

# Применение технологии управляемого роста в коррекции неравенства длин, осевых деформаций нижних конечностей и контрактур коленных суставов

М.О. Волкова<sup>✉1</sup>, Д.М. Кукуева<sup>2</sup>, К.В. Жердев<sup>1</sup>, О.Б. Челпаченко<sup>1</sup>, С.П. Яцык<sup>1</sup>, И.Е. Никитенко<sup>1</sup>, И.В. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова»

Минздрава России, Москва, Россия

<sup>✉</sup>volkova-mo@mail.ru

## Аннотация

**Цель.** Проанализировать накопленный опыт применения технологии управляемого роста в лечении осевых деформаций на уровне коленных суставов (КС) у детей с различными патологиями, определить эффективность применяемой нами методики и ее осложнения, а также приоритетность применения данной методики у пациентов детского возраста.

**Материалы и методы.** Проанализированы данные четырех групп исследования пациентов в возрасте от 4 до 14 лет. Группа 1: 22 пациента (34 КС) с осевыми деформациями на уровне КС. Группа 2: 38 пациентов (38 КС) с неравенством длин нижних конечностей. Группа 3: 15 пациентов (27 КС) со сгибательными контрактурами КС на фоне детского церебрального паралича. Пациентам групп 1–3 проводилось оперативное лечение методом управляемого роста. Референсная группа (40 пациентов, 60 КС) набрана для определения нормальных значений разгибания в КС у детей по данным рентгенографии и гониометрии.

**Результаты.** Средний угол деформации до и после оперативного лечения составил в группе 1: 15,3 и 1,6°; в группе 3: 160 и 4° рекурвации соответственно ( $p<0,05$ ). Средняя разница длин до и после операции в группе 2: 30 и 8 мм ( $p<0,05$ ). Средняя скорость коррекции в группе 1 составила 0,6°/мес, в группе 2 – 0,9 мм/мес, в группе 3 – 2,9°/мес. Суммарный балл по шкале Gillette Functional Assessment Questionnaire в группе 3 увеличился с 3,63 до 7,13. Среди пациентов референсной группы средний угол пассивного разгибания в КС составил 5° рекурвации по данным гониометрии в положении лежа и 15° рекурвации по данным рентгенографии. Средний угол активного разгибания в положении стоя по данным гониометрии составил 4° рекурвации. Меньшие значения данных параметров могут служить клиническими и рентгенологическими критериями сгибательной контрактуры КС.

**Заключение.** Управляемый рост – эффективная технология коррекции неравенства и осевых деформаций нижних конечностей на уровне КС у детей. Пристальное амбулаторное наблюдение позволяет не только своевременно выявлять ортопедическую патологию, но и эффективно ее корректировать, не прибегая к объемным реконструктивным вмешательствам.

**Ключевые слова:** детский церебральный паралич, сгибательные контрактуры коленных суставов, шкала оценки функциональных способностей к движению, норма разгибания в коленном суставе, неравенство длин нижних конечностей, осевые деформации, управляемый рост, зона роста.

**Для цитирования:** Волкова М.О., Кукуева Д.М., Жердев К.В. и др. Применение технологии управляемого роста в коррекции неравенства длин, осевых деформаций нижних конечностей и контрактур коленных суставов. Педиатрия. Consilium Medicum. 2020; 4: 62–69.

DOI: 10.26442/26586630.2020.4.200501

## Original Article

# Guided growth for leg length discrepancies, angular deformities and fixed knee flexion deformities treatment

Mariia O. Volkova<sup>✉1</sup>, Dzhamilia M. Kukueva<sup>2</sup>, Konstantin V. Zherdev<sup>1</sup>, Oleg B. Chelpachenko<sup>1</sup>, Sergei P. Yatsyk<sup>1</sup>, Ivan E. Nikitenko<sup>1</sup>, Igor V. Timofeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

<sup>✉</sup>volkova-mo@mail.ru

## Abstract

**Materials and methods.** The data of 4 groups with patients from 4 to 14 years old were studied. Group 1: 22 patients (34 knees), with angular deformities about the knee. Group 2: 38 patients (38 knees) with leg length discrepancies. Group 3: 15 patients (27 knees) with knee flexion contracture and cerebral palsy. Patients of 1–3 groups were operated by guided growth. The reference group (40 patients, 60 knees) was formed to determine the normal knee extension values in children according to X-ray and goniometry data.

**Results.** The mean angle of deformity before and after surgical treatment in group 1 were: 15.3 and 1.6°; in group 3: 160 and 4° recurrence, respectively, ( $p<0.05$ ). The mean leg length discrepancy before and after surgery in group 2 were: 30 and 8 mm ( $p<0.05$ ). The mean correction rate in group 1 was 0.6° per month, in group 2 – 0.9 mm per month, in group 3 – 2.9° per month. The mean score on the Gillette FAQ in group 3 increased after surgical treatment from 3.63 to 4.13. In reference group the mean angle of passive extension was 5° recurrence with goniometry lying on back, and 15° recurrence on X-ray. The mean active extension in a standing position was 4° recurrence. Smaller values of the tibiofemoral angle with goniometry in the standing position and passive extension with X-ray and goniometry can serve as clinical and radiological criteria for knee flexion contracture.

**Conclusion.** Guided growth is an effective technique for correcting leg length discrepancy and angular deformities about the knee in children. Close outpatient observation allows to not only timely identify orthopedic pathology, but also to effectively correct it without major reconstructive operation.

**Key words:** cerebral palsy, fixed knee flexion deformity, Gillette Functional Assessment Questionnaire, reference extension rate in the knee joint, leg length discrepancies, angular deformities, hemiepiphysiodesis, guided growth, growth plate.

**For citation:** Volkova M.O., Kukueva D.M., Zherdev K.V. et al. Guided growth for leg length discrepancies, angular deformities and fixed knee flexion deformities treatment. Pediatrics. Consilium Medicum. 2020; 4: 62–69. DOI: 10.26442/26586630.2020.4.200501

## Введение

Лечение осевых деформаций на уровне коленных суставов (КС) и разницы длин нижних конечностей у детей является актуальной проблемой современной ортопедии. Сегменты конечностей оказывают взаимное влияние на процессы роста и развития ребенка [1]. Осевые деформации нижних конечностей во фронтальной плоскости провоцируют неравномерное распределение нагрузки на разные отделы КС, что может вызвать в дальнейшем появление остеоартрита. Вальгусная деформация [2], а также неравенство длин нижних конечностей являются доказанными факторами, способствующими развитию артроза КС [1]. При вальгусной деформации довольно быстро в молодом возрасте развивается несостоительность связочного аппарата КС [3]. Осевые деформации или разница длин нижних конечностей приводят к изменению походки, перекосу таза, возникновению болевого синдрома, ранней манифестиации коксартроза [4, 5]. В тех случаях, когда укорочение не компенсируется ортопедическими аппаратами, формируются эквинусная установка стопы, вальгусная деформация КС, отводящая контрактура на стороне поражения. Длительная асимметричная статическая нагрузка на растущий позвоночник, сопровождающаяся перекосом таза, может вызвать развитие сколиотической осанки, а затем и структурального сколиоза, сагиттального дисбаланса туловища, остеохондроза поясничного отдела позвоночника [1]. Сгибательные контрактуры и деформации КС возникают на фоне различных заболеваний, в том числе на фоне детского церебрального паралича (ДЦП), при котором данная патология носит прогрессирующий характер и имеет в своей основе как артrogенный компонент, так и сухожильномышечный. Данные виды деформаций нижних конечностей могут приводить в том числе к регрессу, торможению развития или полной утрате навыков вертикального передвижения. Сгибательные контрактуры КС значительно повышают энергозатраты ходьбы и приводят к дальнейшим деформациям нижних конечностей [6]. Вертикализация при наличии сгибательных контрактур обуславливает болевой синдром и приводит к развитию раннего гонартроза [7]. Сгибательные контрактуры КС могут приводить к слаженности поясничного лордоза и усилию кифоза, что в комплексе с контрактурами тазобедренных суставов приводит к дисбалансу сагиттального профиля позвоночника [8]. Односторонний процесс обуславливает функциональное укорочение нижней конечности, которое приводит к развитию вторичной ортопедической патологии.

Консервативные методы лечения сформировавшихся стойких деформаций, по мнению различных авторов, при данных патологиях в большинстве случаев неэффективны [2, 5]. Открытые оперативные вмешательства сопряжены с большой инвазивностью и высоким риском осложнений. Мининвазивная технология *guided growth*, или управляемый рост, способствует постепенной коррекции путем временного блокирования зоны роста [9]. Технология основана на применении закона *Huetter–Volkmann*, согласно которому увеличение нагрузки на ростовую пластинку приводит к замедлению роста кости. Важную роль в торможении роста играют апоптоз и аутофагия хондроцитов, обратимые после устранения напряжения на зону роста [10]. Данная технология стала особенно популярна в последние 20 лет. Несмотря на многолетний опыт применения различных оперативных методик, объединенных принципом эпифизиодеза, остается открытым вопрос выбора наиболее оптимальной из них. Поэтому сообщения об эффективности каждого метода и возможных его осложнениях, особенностях предоперационного планирования и послеоперационного ведения являются актуальными.

**Цель исследования** – проанализировать накопленный опыт применения технологии управляемого роста в лечении осевых деформаций на уровне КС у детей с различными патологиями, определить эффективность применяемой нами методики и ее осложнения, а также приоритетность применения данной методики у пациентов детского возраста.

## Материалы и методы

Проведен анализ результатов лечения 75 пациентов (99 КС) с осевыми деформациями, неравенством длин нижних конечностей, сгибательными контрактурами КС различной этиологии. Все пациенты прооперированы на базе нейроортопедического отделения с ортопедией ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» в период с 2011 по 2020 г. В зависимости от вида деформаций сформированы 3 исследуемые группы и 1 референсная.

В группу 1 включены 22 пациента (34 КС), из них 14 мальчиков, с осевыми деформациями на уровне КС, которым проводился медиальный или латеральный гемиэпифизиодез. Осевые деформации нижних конечностей в группе 1 обусловлены следующими фоновыми заболеваниями: болезнь Блаунта; синдром Элерса–Данлоса 2-го типа; мукополисахаридоз 1, 4-го типа; эпифизарная дисплазия; множественная экзостозная хондродисплазия; псевдоахондроплазия; гипофосфатемический ракит; врожденные аномалии развития скелета; остеохондрома бедренной кости; нефропатический цистиноз; ДЦП, спастическая диплегия; пауциартикулярный юношеский артрит; а также являлись последствиями травмы нижних конечностей. В 2 случаях с вальгусной деформацией КС ассоциирована нестабильность надколенника. Средний возраст детей в группе 1 составил 9 лет 10 мес ( $\pm 3,5$  года), диапазон от 4 лет 1 мес до 12 лет 8 мес. Средний период наблюдения – 2 года 11 мес ( $\pm 1$  год 10 мес), от 13 мес до 6 лет 8 мес.

В группу 2 (38 пациентов, из них 22 мальчика, КС – 38) включены дети с укорочением одной нижней конечности, которым проводился эпифизиодез контрлатеральной нижней конечности. Неравенство длин нижних конечностей стало следствием гемигипоплазии, болезни Легга–Кальве–Пертеса, опухолеподобной патологии костей, синдрома Протея, спастической гемиплегии, травмы нижних конечностей. Средний возраст пациентов на начало оперативного лечения составил 10 лет 8 мес ( $\pm 2$  года 11 мес), от 6 лет 9 мес до 14 лет 10 мес. Средний период наблюдения – 2 года 11 мес ( $\pm 1,5$  года), от 9 мес до 6 лет 1 мес.

С 2018 г. на базе отделения проводится лечение сгибательной контрактуры КС, развившейся на фоне ДЦП, методом переднего гемиэпифизиодеза дистального эпифиза бедренной кости. Все дети, которым выполнялся передний гемиэпифизиодез, включены в группу 3 общкой численностью 15 пациентов (27 КС), из них 11 мальчиков. Имели диагноз «ДЦП, спастическая диплегия» 67% детей; 33% детей – «ДЦП, спастический тетрапарез». По шкале больших моторных функций распределение следующее: 40% группы составляли дети с Gross Motor Function Classification System – GMFCS III (ходьба с использованием ручных приспособлений и ортезов для передвижения); 60% группы – пациенты с GMFCS IV (самостоятельное передвижение ограничено, могут использовать моторизированные средства передвижения, возможна вертикализация с поддержкой). Средний возраст пациентов на момент оперативного лечения составил 9 лет 4 мес ( $\pm 2$  года 4 мес), от 7 до 12 лет. Средний период наблюдения – 1 год 3 мес ( $\pm 4$  мес), от 5 мес до 1 года 8 мес.

Всем детям до оперативного лечения проводилась рентгенография нижних конечностей в прямой и боковой проекции с целью определения потенциала роста и дооперационного угла деформации на уровне КС. Пациентам с неравенством длин нижних конечностей дополнительно проводилось компьютерно-томографи-

фическое сканирование нижних конечностей с определением длины каждого сегмента либо рентгенография с сантиметровой шкалой. Обязательно для выполнения эпифизиодеза наличие открытой зоны роста. Показаниями к оперативному лечению являлись: в группе 1 – превышение крайних нормальных значений тибиофеморального угла с учетом анатомо-физиологических особенностей у детей до 7 лет [11] или односторонний характер деформации, прогрессирование деформации; в группе 2 – разница длин нижних конечностей более 1 см, сопровождающаяся нарушением осанки, перекосом таза, жалобами пациента; в группе 3 – дефицит разгибания голени любого объема, приводящий к быстрой утомляемости и ограничениям вертикализации и ходьбы; отсутствие эффекта от консервативного лечения, включая ботулиновую терапию, в течение 6 мес. Так как у пациентов с ДЦП существенную роль играет спастичность мышц, для предупреждения сгибания оперированной конечности на фоне болевого синдрома в послеоперационном периоде проводилась кратковременная иммобилизация конечности в ортезе или задней лонгете с возможностью опоры и разработки движений в КС длительностью до 4 дней. Контрольная рентгенография нижних конечностей в прямой и боковой проекции проводилась в раннем послеоперационном периоде и затем каждые 3 мес. По достижении коррекции выполнялось удаление пластин.

Так как для методики переднего гемиэпифизиодеза в научной литературе не обозначены конкретные показания для удаления пластин, а также не описаны нормальные значения активного и пассивного разгибания в КС у детей по возрастам, нами набрана референсная группа для определения данных параметров. В группу включены 40 пациентов (60 КС), из них 21 мальчик, без патологии, влияющей на объем движений в КС, одной или двух конечностей. В группу включены пациенты с диагнозами: неравенство длин нижних конечностей вследствие гемигипоплазии, болезнь Легга–Кальве–Пертеса в стадии исхода, опухолевого новообразования метафиза, спастической гемиплегии при ДЦП (односторонняя форма поражения); а также с диагнозом травмы одного КС. Критерии исключения из референсной группы: наличие синдрома гипермобильности суставов, определяемого по критериям Р. Beighton [12]; наличие экзостозной хондродисплазии; а также регулярные занятия в спортивной секции, влияющие на связочный аппарат КС. Средний возраст пациентов данной группы составил 10 лет ( $\pm 2$  года), от 7 до 12 лет. В рутинной практике всем пациентам референсной группы проведена рентгенография нижних конечностей в ходе обследования по основному заболеванию. Рентгенография здоровой конечности проводилась в положении лежа с максимальным пассивным разгибанием. Гониометрия проводилась с помощью транспортира-гониометра по методике, описанной В.О. Маркса [13], в положении лежа с определением максимального пассивного разгибания в КС и в положении стоя с определением максимального активного разгибания.

Обследование и лечение всех пациентов проводились после подписания добровольного информированного согласия на него их родителей. Проведение исследования одобрено локальным независимым этическим комитетом при ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». Определены средний угол деформации для групп 1 и 3, средняя разница длин нижних конечностей для группы 2, до операции и перед удалением пластин; средний период до удаления пластин, процент удовлетворительных результатов. Определена средняя скорость коррекции деформации в месяц (за исключением случаев, когда эпифизиодез не имел положительного результата). Скорость коррекции деформации в (мм/мес – для пациентов группы 2; °/мес – для пациентов групп 1 и 3) для каждого пациента определялась по

формуле:  $v=V/t$ , где  $V$  (°, мм) – объем скорректированной деформации за период  $t$  (мес) между первым и крайним обследованием. Для анализа зависимости скорости коррекции от возраста определялся ранговый критерий корреляции Спирмена отдельно в каждой группе. Приведены осложнения. В группе 3 проводилась оценка функциональных способностей к передвижению по шкале Gillette Functional Assessment Questionnaire (Gillette FAQ) до и после достижения коррекции. Отсутствие коррекции деформации или ее прогрессирование на момент удаления пластины расценивались как неудовлетворительные результаты. Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы Microsoft Office Excel 2007.

## Результаты

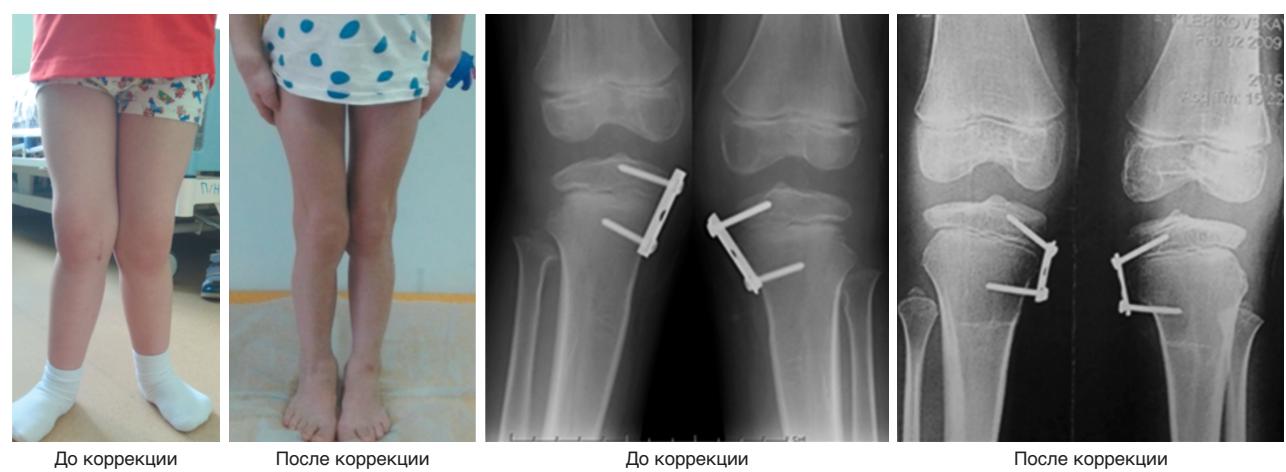
Все пациенты групп 1–3 вертикализированы на 2–3-и сутки после операции. В группу 1 включены 12 пациентов (18 КС) с завершенной коррекцией, 10 пациентов (16 КС) с продолжающейся коррекцией. Всего 2 пациента имели варусную деформацию нижних конечностей на уровне КС, остальные 20 пациентов – вальгусную деформацию на уровне КС. Основные жалобы в группе 1 с осевыми деформациями нижних конечностей: нарушение походки, боль при физических нагрузках, быстрая утомляемость во время ходьбы. Все пациенты ходили самостоятельно без дополнительных средств опоры. В зависимости от вида деформации и возраста пациента проводился медиальный или латеральный гемиэпифизиодез бедра и/или голени, выбор оперативного вмешательства определялся индивидуально по результатам обследования. Средний угол деформации на уровне КС до операции составил 15,3° ( $\pm 5,8$ °), от 10 до 28°. Среди случаев завершенной коррекции средний угол после операции составил 1,6° ( $\pm 1,8$ °), от 0 до 4°, различия статистически значимы ( $p<0,05$ ). Средняя длительность коррекции среди случаев завершенной коррекции составила 14 мес ( $\pm 3$  мес), от 12 до 21 мес. Средняя скорость коррекции среди всех пациентов группы – 0,6 ( $\pm 0,4$ )°/мес, от 0,25 до 1,8°/мес. Статистически значимой зависимости скорости коррекции от возраста пациента не выявили ( $p>0,05$ ). Процент удовлетворительных результатов среди завершенных случаев составил 83,3%. Неэффективность гемиэпифизиодеза у 1 пациента с варусной деформацией нижних конечностей, на наш взгляд, обусловлена прогрессирующей формой болезни Блаунта. Второй случай отсутствия планируемого эффекта от оперативного лечения связан с несоблюдением ортопедического режима и формированием стойкой разгибательной контрактуры в КС, которая потребовала демонтажа металлоконструкций через 4 мес после их установки. Среди осложнений выявлены поломка винта в 1 случае; рекурвация 20° слева (оперированы обе нижние конечности) вследствие несоблюдения ортопедического режима пациенткой 6 лет с вальгусной деформацией нижних конечностей на фоне мукополисахаридоза 4-го типа (синдром Моркио). Число ревизий составило 7 (16% операций), из них по причине напряжения винтов – в 6 случаях, что связано с исходно ограниченным по времени корректирующим потенциалом пластин.

Клинический пример применения методики управляемого роста для коррекции осевых деформаций нижних конечностей пациентки 7 лет 4 мес с диагнозом «варусная деформация нижних конечностей на фоне мукополисахаридоза 1-го типа» (синдром Гурлер) представлен на рис. 1.

В группу 2 включены 19 пациентов (19 КС) с завершенной коррекцией, 19 пациентов (19 КС) – с продолжающейся коррекцией. При поступлении пациенты предъявляли жалобы на укорочение нижней конечности, снижение ее опороспособности; нарушение осанки, хромоту при ходьбе, быструю утомляемость

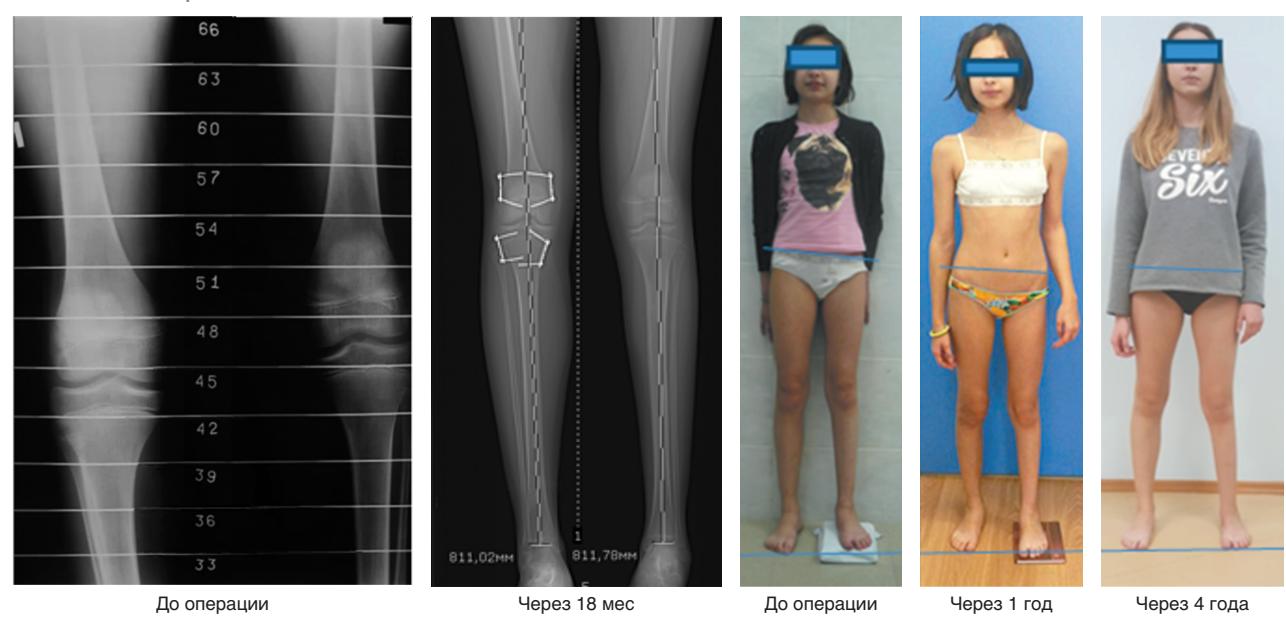
**Рис. 1. Внешний вид и рентгенограммы нижних конечностей до (угол деформации составил справа и слева 19 и 15° соответственно) и после операции (большеберцовобедренный угол составил 5° справа и 8° слева). Длительность коррекции – 22 мес.**

Fig. 1. External appearance and radiographs of the lower extremities before (the deformity angle was formed on the right and 19 and 15°, respectively) and after the operation (the tibial-femoral angle was 5° on the right and 8° on the left). The duration of the correction is 22 months.



**Рис. 2. Внешний вид и рентгенограммы нижних конечностей пациентки до и после операции и внешний вид через 4 года после установки пластин. Длительность коррекции – 18 мес.**

Fig. 2. The appearance and radiographs of the lower endpoints of the patients before and after the operation and the appearance 4 years after the insertion of the plates. Duration of correction – 18 months.



при ходьбе, снижение времени ходьбы, боль при длительных физических нагрузках. В большинстве случаев пациенты ходили самостоятельно без дополнительных средств опоры, за исключением 1 ребенка с ДЦП, спастической диплегией GMFCS III, который использовал ходунки в связи с фоновым заболеванием.

Средняя разница длин нижних конечностей до операции составила 30 мм ( $\pm 14$  мм), от 10 до 80 мм. Среди 19 пациентов, которым удалены пластины, у 4 пациентов не отмечено положительного эффекта от временного эпифизиодеза. В 3 случаях разница длин нижних конечностей увеличилась, что объясняется усиленным ростом конечности, который не удалось сдержать с помощью металлоконструкции. В том числе разница длин нижних конечностей увеличилась у 1 пациента с синдромом Протея, при котором происходит атипичное разрастание всей костной ткани. В 1 случае разница длин нижних конечностей осталась без изменений, что объясняется низким потенциалом роста у детей, близких к достижению скелетной зрелости. Также среди пациентов, у которых про-

должается эпифизиодез, у 1 пациента отметили отсутствие эффекта; у 2 пациентов отмечены прогрессирование переудлинения конечности и нестабильность металлоконструкции, что потребовало ревизии и ремонта металлоконструкции. Процент удовлетворительных результатов на момент исследования среди пациентов, которым удалили металлоконструкции, составил 79%. Средняя разница длин нижних конечностей перед удалением пластины в случаях состоявшейся коррекции составила 8 мм ( $\pm 10$  мм), от 0 до 40 мм, различия статистически значимы ( $p<0,05$ ). Среди случаев завершенной коррекции средний период до удаления пластины составил 19 мес ( $\pm 11$  мес), от 5 мес до 3 лет 11 мес. Средняя скорость коррекции деформации в месяц среди всех пациентов группы составила 0,9 ( $\pm 0,5$ ) мм/мес, от 0,1 до 2 мм/мес. Статистически значимой зависимости скорости коррекции от возраста пациента не выявили ( $p>0,05$ ). Число ревизий составило 19 (33% всех оперативных вмешательств группы), из них связано с напряжением винтов – во всех случаях, в том числе с поломкой винта –

**Рис. 3. Внешний вид и рентгенограммы нижних конечностей до операции и после удаления пластин. Длительность коррекции – 11 мес.**

Fig. 3. The appearance and radiographs of the lower extremities before surgery and after removal of the plates. The duration of the correction is 11 months.



в 1 случае. В 3 случаях выявлена резорбция костной ткани в области стояния винтов. В 1 случае у ребенка сформировалась варусная деформация оперированной нижней конечности на уровне КС, которая скорrigировалась самопроизвольно в течение 1 года после удаления пластин. В 1 случае у ребенка сформировалась вальгусная деформация оперированной нижней конечности на уровне КС, которая потребовала проведения гемизифизиодеза медиальной части дистальной зоны роста бедра.

На рис. 2 представлен клинический пример применения методики управляемого роста для коррекции неравенства длин нижних конечностей у пациентки 11 лет с диагнозом: ДЦП, спастический гемипарез; укорочение левой нижней конечности на 30 мм.

В **группе 3** со сгибательными контрактурами КС основными жалобами являлись ограничение и болезненность движений в КС, нарушение походки, быстрая утомляемость при вертикализации и ходьбе. Двигательные возможности детей ограничивались как физовым заболеванием, так и выраженностю сгибательной контрактуры КС. Самостоятельно передвигался 1 (7%) пациент; с четырехпорной тростью без посторонней помощи – 2 (13,33%). Передвигались с помощью взрослого с поддержкой за одну руку 3 (20%) пациента; с поддержкой за обе руки – 5 (33%). Передвигались в кресле без посторонней помощи 2 (13,33%) пациента; в кресле при помощи взрослого – 2 (13,33%). Поскольку в группе 3 средний период наблюдения составил 1 год 3 мес, коррекция продолжается у большинства детей. В группу исследования включены 8 пациентов с завершенной коррекцией (15 КС), 7 – с продолжающейся коррекцией (12 КС).

Средний угол до операции составил 160° ( $\pm 8^\circ$ ), от 140 до 170°. Средний угол после достижения коррекции – 4° рекурвации ( $\pm 5^\circ$ ), от 177 до 14° рекурвации, различия статистически значимы ( $p<0,05$ ). Средняя скорость коррекции среди пациентов с завершенной коррекцией составила 2,9 ( $\pm 1,82^\circ$ )/мес, от 1,3 до 6,330°/мес. Средний период до удаления пластин – 8,5 ( $\pm 2$ ) мес, от 6 до 12 мес. На данный момент неудовлетворительного результата не отметили ни у одного пациента из данной группы. В ходе лечения в раннем послеоперационном периоде выявлены гематома мягких тканей нижней трети бедра в 1 случае; синовит, купированный приемом нестероидных противовоспалительных средств в течение 5 дней, – у 2 пациентов. На контрольных осмотрах выявлена рекурвация 14°, которая самопроизвольно скорrigирована при осмотре через 1 год после удаления пластин, – у 1 пациента; разгибательная контрактура КС, для коррекции которой выполнен передний артроскоп, – у 1 пациента. В группе 3 проводилась оценка функциональных способностей к передвижению по шкале Gillette FAQ. Согласно опроснику среди пациентов с завершенной коррекцией функциональные возможности улучшились на 1 уровень у 4 (50%) пациентов, отсутствовало увеличение функциональных способностей – у 4 пациентов (50%). Суммарный балл оценки динамики функциональных возможностей у детей с завершенной коррекцией увеличился с  $3,63 \pm 2,33$ , интервал от 1 до 8 баллов, до

$4,13 \pm 2,36$ , интервал от 1 до 8 баллов. Различия статистически не значимы ( $p=0,69$ ), что объясняется малым числом пациентов, у которых завершена коррекция.

На рис. 3 представлен клинический пример применения переднего гемизифизиодеза у пациентки 10 лет с диагнозом: сгибательные контрактуры КС; ДЦП: спастический тетрапарез; GMFCS IV.

Среди пациентов **референсной группы** средний угол разгибания в КС в положении лежа с пассивным разгибанием голени составил 5° рекурвации ( $\pm 2^\circ$ ), от 1 до 10°, по данным гониометрии и 15° рекурвации ( $\pm 3^\circ$ ), от 5 до 20°, по данным рентгенографии. Не выявили статистически значимой связи между углом разгибания по результатам рентгенографии и гониометрии и возрастом ребенка в группе ( $p>0,05$ ). Средний угол активного разгибания в положении стоя по данным гониометрии составил 4° рекурвации ( $\pm 2^\circ$ ), от 180 до 9° рекурвации.

### Обсуждение

Для лечения осевых деформаций во фронтальной плоскости на уровне КС применяются корректирующие остеотомии, эндопротезирование КС, которые представляют собой трудные в техническом плане операции, чреватые риском развития таких осложнений, как стойкая контрактура сустава, глубокая инфекция, артрит, тромбоэмболические осложнения, асептическая нестабильность, несращение и формирование псевдоартроза в зоне остеотомии [3, 14]. Применение дистракционного остеосинтеза в аппарате Илизарова, в том числе и для лечения неравенства длин нижних конечностей, связано с такими осложнениями, как формирование псевдоартроза, контрактур, подвывихов и вывихов в смежных суставах; компартмент-синдром и парез малоберцового нерва с формированием эквинусной установки стопы; нарушение опороспособности конечности; анкилозы тазобедренного и голеностопного суставов; воспалительные осложнения, в том числе спицевой остеомиелит. Стоит также отметить трудоемкость ежедневного ухода за послеоперационной областью, частый рентгенологический контроль и многочисленные кожные рубцы [1]. Оперативное лечение у детей с ДЦП подразумевает устранение деформаций и контрактур на многих уровнях с целью сохранения двигательных возможностей у детей с уровнем двигательной активности GMFCS I–III, а также с целью облегчения укладки, вертикализации пациента, ухода за ним, применения ортопедических изделий для детей с уровнем двигательной активности GMFCS IV–V [15]. Существуют различные методы хирургического лечения сгибательных контрактур КС, среди которых распространены разгибательная надмыщелковая остеотомия бедренной кости, задняя капсулотомия, дистракция в аппарате внешней фиксации [16]. Разгибательные остеотомии костей не рекомендуется применять у растущих детей из-за высокого риска неправильного ремоделирования кости [17]. Частота неврологических осложнений корригирующей остеотомии, применяющейся в том числе и при неравенстве длин нижних конечностей, по данным разных авто-

ров занимает от 3 до 12%, включая паралич седалищного, малоберцового нерва, транзиторные чувствительные и двигательные расстройства. Встречаются также угловое смещение, рецидив контрактуры [18, 19]. Задняя капсулотомия отличается сложным глубоким доступом в подколенной области с повышенным риском повреждения сосудисто-нервного пучка, а вмешательство на капсule КС может привести к ее рубцеванию и впоследствии к рецидиву деформации. При дистракции в аппарате Илизарова у детей с ДЦП происходит принудительная травматизация мышц, что приводит к их рубцеванию. Это способствует еще большему снижению силы и эластичности мышц, усугубляя их изначально неблагополучное состояние ввиду спастичности. Также стоит отметить, что рубцовая ткань не поддается ботулинотерапии, что очень важно для пациентов с ДЦП. Множественные риски и осложнения лечения осевых деформаций и неравенства длин нижних конечностей привели к поиску менее инвазивных оперативных вмешательств.

В исследовании М. Дохова и соавт. (2018 г.) [20], в которое включены 20 детей с вальгусной деформацией КС, средние значения величины большеберцово-бедренного угла до операции составили 20,5°, интервал от 19,5 до 23°, при вальгусной деформации. Применение временного эпифизиодеза дало удовлетворительные клинические результаты в 95% случаев. В 1 случае неудовлетворительный результат связан с формированием обратной деформации вследствие несоблюдения ортопедического режима. Перед удалением металлоконструкций средний бедреннобольшеберцовый угол составил 6°, от 5 до 7,5°, при вальгусной деформации 5°, от 4 до 6°, при варусной деформации. Средний период коррекции составил 10 (±2) мес в обеих группах, от 3 до 14 мес при вальгусной деформации и от 6 до 15 мес при варусной деформации. В нашем исследовании получены сопоставимые результаты.

М. Cain и соавт. [21] в своей работе, опубликованной в 2016 г., рекомендуют проведение эпифизиодеза у детей с разницей длин нижних конечностей от 2 до 5 см. Однако известно, что разница длин нижних конечностей уже от 4–6 мм может играть патогенетическую роль в формировании сколиотических деформаций позвоночного столба [1]. Поэтому для принятия решения об оперативном лечении, по нашему мнению, стоит учитывать не только разницу длин нижних конечностей, но и сопутствующие деформации, а также жалобы пациента. При значительной разнице длин нижних конечностей детям в возрасте, близком к достижению скелетной зрелости, мы рекомендуем проводить временный эпифизиодез в качестве подготовительного этапа перед дистракцией в аппарате Илизарова, чтобы свести к минимуму риски, связанные с остеотомией.

В исследовании J. Klatt и соавт. [16], опубликованном в 2008 г., прооперированы 18 пациентов со сгибательными контрактурами КС на фоне ДЦП и ряда других нейромышечных заболеваний, из них завершена коррекция у 5 пациентов. Средняя скорость коррекции деформации составила 1,3°/мес, от 0,2 до 4,8°/мес. Авторы исследования оценивали среднюю скорость коррекции у всех пациентов, в том числе с продолжающейся коррекцией, в то время как нами оценена скорость коррекции только среди завершенных случаев. Для расчета скорости коррекции у детей с продолжающимся гемиэпифизиодезом при наличии спастики требуется выполнение рентгенографии строго в боковой проекции в положении пассивного разгибания, что выполнить в амбулаторных условиях по месту жительства не представляется возможным. В исследование K. Wang и соавт. [22], результаты которого опубликованы в 2019 г., включены 26 детей (42 КС) со сгибательными контрактурами КС на фоне ДЦП и ряда других нейромышечных заболеваний, которым проведен передний гемиэпифизиодез. Средний угол деформа-

ции до оперативного вмешательства составил 13° (±8°), средний угол после достижения коррекции – 8° (±7°). Скорость коррекции деформации составила 0,7 (±0,6)°/мес, от 0 до 2°/мес. Процент удовлетворительных результатов – 71%. Однако следует учесть, что на момент исследования 69% пациентов имели сочетанные оперативные вмешательства, в том числе удлинение медиальной группы сгибателей КС (10%) и усиление собственной связки надколенника (14%), что могло повлиять на результаты. В исследовании выявлена обратная связь между возрастом пациентов и скоростью коррекции, в то время как в нашем исследовании такой связи не выявлено. Авторы указывают на то, что с каждым годом старше 11,7 года увеличивается риск отсутствия эффекта от гемиэпифизиодеза. В нашем исследовании максимальный возраст пациентов составил 12 лет, в то время как в исследовании K. Wang максимальный возраст – 15 лет. В нашем исследовании средняя скорость коррекции деформации в группе 3 составила 2,9°/мес, от 1,3 до 6,33°/мес. Однако, учитывая единичные публикации, посвященные лечению сгибательных контрактур КС методом управляемого роста, нельзя, на наш взгляд, делать однозначные выводы об особенностях, влияющих на скорость коррекции деформации. Данный вопрос остается актуальным и требует дальнейшего изучения.

Поскольку осевые деформации нижних конечностей не влияли на функциональные способности к передвижению, у пациентов данной группы этот критерий нами не оценивался. Так как укорочение одной нижней конечности компенсировалось ортопедической обувью, мы также не оценивали функциональные способности к передвижению у данной группы пациентов. Пациенты со сгибательными контрактурами КС, вошедшие в группу 3, проявляют снижение толерантности к вертикализации и ходьбе, поэтому мы оценивали их функциональные способности к передвижению по шкале Gillette FAQ до и после оперативного лечения. В целом, согласно результатам опросника, функциональные способности к передвижению улучшились после достижения коррекции деформации у детей, способных к самостоятельному передвижению по основному заболеванию.

Остается открытым вопрос, каких целевых значений разгибания в КС стоит добиваться при выполнении переднего гемиэпифизиодеза. N. Stiel и соавт. [23] рекомендуют проводить коррекцию до достижения около 5° рекурвации для пациентов со значительным потенциалом роста на момент удаления импланта, чтобы избежать рецидива деформации. Вероятно, данный параметр выбран авторами эмпирически. На основании результатов референсной группы нами определен целевой объем пассивного разгибания у детей 7–12 лет с диагнозом ДЦП при выполнении временного переднего гемиэпифизиодеза, который составляет по данным гониометрии в положении лежа 5° рекурвации (±2°) и 15° рекурвации (±3°) по данным рентгенографии КС в боковой проекции в положении лежа. Целевой объем активного разгибания у детей 7–12 лет с ДЦП при выполнении временного переднего гемиэпифизиодеза составляет 4° рекурвации (±2°) в положении стоя по данным гониометрии. Меньшие значения большеберцово-бедренного угла по данным гониометрии в положении стоя и максимального пассивного разгибания по данным рентгенографии и гониометрии могут служить клиническими и рентгенологическими критериями сгибательной контрактуры КС у детей данной возрастной группы. Анализируя полученные результаты референсной группы, мы можем сравнить их только с референсными значениями у взрослых. По данным K. Букуп и соавт. [24] в норме объем переразгибания в КС у взрослых составляет 5–10°. По данным B. Маркс из разогнутого положения КС пассивно возможно получить переразгибание в пределах 12°. Начинающиеся контрактуры КС обнаруживаются

выпадением дополнительных движений голени, к числу которых относится и переразгибание голени [13]. В то же время переразгибание в КС $>10^\circ$  уже является одним из 5 критериев определения гипермобильности суставов по R. Beighton [12]. Таким образом, полученный нами средний угол максимального пассивного переразгибания в КС у детей 7–12 лет без диагноза ДЦП не превышает таковой по общезвестным данным у взрослых.

В ходе исследования общего числа прооперированных 76 пациентов выявлено 22 (29%) пациента, не соблюдавших рекомендации регулярно проводить рентгенографию КС и консультироваться с лечащим врачом, в том числе удаленным доступом в течение более 6 мес. Иногда это связано с удаленностью региона проживания, но в большинстве случаев – с низкой комплaisентностью родителей. В этой связи во избежание возможных осложнений мы рекомендуем настоятельно информировать родителей о важности регулярных обследований, а также заносить информацию о прооперированных пациентах в отдельную базу данных с календарем плановых рентгенографий и контактными данными для дистанционного контроля.

## Заключение

Управляемый рост – эффективная технология коррекции неравенства длин и осевых деформаций нижних конечностей на уровне КС у детей с продолженным ростом скелета. Малоинвазивность и отсутствие необходимости послеоперационной иммобилизации позволяют начать реабилитационные мероприятия в кратчайшие сроки и вертикализировать пациента на 2–3-и сутки. Способ позволяет в процессе роста устраниить сгибательную установку нижних конечностей ребенка с ДЦП. Существенной особенностью детского скелета является наличие функционирующих ростковых зон, что дает возможность применять метод управляемого роста без выполнения более инвазивных оперативных вмешательств, таких как корригирующая остеотомия, артrotомия и эндопротезирование – во взрослом возрасте. Пристальное амбулаторное наблюдение позволяет не только своевременно выявлять ортопедическую патологию, но и эффективно ее корректировать, не прибегая к объемным реконструктивным вмешательствам.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

## Литература/References

- Попков А.В. Врожденное укорочение нижних конечностей у детей. Челябинск: Фотохудожник, 2011.  
[Popkov A.V. Congenital shortening of the lower limbs in children. Chelyabinsk: Photographer, 2011 (in Russian).]
- Моренко Е.С., Кенис В.М. Коррекция осевых деформаций коленного сустава у детей методом управляемого роста (обзор литературы). Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2016; 4 (1): 57–62.  
[Morenko E.S., Kenis V.M. Korrektsiia osevyykh deformatsii kolennogo sustava u detei metodom upravliaemogo rosta (obzor literatury). Ortopediia, travmatologija i vosstanovitel'naya khirurgija detskogo vozrasta. 2016; 4 (1): 57–62 (in Russian).]
- Игнатенко В.Л., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А. и др. Эндопротезирование при вальгусной деформации коленного сустава (обзор литературы). Травматология и ортопедия России. 2011; 4 (62): 140–6.  
[Ignatenko V.L., Kornilov N.N., Kuliaba T.A. et al. Endoprotezirovaniye pri val'gusnoi deformatsii kolennogo sustava (obzor literatury). Travmatologija i ortopedija Rossii. 2011; 4 (62): 140–6 (in Russian).]
- Dodwell ER, Garner MR, Luderowski EM et al. Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws: a Case Series Demonstrating High Efficacy. HSS J 2017; 13 (3): 255–62. DOI: 10.1007/s11420-017-9549-5
- Martínez G, Drago S, Avilés C et al. Distal femoral hemiepiphysiodesis using screw and non-absorbable filament for the treatment of idiopathic genu valgum. Preliminary results of 12 knees. Orthop Traumatol Surg Res 2017; 103 (2): 269–73.
- MacWilliams BA, Harjinder B, Stevens PM. Guided growth for correction of knee flexion deformity: a series of four cases. Strat Traum Limb Recon 2011; 6: 83–90.
- Умнов В.В. Основные подходы к устранению сгибательной контрактуры коленного сустава у больных ДЦП. Травматология и ортопедия России. 2013; 3 (69): 119–24.  
[Umnov V.V. Osnovnye podkhody k ustraneniu sgibatel'noi kontraktury kolennogo sustava u bol'nykh DTS. Travmatologija i ortopedija Rossii. 2013; 3 (69): 119–24 (in Russian).]
- Умнов В.В., Звоздиль А.В., Умнов Д.В., Новиков В.А. Взаимосвязь сгибательных контрактур в суставах нижних конечностей и сагиттального профиля позвоночника у больных детским церебральным параличом: предварительное сообщение. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2016; 4: 71–6.  
[Umnov V.V., Zvozil' A.V., Umnov D.V., Novikov V.A. Vzaimosviaz' sgibatel'nykh kontraktur v sustavakh nizhnikh konechnostei i sagittal'nogo profilia pozvonochnika u bol'nykh detskim tserebral'nym paralichom: predvaritel'noe soobshchenie. Ortopediia, travmatologija i vosstanovitel'naya khirurgija detskogo vozrasta. 2016; 4: 71–6 (in Russian).]
- Martínez G, Gündel A, Ruiz P et al. Distal femoral hemiepiphysiodesis with screws and suture versus 8-plate for the treatment of genu valgum in children. Orthop Traumatol Surg Res 2019; 105 (4): 751–5.
- Ding J, Jin F, Zhao X et al. Hemiepiphysiodesis stapling induces ER stress apoptosis and autophagy in rat growth plates. Am J Transl Res 2019; 11 (3): 1486–97.
- Paley D. Principles of deformity correction. Springer, 2014
- Rejeb A, Fourchet F, Materne O et al. Beighton scoring of joint laxity and injury incidence in Middle Eastern male youth athletes: a cohort study. BMJ Open Sport Exerc Med 2019; 5: e000482. DOI: 10.1136/bmjssem-2018-000482
- Маркс В.О. Ортопедическая диагностика: руководство-справочник. М., 1978.  
[Marx V.O. Orthopedic diagnostics: guidebook. Moscow, 1978 (in Russian).]
- Алабут А.В., Сикилинда В.Д., Чесников С.Г. и др. Анализ осложнений эндопротезирования коленного сустава. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2015; 1 (185): 96–100.  
[Alabut A.V., Sikilinda V.D., Chesnikov S.G. et al. Analiz oslozhnenii endoprotezirovaniia kolennogo sustava. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki. 2015; 1 (185): 96–100 (in Russian).]
- Sharan D. Orthopedic surgery in cerebral palsy: Instructional course lecture. Indian journal of orthopaedics 2017; 51 (3): 240.
- Clatt J, Stevens PM. Guided growth for fixed knee flexion deformity. J Pediatr Orthop 2008; 28: 626–31. DOI: 10.1097/BPO.0b013e318183d573
- Трофимова С.И., Буклаев Д.С., Петрова Е.В., Мулеанова С.А. Использование метода управляемого роста для устранения сгибательной контрактуры коленного сустава у пациентов с артритропозом: предварительные результаты. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2016; 4 (4): 64–70.  
[Trofimova S.I., Buklaev D.S., Petrova E.V., Muleanova S.A. Ispol'zovanie metoda upravliaemogo rosta dlja ustraneniia sgibatel'noi kontraktury kolennogo sustava u patsientov s artrotroponozom: predvaritel'nye rezul'taty. Ortopediia, travmatologija i vosstanovitel'naya khirurgija detskogo vozrasta. 2016; 4 (4): 64–70 (in Russian).]
- İnan M, Sarıkaya A, Yıldırım E, Güven MF. Neurological complications after suprcondylar femoral osteotomy in cerebral palsy. J Pediatr Orthop 2015; 35 (3): 290–5.
- Stout JL, Gage JR, Schwartz MH, Novacheck TF. Distal Femoral Extension Osteotomy and Patellar Tendon Advancement to Treat Persistent Crouch Gait in Cerebral Palsy. J Bone Joint Surg Am 2008; 90 (11): 2470–84.
- Дохов М.М., Машуков Т.С., Сертакова А.В. и др. Применение методики управляемого роста для коррекции осевых деформаций нижних конечностей у детей. Саратовский науч.-мед. журн. 2018; 14 (3): 529–32.  
[Dokhov M.M., Mashukov T.S., Sertakova A.V. et al. Primenenie metodiki upravliaemogo rosta dlja korrektcii osevykh deformatsii nizhnikh konechnostei u detei. Saratovskii nauch.-med. zhurn. 2018; 14 (3): 529–32 (in Russian).]
- Cain M, Stephenson M, Umapathysivam K et al. Effectiveness of different minimally invasive epiphysiodesis techniques in the management of pediatric leg length discrepancies: a systematic review protocol. JBI Evidence Synthesis 2016; 14 (12): 14–24.
- Wang KK, Novacheck TF, Rozumalski A, Georgiadis AG. Anterior guided growth of the distal femur for knee flexion contracture: clinical, radiographic, and motion analysis results. J Pediatr Orthop 2019; 39 (5): e360–5.
- Stiel N, Babin K, Vettorazzi E et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis can reduce fixed flexion deformity of the knee: a retrospective study of 83 knees. Acta orthop 2018; 89 (5): 555–9.
- Букуп К., Букуп Й. Клиническое исследование костей, суставов и мышц. М.: Медицинская литература, 2018.  
[Bukup K., Bukup Y. Clinical examination of bones, joints and muscles. Moscow: Meditsinskaya literatura, 2018 (in Russian).]

## Информация об авторах / Information about the authors

**Волкова Мария Олеговна** – аспирант, врач детский хирург хирургического отделения с неотложной и плановой помощью ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: volkova-mo@mail.ru

**Кукуева Джамиля Муратхановна** – студентка ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова». E-mail: dzhamaa7@gmail.com

**Жердев Константин Владимирович** – д-р мед. наук, проф. каф. детской хирургии и анестезиологии-реаниматологии, гл. науч. сотр. лаб. неврологии и когнитивного здоровья, зав. нейроортопедическим отделением с нейроортопедией ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: drzherdev@mail.ru

**Челпаченко Олег Борисович** – канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед нейроортопедического отделения с ортопедией, вед. науч. сотр. лаб. неврологии и когнитивного здоровья ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: chelpachenko81@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0333-3105

**Яцык Сергей Павлович** – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, проф., рук. НИИ детской хирургии ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: yatsyk@nczd.ru; ORCID: 0000-0001-6966-1040

**Никитенко Иван Евгеньевич** – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. неврологии и когнитивного здоровья, врач травматолог-ортопед нейроортопедического отделения с нейроортопедией ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: iv.nikitenko1984@yandex.ru

**Тимофеев Игорь Викторович** – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. неврологии и когнитивного здоровья, врач травматолог-ортопед нейроортопедического отделения с нейроортопедией ФГАУ «НМИЦ здоровья детей». E-mail: doctor\_timofeev@mail.ru

**Maria O. Volkova** – Graduate Student, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: volkova-mo@mail.ru

**Dzhamilia M. Kukueva** – Student, Pirogov Russian National Research Medical University. E-mail: dzhamaa7@gmail.com

**Konstantin V. Zherdev** – D. Sci. (Med.), Prof., National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: drzherdev@mail.ru

**Oleg B. Chelpachenko** – Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: chelpachenko81@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0333-3105

**Sergei P. Yatsyk** – D. Sci. (Med.), Prof., Corr. Memb. RAS, National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: yatsyk@nczd.ru; ORCID: 0000-0001-6966-1040

**Ivan E. Nikitenko** – Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: iv.nikitenko1984@yandex.ru

**Igor V. Timofeev** – Cand. Sci. (Med.), National Medical Research Center for Children's Health. E-mail: doctor\_timofeev@mail.ru

Статья поступила в редакцию / The article received: 24.09.2020

Статья принята к печати / The article approved for publication: 14.12.2020