassioukov A, Biering-Sorensen F, Donovan W, Kennelly M, Kirshblum S, Krogh K, et al. International standards to document remaining autonomic function after spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2012 Jul 19;35(4):201–10.
4. Kramer JLK, Taylor P, Haefeli J, Blum J, Zariffa J, Curt A, et al. Test-Retest Reliability of Contact Heat-Evoked Potentials From Cervical Dermatomes. *J Clin Neurophysiol.* 2012 Feb;29(1):70–5.
5. McKay WB, Ovechkin A V, Vitaz TW, Terson de Paleville DGL, Harkema SJ. Neurophysiological characterization of motor recovery in acute spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2011 Mar 16;49(3):421–9.
6. King NKK, Savic G, Frankel H, Jamous A, Ellaway PH. Reliability of Cutaneous Electrical Perceptual Threshold in the Assessment of Sensory Perception in Patients with Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma.* 2009 Jul;26(7):1061–8.
7. Miyanji F, Furlan JC, Aarabi B, Arnold PM, Fehlings MG. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome—prospective study with 100 consecutive patients. *Radiology.* 2007 Jun;243(3):820–7.
8. Martin AR, Aleksanderek I, Cohen-Adad J, Tarmohamed Z, Tetreault L, Smith N, et al. Translating state-of-the-art spinal cord MRI techniques to clinical use: A systematic review of clinical studies utilizing DTI, MT, MWF, MRS, and fMRI. *NeuroImage Clin.* 2016;10:192–238.
9. Wilson JR, Grossman RG, Frankowski RF, Kiss A, Davis AM, Kulkarni AV, et al. A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. *J Neurotrauma.* 2012 Sep;29(13):2263–71.
10. van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Assessing walking ability in subjects with spinal cord injury: Validity and reliability of 3 walking tests. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005 Feb;86(2):190–6.
11. van Hedel HJA, Wirz M, Curt A. Improving walking assessment in subjects with an incomplete spinal cord injury: responsiveness. *Spinal Cord.* 2006 Jun 22;44(6):352–6.
12. Wirz M, Müller R, Bastiaenen C. Falls in persons with spinal cord injury: validity and reliability of the Berg Balance Scale. *Neurorehabil Neural Repair.* 2010 Jan 12;24(1):70–7.
13. Paternostro-Sluga T, Grim-Stieger M, Posch M, Schuhfried O, Vacariu G, Mittermaier C, et al. Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. *J Rehabil Med.* 2008 Aug;40(8):665–71.
14. Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, Kwon BK, Burns AS, Martin AR, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Acute Spinal Cord Injury: Introduction, Rationale, and Scope. *Glob Spine J.* 2017 Sep 5;7(3_suppl):84S–94S.