DOI: https://doi.org/10.51922/1818-426X.2026.4.70

О. Н. Васько[1,2], Н. Н. Альтаи[1], А. Б. Деменцов[3]

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ И СОСУДИСТОЙ СИСТЕМ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ И КОНСЕРВАТИВНОМ ЛЕЧЕНИИ ПЕРЕЛОМОВ ДИАФИЗА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ У ДЕТЕЙ

ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии», Минск, Республика Беларусь,[1]
УО «Белорусский государственный университет», Минск, Республика Беларусь,[2]
УЗ «6-я городская клиническая больница», Минск, Республика Беларусь[3]

Цель – изучить особенности восстановления функционального состояния нервно-мышечного и сосудистого аппарата верхних конечностей у детей с переломами диафиза плечевой кости после малоинвазивного остеосинтеза титановыми стержнями и консервативного лечения.

Материал. *Проведен анализ особенностей функционального состояния нервно-мышечной и сосудистой систем в различные сроки восстановительного периода у детей (n = 20, средний возраст 12,3 ± 2,5 лет) с переломом диафиза плечевой кости, получавших лечение с применением малоинвазивного остеосинтеза эластичными стержнями (I группа, n = 10) и консервативного метода (II группа, n = 10). Контроль составил 8 детей аналогичного возраста без травматолого-ортопедической патологии.*

Результаты. *У всех детей с переломом диафиза плечевой кости, независимо от способа лечения, в восстановительном периоде на стороне перелома наиболее полное и интенсивное (к 4–6 месяцам послеоперационного периода) восстановление кровоснабжения и двигательных функций отмечалось в мышцах плечевого пояса (mm. deltoideus, supraspinatus, infraspinatus).*

Функциональное состояние мышц травмированного плеча (mm. biceps brachii, triceps brachii) и соответствующих периферических нервов (n. radialis. n. musculocutaneus), восстанавливалось позднее: не ранее 9 и 12 месяцев в обеих группах. Количественная оценка функций нервно-мышечной и сосудистой систем в указанные сроки свидетельствовала об их более быстром восстановлении у пациентов I группы по сравнению с пациентами II группы.

Применение нейрофизиологических и допплерографических методов исследования у детей с переломами диафиза плечевой кости дало возможность определить физиологические механизмы восстановления нервно-мышечных и сосудистых функций в процессе репаративного остеогенеза после малоинвазивного хирургического и консервативного лечения, что позволяло своевременно проводить коррекцию плана реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление двигательной активности травмированной конечности.

Ключевые слова: *перелом диафиза плечевой кости, дети, электромиография, мышц плеча и плечевого пояса, периферические нервы, допплерография, малоинвазивный остеосинтез эластичными стержнями, консервативное лечение.*

O. N. Vas'ko[1,2], N. N. Altai[1], A. B. Dementsov[3]

CHARACTERISTICS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE NEUROMUSCULAR AND VASCULAR SYSTEMS DURING SURGICAL AND CONSERVATIVE TREATMENT OF HUMERAL SHAFT FRACTURES IN CHILDREN

Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus,[1]
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus,[2]
6th City Clinical Hospital, Minsk, Republic of Belarus[3]

Aim of the study is the functional recovery of the neuromuscular and vascular systems of the upper extremities in children with humeral shaft fractures after minimally invasive osteosynthesis with titanium rods and conservative treatment.

Material. *An analysis of the functional state of the neuromuscular and vascular systems was conducted at various points in the recovery period in children (n = 20, average age 12,3 ± 2,5 years) with humeral shaft fractures treated with minimally invasive osteosynthesis using elastic rods (group 1, n = 10) and conservative osteosynthesis (group 2, n = 10). The control group consisted of 8 children of the same age without traumatological and orthopedic pathology.*

Results. *In all children with humeral shaft fractures, regardless of the treatment method, the most complete and intensive restoration of blood supply and motor function (by 4–6 months postoperatively) was observed in the muscles of the shoulder girdle (deltoideus, supraspinatus, and infraspinatus) on the fractured side. The functional state of the injured shoulder muscles (biceps brachii, triceps brachii) and the corresponding peripheral nerves (n. radialis, n. musculocutaneus) was restored later: no earlier than 9 and 12 months in both groups. Quantitative assessment of neuromuscular and vascular function at these time points indicated more complete recovery in patients in group I compared to patients in group II.*

The use of neurophysiological and Dopplerographic research methods in children with fractures of the humeral diaphysis made it possible to determine the physiological mechanisms of restoration of neuromuscular and vascular functions in the process of reparative osteogenesis after minimally invasive surgical and conservative treatment, which allowed for timely correction of the rehabilitation plan aimed at restoring motor activity of the injured limb.

Key words: *fracture of the humeral diaphysis, children, electromyography, muscles of the shoulder and shoulder girdle, peripheral nerves, dopplerography, minimally invasive osteosynthesis with elastic rods, conservative treatment.*

Распространенность переломов диафиза плечевой кости у детей составляет 3–5 % от всех переломов костей скелета [1, 2]. Как правило, данный вид повреждения является следствием высокоэнергетической травмы, в результате которой нарушается целостность не только костной ткани, но и прилежащих тканей [3, 4].

Обычно диафизарные переломы плеча у детей лечат консервативным способом, включающим в себя скелетное вытяжение в течение 4–5 недель с последующей гипсовой иммобилизацией конечности [5]. Однако длительная иммобилизация поврежденной конечности на значительный срок выключает ребенка из активной жизни и значительно ограничивает его двигательную деятельность [6]. Постепенное развитие различных подходов к лечению данной патологии привело к появлению малоинвазивных методик остеосинтеза эластичными стержнями, которые дают возможность осуществлять раннюю дозированную нагрузку на конечность [7, 8].

В современной литературе не было найдено данных, в которых были бы описаны особенности восстановления функций верхней конечности у детей после перелома диафиза плечевой кости в зависимости от метода лечения.

Цель – изучить особенности восстановления функционального состояния нервно-мышечного и сосудистого аппарата верхних конечностей у детей с переломами диафиза плечевой кости после малоинвазивного остеосинтеза эластичными титановыми стержнями и консервативного лечения.

Материал

Исследование проводили у 20 детей (18 мальчиков, 2 девочки, средний возраст 12,3 ± 2,5 лет) с переломом диафиза плечевой кости, которые в зависимости от способа лечения были разделены на две клинические группы: I группа (*n* = 10) – пациенты, получавшие лечение методом малоинвазивного остеосинтеза; II группа (*n* = 10) – пациенты, получавшие лечение консервативным методом, включавшим в себя скелетное вытяжение в течение 4–5 недель и последующую гипсовую иммобилизацию конечности (4–5 недель). Контроль составили 8 детей (5 мальчиков, 3 девочки) аналогичного возраста без травматолого-ортопедической патологии.

Методы

Комплексное нейрофизиологическое исследование проводили в положении пациента «сидя». Методом суммарной электромиографии (ЭМГ) осуществляли регистрацию биоэлектрической активности (БА) мышц плечевого пояса и плеча (mm. deltoideus, supraspinatus, infraspinatus, biceps brachii, triceps brachii).

Методом стимуляционной ЭМГ регистрировали М-ответы m. deltoideus, m. biceps brachii, m. triceps surae, m. supraspinatus при электрическом раздражении, соответственно, n. axillaris, n. musculocutaneus, n. radialis, n. suprascapularis в области т. Эрба.

Допплерографически исследовали аа. и vv. subclavia, axillaris, brachialis, radialis, ulnaris. Устанавливали среднюю скорость ($V_{сред}$, см/с), диаметр сосуда (см), кровяной поток (КП, л/мин).

Оборудование: комплекс многофункциональный «Нейрософт» (Россия), ультразвуковой сканер «HD-15» (Philips, USA).

Статистическая обработка

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики (пакет прикладных программ «Statistica 10.0», StatSoft, США). Характер распределения анализировали с применением критерия Шапиро-Уилка. После проверки выборки на нормальность распределения использовали параметрические и непараметрические методы. В случае нормального распределения выборки применяли параметрический метод сравнительной характеристики параметров – критерий Стьюдента и результаты представляли в виде среднего и стандартного отклонения – M ± SD. При отсутствии нормального распределения выборки применяли

непараметрический Т-критерий Вилкоксона для зависимых выборок, а также U критерий Манна-Уитни для независимых выборок и результаты представляли в виде медианы и интерквартильного размаха – Me (процентиль 25 % – процентиль 75 %). Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Анализ периферического кровотока верхних конечностей у детей без травматолого-ортопедической патологии (группа контроля) выявил характерные изменения в направлении от подключичной до лучевой и локтевой артерий: по мере уменьшения калибра магистральных артерий отмечалось снижение их скоростей кровотока. Не было выявлено достоверной разницы ($p \geq 0,05$) между величинами КП a. ulnaris и a. radialis (значения составили 0,094 [0,091–0,097 л/мин] и 0,092 [0,089–0,095] л/мин, соответственно).

Результаты суммарной ЭМГ у здоровых детей так же свидетельствовали об уменьшение величин БА мышц в направлении от проксимальных сегментов конечности к дистальным (значения составили для m. supraspinatus 950,0 [901,1–975,0] мкВ, m. infraspinatus 935,0 [890,0–955,5] мкВ, m. deltoideus 900,0 [885,0–930,0] мкВ, m. biceps brachii 802,0 [615,0–904,0] мкВ, m. triceps brachii 416,4 [400,0–450,0] мкВ).

По данным стимуляционной ЭМГ были изучены характеристики М-ответов m. supraspinatus, m. deltoideus, m. biceps brachii, m. triceps surae (значения составили 8,1 [7,9–8,5] мВ, 7,3 [6,0–8,5] мВ, 6,8 [4,6–9,2] мВ, 5,2 [4,1–7,0] мВ, соответственно) с целью последующий оценки изменений моторной возбудимости основных периферических нервов верхней конечности, принимающих участие в иннервации ее мышечного аппарата, в условиях наличия травматической патологии.

У всех детей с переломом диафиза плечевой кости в раннем послеоперационном периоде (2–2,5 месяца) отмечалось снижение функций мышц плеча и плечевого пояса на стороне травмы (рисунок 1) относительно диапазона физиологической нормы, наиболее выраженное в m. triceps brachii и m. biceps brachii.

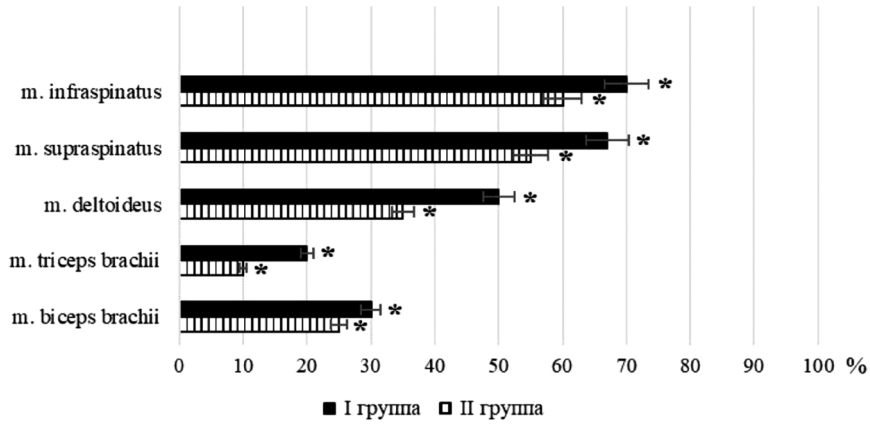
Нарушение мышечных функций травмированной конечности сопровождалось снижением моторной возбудимости ее периферических нервов: в I и II группах отмечалось уменьшение (относительно диапазона физиологической нормы, $p \leq 0,05$) амплитуд М-ответов m. deltoideus (n. axillaris), соответственно, на 10 % и 20 %, m. biceps brachii (n. musculocutaneus) – на 20 % и 35 %, m. triceps surae (n. radialis) – на 71 % и 82 %.

По данным ультразвукового исследования в обеих группах пациентов на стороне перелома скорости кровотока в магистральных артериях травмированной конечности превышали контроль. Межгрупповым различием являлось то, что у детей, получавших хирургическое лечение, уровень кровенаполнения a. radialis травмированной конечности превышал контроль на 20 %, в то время как у пациентов II группы скорости кровотока по данной артерии превосходили нормативный диапазон всего лишь на 12 % ($p \leq 0,05$).

В процессе репаративного остеогенеза к 4–6 месяцам послеоперационного периода в обеих группах пациентов отмечалось полное восстановление функций мышц плечевого пояса (m. supraspinatus, m. infraspinatus, m. deltoideus) травмированной стороны, а также параметров моторной возбудимости nn. axillaris, suprascapularis до уровня контроля. Сохранялось снижение двигательной активности мышц плеча на стороне перелома относительно диапазона физиологической нормы в среднем на 50 % и 75 % для пациентов I и II групп, соответственно, в сочетании с уменьшением ($p \leq 0,05$) амплитуды М-ответов m. biceps brachii (в I группе до 5,8 [4,8–6,0] мВ, во II группе – до 5,1 [3,5–5,8] мВ) и m. triceps brachii (в I группе до 2,5 [2,0–3,1] мВ, во II группе – до 1,7 [1,0–2,2] мВ).

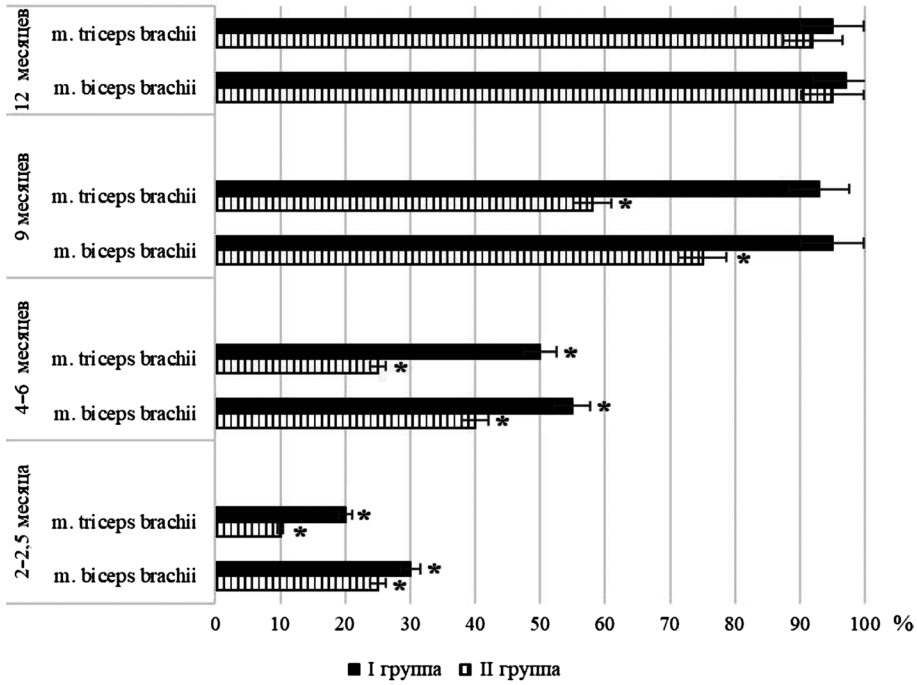
У всех детей отмечалось постепенное снижение (по сравнению с предыдущим периодом наблюдения) уровня кровотока по магистральным артериям травмированной верхней конечности.

К 9 месяцам восстановительного периода в I группе пациентов наблюдалась полная нормализация изучаемых электрофизиологических и допплерографических параметров. Во II группе в вышеуказанные сроки наблюдения сохранялось снижение амплитуды БА m. biceps brachii и m. triceps brachii, соответственно, на 25 % и 42 % относительно контроля в сочетании с сохраняющимся снижением моторной возбудимости n. radialis (амплитуды



Примечание: * – изменения достоверны относительно контроля.

Рисунок 1. Изменение (%) величин биоэлектрической активности мышц травмированной верхней конечности относительно контроля (100 %) у детей с переломом диафиза плечевой кости после хирургического (I группа) и консервативного (II группа) лечения в раннем восстановительном периоде



Примечание: * – различия достоверны по отношению к контролю.

Рисунок 2. Изменение (%) величин биоэлектрической активности мышц травмированной верхней конечности относительно контроля (100 %) у детей с переломом диафиза плечевой кости после хирургического (I группа) и консервативного (II группа) лечения в различные сроки восстановительного периода

М-ответов m. triceps brachii составили 2,9 [2,5–3,7] мВ, $p \leq 0,05$). Отмечалось умеренное (на 5–7 %) повышение скоростей кровотока по a. radialis относительно контроля, что, вероятно, позволяло обеспечить метаболические потребности не полностью восстановивших свои функции тканей. Нормализация изучаемых параметров травмированной конечности в данной группе пациентов происходила не ранее 12 месяцев послеоперационного периода (рисунок 2).

Таким образом, у всех детей с переломом диафиза плечевой кости, независимо от способа лечения, в восстановительном периоде на стороне перелома отмечалась интенсивная нормализация (к 4–6 месяцам послеоперационного периода) функций мышц плечевого пояса (mm. deltoideus, supraspinatus, infraspinatus) и соответствующих периферических нервов (nn. axillaris, suprascapularis).

Анализ ЭМГ-параметров мышц травмированного плеча (mm. biceps brachii, triceps brachii) с иннервацией n. radialis, n. musculocutaneus показал, что нормализация их функционального состояния происходила позднее: у детей I группы – к 9 месяцам после полученного лечения, а детей II группы – к 12 месяцам.

Результаты УЗДГ-исследования показали, что изменения параметров периферического кровотока травмированной верхней конечности на протяжении всего времени наблюдения у пациентов обеих клинических групп не имели существенных различий, за исключением скорости кровотока по лучевой артерии травмированной конечности, которая в ранние сроки после полученного лечения находилась на более высоком уровне у детей, получавших хирургическое лечение, что, вероятно, позволяло обеспечить оптимальное кровоснабжение тканей травмированного плеча.

Применение нейрофизиологических и допплерографических методов исследования у детей с переломами диафиза плечевой кости дало возможность определить физиологические механизмы восстановления нервно-мышечных и сосудистых функций в процессе репаративного остеогенеза после малоинвазивного хирургического и консервативного лечения, что позволяло своевременно проводить коррекцию плана реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление двигательной активности травмированной конечности.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. *Беленький*, И. Г. Оперативное лечение переломов диафиза плечевой кости. Современный взгляд на проблемы и пути их решения / И. Г. Беленький, Б. А. Майоров, С. Х. Ли // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10. – С. 1849–1857.

2. *Evaluation* and management of pediatric humeral shaft fractures / L. Annabell, B. J. Shore, D. J. Hedequist, G. D. Hogue // Journal of the Academy of Orthopaedic Surgeons. – 2023. – Vol. 31, № 6. – P. 265–273.

3. *Зубарева*, Т. В. Исследование иннервации и функции мышц-стабилизаторов плечевого сустава и частей дельтовидной мышцы у пациентов с застарелыми переломами проксимального отдела плечевой кости / Т. В. Зубарева, С. В. Гюльназарова // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2018. – № 1(61). – С. 48–53.

4. *Geoffroy-Legeay*, H. Massage therapy effectiveness in rehabilitation on humeral shaft fracture in child: a case study / H. Geoffroy-Legeay // International Journal of Therapeutic Massage and Bodywork. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 54.

5. *Martinez-Catalan*, N. Conservative treatment of proximal humerus fractures: when, how, and what to expect / N. Martinez-Catalan // Current reviews in musculoskeletal medicine. – 2023. – Vol. 16, № 2. – P. 75–84.

6. *Щуров*, В. А. Особенности функционального состояния больных при лечении закрытых перелом плечевой кости / В. А. Щуров, В. Т. Тарчоков // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 5. – С. 54–59.

7. *Operative* vs nonoperative management of fractures of the humeral diaphysis: the humeral shaft fracture fixation randomized clinical trial / W. M. Oliver, K. R. Bell, T. H. Carter [et al.] // JAMA surgery. – 2025. – Vol. 160, № 5. – P. 508–516.

8. *Тишков*, Н. В. Комбинированный чрескостный остеосинтез перелома диафиза плечевой кости при нарушениях репаративного процесса (клинический случай) / Н. В. Тишков // Acta Biomedica Scientifica. – 2020. – Т. 5, № 6. – С. 211–215.

References

1. *Belen'kij*, I. G. Operativnoe lechenie perelomov diafiza plechevoj kosti. Sovremennyj vzglyad na problemy i puti ikh resheniya [Surgical treatment of humeral shaft fractures: A modern perspective on challenges and solutions] / I. G. Belen'kij, B. A. Majorov, S. Kh. Li // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 10. – S. 1849–1857 [In Russian].

2. Evaluation and management of pediatric humeral shaft fractures / L. Annabell, B. J. Shore, D. J. Hedequist, G. D. Hogue // Journal of the Academy of Orthopaedic Surgeons. – 2023. – Vol. 31, № 6. – P. 265–273.

3. *Zubareva*, T. V. Issledovanie innervatsii i funktsii myshts-stabilizatorov plechevogo sustava i chastej del'tovidnoj myshtsy u patsientov s zastarelymi perelomami proksimal'nogo otdela plechevoj kosti [Study of the innervation and function of shoulder joint stabilizing muscles and parts of the deltoid muscle in patients with chronic proximal humeral fractures.] / T. V. Zubareva, S. V. Gyul'nazarova // Vestnik Rossijskoj voenno-meditsinskoj akademii. – 2018. – № 1(61). – S. 48–53 [In Russian].

4. *Geoffroy-Legeay*, H. Massage therapy effectiveness in rehabilitation on humeral shaft fracture in child: a case study / H. Geoffroy-Legeay // International Journal of Therapeutic Massage and Bodywork. – 2022. – Vol. 15, № 1. – P. 54.

5. *Martinez-Catalan*, N. Conservative treatment of proximal humerus fractures: when, how, and what to expect / N. Martinez-Catalan // Current reviews in musculoskeletal medicine. – 2023. – Vol. 16, № 2. – P. 75–84.

6. *Shchurov*, V. A. Osobennosti funktsional'nogo sostoyaniya bol'nykh pri lechenii zakrytykh perelom plechevoj kosti [Characteristics of the functional status of patients during the treatment of closed humeral fractures] / V. A. Shchurov, V. T. Tarchokov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015. – № 5. – S. 54–59 [In Russian].

7. *Operative* vs nonoperative management of fractures of the humeral diaphysis: the humeral shaft fracture fixation randomized clinical trial / W. M. Oliver, K. R. Bell, T. H. Carter [et al.] // JAMA surgery. – 2025. – Vol. 160, № 5. – P. 508–516.

8. *Tishkov*, N. V. Kombinirovannyj chreskostnyj osteosintez pereloma diafiza plechevoj kosti pri narusheniyakh reparativnogo protsessa (klinicheskij sluchaj) [Combined transosseous osteosynthesis for a humeral shaft fracture with impaired reparative processes (clinical case)] / N. V. Tishkov // Acta Biomedica Scientifica. – 2020. – Vol. 5, № 6. – S. 211–215 [In Russian].

Поступила 26.05.2026 г.