

Научная статья

УДК 616.727.41-007.281-073.75-053.2

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1753>

Оценка рентгенометрических показателей костей предплечья при травматической нестабильности дистального лучелоктевого сустава у детей

С.Ю. Семенов¹, Я.Н. Проценко¹, А.Г. Баиндурашвили¹, С.А. Брайлов¹,
Е.С. Семенова^{2,3}, Г.Е. Труфанов²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

³ СПб ГБУЗ «Детский городской многопрофильный клинический центр высоких медицинских технологий им. К.А. Раухфуса», г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. В настоящее время в литературе достаточно подробно описано применение различных методов рентгенологического исследования костей предплечья при диагностике нестабильности дистального лучелоктевого сустава (ДЛЛС), но отсутствуют сведения о рентгенометрических показателях при нестабильности ДЛЛС травматического генеза у детей. Квантитативная диагностика приобретает обязательный характер для определения тактики лечения нестабильности ДЛЛС травматического генеза у детей.

Цель исследования — проанализировать рентгенометрические показатели дистальных отделов костей предплечья при нестабильности ДЛЛС травматического генеза у детей для планирования хирургического лечения.

Материал и методы. В работе представлен анализ результатов рентгенологического исследования 23 детей с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза в возрасте от 9 до 17 лет (средний возраст — 14,2±2,5 года) — основная группа. Для сравнения анализировали рентгенограммы контралатеральных предплечий этих же пациентов — группа сравнения (23 ребенка) и рентгенограммы костей предплечья 69 пациентов детского возраста без признаков нестабильности ДЛЛС (контрольная группа). На рентгенограммах в передне-задней и боковой проекциях оценивали следующие рентгенометрические показатели: лучелоктевой и волярный углы, лучелоктевой индекс, радиоульнарное расстояние и разницу между радиоульнарными расстояниями обоих предплечий.

Результаты. У 19 пациентов с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза был выявлен положительный вариант лучелоктевого индекса с вывихом головки локтевой кости, в то время как показатели лучелоктевого и волярного угла характеризовались вариабельностью значений. Средние рентгенометрические параметры ДЛЛС у детей без костно-травматических изменений костей предплечья сопоставимы с нормальными значениями у взрослых.

Заключение. У детей с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза выявлены различные изменения рентгенометрических показателей дистальных отделов костей предплечья, которые зависят от типа перелома. У конкретного пациента детского возраста с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза эти показатели отражают биомеханические особенности кистевого сустава, что необходимо учитывать при планировании хирургического вмешательства и прогнозировании восстановления анатомии и функции предплечья.

Ключевые слова: дистальный лучелоктевой сустав, дети, посттравматическая нестабильность, рентгенометрия.

Семенов С.Ю., Проценко Я.Н., Баиндурашвили А.Г., Брайлов С.А., Семенова Е.С., Труфанов Г.Е. Оценка рентгенометрических показателей костей предплечья при травматической нестабильности дистального лучелоктевого сустава у детей. *Травматология и ортопедия России*. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1753>.

✉ Семенов Сергей Юрьевич; e-mail: sergey2810@yandex.ru

Рукопись получена: 12.03.2022. Рукопись одобрена: 20.04.2022. Статья опубликована онлайн: 23.05.2022.

© Семенов С.Ю., Проценко Я.Н., Баиндурашвили А.Г., Брайлов С.А., Семенова Е.С., Труфанов Г.Е., 2022



Radiometric Parameters of the Forearm in Traumatic Instability of the Distal Radioulnar Joint in Children

Sergey Yu. Semenov¹, Yaroslav N. Proshchenko¹, Aleksey G. Baidurashvili¹, Sergey A. Braylov¹, Elena S. Semenova^{2,3}, Gennady E. Trufanov²

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

² Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

³ St. Petersburg Childrens Municipal Multi-Specialty Clinical Center of High Medical Technology named after K.A. Rauhfus, St. Petersburg, Russia

Background. At present, the literature describes in sufficient detail the use of various methods of X-ray examination of the bones of the forearm in the diagnosis of distal radioulnar joint instability (DRUJI), but there are no data on radiometric parameters for DRUJI of traumatic origin in children. Quantitative diagnostics becomes mandatory for determining the tactics of treating DRUJI of traumatic origin in children.

The purpose of study – to analyze the radiometric parameters of the distal forearm in case of DRUJI of traumatic origin in children to plan the method of surgical treatment.

Methods. The paper presents an analysis of the results of X-ray examination of 23 children with instability of the distal radioulnar joint of traumatic origin aged 9 to 17 years (mean age – 14.21±2.5 years) – the main group. For comparison, radiographs of the contralateral forearms of the same patients were analyzed – the comparison group (23 children), and radiographs of the forearm of 69 pediatric patients without signs of DRUJI (control group). On radiographs in the anteroposterior and lateral projections, the following radiometric parameters were evaluated: radioulnar and volar angles, radioulnar index, radioulnar distance, and the difference between the radioulnar distances of both forearms.

Results. In 19 patients of the main group, a «positive variant» of the radioulnar index with dislocation of the head of the ulna was revealed, while the indicators of the radioulnar and volar angle were characterized by variability in values. The average values of radiometric parameters of DRUJI in children without bone-traumatic changes of the forearm are comparable to normal values in adults.

Conclusion. In children with DRUJI of traumatic origin, various changes were revealed radiometric indicators of the distal parts of the bones of the forearm, which depend on the type of forearm fracture. In a particular pediatric patient with DRUJI of traumatic origin, these indicators reflect the biomechanical features of the wrist joint, which must be taken into account when planning surgical intervention and predicting the recovery of the anatomy and function of the forearm.

Key words: distal radioulnar joint, children, instability, trauma, radiography.

Cite as: Semenov S.Yu., Proshchenko Ya.N., Baidurashvili A.G., Braylov S.A., Semenova E.S., Trufanov G.E. [Radiometric Parameters of the Forearm in Traumatic Instability of the Distal Radioulnar Joint in Children]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1753>.

✉ Sergey Yu. Semenov; e-mail: sergey2810@yandex.ru

Submitted: 12.03.2022. Accepted: 20.04.2022. Published Online: 23.05.2022.

© Semenov S.Yu., Proshchenko Ya.N., Baidurashvili A.G., Braylov S.A., Semenova E.S., Trufanov G.E., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Переломы дистальных отделов костей предплечья являются одной из наиболее частых причин, приводящих к развитию посттравматической нестабильности дистального лучелоктевого сустава (ДЛЛС) [1, 2, 3, 4]. До завершения процесса окостенения при травматическом повреждении происходит смещение дистального эпифиза лучевой и/или локтевой кости по ростковой зоне по отношению к метафизу, что связано с большей эластичностью и прочностью капсульно-связочного аппарата по сравнению с ростковым хрящом [5].

При переломах костей предплечья в дистальной трети у детей младшей возрастной группы отмечен наибольший потенциал ремоделирования остаточной деформации. Это определяет различные значения допустимого смещения в зависимости от возраста пациента и локализации перелома [6]. Значения этих параметров являются спорными и широко варьируют в литературе [7]. Критический возраст, в котором можно ожидать лишь небольшой корригирующий потенциал, составляет от 9 до 12 лет. При неточном прогнозировании этого потенциала парциальное ремоделирование может привести к неправильной консолидации перелома с формированием деформации [8]. Неправильно консолидированный перелом одной или обеих костей предплечья вызывает нарушение соотношения костных структур в дистальном лучелоктевом сочленении, в результате чего возникает ограничение ротации предплечья [1, 3, 4]. Тем не менее мягкотканые стабилизаторы ДЛЛС обладают определенной эластичностью, которая может компенсировать остаточное смещение лучевой кости в дистальной трети. Однако после повторной незначительной травмы функция стабилизаторов становится недостаточной, в результате чего возникает подвывих или вывих головки локтевой кости в ДЛЛС.

При одном и том же механизме повреждения у подростков, достигших костной зрелости, и у взрослых пациентов возникает перелом дистального отдела лучевой кости в сочетании с травматическим вывихом головки локтевой кости в ДЛЛС в результате повреждения мягкотканых стабилизаторов сустава (переломовывих Галеацци). Для выявления таких травм и минимизации любых нарушений роста лучевой и локтевой костей необходима точная оценка повреждений [9].

Клинически нестабильность ДЛЛС травматического генеза определяется при наличии в анамнезе травмы, в том числе переломов костей предплечья, болевого синдрома в области кистевого сустава, подвывиха или вывиха головки локтевой

кости и ограничения ротационной функции предплечья [10]. При обследовании пациентов с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза проводят диагностические тесты — «стресс-тест» и «пресс-тест» [4, 11, 12].

Основным методом лучевой диагностики при нестабильности ДЛЛС травматического генеза у детей является стандартная рентгенография костей предплечья с захватом локтевых суставов и кистей в двух проекциях [2, 13]. У взрослых пациентов для объективизации полученных рентгенологических данных при нестабильности ДЛЛС травматического генеза на рентгенограммах оцениваются лучелоктевой угол, волярная инклинация лучевой кости, лучелоктевой индекс и радикулярное расстояние [14].

В настоящее время в литературе отсутствуют сведения о рентгенометрических параметрах дистальных структур костей предплечья у детей с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза, а также об анатомо-физиологических особенностях костей предплечья в период роста.

Цель исследования — оценить рентгенометрические показатели костей предплечья при нестабильности дистального лучелоктевого сустава травматического генеза у детей для планирования хирургического лечения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проспективно-ретроспективное когортное исследование выполнено на основании рентгенологического обследования 23 детей (11 мальчиков и 12 девочек) с травматической нестабильностью в ДЛЛС, проходивших обследование и лечение в ФГБУ «НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера» Минздрава России в период с 2009 по 2021 г. Эти пациенты составили основную группу исследования.

Критериям включения в основную группу соответствовали пациенты в возрасте до 18 лет с нестабильностью ДЛЛС после переломов костей предплечья. Из исследования исключались пациенты детского возраста с нестабильностью ДЛЛС нетравматического генеза (врожденный, инфекционный или опухолевый характер).

Возраст обследованных пациентов составил 9–17 лет (средний возраст — $14,2 \pm 2,5$ лет). У всех пациентов в анамнезе имелись травматические повреждения дистальных отделов предплечья. Пациенты жаловались на боль в кистевом суставе при движениях и/или физической нагрузке. При клиническом осмотре были выявлены следующие признаки: подвывих/вывих головки локтевой кости, ограничение ротационной функции предплечья.

Для сравнения полученных рентгенологических параметров были проанализированы аналогичные рентгенометрические показатели контралатеральных предплечий тех же 23 пациентов, которые составили группу сравнения.

В группе контроля были проанализированы рентгенограммы в прямой (передне-задней) и боковой проекциях 69 пациентов, которым выполняли исследования в 2021 г. в по различным причинам, в том числе при подозрении на травматические повреждения костей предплечья. Возраст

обследованных составил также от 9 до 17 лет (средний — $13,7 \pm 2,5$ лет).

К 12 годам полностью завершается процесс окостенения головки локтевой кости, заканчивается развитие запястной суставной поверхности лучевой кости, что позволяет оценить все рентгенометрические показатели анатомического строения данного отдела костно-суставной системы [15, 16]. Учитывая возрастные особенности строения кистевого сустава, все группы исследования были разделены на подгруппы (рис. 1).

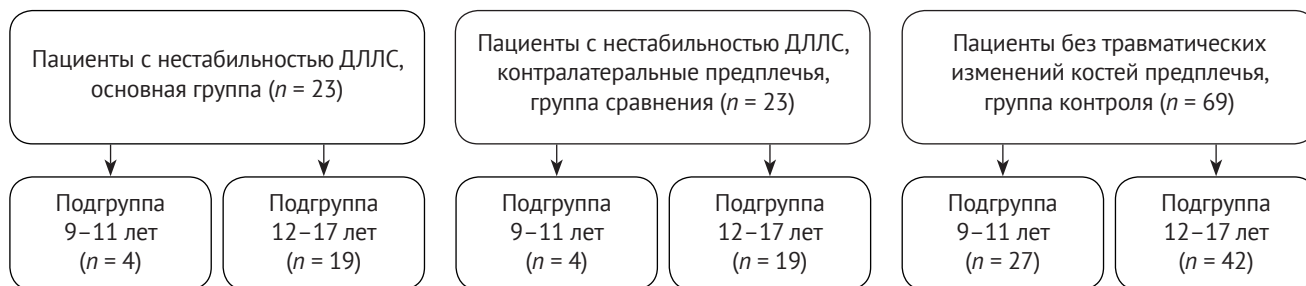


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study flowchart

Техника исследования

Рентгенографию выполняли на рентгенодиагностических аппаратах фирмы Philips на базе ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России и на аппарате Samsung в ДГМКЦ ВМТ им. К.А. Раухфуса с получением снимков в передне-задней и боковой проекциях. В основной группе пациентов дополнительно выполняли функциональные рентгенограммы кистевого сустава с нестабильностью в положении вывиха головки локтевой кости.

Были проанализированы цифровые и аналоговые рентгеновские изображения и определены линейные показатели с помощью измерительных инструментов в программах Sectra версия 16.2.4.2112 и Radiant DICOM Viewer версия 2021.1, канцелярской линейки и транспортира.

Изображения в прямой проекции получали при положении пациента сидя или стоя лицом к столу. Предплечье было согнуто в локтевом суставе до 90° , кисть и предплечье прилежали к столу ладонной поверхностью, оси II–V пальцев являлись продолжением оси предплечья. Рентгеновскую трубку центрировали на уровне головки локтевой кости (проекция лучезапястного сустава) с фокусным расстоянием до сустава 100 см перпендикулярно длинной оси предплечья.

При рентгенографии в боковой проекции ребенок находился боком к столу в положении сидя

или лицом к столу в положении стоя. Предплечье и кисть прилежали к столу ульнарной поверхностью. Центрацию пучка рентгеновского излучения и фокусное расстояние устанавливали так же, как при выполнении рентгенографии в передне-задней проекции [17].

Функциональное рентгенологическое исследование в положении вывиха локтевой кости выполняли при таком же положении конечностей ребенка, как и для боковой проекции. Различие заключалось в том, что предплечье укладывали в положении пронации или супинации в зависимости от направления вывиха.

При анализе рентгенограмм вычисляли параметры, характеризующие пространственное положение дистальных отделов костей предплечья:

1. *Лучелоктевой угол* (инклинация лучевой кости во фронтальной плоскости) образуется двумя пересекающимися линиями — линией, перпендикулярной длинной оси лучевой кости, и линией, проведенной от вершины шиловидного отростка лучевой кости к локтевому краю суставной поверхности лучевой кости; измеряется на изображениях в прямой проекции (рис. 2). По данным литературы, его величина варьирует от 13 до 30° и составляет в среднем $22-24^\circ$ [17]. Разброс значений в большей степени обусловлен выбором для измерения поверхностей лучевой кости — тыльной или ладонной.

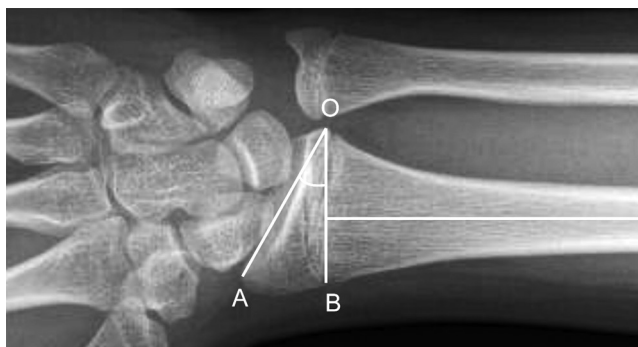


Рис. 2. Рентгенограмма лучезапястного сустава в прямой проекции. Лучелоктевой угол ($\angle AOB$) образован линией BO, перпендикулярной длинной оси лучевой кости, и линией AO, проведенной от вершины шиловидного отростка лучевой кости к локтевому краю суставной поверхности лучевой кости

Fig. 2. X-ray of the wrist joint in direct projection. The radioulnar angle ($\angle AOB$) is formed by line BO, perpendicular to the long axis of the radius, and line AO, drawn from the apex of the styloid process of the radius to the ulnar edge of the articular surface of the radius

2. *Волярный угол* (инклинация лучевой кости в сагиттальной плоскости) измеряется на боковых рентгенограммах, этот угол образован двумя линиями: линией, перпендикулярной длинной оси лучевой кости, и линией, проведенной между двумя краями (тыльным и ладонным) суставной поверхности лучевой кости (рис. 3а). По данным литературы, этот показатель в норме составляет $10\text{--}12^\circ$ [3, 18].

3. *Радиоульнарное расстояние* — расстояние между дорсальными контурами эпифизов лучевой и локтевой костей на рентгенограммах в боковой проекции. Измеряется в миллиметрах, по данным литературы, во взрослой популяции составляет в среднем $-2\text{...}+17$ мм [19]. Отрицательное значение радиоульнарного расстояния означает, что локтевая кость расположена дорсальнее лучевой кости (рис. 3б).

4. *Лучелоктевой индекс* позволяет соотнести величину длины локтевой и лучевой костей на рентгенограммах в прямой проекции; измеря-

ется как расстояние между двумя линиями, проведенными параллельно: одна вдоль суставной поверхности локтевой кости, вторая — на уровне проксимальной поверхности сигмовидной вырезки лучевой кости на изображениях во фронтальной плоскости (рис. 4). В среднем этот показатель составляет от $-2,5$ мм до $+3,1$ мм [14].

Используют следующие термины: *ноль-вариант*, или *нейтральный вариант* — уровни дистальных суставных поверхностей лучевой и локтевой костей совпадают; *положительный вариант*, или «*ульна-плюс*» — суставная поверхность локтевой кости расположена дистальнее лучевой кости, *отрицательный вариант*, или «*ульна-минус*» — суставная поверхность локтевой кости расположена проксимальнее лучевой кости.

У детей 9–11 лет мы использовали способ измерения лучелоктевого индекса по Hafner [20], а у детей старшей возрастной группы (12–17 лет) измерение проводили как во взрослой популяции (рис. 5).

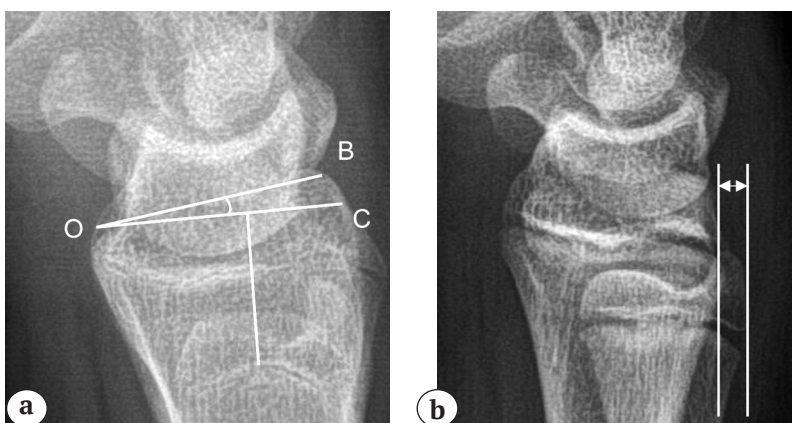


Рис. 3. Рентгенограммы лучезапястного сустава в боковой проекции: а — волярный угол ($\angle BOC$) образован линией CO, перпендикулярной длинной оси лучевой кости, и линией BO, соединяющей два края (тыльный и ладонный) суставной поверхности лучевой кости; б — радиоульнарное расстояние между дорсальными контурами эпифизов лучевой и локтевой костей

Fig. 3. X-ray of the wrist joint in lateral projection: а — volar angle ($\angle BOC$) formed by line CO, perpendicular to the long axis of the radius, and line BO, connecting the two edges (dorsal and volar) of the articular surface of the radius; б — radioulnar distance between the dorsal contours of the epiphyses of the radius and ulna



Рис. 4. Рентгенограммы лучезапястного сустава в прямой проекции.

Лучелоктевой индекс — соотношение величин длины локтевой и лучевой костей:

- a — отрицательный вариант индекса (вариант нормы);
- b — нейтральный вариант индекса (вариант нормы);
- c — положительный вариант индекса

Fig. 4. X-ray of the wrist joint in direct projection. Radioulnar index — the ratio of the lengths of the ulna and radius:
 a — the negative version of the index (normal version);
 b — neutral variant of the index (norm variant);
 c — positive version of the index



Рис. 5. Рентгенограммы лучезапястного сустава в прямой проекции. Лучелоктевой индекс (измерение по Hafner):
 a — расстояние от наиболее проксимальной точки метафиза локтевой кости до наиболее проксимальной точки метафиза лучевой кости;
 b — расстояние от наиболее дистальной точки метафиза локтевой кости до наиболее дистальной точки метафиза лучевой кости

Fig. 5. X-ray of the wrist joint in direct projection. Radial-ulnar index (measurement according to Hafner):
 a — distance from the most proximal point of the metaphysis of the ulna to the most proximal point of the metaphysis of the radius;
 b — distance from the most distal point of the metaphysis of the ulna to the most distal point of the metaphysis of the radius

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных результатов исследования проводили в программах Microsoft Office Excel 2019 и SPSS Statistics v.23. С помощью описательной статистики рассчитывали средние арифметические величины (M), стандартные отклонения (σ), медиану (Me) с 25-м и 75-м процентилями (Q1; Q3). Различия оценивали, используя непараметрический критерий Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У всех пациентов с нестабильностью ДЛС травматического генеза в анамнезе были различные типы повреждений дистальных структур предплечья, вследствие чего рентгенометрические показатели характеризовались выраженной вариабельностью значений из-за различных видов посттравматической деформации дистальных эпиметафизов лучевой и локтевой костей.

В таблице 1 представлены рентгенометрические показатели структур дистального лучелокте-

вого сустава у детей группы контроля, группы сравнения и средние значения этих же показателей во взрослой популяции по данным литературы.

Были определены межгрупповые различия по лучелоктевому углу, волярному углу, лучелоктевому индексу и радиоульнарному расстоянию с использованием U-критерия Манна – Уитни в группах сравнения и контроля.

Лучелоктевой угол в группе контроля статистически значимо увеличивался с возрастом ($p < 0,001$ 9–11 лет vs 12–17 лет). Возрастное увеличение данного показателя в группе сравнения имело характер тенденции ($p > 0,05$). Статистически значимых отличий между группой сравнения и контрольной группой в рамках возрастных групп не выявлено (рис. 6).

Анализ волярного угла показал, что с возрастом наблюдается незначительное увеличение этого показателя в группах контроля и сравнения, не достигающее статистической значимости. У пациентов в возрасте 12–17 лет наблюдалось статистически значимое снижение данного показателя в группе сравнения по сравнению с группой контроля ($p < 0,01$) (рис. 7).

В нашем исследовании у всех 69 пациентов группы контроля были определены стандартные значения радиоульнарного расстояния. Разница

между радиоульнарным расстоянием в обеих конечностях была определена только у 8 пациентов группы контроля в связи с недостаточностью клинического материала (отсутствие боковых рентгенограмм обеих конечностей у 61 пациента).

Статистически значимых различий между группами контроля и сравнения по лучелоктевому индексу и радиоульнарному расстоянию выявлено не было (рис. 8).

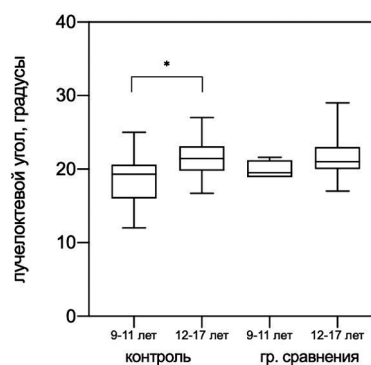


Рис. 6. Диаграммы размаха: лучелоктевой угол. Данные представлены в виде min-max. * – $p < 0,001$

Fig. 6. Box plot: radioulnar angle. Data are presented as min-max. * – $p < 0.001$

Таблица 1

Средние значения рентгенометрических показателей дистальных отделов костей предплечья у здоровых пациентов детского возраста (группа контроля), контралатеральных предплечий пациентов с нестабильностью ДЛС (группа сравнения) и во взрослой популяции

Показатель	Взрослые пациенты (по данным литературы) [18, 24] М	Группа сравнения (n = 23)		Группа контроля (n = 69)	
		9–11 лет (n = 4) М±σ/Ме*	12–17 лет (n = 19) М±σ/Ме (Q1; Q3)	9–11 лет (n = 27) М±σ/Ме (Q1; Q3)	12–17 лет (n = 42) М±σ/Ме (Q1; Q3)
Лучелоктевой угол, град.	22–24	20,73±2,89/19,50	21,63±2,79/ 21,00 (20,00; 23,00)	18,69±3,30/ 19,3 (16,0; 20,6)	21,41±2,29/ 21,45(19,80; 23,10)
Волярный угол, град.	10–12	9,25±1,03/9,25	9,79±1,79/ 10,00 (9,00; 11,00)	10,30±3,09/ 11,00 (7,30; 11,70)	11,21±1,52/ 11,00 (7,30; 11,70)
Радиоульнарное расстояние, мм	-2...+17	-1,32±2,19/-1,30	-2,23±3,57/ -2,40 (-5,20; 2,00)	-2,45±3,40/ -2,90 (-4,70; 0,90)	-2,65±3,86/ -2,95 (-5,40; 0)
Лучелоктевой индекс, мм	-2,5...+3,1	1,08±1,99/1,95	1,25±1,86/ 1,5 (0; 2,5)	-0,19±1,09/ 0 (-0,82; 0)	-0,13±1,25/0 (0; 0)
Разница между радиоульнарными расстояниями в обеих конечностях, мм	2,0±1,7	–	–	2,09±1,67/1,75**	1,42±0,53/1,25**

* Квартильный интервал в этой графе не указан по причине малой выборки этой возрастной группы.

** Произведен подсчет у 4 пациентов из подгруппы контроля в возрасте 9–11 лет и у 4 пациентов из подгруппы в возрасте 12–17 лет.

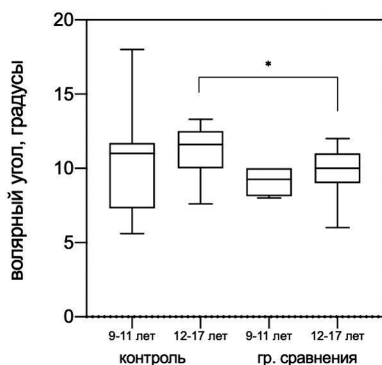


Рис. 7. Диаграммы размаха: волярный угол. Данные представлены в виде min-max. * — $p < 0,01$

Fig. 7. Box plot: volary angle. Data are presented as min-max. * — $p < 0,01$

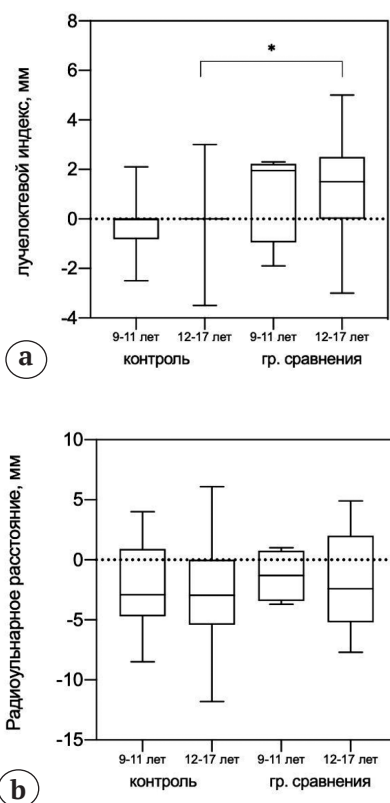


Рис. 8. Диаграммы размаха: а — лучелоктевой индекс; б — радиоульнарное расстояние. Данные представлены в виде min-max

Fig. 8. Box plots: а — radioulnar index, mm; б — radioulnar distance. Data are presented as min-max

Следует отметить, что в нашем исследовании при измерении лучелоктевого угла и волярного угла у пациентов в возрасте 9–11 лет возникали сложности, обусловленные не полностью сформированной костной моделью эпифиза лучевой кости. Показатели разницы между радиоульнар-

ными расстояниями в обеих конечностях у 4 детей из группы контроля соответствуют показателям у взрослых.

В нашем исследовании у большинства пациентов с нестабильностью ДЛЛС величина лучелоктевого угла была изменена: у 5 пациентов наблюдалось его уменьшение, у 15 — увеличение, у 3 пациентов этот рентгенометрический показатель был в пределах тех значений, которые были получены при анализе контралатерального предплечья (группы сравнения) и здоровых конечностей у пациентов из группы контроля (табл. 2).

У большинства пациентов (18 или 78,3%) наблюдалось уменьшение волярного угла, в том числе с наличием отрицательных значений, что говорит о тыльной инклинации дистальной суставной поверхности лучевой кости вследствие посттравматической деформации. У 2 (8,7%) пациентов не было выявлено изменения величины волярного угла, у 3 (13%) детей величина этого рентгенометрического показателя была больше средних значений пациентов из группы контроля и сравнения — увеличение ладонной инклинации суставной поверхности лучевой кости (табл. 3).

Измерение величины лучелоктевого индекса (ЛЛИ) позволило установить, что положительный

Таблица 2

Величина лучелоктевого угла у пациентов с нестабильностью дистального лучелоктевого сустава травматического генеза

Кол-во пациентов	Величина лучелоктевого угла, град.
2	8–12
3	13–17
3	18–22
4	23–24
8	25–29
3	30–45

Таблица 3

Величина волярного угла у пациентов с нестабильностью дистального лучелоктевого сустава травматического генеза

Кол-во пациентов	Величина волярного угла, град.
7	-18,7...0
6	1,0–5,0
5	6,0–9,0
2	10,0–12,0
3	13,0–18,5

вариант преобладал над нейтральным и отрицательным. Положительный ЛЛИ в группе сравнения и контрольной группе находится в пределах референсных значений, в то время как в группе с травматической нестабильностью ДЛЛС этот показатель выходит за пределы нормальных значений (более 3,1 мм).

У 2 (8,7%) детей был выявлен ноль-вариант, еще у 2 (8,7%) пациентов — отрицательный вариант без уменьшения показателя ЛЛИ в сравнении со здоровыми детьми.

При анализе стандартных показателей радиоульнарного расстояния в пораженных конечностях у детей с нестабильностью ДЛЛС у 18 (78,3%) были выявлены отрицательные значения этого параметра: диапазон от -4,2 мм до -12,8 мм; у 5 (21,7%) детей — положительные значения, которые колебались от 2 мм до 12 мм.

При оценке разницы между радиоульнарными расстояниями в обеих конечностях были получены следующие данные: увеличение значения у 15 (65,2%) пациентов с диапазоном изменений от 4,7 мм до 12,7 мм, у 8 (34,8%) детей этот показатель был в пределах нормы.

Полученные результаты, учитывая преобладание отрицательных значений стандартного показателя радиоульнарного расстояния у большинства детей с нестабильностью ДЛЛС, свидетельствуют о преобладании тыльного вывиха головки локтевой кости, что сопоставимо с данными клинического обследования.

Проведение рентгенофункционального исследования (рентгенография в положении вывиха головки локтевой кости) позволило проанализировать изменение положения локтевой кости в случае клинически выявляемого подвывиха/вывиха головки локтевой кости, в то время как на стандартных рентгенограммах в боковой проекции мы не выявили значимых изменений радиоульнарного расстояния в пораженной конечности (рис. 9).

ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническое обследование имеет первостепенное значение для функциональной оценки ДЛЛС и его стабильности. Вместе с тем рентгенологическое исследование с определением рентгенометрических показателей является самым объективным методом определения взаимоотношения костных структур ДЛЛС. По мнению многих авторов, изменение любого рентгенометрического показателя может привести к изменению функционального состояния кистевого сустава и кисти [18, 21, 22].

По данным литературы, уменьшение показателей лучелоктевого угла определяется у пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости, при этом может возникнуть лучевая девиация кисти с формированием ограничения амплитуды движений в кистевом суставе [18, 23].

Изменение показателя волярного угла у пациентов с нестабильностью ДЛЛС травматического генеза обусловлено деформацией дистального эпиметафиза лучевой кости. По данным R.J. Medoff и S.M. Koehler, изменение волярного угла у взрослых пациентов приводит к нарушению конгруэнтности дистальных суставных поверхностей костей предплечья и, следовательно, к нестабильности в ДЛЛС с уменьшением амплитуды ротационных движений, преимущественно супинации предплечья, а также ограничению тыльного и ладонного сгибания кисти [18].

В норме 80% осевой нагрузки в кистевом суставе приходится на лучевую кость и 20% — на локтевую. Распределение нагрузки изменяется в зависимости от взаиморасположения дистальных отделов лучевой и локтевой костей [24]. Однако по мере увеличения положительного варианта лучелоктевого индекса возрастает нагрузка на дистальный отдел локтевой кости, что приводит к импиджмент-синдрому локтевой кости с костями запястья (полулунной и трехгранной), а также к ущемлению, истончению и дегенерации треугольного фиброзно-хрящевого комплекса



Рис. 9. Рентгенограммы лучезапястного сустава пациента 13 лет с диагнозом «посттравматический вывих головки локтевой кисти, нестабильность дистального лучелоктевого сустава»:

а — боковая проекция;
 б — рентгенофункциональное исследование в положении вывиха головки локтевой кости (волярный тип)

Fig. 9. X-ray of the wrist joint of a 13-year-old patient with a diagnosis of posttraumatic dislocation of the ulnar head. Instability of the distal radioulnar joint:
 a — lateral projection;
 b — X-ray functional examination in the position of dislocation of the head of the ulna (volar type)

[25, 26, 27]. Противоположный вариант, когда происходит уменьшение лучелоктевого индекса, приводит к снижению нагрузки на локтевую кость, увеличивая ее на «лучевую» сторону. У таких пациентов формируется локтевая девиация кисти и возникает болевой синдром из-за дисконгруэнтности головки локтевой кости с лучевой костью проксимальнее уровня ее сигмовидной вырезки с последующим снижением силы кулачного хвата [28]. Оба варианта изменения лучелоктевого индекса в конечном итоге ведут к ограничению пронационно-супинационной функции предплечья и раннему формированию артроза кистевого сустава [2].

R. Hafner с соавторами предложили метод определения лучелоктевого индекса у детей в возрасте от 1,5 до 15 лет путем измерения расстояния между наиболее проксимальными и наиболее дистальными точками зон роста дистальных отделов костей предплечья. Данный метод измерения является идеальным для детей без окостенения эпифиза, но имеет ограничения у детей старшей возрастной группы [20].

C.A. Goldfarb с соавторами утверждают, что метод измерения лучелоктевого индекса у подростков старше 12 лет с помощью стандартной методики, используемой для взрослых, является точным и надежным, а средние показания приближены к значениям у взрослых пациентов [29].

Клиническое обследование для определения вывиха головки локтевой кости имеет первостепенное значение при оценке ДЛЛС у пациентов с нестабильностью травматического генеза. Измерение радиоульнарного расстояния у пациентов с нестабильностью ДЛЛС позволяет подтвердить тяжесть патологических изменений в ДЛЛС. Однако исследование R. Nakamura с соавторами показало, что более точной оценкой радиоульнарного расстояния является сравнение этого показателя обеих конечностей у одного пациента, чем использование одного стандартного значения. В среднем разница между радиоульнарными расстояниями на обеих конечностях составляет $2,0 \pm 1,7$ мм. Авторы указывают на необходимость максимально точного положения предплечья в боковой проекции, для чего рекомендуют использовать специальные удерживающие приспособления, фиксирующие кисть [19].

D. Mino с соавторами еще в 1983 г. впервые сообщил о важности выполнения рентгенографии лучезапястного сустава в боковой проекции для

выявления вывиха или подвывиха головки локтевой кости, сделав акцент на необходимости точного позиционирования предплечья для выполнения этой проекции. Однако авторы подчеркнули, что правильное положение конечности для получения изображений в боковой проекции не всегда возможно осуществить, в том числе из-за болевого синдрома [30]. Вероятно, именно по этим причинам диапазон показателя радиоульнарного расстояния очень вариабелен у разных авторов. Таким образом, измерение радиоульнарного расстояния у пациентов с нестабильностью ДЛЛС лишь в пораженной конечности не может быть использовано для оценки тяжести изменений. Стоит согласиться с рекомендациями F. Schachinger с соавторами, которые указывают на необходимость расчета именно разницы между радиоульнарными расстояниями в двух конечностях [31].

Для объективизации клинически выявленного вывиха в ДЛЛС пациентам детского возраста необходимо выполнять рентгенофункциональное исследование костей предплечья в положении вывиха головки локтевой кости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ рентгенометрических показателей дистальных структур костей предплечья без травматических изменений у пациентов детского возраста позволил сделать выводы о сопоставимости значений со взрослой популяцией, за исключением показателей радиоульнарного угла у детей в группе 9–11 лет, что связано с анатомическими особенностями формы эпифиза у пациентов данной возрастной группы. Рентгенометрическая диагностика нестабильности ДЛЛС травматического генеза позволяет обеспечить объективную оценку структурных изменений с учетом этиопатогенеза заболевания. Описанные рентгенометрические параметры необходимо использовать при планировании хирургического лечения. Знание анатомо-физиологических, клинических и рентгенологических особенностей дистальных структур костей предплечья при нестабильности ДЛЛС травматического генеза у детей является основой правильной рентгенодиагностики. Взаимодействие рентгенолога и травматолога-ортопеда играет решающую роль для корректной интерпретации показателей рентгенологического исследования, которые необходимо оценивать в совокупности с клиническими результатами.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Семенов С.Ю. — сбор, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи.

DISCLAIMERS

Author contribution

Semenov S.Yu. — collection, analysis and interpretation of data, description of the article.

Проценко Я.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи.

Баиндурашвили А.Г. — редактирование статьи.

Брайлов С.А. — сбор и обработка данных.

Семенова Е.С. — обработка данных, подготовка и написание текста статьи.

Труфанов Г.Е. — редактирование статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Законные представители пациентов дали письменное добровольное согласие на участие в исследовании и публикацию клинических наблюдений.

Proshchenko Ya.N. — research concept and design, article editing.

Baindurashvili A.G. — text editing.

Braylov S.A. — data selection and processing.

Semenova E.S. — data processing, preparation and writing of the text of the article.

Trufanov G.E. — text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Written consent was obtained from legal representatives of children for publication of relevant medical information and all accompanying images within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Проценко Я.Н. Причины развития нестабильности в дистальном лучелоктевом суставе у детей. *Детская хирургия*. 2015;19(1):28-30. Proshchenko Ya.N. [Causes of instability in the distal radioulnar joint in children]. *Detskaya khirurgiya*. [Russian Journal of Pediatric Surgery]. 2015;19(1):28-30. (In Russian).
2. Andersson J.K., Lindau T., Karlsson J., Friden J. Distal radioulnar joint instability in children and adolescents after wrist trauma. *J Hand Surg Eur Vol*. 2014;39(6):653-661. doi: 10.1177/1753193413518707.
3. Zyluk A., Piotuch B. Distal radioulnar joint instability: a review of literature. *Pol Orthop Traumatol*. 2013;78:77-84.
4. Zimmerman R.M., Jupiter J.B. Instability of the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Eur Vol*. 2014;39(7):727-738. doi: 10.1177/1753193414527052.
5. Little J.T., Klionsky N.B., Chaturvedi A., Soral A., Chaturvedi A. Pediatric Distal Forearm and Wrist Injury: An Imaging Review. *Radiographics*. 2014;34(2):472-490. doi: 10.1148/rg.342135073.
6. Fitoussi F. [Hand injuries in children]. *Chir Main*. 2013;32 Suppl 1:2-6. doi: 10.1016/j.main.2013.02.017. (In French).
7. Widnall J., Bruce C. Paediatric forearm fractures. *Orthopaedics and Trauma*. 2018;32(5):372-377. doi: 10.1016/j.mporth.2018.07.016.
8. Miller A., Lightdale-Miric N., Eismann E., Eismann E., Carr P., Little J.K. Outcomes of Isolated Radial Osteotomy for Volar Distal Radioulnar Joint Instability Following Radial Malunion in Children. *J Hand Surg Am*. 2018;43(1):81.e1-81.e8. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.07.012.
9. Cha S.M., Shin H.D., Jeon J.H. Long-term results of Galeazzi-equivalent injuries in adolescents—open reduction and internal fixation of the ulna. *J Pediatr Orthop B*. 2016;25(2):174-182. doi: 10.1097/BPB.0000000000000259.
10. Wijffels M., Brink P., Schipper I. Clinical and non-clinical aspects of distal radioulnar joint instability. *Open Orthop J*. 2012;6:204-210. doi: 10.2174/1874325001206010204.

11. Lester B., Halbrecht J., Levy I.M., Gaudinez R. "Press test" for office diagnosis of triangular fibrocartilage complex tears of the wrist. *Ann Plast Surg*. 1995;35(1):41-45. doi: 10.1097/0000637-199507000-00009.
12. Moriya T., Aoki M., Iba K., Ozasa Y., Wada T., Yamashiya T. Effect of triangular ligament tears on distal radioulnar joint instability and evaluation of three clinical tests: a biomechanical study. *J Hand Surg Eur Vol*. 2009;34(2):219-223. doi: 10.1177/1753193408098482.
13. Кадубовская Е.А. Современные возможности лучевой диагностики повреждений связок области лучезапястного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2010;16(4):93-101. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-4-93-101. Kadubovskaya EA. [The modern capabilities of X-ray diagnostics of wrist ligament injuries (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2010;16(4):93-101. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-4-93-101. (In Russian).
14. Комаровский В.М., Кезля О.П. Количественная оценка рентгенологических показателей степени повреждений при переломах дистального метаэпифиза лучевой кости. *Экстренная медицина*. 2014;2(10):65-74. Komarovskiy V., Keslya O. [Quantitative radiographic evaluation of injury severity for distal radius fractures]. *Ekstrennaya meditsina* [Emergency Medicine]. 2014;2(10):65-74. (In Russian).
15. Садофьева В.И. Нормальная рентгеноанатомия костно-суставной системы у детей. Ленинград: Медицина; 1990. с. 53-58. Sadof'eva V.I. *Normal'naya rentgenoanatomya kostno-sustavnoi sistemy u detei*. Leningrad: Meditsina; 1990. p. 53-58.
16. Хисамутдинова А.Р., Карелина Н.Р. Остеогенез костей предплечья и кисти как надежный критерий определения биологического возраста. *Russian Biomedical Research. Российские биомедицинские исследования*. 2017;2(4):42-47.

- Hisamutdinova A.R., Karelina N.R. [Osteogenesis of forearm and hand – a valid criterion for determining biological age]. *Russian Biomedical Research. Rossiiskie biomeditsinskie issledovaniya*. 2017;2(4):42-47. (In Russian).
17. Кишковский А.Н., Тютин Л.А., Есиновская Г.Н. *Атлас укладок при рентгенологических исследованиях*. Leningrad; 1987. с. 336-345.
Kishkovskij A.N., Tjutin L.A., Esinovskaja G.N. *Atlas ukladok pri rentgenologicheskikh issledovanijah*. Leningrad; 1987. p. 336-345. (In Russian).
 18. Medoff R.J., Koehler S.M. Radiographic Parameters of Distal Radius Fractures. In: *Distal radius fractures. Evidence-based management*. Elsevier; 2021. p. 43-50. doi: 10.1016/C2019-0-00481-5.
 19. Nakamura R., Horii E., Imaeda T., Tsunoda K., Nakao E. Distal radioulnar joint subluxation and dislocation diagnosed by standard roentgenography. *Skeletal Radiol*. 1995;24(2):91-94. doi: 10.1007/BF00198067.
 20. Hafner R., Poznanski A.K., Donovan J.M. Ulnar variance in children—standard measurements for evaluation of ulnar shortening in juvenile rheumatoid arthritis, hereditary multiple exostosis and other bone or joint disorders in childhood. *Skeletal Radiol*. 1989;18(7):513-516. doi: 10.1007/BF00351750.
 21. Bronstein A.J., Trumble T.E., Tencer A.F. The effects of distal radius fracture malalignment on forearm rotation: a cadaveric study. *J Hand Surg Am*. 1997;22(2):258-262. doi: 10.1016/S0363-5023(97)80160-8.
 22. Schneiders W., Biewener A., Rammelt S., Rein S., Zwipp H., Amlang M. [Distal radius fracture. Correlation between radiological and functional results]. *Unfallchirurg*. 2006;109(10):837-844. (In German). doi: 10.1007/s00113-006-1156-8.
 23. Köebke J., Fehrmann P., Mockenhaupt J. [Stress on the normal and pathologic wrist joint]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1989;21(3):127-133. (In German).
 24. Baumann U., Schulz R., Reisinger W., Heinecke A., Schmeling A., Schmidt S. Reference study on the time frame for ossification of the distal radius and ulnar epiphyses on the hand radiograph. *Forensic Sci Int*. 2009;191(1-3):15-18. doi: 10.1016/j.forsciint.2009.05.023.
 25. Cerezal L., del Pinal F., Abascak F., Garcia-Valtuille R., Pereda T., Canga A. Imaging findings in ulnar-sided wrist impaction syndromes. *Radiographics*. 2002;22(1):105-121. doi: 10.1148/radiographics.22.1.g02ja01105.
 26. Imaeda T., Nakamura R., Shionoya K., Makino N. Ulnar impaction syndrome MR imaging findings. *Radiology*. 1996;201(2):495-500. doi: 10.1148/radiology.201.28888248.
 27. Abzug J.M., Little K., Kozin S.H. Physeal arrest of the distal radius. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(6):381-389. doi: 10.5435/JAAOS-22-06-381.
 28. Palmer A.K., Werner F.W. Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;(187):26-35.
 29. Goldfarb C.A., Strauss N.L., Wall L.B., Calfee R.P. Defining ulnar variance in the adolescent wrist: measurement technique and interobserver reliability. *J Hand Surg Am*. 2011;36(2):272-277. doi: 10.1016/j.jhsa.2010.11.008.
 30. Mino D.E., Palmer A.K., Levinsohn E.M. The role of radiography and computerized tomography in the diagnosis of subluxation and dislocation of the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am*. 1983;8(1):23-31. doi: 10.1016/s0363-5023(83)80046-x.
 31. Schachinger F., Wiener S., Carvalho M.F., Weber M., Ganger R., Farr S. Evaluation of radiological instability signs in the distal radioulnar joint in children and adolescents with arthroscopically-verified TFCC tears. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2020;140(7):993-999. doi: 10.1007/s00402-020-03470-y.

Сведения об авторах

✉ Семенов Сергей Юрьевич

Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, Парковая ул., 64-68

<https://orcid.org/0000-00027743-2050>

e-mail: sergey2810@yandex.ru

Проценко Ярослав Николаевич — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-3328-2070>

e-mail: yar2011@list.ru

Баиндурашвили Алексей Георгиевич — д-р мед. наук, профессор, академик РАН

<https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>

e-mail: turner01@mail.ru

Брайлов Сергей Александрович

<https://orcid.org/0000-0003-2372-9817>

e-mail: sergeybraylov@mail.ru

Семенова Елена Сергеевна

<https://orcid.org/0000-0002-0302-4724>

e-mail: forteia@yandex.ru

Труфанов Геннадий Евгеньевич — д-р мед. наук, профессор

<https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

e-mail: trufanovge@mail.ru

Authors' information

✉ Sergey Yu. Semenov

Address: 64-68, Parkovaya str., St. Petersburg, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-00027743-2050>

e-mail: sergey2810@yandex.ru

Yaroslav N. Proshchenko — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-3328-2070>

e-mail: yar2011@list.ru

Aleksey G. Baindurashvili — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>

e-mail: turner01@mail.ru

Sergey A. Braylov

<https://orcid.org/0000-0003-2372-9817>

e-mail: sergeybraylov@mail.ru

Elena S. Semenova

<https://orcid.org/0000-0002-0302-4724>

e-mail: forteia@yandex.ru

Gennady E. Trufanov — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0002-1611-5000>

e-mail: trufanovge@mail.ru