КЛИНИКО-РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ С АХОНДРОПАЗИЕЙ

© О.Г. Прудникова, А.М. Аранович

ФГБУ «Российский научный центр „Восстановительная травматология и ортопедия“
им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган

Поступила: 15.07.2018

Одобрена: 09.08.2018

Принята: 10.12.2018

Обоснование. Изменения позвоночника при ахондроплазии представлены нарушениями синостозирования, наличием клиновидных позвонков, недоразвитием крестца, изменением размеров ножек корней дуг, стенозом позвоночного канала и изменениями сагиттального баланса.

Цель — изучить клинико-рентгенологические особенности сагиттального баланса позвоночника у детей с ахондроплазией.

Материалы и методы. Проведено кросс-секционное клинико-рентгенологическое исследование 16 пациентов с ахондроплазией в возрасте от 6 до 17 лет (средний возраст — $9,2 \pm 3,3$ года), поступивших для первичного удлинения нижних конечностей. Длительность исследования: с октября 2016 по апрель 2018 г. Рентгенологически оценивали параметры сагиттального баланса позвоночника и таза, сколиоз. Клиническая оценка включала ортопедический и неврологический статус, болевой синдром в спине. Для обработки данных применяли пакет статистических программ Microsoft Office Excel (2016): вычисление средней арифметической (M) и отклонение среднего ($\pm m$), коэффициент корреляции Пирсона (r) с оценкой по шкале Чеддока.

Результаты. Анатомическими особенностями больных с ахондроплазией являются укорочение конечностей, О-образное искривление нижних конечностей с боковой нестабильностью коленных суставов и сгибательные контрактуры тазобедренных суставов. При ограничении подвижности в тазобедренных суставах запускаются компенсаторные механизмы коррекции сагиттального дисбаланса: изменяются угол наклона таза, поясничный лордоз, грудной кифоз. Клиническими проявлениями сагиттального дисбаланса у исследуемых детей были гипокифоз грудного отдела позвоночника в 100 % случаев и увеличение поясничного лордоза у 56,25 % больных. У 50 % пациентов диагностирована клиновидная деформация тел позвонков на уровне груднопоясничного перехода с формированием локального кифоза. У детей не обнаружено неврологических нарушений. Выраженность болевого синдрома в спине у 5 человек колебалась от 2 до 4 баллов.

Заключение. Для детей с ахондроплазией характерно уменьшение грудного кифоза, увеличение поясничного лордоза, тазового индекса, угла наклона таза и вертикальной оси туловища. Анатомические особенности нижних конечностей и тазобедренных суставов при ахондроплазии отражают биомеханические особенности взаимоотношений позвоночника, таза, нижних конечностей, что необходимо учитывать при планировании ортопедических вмешательств и прогнозировании состояния позвоночника после операций.

Ключевые слова: ахондроплазия; сагиттальный баланс позвоночника; позвоночно-тазовые параметры.

CLINICAL AND RADIOLOGICAL ASPECTS OF THE SAGITTAL BALANCE OF THE SPINE IN CHILDREN WITH ACHONDROPLASIA

© O.G. Prudnikova, A.M. Aranovich

Russian Ilizarov Scientific Centre “Restorative Traumatology and Orthopaedics”, Kurgan, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2018;6(4):6-12

Received: 15.07.2018

Revised: 09.08.2018

Accepted: 10.12.2018

Background. Changes in the spine with achondroplasia are represented by disorders of synostosis, the presence of wedge-shaped vertebrae, underdevelopment of the sacrum, changes in the size of the roots of the arches, stenosis of the spinal canal, and changes in the sagittal balance.

Aim. To investigate the clinical and radiological features of the sagittal balance of the spine in children with achondroplasia.

Materials and methods. We performed a cross-sectional clinical and radiological study of 16 patients with achondroplasia aged 6–17 years (mean, 9.2 ± 3.3 years). Radiographically, the parameters of the sagittal balance of the spine and pelvis and scoliosis were evaluated. Clinical evaluation included orthopedic and neurological status and back pain syndrome.

Results. The anatomic features of patients with achondroplasia are limb shortening, O-shaped curvature of the lower extremities with lateral instability of the knee joints, and flexural contractures of the hip joints. With restriction of mobility in the hip joints, compensatory mechanisms for correcting sagittal imbalance are triggered: pelvic incline, lumbar lordosis, and thoracic kyphosis change. The clinical manifestations of sagittal imbalance in enrolled children were hypokyphosis of the thoracic spine in 100% and an increase in lumbar lordosis in 56.25% of patients. In 50% of patients, wedge-shaped deformation of vertebral bodies was diagnosed at the level of the thoracolumbar transition with the formation of local kyphosis. Neurological disorders have not been diagnosed in children.

Conclusions. The anatomical features of the lower limbs and hip joints in achondroplasia reflect the biomechanical features of the relationship between the spine, pelvis, and lower limbs, which should be considered when planning for orthopedic and spinal surgery after prediction.

Keywords: achondroplasia; sagittal balance of the spine; parameters of the spine and pelvis.

Обоснование

Ахондроплазия — генетическая скелетная дисплазия — характеризуется диспропорцией туловища и конечностей в сочетании с патологией позвоночника [1–3]. Изменения позвоночника при ахондроплазии представлены нарушениями синостозирования, наличием клиновидных позвонков, недоразвитием крестца, изменением размеров ножек корней дуг, стенозом позвоночного канала и изменениями сагиттального баланса [4–9].

Публикации об особенностях позвоночника у детей с ахондроплазией единичны и посвящены в основном хирургическим аспектам коррекции кифотических деформаций на фоне клиновидной деформации тел позвонков и ламинаoplastике при стенозе позвоночного канала [9–13]. Исследование сагиттального баланса позвоночника, его взаимоотношение с тазом и нижними конечностями необходимы для понимания физиологических и патофизиологических аспектов заболевания, планирования ортопедических вмешательств и прогнозирования состояния позвоночника после операций [14–17].

Цель: изучить клинико-рентгенологические особенности сагиттального баланса позвоночника у детей с ахондроплазией.

Методы

Дизайн исследования: кросс-секционное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты до 18 лет с ахондроплазией.

Критерии исключения: пациенты старше 18 лет, пациенты с другими системными заболеваниями.

Условия проведения

Продолжительность исследования с октября 2016 по апрель 2018 г.

Методы исследования

Рентгенологическое исследование

Рентгенологические параметры оценки включали: угол сколиоза (по Cobb), угол грудного кифоза (TK, на уровне Th₄–Th₁₂ позвонков), угол груднопоясничного кифоза (TLK, на уровне Th₁₀–L₂ позвонков), угол поясничного лордоза (LL₁, на уровне L₁–S₁ позвонков, и LL₂, на уровне L₂–S₁ позвонков), SVA (глобальный сагиттальный модификатор), индекс таза (PI), угол наклона таза (PT) и пояснично-крестцовый угол (SS). Рентгенометрические измерения выполняли в программе Surgimap v2.2.12.2.

Клиническое исследование

Клиническая оценка включала ортопедический и неврологический статус [18], болевой синдром в спине (числовая рейтинговая шкала боли Вонга — Бейкера) [19].

Статистическая обработка данных

Для обработки данных применяли пакет статистических программ Microsoft Office Excel (2016). Вычисляли среднее арифметическое (M) и отклонение среднего ($\pm m$), коэффициент корреляции Пирсона (r) с оценкой по шкале Чеддока.

Результаты

Возраст пациентов варьировал от 6 до 17 лет (средний возраст — $9,2 \pm 3,3$ года). Гендерное соотношение (мальчики : девочки) составило 6 : 10.

Клинически при общем осмотре туловища у всех пациентов определялась сглаженность грудного кифоза. Усиление лордоза поясничного отде-

Рис. 1. Диаграмма ортопедического статуса пациентов

ла позвоночника выявлено у 9 человек (56,25 %). Сколиотическая деформация позвоночника наблюдалась у 4 (25 %) больных. Деформация грудной клетки в виде западения передних отрезков ребер (от 2 до 6) отмечена в 10 случаях (62,5 %) (рис. 1).

Рентгенологически у 8 (50 %) пациентов диагностирована клиновидная деформация тел позвонков на уровне грудопоясничного перехода (Th_{12} – L_1 – L_2) с формированием локального кифоза (рис. 2), у одной больной — гипоплазия крестца.

При оценке состояния нижних конечностей у всех детей выявлены О-образное искривление нижних конечностей с боковой нестабильностью коленных суставов и сгибательные контрактуры тазобедренных суставов (табл. 1).

При оценке неврологического статуса грубых нарушений не обнаружено. Выраженность болевого синдрома в спине у 5 пациентов в возрасте 9–14 лет колебалась от 2 до 4 баллов (числовая рейтинговая шкала боли Вонга — Бейкера) [19].

Рентгенологические параметры сагиттального баланса представлены в табл. 2.

При определении взаимоотношений показателей сагиттального баланса выявлено, что вертикальная сагиттальная ось SVA имела умеренную корреляцию ($r = 0,5$) с грудным кифозом (TK). Показатель грудного кифоза TK умеренно коррелировал с поясничным лордозом LL_1 ($r = 0,4$). Тазовые коэффициенты PI , PT , SS показали среднюю корреляционную силу с величинами поясничного лордоза LL_1 ($r = 0,6$).

Рис. 2. Фото (а) и спондилограммы (б) пациентки Л., 7 лет, с ахондроплазией. Сглажен грудной кифоз, усилен поясничный лордоз, клиновидная деформация тел Th_{12} , L_1 позвонков (указано стрелками)

Таблица 1

Объем движений в тазобедренных суставах

Вид движений	Справа	Слева	Нормальные показатели для детей 9/11 лет [18]
Сгибание (при выпрямленной в коленном суставе ноге в положении лежа), °	130,9 ± 2,6 (от 125 до 140)	132,1 ± 3,0 (от 130 до 140)	146/38
Разгибание, °	22,5 ± 2,6 (от 15 до 25)	22,5 ± 2,6 (от 15 до 25)	27/25
Отведение, °	44,6 ± 3,3 (от 36 до 50)	44,9 ± 4,1 (от 35 до 55)	49/45
Приведение, °	27,1 ± 5,8 (от 20 до 40)	26,8 ± 6,1 (от 20 до 40)	28/29
Наружная ротация, °	42,8 ± 3,8 (от 35 до 55)	42,5 ± 3,5 (от 35 до 55)	43/42
Внутренняя ротация, °	51,5 ± 4,0 (от 45 до 60)	51,5 ± 3,6 (от 45 до 60)	54/48

Таблица 2

Рентгенологические параметры сагиттального баланса

Параметры оценки	Полученные данные	Здоровые дети, возраст — 7,3 ± 1,8 (Mac-Thiong J.M., 2004) [15]
Сколиоз, °, Cobb	1,5 ± 2,3 (от 0 до 14,2)	–
SVA, мм	1,3 ± 20,9 (от –61,6 до 38,5)	–
TK Th ₄ –Th ₁₂ , °	16,2 ± 4,3 (от 4,1 до 23,8)	38,3 ± 9,8
TLK Th ₁₀ –L ₂ , °	16,4 ± 3,2 (от 4,6 до 21,7)	–
LL ₁ , L ₁ –S ₁ , °	57,5 ± 10,1 (от 38,9 до 72,3)	45,6 ± 12,1
LL ₂ , L ₂ –S ₁ , °	58,8 ± 8,9 (от 39,1 до 71,5)	–
PI (индекс таза), °	50,5 ± 6,4 (от 36,2 до 63,9)	44,6 ± 10,6
PT (угол наклона таза), °	11,2 ± 4,9 (от 1,6 до 21,4)	4,3 ± 8,1
SS (пояснично-крестцовый угол), °	40,7 ± 5,7 (от 22,9 до 53,6)	40,3 ± 8,7

Обсуждение

Ахондроплазия характеризуется нарушением энхондрального остеогенеза, карликовостью, укорочением конечностей при обычной длине туловища, деформациями конечностей и позвоночника, макроцефалией [2–4, 20].

Публикации об особенностях состояния позвоночника у детей при ахондроплазии единичны. Преобладают статьи о хирургической коррекции груднопоясничного кифоза [10, 12, 21–23], декомпрессии при стенозе позвоночного канала [9, 11, 13], неврологических осложнениях [21].

В исследовании I.O. Karikari et al. (2012) проводится ретроспективный анализ показателей сагиттального баланса детей с ахондроплазией в возрасте от 1 месяца до 10 лет. Средний возраст при этом составляет 2,6 ± 2,1 года [24].

Изучение сагиттального баланса позвоночника у взрослых с ахондроплазией 17–36 лет в сравнении со здоровыми пациентами проведено J.-Y. Hong (2011) [8].

В представляемом исследовании выполнен анализ позвоночно-тазовых взаимоотношений детей с ахондроплазией в возрасте от 6 до 17 лет (средний возраст — 9,2 ± 3,3 года). Работ по изучению изменений позвоночника в данной возрастной группе мы не нашли.

В качестве сравнения взяты данные J.M. Mac-Thiong для здоровых детей в возрасте 7,3 ± 1,8 года (2004) (табл. 3) [15, 16].

Как видно из табл. 3, с возрастом у детей с ахондроплазией увеличивается грудной кифоз TK, однако этот показатель остается в 2 раза меньше, чем у здоровых сверстников, независимо от возраста. Показатель кифоза груднопоясничного перехода TLK и в нашей работе (возраст —

Таблица 3

Сравнительный анализ показателей сагиттального баланса

Параметры оценки	I.O. Karikari et al. (2012) [24], ахондроплазия, $n = 40$	Представленное исследование, ахондроплазия, $n = 16$	J.M. Mac-Thiong (2004) [15], здоровые, $n = 35$	J.-Y. Hong (2011) [8], ахондроплазия, $n = 32$
Возраст больных, лет	$2,6 \pm 2,1$	$9,2 \pm 3,3$	$7,3 \pm 1,8$	17–36
SVA (глобальный сагиттальный модификатор), мм	–	$1,3 \pm 20,9$	–	$-22,2 \pm 10,6$
TK, Th ₄ –Th ₁₂ , °	$13,26 \pm 18$	$16,2 \pm 4,3$	$38,3 \pm 9,8$	$19,52 \pm 10,3$
TLK, Th ₁₀ –L ₂ , °	$37,4 \pm 15,8$	$16,4 \pm 3,2$	–	$10,3 \pm 12,42$
LL ₁ , L ₁ –S ₁ , °	$58,8 \pm 15,9$	$57,5 \pm 10,1$	$45,6 \pm 12,1$	$56,12 \pm 11,44$
LL ₂ , L ₂ –S ₁ , °	–	$57,5 \pm 10,1$	–	$46,37 \pm 14,03$
PI (тазовый индекс), °	$36,4 \pm 16,6$	$50,5 \pm 6,4$	$44,6 \pm 10,6$	$43,1 \pm 17,47$
PT (угол наклона таза), °	$6,68 \pm 25,5$	$11,2 \pm 4,9$	$4,3 \pm 8,1$	$0,42 \pm 12,73$
SS (пояснично-крестцовый угол), °	$36,1 \pm 15,2$	$40,7 \pm 5,7$	$40,3 \pm 8,7$	$44,03 \pm 9,46$

9,2 ± 3,3 года), и по данным J.-Y. Hong (2011) (17–36 лет) в 3,5 раза меньше, чем у детей в возрасте 2,6 ± 2,1 года [8, 24]. Кифоз груднопоясничного отдела позвоночника является распространенной формой деформации позвоночника при ахондроплазии с частотой до 94 % случаев у детей до 1 года. С ростом и началом ходьбы кифоз регрессирует в течение первых 10 лет [10, 17, 23]. Окончательное формирование гипокифоза грудного отдела происходит, когда ребенок начинает уверенно ходить и запускаются компенсаторные механизмы коррекции сагиттального баланса туловища.

Начиная с 7 лет у 11–15 % детей отмечено формирование клиновидной деформации позвонков, степень деформации которых составляет от 10 до 18° [12, 25]. В представляемом исследовании клиновидная деформация тел Th₁₂, L₁, L₂ позвонков диагностирована в восьми (50 %) случаях.

Показатель поясничного лордоза LL (LL₁ и LL₂) как у пациентов нашего исследования, так и по данным других авторов превышает нормальные значения и практически не меняется с возрастом. Увеличение поясничного лордоза является основной клинико-рентгенологической характеристикой сагиттального баланса пациентов при ахондроплазии.

В изучаемой возрастной группе выявлено увеличение значения тазового индекса PI в сравнении с детьми младшего возраста и приближение его к значениям взрослых пациентов с ахондроплазией и здоровых людей всех возрастов. Тазовый показатель PI отражает анатомические взаимоотношения крестца и тазобедренных суставов, увеличивается в детстве, становится неизменным по достижении окончательного роста и опреде-

ляет остальные позвоночно-тазовые параметры (SS, PT, LL и TK) [24].

По полученным данным, показатели тазового баланса PT и SS у детей с ахондроплазией увеличиваются с возрастом, но остаются меньше, чем у здоровых сверстников. I.O. Karikari et al. (2012) у детей 2,6 года получили неоднозначные результаты и выделили две группы пациентов: с отрицательным и положительным PT. Исследователи объясняют это возрастом пациентов и отсутствием проспективности исследования [24].

Глобальный сагиттальный модификатор в нашей работе, так же как и у взрослых пациентов с ахондроплазией, имел большую амплитуду значений. Числовые параметры показателя у детей с ахондроплазией в литературе не представлены.

Сколиотическая деформация позвоночника небольшой степени выявляется у 17 % детей с ахондроплазией [25]. В нашей группе больных сколиоз диагностирован у трех человек с величиной 1,5 ± 2,3°.

Клиническими проявлениями сагиттального дисбаланса у исследуемых больных были гипокифоз грудного отдела позвоночника в 100 % случаев и увеличение поясничного лордоза у 50 % больных. У пациентов не диагностировано неврологических нарушений.

Сагиттальный баланс туловища человека обеспечивает взаиморасположение таза, позвоночника и нижних конечностей [26]. Позиция таза зависит от состояния и подвижности головок бедренных костей и определяет вертикальное положение тела [14–16].

Анатомическими особенностями больных с ахондроплазией являются укорочение конечностей, О-образное искривление нижних конечностей с боковой нестабильностью коленных суста-

вов и сгибательные контрактуры тазобедренных суставов [12, 13, 24]. При ограничении подвижности в тазобедренных суставах запускаются компенсаторные механизмы коррекции сагиттального дисбаланса: изменяются угол наклона таза, поясничный лордоз, грудной кифоз. В анализируемой группе детей выявлено уменьшение грудного кифоза, увеличение поясничного лордоза, изменения тазовых параметров, что закономерно отражает биомеханические особенности взаимоотношений позвоночника, таза, нижних конечностей у детей с ахондроплазией.

Заключение

Для детей с ахондроплазией характерно уменьшение грудного кифоза, увеличение поясничного лордоза, тазового индекса, угла наклона таза и вертикальной оси туловища. Клиническими проявлениями этого служат сглаженный грудной кифоз грудного отдела позвоночника и выраженный поясничный лордоз. В ходе исследования установлены достоверные корреляционные связи показателей сагиттального баланса: вертикальной сагиттальной оси и грудного кифоза, грудного кифоза и поясничного лордоза, поясничного лордоза и тазовых параметров.

Анатомические особенности нижних конечностей и тазобедренных суставов при ахондроплазии отражают биомеханические особенности взаимоотношений позвоночника, таза, нижних конечностей, что необходимо учитывать при планировании ортопедических операций и прогнозировании состояния позвоночника после вмешательств.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследование выполнено без финансовой поддержки спонсоров.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Обследования проводились в соответствии с требованиями Хельсинской декларации 1964 года. Пациенты или их родители дали информированное добровольное согласие на проведение диагностических манипуляций и медицинского вмешательства и использование полученных данных в научных целях.

Вклад авторов

О.Г. Прудникова — дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста.

А.М. Аранович — концепция исследования, анализ полученных данных.

Список литературы

1. Колесов С.В., Снетков А.А., Сажнев М.Л. Хирургическое лечение деформации позвоночника при ахондроплазии // Хирургия позвоночника. – 2013. – № 4. – С. 17–22. [Kolesov SV, Snetkov AA, Sazhnev ML. Surgical treatment for spine deformity in achondroplasia. *Spine surgery*. 2013;(4):17-22. (In Russ.)]
2. Carter EM, Davis JG, Raggio CL. Advances in understanding etiology of achondroplasia and review of management. *Curr Opin Pediatr*. 2007;19(1):32-37. doi: 10.1097/MOP.0b013e328013e3d9.
3. Yamada H, Nakamura S, Tajima M, Kageyama N. Neurological manifestations of pediatric achondroplasia. *J Neurosurg*. 1981;54(1):49-57. doi: 10.3171/jns.1981.54.1.0049.
4. Herring JA, Tachdjian MO, Children TSRHf. Tachdjian's Pediatric Orthopaedics. Philadelphia: Saunders/Elsevier; 2008.
5. Kahanovitz N, Rimoin DL, Sillence DO. The clinical spectrum of lumbar spine disease in achondroplasia. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1982;7(2):137-140.
6. Rimoin DL. Clinical variability in achondroplasia. *Basic Life Sci*. 1988;48:123-127. doi: 10.1007/978-1-4684-8712-1_16.
7. Srikumaran U, Woodard EJ, Leet AI, et al. Pedicle and spinal canal parameters of the lower thoracic and lumbar vertebrae in the achondroplasia population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(22):2423-2431. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181574286.
8. Hong JY, Suh SW, Modi HN, et al. Analysis of sagittal spinopelvic parameters in achondroplasia. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(18):E1233-1239. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182063e89.
9. Thomeer RT, van Dijk JM. Surgical treatment of lumbar stenosis in achondroplasia. *J Neurosurg*. 2002;96(3 Suppl):292-297.
10. Kopits SE. Thoracolumbar kyphosis and lumbosacral hyperlordosis in achondroplastic children. *Basic Life Sci*. 1988;48:241-255. doi: 10.1007/978-1-4684-8712-1_34.
11. Lonstein JE. Treatment of kyphosis and lumbar stenosis in achondroplasia. *Basic Life Sci*. 1988;48:283-292. doi: 10.1007/978-1-4684-8712-1_38.
12. Misra SN, Morgan HW. Thoracolumbar spinal deformity in achondroplasia. *Neurosurg Focus*. 2003;14(1):e4. doi: 10.3171/foc.2003.14.1.5.
13. Sciubba DM, Noggle JC, Marupudi NI, et al. Spinal stenosis surgery in pediatric patients with achondroplasia. *J Neurosurg*. 2007;106(5 Suppl):372-378. doi: 10.3171/ped.2007.106.5.372.
14. Ленке Л., Боши-Аджей О., Ванг Я. Остеотомии позвоночника. – М.: БИНОМ, 2016. [Lenke L, Bosh-Adzhey O, Vang Y. Osteotomii pozvonochnika. Moscow: BINOM; 2016. (In Russ.)]
15. Mac-Thiong JM, Berthodaud E, Dimar JR, 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(15):1642-1647. doi: 10.1097/01.BRS.0000132312.78469.7B.

16. Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J*. 2002;11(2):119-125. doi: 10.1007/s00586-001-0349-7.
17. Borkhuu B, Nagaraju DK, Chan G, et al. Factors related to progression of thoracolumbar kyphosis in children with achondroplasia: a retrospective cohort study of forty-eight children treated in a comprehensive orthopaedic center. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(16):1699-1705. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ac8f9d.
18. Скоромец А.А., Скоромец Т.А. Топическая диагностика заболеваний нервной системы: Руководство для врачей. – СПб.: Политехника, 2002. [Skoromets AA, Skoromets TA. Topicheskaya diagnostika zabolevaniy nervnoy sistemy: Rukovodstvo dlya vrachey. Saint Petersburg: Politekhnik; 2002. (In Russ.)]
19. Белова А.Н., Щепетова О.Н. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации. – М.: Антидор, 2002. [Belova AN, Shchetova ON. Shkaly, testy i oprosniki v meditsinskoй reabilitatsii. Moscow: Antidor; 2002. (In Russ.)]
20. The Clinical Measurement of Joint Motion. Ed by W.B. Green, J.D. Heckman. Rosemont: American Academy of Orthopedics Surgeons; 1994.
21. King JA, Vachhrajani S, Drake JM, Rutka JT. Neurosurgical implications of achondroplasia. *J Neurosurg Pediatr*. 2009;4(4):297-306. doi: 10.3171/2009.3.PEDS08344.
22. Sarlak AY, Buluc L, Anik Y, et al. Treatment of fixed thoracolumbar kyphosis in immature achondroplastic patient: posterior column resection combined with segmental pedicle screw fixation and posterolateral fusion. *Eur Spine J*. 2004;13(5):458-461. doi: 10.1007/s00586-003-0595-y.
23. Qi X, Matsumoto M, Ishii K, et al. Posterior osteotomy and instrumentation for thoracolumbar kyphosis in patients with achondroplasia. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(17):E606-610. doi: 10.1097/01.brs.0000229262.87720.9b.
24. Karikari IO, Mehta AI, Solakoglu C, et al. Sagittal spinopelvic parameters in children with achondroplasia: identification of 2 distinct groups. *J Neurosurg Spine*. 2012;17(1):57-60. doi: 10.3171/2012.3.SPINE11735.
25. Дьячкова Г.В., Аранович А.М., Новикова О.С., Щукин А.А. Клинико-рентгенологические особенности пояснично-крестцового отдела позвоночника у больных ахондроплазией // Гений ортопедии. – 2000. – № 4. – С. 46–48. [D'yachkova GV, Aranovich AM, Novikova OS, Shchukin AA. Kliniko-rentgenologicheskie osobennosti poynichno-kresttsovogo ot-dela pozvonochnika u bo'nykh akhondroplaziey. Geniy ortopedii. 2000;(4):46-48. (In Russ.)]
26. Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng*. 1992;20(4):451-462.

Сведения об авторах

Оксана Германовна Прудникова — д-р мед. наук, старший научный сотрудник научно-клинической лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 10, ФГБУ «РНИЦ „ВТО“ им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>; eLibrary SPIN: 1391-9051. E-mail: pog6070@gmail.com.

Анна Майоровна Аранович — профессор, д-р мед. наук, главный научный сотрудник научно-клинической лаборатории коррекции деформации и удлинения конечностей, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 17 ФГБУ «РНИЦ „ВТО“ им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган. E-mail: aranovich_anna@mail.ru.

Oksana G. Prudnikova — MD, PhD, Senior Scientific Researcher, Scientific and Clinical Laboratory of Axial Skeleton Pathology and Neurosurgery, Head of Trauma and Orthopedic Dept. No. 10, Russian Ilizarov Scientific Centre “Restorative Traumatology and Orthopaedics”, Kurgan, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>; eLibrary SPIN: 1391-9051. E-mail: pog6070@gmail.com

Anna M. Aranovich — MD, PhD, Professor, Head of Trauma and Orthopedic Dept. No. 17, Russian Ilizarov Scientific Centre “Restorative Traumatology and Orthopaedics”, Kurgan, Russia. E-mail: aranovich_anna@mail.ru.