

ISSN 1814-6023 (Print)

ISSN 2524-2350 (Online)

УДК 612.83-07:616.711.-007.5

<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2023-20-4-316-325>

Поступила в редакцию 10.02.2023

Received 10.02.2023

И. А. Ильясевич¹, Е. В. Сошникова¹, Д. К. Тесаков¹,
В. А. Кульчицкий², И. С. Хомушко¹

¹Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Республика Беларусь²Центр мозга Института физиологии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИЙ СПИННОГО МОЗГА ПРИ КИФОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА

Аннотация. Выполнен анализ результатов комплексного (клинико-лучевого и нейрофизиологического) исследования, проведенного в двух клинических группах пациентов ($n = 64$) с кифотической деформацией позвоночника II–IV степени тяжести грудного и поясничного отделов позвоночника различной этиологии. С прогрессированием кифотической деформации позвоночника в патологический процесс вовлекается спинной мозг (СМ), находящийся внутри позвоночного канала. Этому периоду нарушения функций предшествует состояние скрытых изменений СМ, не выявляемых клинически (продромальный период). Наличие неврологических нарушений рассматривается как фактор повышенного риска интра- и послеоперационных осложнений при хирургическом лечении кифоза. На основании регистрации и анализа параметров соматосенсорных вызванных потенциалов и моторных ответов при транскраниальной магнитной стимуляции выявлены электрофизиологические признаки сенсомоторной недостаточности нервных трактов СМ, которые коррелируют с величиной кифотической дуги. Установленные электрофизиологические критерии позволяют верифицировать уровень проводникового поражения на уровне грудных и поясничных сегментов СМ, определять его тяжесть, проводить мониторинг восстановительных процессов и прогнозировать функциональный исход.

Ключевые слова: кифотическая деформация грудного и поясничного отделов позвоночника, спинной мозг, соматосенсорный вызванный потенциал, моторный ответ, транскраниальная магнитная стимуляция

Для цитирования: Ильясевич И. А., Сошникова Е. В., Тесаков Д. К., Кульчицкий В. А., Хомушко И. С. Нейрофизиологический подход в оценке функций спинного мозга при кифотической деформации позвоночника / И. А. Ильясевич [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. мед. наук. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 316–325. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2023-20-4-316-325>

Inessa A. Ilyasevich¹, Elena V. Soshnikova¹, Dmitriy K. Tesakov¹,
Vladimir A. Kulchitsky², Irina S. Khomushka¹

¹Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus²Brain Centre of the Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

NEUROPHYSIOLOGICAL APPROACH TO THE ASSESSMENT OF SPINAL CORD FUNCTION IN KYPHOTIC SPINAL DEFORMITY

Abstract. The results of a comprehensive (clinical-radiological and neurophysiological) study performed in two clinical groups of patients ($n = 64$) with kyphotic spinal deformity of II–IV degree of severity of the thoracic and lumbar spine of various etiologies were analysed. With the progression of kyphotic spine deformity, the spinal cord (SC) located inside the spinal canal becomes involved in the pathological process. This period of dysfunction is preceded by a state of latent SM changes that are not detected clinically (prodromal period). The presence of neurological disorders is considered as a factor of increased risk of intra- and postoperative complications in the surgical treatment of kyphosis. Based on the registration and analysis of the parameters of somatosensory evoked potentials and motor responses during transcranial magnetic stimulation, electrophysiological signs of sensorimotor insufficiency of the SC nerve tracts were revealed, which correlate with the kyphotic arch value. The established electrophysiological criteria allow to verify the level of conductive lesion at the level of thoracic and lumbar SC segments, to determine its severity, to monitor recovery processes and to predict the functional outcome.

Keywords: kyphotic deformity of the thoracic and lumbar spine, spinal cord, somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials, transcranial magnetic stimulation

For citation: Ilyasevich I. A., Soshnikova E. V., Tesakov D. K., Kulchitsky V. A., Khomushka I. S. Neurophysiological approach to the assessment of spinal cord function in kyphotic spinal deformity. *Vesti Natsyyanal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 316–325 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2023-20-4-316-325>

Введение. Среди искривлений позвоночника особое внимание уделяют кифотическим деформациям в силу прогрессирования этой патологии у пациентов всех стран мира. К классической кифотической деформации позвоночника как ортопедической патологии относят болезнь Шейермана (M42.0, согласно Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра). Заболевание относится к остеохондропатиям, развивается в процессе физиологического роста человека (чаще всего в детском подростковом периоде) и связано с на-

рушением апофизарного энхондрального роста тел позвонков. В связи с этим встречаются и другие названия данной болезни – ювенильный остеохондроз, ювенильный кифоз, патологический кифоз. По статистике рассматриваемая патология в различных вариантах проявляется у 0,4–8,3 % населения планеты, а среди ортопедических деформаций позвоночника стоит на втором месте после лидирующего идиопатического сколиоза, при котором в ряде случаев (развитие агрессивных прогрессирующих форм) может отмечаться также выраженный кифотический компонент [1, 2].

Нарушение функционального единства структур позвоночного канала и спинного мозга (СМ) сопровождается развитием очаговых и дистантных нарушений спинного и головного мозга. Нейродеструктивные изменения СМ возникают при широком спектре патологических изменений позвоночного канала – полисегментарном стенозе, сколиозе III–IV степени, врожденной аномалии развития позвоночника, кифотической деформации в грудном и грудопоясничном отделах. Основой вертеброгенных нарушений СМ являются процессы компрессии нервных и сосудистых структур, которые приводят к чувствительным, двигательным и вегетативным расстройствам.

Патобиомеханической составляющей прогрессирующего кифоза любой этиологии является вовлечение в деформационный процесс всего позвоночного столба с нарушением сагиттального спинального баланса (уравновешенности). Нарастание кифотической деформации позвоночника приводит не только к обезображивающему изменению формы туловища. Параллельно в патологический процесс вовлекается СМ, находящийся внутри позвоночного канала, что клинически уже на ранних стадиях искривления сопровождается болевым синдромом и слабостью нижних конечностей. Этому периоду нарушения функций предшествует состояние скрытых изменений СМ, которые обычно не выявляются при общем осмотре пациентов [2, 3].

При прогрессирующем увеличении дуги грудного кифоза происходит поэтапное развитие компрессионно-ишемической миелопатии. В случаях грубых кифозов СМ подвергается растяжению над костным выступом, сформированным на передней стенке позвоночного канала, выбирая самый короткий путь – через зону деформации. При этом СМ, плотно прилегающий к дорсальной поверхности тел позвонков, подвергается компрессионному воздействию с дорсальной стороны за счет твердой мозговой оболочки (*dura mater*). При нарастании флексии, особенно если кифоз угловой, увеличивается натяжение *dura mater*, которая смещает СМ к задней поверхности позвонков [1, 4]. Комбинация компрессии СМ и тракции дурального мешка негативно отражается на кровоснабжении нервных структур. Совокупность вышеуказанных факторов, влияющих на развитие неврологической симптоматики и динамики кифотической деформации, является показанием для хирургического лечения [2, 5].

После устранения хирургическим способом вертебро-медуллярного конфликта происходит функциональное восстановление нервных структур. На этапе разработки показаний, объема и тактики хирургического вмешательства ведущим методом, прецизионно характеризующим состояние СМ, является структурная МРТ. В случаях несоответствия данных клинического наблюдения и нейровизуализации, а также при полисегментарном поражении позвоночника затруднительно определить локализацию доминирующего очага СМ [6–8]. Для выявления нарушений функций нервной системы наряду с лучевой диагностикой применяются методы функциональной диагностики: мультимодальных вызванных потенциалов (зрительных, акустических, соматосенсорных) и моторных ответов (МО) при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС), позволяющих по данным электрофизиологических критериев верифицировать уровень проводникового поражения, определять его тяжесть, проводить мониторинг восстановительных процессов и прогнозировать функциональные исходы [6, 9–11]. В отличие от классической электромиографии, которая дает оценку функции периферического нервно-мышечного аппарата, преимуществом методов компьютерной электрофизиологии является возможность получения количественной информации о функциональном состоянии глуболежащих нервных структур мозга, не оказывая травматического воздействия на органы и ткани пациента.

В клинике дегенеративных поражений позвоночника нейрофизиологические методы применяются в основном для диагностики спинальных нарушений в области шейного и пояснично-крестцового утолщения СМ [12–15]. Указанные сегменты методически наиболее доступны и разработаны для стимуляции и регистрации вызванных потенциалов и МО. Обоснованием для внедрения этих методов послужило наличие крупных нервных стволов (срединного, локтевого, большеберцового), выходящих на поверхность мышц верхних и нижних конечностей, с иннер-

вацией от различных сегментов СМ, что формирует естественные условия для прецизионного тестирования соответствующих сегментарных структур [16, 17].

Функционально-анатомическим отличием грудного отдела СМ (*Th1–Th12*) является отсутствие нервных сплетений и диффузный характер иннервации мышц туловища разветвленными окончаниями грудных спинномозговых нервов. Поэтому проводимость нервных трактов СМ в грудном отделе у пациентов с миелопатией или осложненной травмой позвоночника оценивают по данным сравнительного анализа параметров МО и соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), зарегистрированных в одной и той же мышце или нервном проводнике при стимуляции центральных нервных структур на двух уровнях: выше и ниже грудных сегментов СМ [16–18]. Описанные в литературе попытки регистрации МО в мышцах туловища показали низкий уровень специфичности полученных данных вследствие мультисегментарной иннервации мышц туловища [19, 20].

Сведения научной литературы, касающиеся нейрофизиологической оценки функционального состояния СМ при анатомических вариантах кифотической деформации позвоночника, содержат результаты единичных наблюдений, что затрудняет обобщение и анализ данных по этой актуальной проблеме [21].

Цель исследования – разработать информативные нейрофизиологические подходы для оценки функций нервных проводников спинного мозга при кифотической деформации грудного и поясничного отделов позвоночника.

Материалы и методы исследования. *Методология клинического обследования пациентов с кифотическими деформациями позвоночника.* Для определения особенностей развития деформационной патологии у пациентов изучали анамнестические данные, жалобы, относящиеся к деформационному поражению позвоночника, сведения о наличии болевого вертеброгенного синдрома, особенности физиологического развития пациента, наличие сопутствующих патологий, перенесенных заболеваний и травм.

Клинический осмотр предусматривал визуальную оценку пациента без одежды согласно общепринятым ортопедическим требованиям. Сагиттальный контур спины осматривался у пациента сбоку в положении стоя и/или сидя с последующим наклоном туловища и приданием функциональных поз сгибания и разгибания позвоночника. При этом учитывали конституционные особенности тела, туловища (спина с воротниковой зоной, грудная клетка, область живота и тазового кольца) и конечностей; состояние осанки и ее функциональный самоконтроль пациентом; наличие признаков дизрафического статуса, синдрома дисплазии соединительной ткани, эндокринных нарушений; форму рельефа поверхности туловища и зон его структуральных изменений; состояние пластической анатомии туловища с позиции его пропорциональности.

По этиопатогенезу кифотической деформации позвоночника пациентов распределили на две группы. В I группу вошли 104 пациента с деформациями на почве ювенильного остеохондроза (болезнь Шейермана). Первичное клиническое проявление патологии у пациентов I группы, согласно данным анамнеза, отмечено в возрасте 10–14 лет. Оно заключалось в появлении умеренных болей в спине при нахождении в вертикальном положении (стоя и/или сидя), исчезающих в горизонтальном положении или при создании разгрузочного вытяжения (вис на руках на перекладине или шведской стенке). Параллельно с болевым синдромом отмечено развитие нарушения осанки в виде заметной сутулости, которая принимала стойкий и ригидный характер. С нарастанием выраженности (тяжести) кифотической деформации отмечено нарушение формы и пропорциональности отделов туловища, а также формирование диспропорциональности в соотношении длины туловища и конечностей.

Группа II включала 39 пациентов с деформациями, спровоцированными врожденной аномалией развития позвоночника (ВАРП) в виде нарушения сегментации, конкресценции и формы позвонков с наличием кифозогенных клиновидных и/или бабочковидных позвонков.

Первичное клиническое проявление патологии, отмеченное на первом году жизни, заключалось в наличии участка ригидной деформации спины в грудном и/или поясничном отделе. Болевой функциональный синдром исходно не отмечен. С увеличением роста пациента наблюдалось развитие нарушения осанки в сагиттальной плоскости с появлением сутулости, которая принимала стойкий и ригидный характер. С нарастанием выраженности кифотической деформации наблюдалось нарушение формы и пропорциональности отделов туловища, а также формирова-

ние диспропорциональности в параметрах длины туловища и длины конечностей. У 26 пациентов с возрастом, особенно к пред- и пубертатному периоду, отмечалось постепенное проявление неврологической спинальной переднероговой симптоматики.

Нейрофизиологическое исследование. Задачей нейрофизиологической диагностики у пациентов с кифотической деформацией позвоночника являлась количественная оценка изменений функционального состояния СМ. Алгоритм исследования включал комплекс электрофизиологических методик, позволяющих оценивать функции системы проводников СМ и дифференцировать спинальные и радикулярные нарушения.

Состояние нисходящих моторных путей СМ и двигательных корешков нижегрудных и поясничных спинномозговых нервов оценивали по данным транскраниальной и сегментарной/корешковой магнитной стимуляции (ТМС и КМС соответственно). Магнитный индуктор располагали в проекции моторной зоны коры головного мозга, являющейся корковым представителем мышц нижних конечностей. Для стимуляции корешков спинномозгового нерва магнитную катушку ориентировали над остистым отростком соответствующего позвонка в поясничной области. Регистрировали МО мышц бедра, голени и стопы (*mm. quadriceps, extensor hallucis longus, abductor hallucis*). Время центрального моторного проведения (ВЦМП) импульса на участке пояснично-крестцовых сегментов СМ рассчитывали как разность латентных периодов МО, зарегистрированных в одной и той же мышце при последовательном проведении ТМС и КМС [17]. Латентное время сегментарных МО расценивали как критерий корешковой моторной проводимости.

Для оценки проводимости восходящих путей СМ осуществляли регистрацию ССВП при электрическом раздражении *n. tibialis* в области медиальной лодыжки. Использовали стандартную схему регистрации вызванных потенциалов [16] на двух уровнях: спинальном (N22) и корковом (P38–N45). Анализировали амплитуду ССВП (мкВ), латентный период (мс) и время центрального афферентного проведения (CCT – *central conductive time, N22–P38*, мс).

Цифровые данные обрабатывали методом вариационной статистики с применением программы Microsoft Excel. Для оценки значимости выявленных различий использовали параметрические тесты. Цифровые данные представлены средним арифметическим и стандартным отклонением ($M \pm m$).

Оборудование: цифровая электрофизиологическая установка Nicolet Viking Select (Nicolet Biomedical, США) в комплексе с магнитным стимулятором Magstim-200 (Magstim Company Ltd, Великобритания). Комплекс компьютерный многофункциональный «Нейро-МВП» в комплексе с магнитным стимулятором «Нейро-МС» («Нейрософт», РФ).

Результаты и их обсуждение. Для объективизации функционального состояния СМ у 44 пациентов с болезнью Шейермана и у 20 пациентов с кифотической деформацией на почве ВАРП проведено нейрофизиологическое обследование с количественной оценкой проводимости системы нервных трактов СМ в грудном и грудопоясничном отделах. Контрольную группу составили 20 здоровых лиц аналогичного возраста.

Клинико-лучевая характеристика пациентов с кифотической деформацией позвоночника в выборках двух групп, отобранных для электрофизиологического обследования. Анатомическую локализацию поражений среднегрудного отдела позвоночника в выборке I группы определяли у 22 пациентов, нижегрудного – у 14, грудопоясничного – у 8. У всех пациентов с кифотической деформацией отмечено формирование структуральных сколиотических дуг различной локализации. При этом патологические среднегрудные кифозы сопровождалась сколиотическими грудопоясничными искривлениями. При нижегрудных и грудопоясничных кифозах определялись комбинированные (двойные) сколиотические деформации (верхняя грудная и нижняя грудопоясничная и/или поясничная). Сколиотические дуги (4–24°) у таких пациентов по выраженности относились к I–II степени.

По данным радиологического обследования, в зависимости от тяжести кифотической деформации позвоночника в грудном отделе пациенты I группы распределились следующим образом: II степень (средняя – 41–50°) – 16 (36 %) человек; III (выраженная – 51–70°) – 18 (41 %); IV (сильно выраженная – от 70 до 113°) – 10 (23 %). Дуги патологического кифоза в грудопоясничном отделе составили от 25 до 49°.

Изучение клинико-лучевых данных указывало на прямое вовлечение в патологический кифотический процесс СМ, который из-за нарушения формы и параметров сагиттального контура

позвоночного канала находился в условиях деформирующего компримирования и натяжения. Это дополнительно активировало процесс развития деформации, свидетельствуя о специфичности клинического проявления патологии.

У пациентов II группы величина дуги патологического кифоза в грудном отделе на боковых рентгенограммах позвоночника, выполненных в положении стоя, составила от 44 до 108°. Дуги патологического кифоза в поясничном отделе составили от 25 до 49°. По данным нейровизуализации, признаки компрессии нервных структур СМ на уровне кифотической деформации позвоночника выявлены у 3 пациентов. С возрастом, особенно к пред- и пубертатному периоду, у 4 человек отмечено постепенное проявление неврологической спинальной симптоматики в форме нижнего вялого или спастического парализа.

Результаты нейрофизиологического исследования функций спинного мозга у пациентов с кифотической деформацией позвоночника. Анализ данных нейрофизиологического материала, полученного в двух группах пациентов с кифотической деформацией позвоночника ($n = 64$), позволил выявить и оценить признаки сенсомоторной недостаточности СМ. Изучение параметров ССВП показало, что у всех пациентов форма и латентное время спинальных и кортикальных ССВП были изменены. Амплитуда ССВП значительно уменьшена (более 50 %), латентное время ССВП и показатель ССТ достоверно увеличены в 85 % случаев. У 9 (20,5 %) пациентов с болезнью Шейермана III–IV степени кифоза выявлено аномальное изменение формы ССВП, что не позволило четко определить количественные параметры вызванного потенциала. Данные ССВП, зарегистрированные у пациентов с кифозом позвоночника, свидетельствовали об общем выраженном снижении афферентной функции восходящих нервных трактов, локализованных в дорсальных отделах СМ.

Количественный анализ параметров МО при ТМС выявил у пациентов с грудным кифозом общее уменьшение средних значений амплитуды кортикальных МО по сравнению с контролем. Относительная вариабельность амплитуды МО, зарегистрированных у разных пациентов, объяснялась не только неодинаковой степенью дуги деформации и выраженностью клинических признаков заболевания, но и зависимостью от возраста и индивидуальных свойств нервно-мышечной системы. Поэтому особенностью амплитуды МО являлась высокая чувствительность в сочетании со сниженной специфичностью.

В отличие от амплитуды, изменения латентного времени МО и кортикального ССВП ($P38$), величины индексов ВЦМП и ССТ показали закономерное и достоверное увеличение времени сенсомоторного проведения импульса в системе нервных трактов СМ у пациентов обеих групп (табл. 1).

Статистический анализ временных значений кортикальных МО и ССВП в выборках I и II групп свидетельствовал о специфичности указанных показателей для оценки изменений сенсомоторной функции СМ при кифотической деформации позвоночника.

На рис. 1 графически представлено изменение центральной сенсорной (ССТ) и центральной моторной (ВЦМП) проводимости СМ у пациентов с кифотической деформацией позвоночника по сравнению с контролем.

Как видно из рис. 1, средние показатели времени проведения возбуждения по моторным и чувствительным нервным трактам СМ у пациентов с кифозом увеличены по сравнению с контролем. Распределение отклонений параметров ССВП, как и параметров МО, соответствовало локализации доминирующего нарушения функции на центральных участках восходящих и нисходящих нервных трактов СМ, где снижение проводимости по сравнению с контролем достигало 30–40 %. Суммарное снижение проводимости на всем протяжении нервного пути от коры головного мозга до мышцы-индикатора или периферического нерва, включающего центральные и периферические участки проведения возбуждения, определялось в пределах от 5,5 до 16 %.

Изучение параметров сегментарного МО, зарегистрированного при КМС в поясничной области, показало, что выраженные изменения латентности определялись у 30 % пациентов с локализацией деформации позвоночника, преимущественно в нижнегрудной или поясничной области.

У 70 % обследованных пациентов выявленные изменения сегментарного МО характеризовались уменьшением амплитуды без нарушения латентности. Эти данные свидетельствовали о преобладании аксонального типа нарушения функции в процессе формирования моторной недостаточности корешков пояснично-крестцовых сегментов СМ. Оценку сегментарной сенсорной проводимости пояснично-крестцовых корешков рассчитывали по данным латентного времени

Т а б л и ц а 1. Электрофизиологическая характеристика сенсомоторной функции спинного мозга у пациентов с кифотической деформацией позвоночника

T a b l e 1. Electrophysiological characteristics of the sensorimotor function of the spinal cord in patients with kyphotic spinal deformity

Параметр	Контроль	I группа	II группа
Амплитуда МО при ТМС, мВ	2,6 ± 0,5	1,4 ± 0,9*	0,9 ± 0,4*
Латентное время МО при ТМС, мс	38,0 ± 2,0	44,1 ± 3,8*	43,4 ± 2,4*
Латентное время МО при КМС, мс	21,9 ± 2,4	22,3 ± 2,4	23,1 ± 2,7
ВЦМП, мс	16,2 ± 1,7	21,5 ± 2,1*	21,8 ± 2,9*
Латентное время P38, мс	38,5 ± 2,4	43,3 ± 2,1*	43,0 ± 1,6*
Латентное время N22, мс	21,8 ± 1,8	22,9 ± 2,5	23,6 ± 2,6
ССТ, мс	15,6 ± 1,6	21,5 ± 2,7*	22,0 ± 1,6*

П р и м е ч а н и е: * – достоверные изменения параметров по сравнению с контролем при $p < 0,05$ по t -критерию Стьюдента; I – группа пациентов с болезнью Шейермана ($n = 44$); II – группа пациентов с врожденной аномалией развития позвоночника и кифотическим компонентом ($n = 20$); МО – моторный ответ; ТМС – транскраниальная магнитная стимуляция; КМС – корешковая (сегментарная) магнитная стимуляция; ВЦМП – время центрального моторного проведения импульса; ССТ (*central conduction time*) – время центрального афферентного проведения импульса.

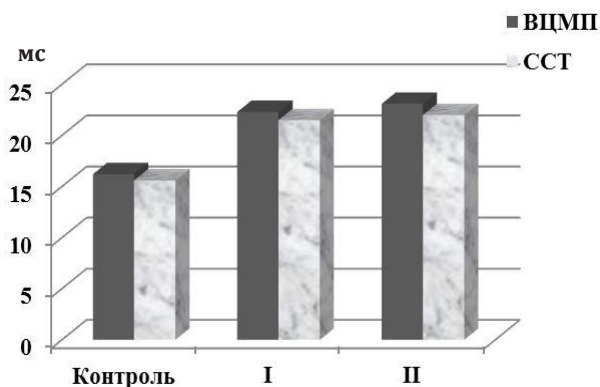


Рис. 1. Средние значения ВЦМП (мс) и ССТ (мс) у пациентов с различными формами кифотической деформации позвоночника (I – группа пациентов с болезнью Шейермана–Мау; II – группа пациентов с врожденной аномалией развития позвоночника с кифотическим компонентом)

Fig. 1. Characterization of the CMCT and CCT indices in patients with various forms of kyphotic spinal deformity (I – group of patients with Scheuermann–Mau disease; II – group of patients with a congenital anomaly of the spine with a kyphotic component)

спинального ССВП-пика (N22), величина которого также имела тенденцию к увеличению по сравнению с контролем.

Характеристика корреляционных взаимоотношений данных клинко-рентгенологического и нейрофизиологического исследований у пациентов с кифотической деформацией позвоночника. Для определения взаимосвязи клинко-рентгенологических и нейрофизиологических данных, характеризующих величину дуги кифотической деформации, изучали распределение значений параметров МО и ССВП, зарегистрированных в I группе ($n = 37$), в зависимости от величины угла кифотической деформации (II–IV степени).

Для количественной оценки корреляционной связи рассчитывали коэффициент Пирсона (r), с помощью которого определяли степень изменения величины временного показателя в соответствии с увеличением дуги кифоза у пациентов I группы (табл. 2).

Распределение значений параметров МО и ССВП, зарегистрированных в I группе пациентов в зависимости от величины угла кифотической деформации (II–IV степени), представлено на схемах корреляционных решеток (рис. 2, 3). На рисунках видно, что степень концентрации значений нейрофизиологических показателей вблизи диагонали неодинакова при исследовании различных критериев. Наиболее близкое расположение вариант к диагонали, указывающее на наличие корреляции, отмечено для параметров МО (рис. 2) по сравнению с параметрами ССВП (рис. 3).

Т а б л и ц а 2. Коэффициент корреляции в I группе пациентов

Table 2. Correlation coefficient in group I

Угол деформации (x), град.	Временной параметр (y), мс	n	r	r (критический)	Уровень значимости (p)
Латентное время моторного ответа при ТМС					
59,0	44,1	24	0,81	0,40	<0,01
Время центрального моторного проведения импульса					
59,0	21,5	24	0,69	0,40	<0,01
Латентное время соматосенсорного вызванного потенциала (P38)					
61,0	43,3	27	0,38	0,38	≤0,05
Время центрального афферентного проведения импульса (CCT)					
61,0	21,5	27	0,75	0,50	<0,01

П р и м е ч а н и е: r – коэффициент корреляции; x – средняя величина дуги кифоза в анализируемой выборке I группы, град.; y – средняя величина временного показателя МО и ССВП.

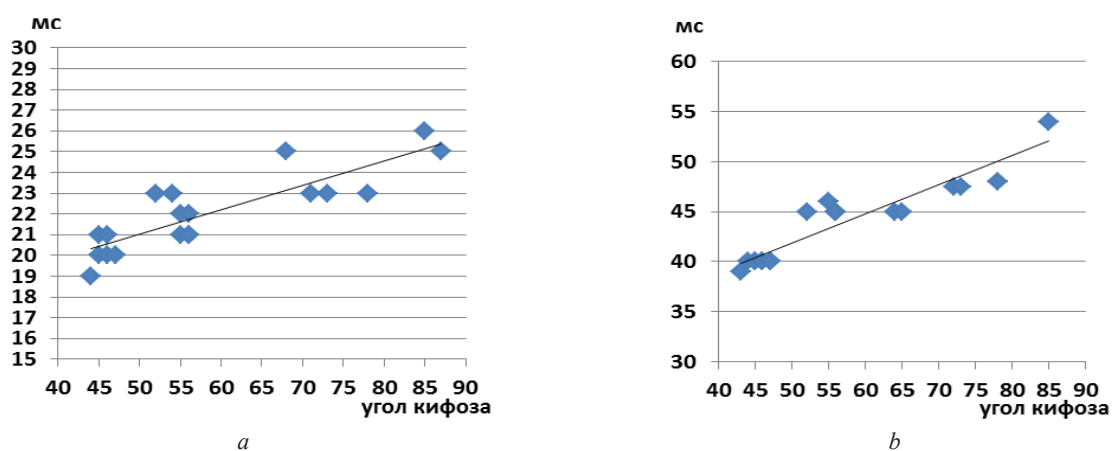


Рис. 2. Распределение значений вариант МО: *a* – время центрального моторного проведения импульса, мс; *b* – латентный период МО (мс) при ТМС

Fig. 2. Distribution of variant values of MEP: *a* – central motor conduction time, ms; *b* – latency period of MEP (ms) in TMS

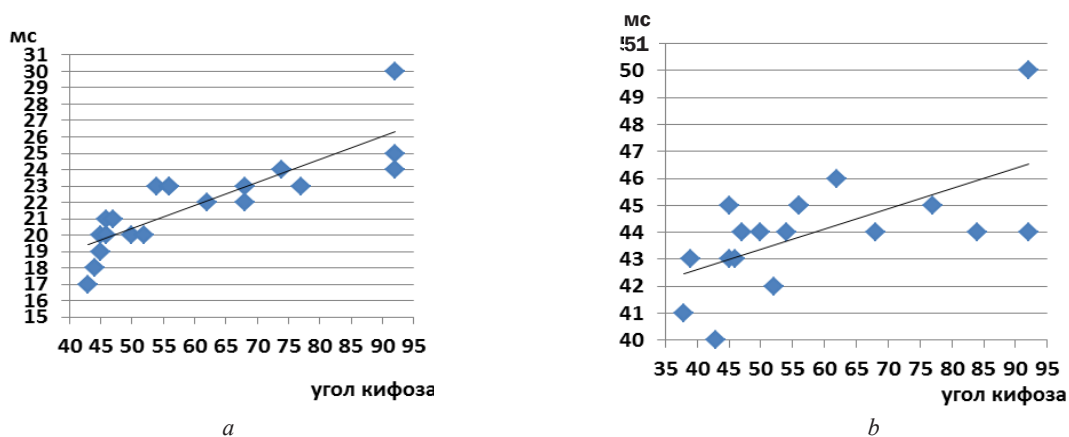


Рис. 3. Распределение значений вариант ССВП: *a* – CCT, мс; *b* – латентный период ССВП (P38), мс

Fig. 3. Distribution of variant values of SSEP: *a* – CCT, ms; *b* – latency period of SSEP (P38), ms

Из табл. 2 следует, что степень взаимосвязи в вариации двух переменных величин, определяемая коэффициентом корреляции в квадрате, т. е. r^2 [22, 23], была неодинаковой для различных критериев. При значениях $r = 0,81$, $r = 0,69$ и $r = 0,75$ вариации латентности МО, индексов ВЦМП

и *ССТ* коррелировали с увеличением угла кифотической деформации позвоночника в 66, 48 и 56 % случаев соответственно. Указанная степень связи изучаемых признаков оценивалась как тесная. При значении $r = 0,38$ связанность двух признаков наблюдалась только в 14 % случаев, что указывало на слабую корреляцию критерия латентности ССВП и угла кифоза.

Следует отметить, что корреляцию нарушений сенсомоторной функции с увеличением угла кифоза (одновременно по вентральным и дорзальным отделам СМ у одних и тех же пациентов) наблюдали у 27 человек. Случаи, когда корреляция изменений функции с увеличением угла кифоза определялась только по данным моторного или афферентного проводника, отмечали у 10 и 9 пациентов соответственно. Полученные данные являлись следствием преимущественной ирритации (компрессии) вентральных или задних отделов СМ в условиях развития кифотической деформации, что позволяло детализировать особенности доминирующего поражения нервных структур в каждом конкретном случае.

Таким образом, тесная корреляция выраженности признаков сенсомоторной недостаточности СМ в зависимости от увеличения угла кифоза в I группе установлена по данным таких нейрофизиологических критериев, как латентное время МО, индексы ВЦМП и *ССТ*; слабая связь изменений в изучаемой выборке определялась по данным латентности ССВП (*P38*).

Во II группе пациентов, как указывалось выше, закономерность нарушений сенсомоторной функции системы восходящих и нисходящих трактов СМ также была статистически подтверждена (см. табл. 1). Однако результаты определения коэффициента Пирсона в этой группе не выявили тесной корреляции признаков нарушения функции от величины угла деформации на уровне кифотического компонента ВАРП. Предполагается, что причиной этого является многоуровневое поражение СМ при ВАРП, вследствие которого в основе патогенеза сенсомоторной недостаточности СМ ключевым фактором оказывается не только кифотическая деформация, но и комплекс патологических изменений на протяжении грудного и поясничного отделов позвоночника.

Заключение. Анализ данных клинко-рентгенологического наблюдения и нейрофизиологического обследования 64 пациентов с кифотической деформацией грудного и поясничного отделов позвоночника различной этиологии позволил получить объективную информацию о степени изменения проводниковой функции в системе нервных трактов СМ. При отсутствии неврологической симптоматики и данных МРТ о наличии очагового поражения нервных структур на вершине кифотической деформации именно нейрофизиологическое исследование выявило в двух клинических группах признаки функциональной недостаточности СМ.

Изменение функционального состояния СМ и спинномозговых корешков происходит в результате сагиттальной деформации и стеноза позвоночного канала на уровне дуги кифоза. В основе развития болевого синдрома и возможных неврологических осложнений лежат процессы поэтапной ирритации и компрессии нервных и сосудистых структур СМ вследствие стеноза и прогрессирующей деформации позвоночного канала. Представленный материал свидетельствует о необходимости полноценного предоперационного клинко-рентгенологического и нейрофизиологического обследования пациентов с кифотической деформацией позвоночника с целью уточнения состояния содержимого позвоночного канала в предоперационном периоде.

Детальный анализ распределения средних значений МО и ССВП свидетельствовал о высокой информативности таких критериев, как латентность вызванных ответов, индексы ВЦМП и *ССТ*, в оценке нарушений сенсомоторной функции СМ. Анализ коррелятивных взаимоотношений клинко-рентгенологических и нейрофизиологических данных у пациентов с болезнью Шейермана показал тесную взаимосвязь между увеличением угла кифотической деформации и нарушением нейрофизиологических параметров. Установленные нейрофизиологические критерии функционального изменения афферентных и моторных трактов позволили дать количественную оценку нарушениям функций СМ у пациентов с грудным и грудопоясничным кифозом II–IV степени.

Полученные результаты дифференцированной оценки степени и характера нарушений функций СМ у пациентов с кифотической деформацией позвоночника являлись объективным аргументом при разработке показаний к проведению консервативного и/или хирургического лечения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Оперативное лечение тяжелых протяженных кифотических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника / С. Т. Ветрилэ [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 3. – С. 20–29.
2. Михайловский, М. В. Неврологическая симптоматика при болезни Шейермана: обзор редких клинических наблюдений / М. В. Михайловский, А. А. Альшевская, В. В. Ступак // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18, № 2. – С. 6–19.
3. Thoracic cord compression caused by disk herniation in Scheuermann's disease: a case report and review of the literature / G. A. Kapetanos [et al.] // Eur. Spine. J. – 2006. – Vol. 15, suppl. 5. – P. 553–558. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-0053-0>
4. Меллер, Т. Б. Норма при КТ- и МРТ-исследованиях / Т. Б. Меллер, Э. Райф. – 2-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2013. – 255 с.
5. Челпаченко, О. Б. Определение показаний к декомпрессии позвоночного канала у пациентов с кифотическими деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника / О. Б. Челпаченко, К. В. Жердев, А. А. Овечкина // Педиатр. фармакология. – 2014. – Т. 11, № 4. – С. 75–80.
6. Мультимодальные вызванные потенциалы и транскраниальная магнитная стимуляция в диагностике энцефалита, диссеминированного энцефаломиелита и рассеянного склероза у детей / Е. Ю. Скрипченко [и др.] // Рус. журн. детск. неврол. – 2018. – Т. 13, № 1. – С. 20–33.
7. Магнитно-резонансная томография как инструмент дифференциальной диагностики при поражении ствола головного мозга у детей / Н. В. Марченко [и др.] // Клин. практика. – 2020. – Т. 11, № 1. – С. 81–91.
8. Quantitative assessment of myelopathy patients using motor evoked potentials produced by transcranial magnetic stimulation / T. Nakamae [et al.] // Eur. Spine J. – 2010. – Vol. 19, N 5. – P. 685–690. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-1246-8>
9. Команцев, В. Н. Возможности нейрофизиологических методов в оценке локализации поражения нервной системы при нейроинфекциях у детей / В. Н. Команцев, Н. В. Скрипченко, М. В. Савина // Журн. инфектологии. – 2010. – Т. 2, № 2. – С. 40–44.
10. Клинико-электронейрофизиологическая оценка эффективности применения мексидола в лечении тревожных расстройств у больных рассеянным склерозом и хронической ишемией головного мозга / Ф. А. Хабиров [и др.] // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 2012. – № S1. – С. 6–9.
11. Захаров, А. В. Мультимодальные вызванные потенциалы при клинически изолированном синдроме / А. В. Захаров, И. Е. Повереннова, Е. В. Хивинцева // Практ. медицина. – 2018. – № 10. – С. 102–106.
12. Адамбаев, З. И. Прогностическая значимость показателей электромиографии и вызванных потенциалов при стенозе позвоночного канала / З. И. Адамбаев // Мед. новости. – 2019. – № 6. – С. 69–71.
13. Использование нейрофизиологических методов в диагностике и лечении полисегментарного стеноза шейного отдела позвоночного канала / И. А. Ильясевич [и др.] // Мед. новости. – 2020. – № 9. – С. 61–63.
14. Сошникова, Е. В. Нейрофизиологическая оценка функции нервных трактов спинного и головного мозга у пациентов со сколиозом IV степени тяжести / Е. В. Сошникова // Рос. нейрохирург. журн. им. проф. А. Л. Поленова. – 2018. – Т. 10, спец. вып. – С. 232–233.
15. Dvorak, J. Cervical myelopathy: clinical and neurophysiological evaluation / J. Dvorak, M. Sutter, J. Herdmann // Eur. Spine J. – 2003. – Vol. 12, suppl. 2. – P. S181–S187. <https://doi.org/10.1007/s00586-003-0631-y>
16. Гнездицкий, В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В. В. Гнездицкий. – М. : МЕДпресс-информ, 2003. – 264 с.
17. Никитин, С. С. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы / С. С. Никитин, А. Л. Куренков. – М. : Сашко, 2003. – 374 с.
18. Role of motor evoked potentials in diagnosis of cauda equine and lumbosacral cord lesions / V. Di Lazzaro [et al.] // Neurology. – 2004. – Vol. 63, N 12. – P. 2266–2271. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000147296.97980.ca>
19. Chang, C. W. Measurement of motor conduction in the thoracolumbar cord / C. W. Chang, S. M. Lin // Spine. – 1996. – Vol. 21, N 4. – P. 485–491. <https://doi.org/10.1097/00007632-199602150-00014>
20. Chan, Y. C. The use of transcranial magnetic stimulation in the clinical evaluation of suspected myelopathy / Y. C. Chan, K. R. Mills // J. Clin. Neurosci. – 2005. – Vol. 12, N 8. – P. 878–881. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2005.01.007>
21. Ремнев, А. Г. Функциональное состояние проводящих путей спинного мозга при болезни Шейермана / А. Г. Ремнев, А. А. Олейников // Рос. нейрохирург. журн. им. проф. А. Л. Поленова. – 2022. – Т. 14, спец. вып. – С. 82.
22. Рокицкий, П. А. Биологическая статистика / П. А. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск : Вышэйш. шк., 1973. – 319 с.
23. Гланц, С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц. – М. : Практика, 1999. – 459 с.

References

1. Vetrile S. T., Kuleshov A. A., Vetrile M. S., Chelpachenko O. B. The surgical treatment of severe extended kyphotic deformities of the thoracic and lumbar spine. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2009, no. 3, pp. 20–29 (in Russian).
2. Mikhailovskii M. V., Al'shevskaya A. A., Stupak V. V. The neurological symptoms in Scheuermann's disease: a review of rare clinical observations. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2021, vol. 18, no. 2, pp. 6–19 (in Russian).
3. Kapetanos G. A., Hantzidis P. T., Anagnostidis K. S., Kirkos J. M. Thoracic cord compression caused by disk herniation in Scheuermann's disease: a case report and review of the literature. *European Spine Journal*, 2006, vol. 15, suppl. 5, pp. 553–558. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-0053-0>
4. Torsten B., Reif E. *Normal findings in CT and MRI*. Stuttgart, Thieme, 2000. 250 p.
5. Chelpachenko O. B., Zherdev K. V., Ovechkina A. A. Identification of indications to vertebral canal decompression in patients with kyphotic deformities of thoracic and lumbar spine. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric pharmacology], 2014, vol. 11, no. 4, pp. 75–80 (in Russian).
6. Skripchenko E. Yu., Klimkin A. V., Voitenkov V. B., Skripchenko N. V., Surovtseva A. V. Multimodal evoked potentials and transcranial magnetic stimulation in diagnosis of children with encephalitis, acute disseminated encephalomyelitis

and multiple sclerosis. *Russkii zhurnal detskoi nevrologii* [Russian journal of child neurology], 2018, vol. 13, no. 1, pp. 20–33 (in Russian).

7. Marchenko N. V., Voitenkov V. B., Skripchenko N. V., Bedova M. A., Kurzantseva O. O. Magnetic resonance imaging as a tool of differential diagnostic in the brainstem damage in children. *Klinicheskaya praktika* [Clinical practice], 2020, vol. 11, no. 1, pp. 81–91 (in Russian).

8. Nakamae T., Tanaka N., Nakanishi K., Fujimoto Y., Kamei N., Yamamoto R., Izumi B., Fujioka Y., Ohta R., Ochi M. Quantitative assessment of myelopathy patients using motor evoked potentials produced by transcranial magnetic stimulation. *European Spine Journal*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 685–690. <https://doi.org/10.1007/s00586-009-1246-8>

9. Komantsev V. N., Skripchenko N. V., Savina M. V. The resources of neurophysiological methods for diagnostic localization of nervous system lesion in children's neuroinfection. *Zhurnal infektologii* [Journal of infectology], 2010, vol. 2, no. 2, pp. 40–44 (in Russian).

10. Khabirov F. A., Khaibullin T. I., Babicheva N. N., Aver'yanova L. A., Granatov E. V. Clinical and electroneurophysiological evaluation of the efficacy of mexidol in the treatment of anxiety disorders in patients with multiple sclerosis and chronic cerebral ischemia. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine], 2012, no. S1, pp. 6–9 (in Russian).

11. Zakharov A. V., Poverennova I. E., Khivintseva E. V. Multimodal evoked potentials in clinically isolated syndrome. *Prakticheskaya meditsina* [Practical medicine], 2018, no. 10, pp. 102–106 (in Russian).

12. Adambaev Z. I. The prognostic significance of electroneuromyography parameters and evoked potentials in spinal canal stenosis. *Meditsinskie novosti* [Medical news], 2019, no. 6, pp. 69–71 (in Russian).

13. Il'yasevich I. A., Khomushko I. S., Soshnikova E. V., Mazurenko A. N., Zarovskaya A. V. The use of neurophysiological methods in the diagnosis and treatment of polysegmental stenosis of the cervical spinal canal. *Meditsinskie novosti* [Medical news], 2020, no. 9, pp. 61–63 (in Russian).

14. Soshnikova E. V. The neurophysiological assessment of the function of the nerve tracts of the spinal cord and brain in patients with grade IV scoliosis. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova* [Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenov], 2018, vol. 10, special issue, pp. 232–233 (in Russian).

15. Dvorak J. M., Sutter J., Herdmann J. Cervical myelopathy: clinical and neurophysiological evaluation. *European Spine Journal*, 2003, vol. 12, suppl. 2, pp. S181–S187. <https://doi.org/10.1007/s00586-003-0631-y>

16. Gnezditskii V. V. *Evoked brain potentials in clinical practice*. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2003. 264 p. (in Russian).

17. Nikitin S. S., Kurenkov A. L. *Magnetic stimulation in the diagnosis and treatment of diseases of the nervous system*. Moscow, Sashko Publ., 2003. 374 p. (in Russian).

18. Di Lazzaro V., Pilato F., Oliviero A., Saturno E., Tonali P. F. Role of motor evoked potentials in diagnosis of cauda equine and lumbosacral cord lesions. *Neurology*, 2004, vol. 63, no. 12, pp. 2266–2271. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000147296.97980.ca>

19. Chang C. W., Lin S. M. Measurement of motor conduction in the thoracolumbar cord. *Spine*, 1996, vol. 21, no. 4, pp. 485–491. <https://doi.org/10.1097/00007632-199602150-00014>

20. Chan Y. C., Mills K. R. The use of transcranial magnetic stimulation in the clinical evaluation of suspected myelopathy. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2005, vol. 12, no. 8, pp. 878–881. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2005.01.007>

21. Remnev A. G., Oleinikov A. A. The functional state of the conducting pathways of the spinal cord in Scheuermann's disease. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova* [Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenov], 2022, vol. 14, special issue, p. 82 (in Russian).

22. Rokitskii P. A. *Biological statistics*. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 1973. 319 p. (in Russian).

23. Glantz S. A. *Primer of biostatistics. 4th ed.* New York, McGraw-Hill, Health Professions Division, 1997. 473 p.

Информация об авторах

Ильясевич Инесса Александровна – д-р биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru

Сошникова Елена Валерьевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Тесаков Дмитрий Кимович – канд. мед. наук, вед. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dk-tesakov@yandex.ru

Кульчицкий Владимир Адамович – академик, д-р мед. наук, профессор, руководитель Центра мозга Института физиологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 28, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: vladi@fizio.bas-net.by

Хомушко Ирина Сергеевна – ст. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: I.Khomushka@gmail.com

Information about the authors

Inessa A. Ilyasevich – D. Sc. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru

Elena V. Soshnikova – D. Sc. (Biol.), Leading Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Dmitriy K. Tesakov – D. Sc. (Med.), Leading Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dk-tesakov@yandex.ru

Vladimir A. Kulchitsky – Academician, D. Sc. (Med.), Professor, Head of the Brain Centre, Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus (28, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladi@fizio.bas-net.by

Irina S. Khomushka – Senior Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: I.Khomushka@gmail.com