



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья
УДК 616.137, 616.135
<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-4-52-70>

Диагностические возможности конусно-лучевой компьютерной томографии в выявлении патологических состояний краниовертебральной области. Часть 1 – анализ

Александра Дмитриевна Гукова¹, Яков Александрович Лубашев²

^{1,2} Медицинское частное учреждение «Отраслевой клинико-диагностический центр ПАО «Газпром»» (ОКДЦ ПАО «Газпром»), Москва, Россия

¹ p-aleksa-93@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1768-5192>

² lubayaka@medgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4792-7529>

Автор, ответственный за переписку: Александра Дмитриевна Гукова,
p-aleksa-93@yandex.ru

Резюме

Для своевременного выявления патологии, а также во избежание гипердиагностики имеет актуальное значение создание критериев исследования патологии краниовертебральной зоны у взрослых и детей, учитывая их анатомо-физиологические особенности. На сегодняшний день недостаточно объемно и четко определены вопросы оптимального метода лучевой диагностики пациентов с патологией краниовертебральной зоны. Несмотря на преимущества, конусно-лучевая компьютерная томография до сих пор не имеет широкого применения в повседневной клинико-диагностической практике для исследования краниовертебральной области в популяции. Использование методики конусно-лучевой компьютерной томографии могло бы значительно облегчить рентгенологическую диагностику для выявления аномалий и патологических состояний краниовертебральной области.

Ключевые слова: конусно-лучевая компьютерная томография, мультиспиральная компьютерная томография, краниовертебральная область, функциональные пробы

Для цитирования: Гукова А. Д., Лубашев Я. А. Возможности конусно-лучевой компьютерной томографии в выявлении патологических состояний краниовертебральной области. Часть 1 — анализ // Радиология — практика. 2023;(4):52-70. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-4-52-70>

ORIGINAL RESEARCH

Original research

Diagnostic Capabilities of Cone-Beam Computed Tomography in the Detection of Pathological Conditions of the Craniovertebral Region. Part 1 – analysis

Aleksandra D. Gukova¹, Yakov A. Lubashev²

^{1,2} Department of ICDC of PAO «Gazprom», Moscow, Russia

¹ p-aleksa-93@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1768-5192>

² lubayaka@medgaz.gazprom.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4792-7529>

Author responsible for correspondence: Aleksandra D. Gukova, p-aleksa-93@yandex.ru

Abstract

For the timely detection of pathology, as well as in order to avoid overdiagnosis, it is important to create criteria for diagnosing the pathology of the craniovertebral zone in adults and children, taking into account their anatomical and physiological features. To date, the questions of the optimal method of radiodiagnosis of patients with pathology of the craniovertebral region are insufficiently voluminous and clearly defined. Despite the advantages, cone beam computed tomography is still not widely used in everyday clinical diagnostic practice for the study of the craniovertebral region in the population. The use of the technique of cone beam computed tomography could greatly facilitate radiological diagnosis for the detection of anomalies and pathological conditions of the craniovertebral region.

Keywords: Cone-Beam Computed Tomography, Multispiral Computed Tomography, Craniovertebral Region, Functional tests

For citation: Gukova A. D., Lubashev Ya. A. Capabilities of cone-beam computed tomography in the detection of pathological conditions of the craniovertebral region. Part 1 – analysis // *Radiology – Practice*. 2023;(4):52-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-4-52-70>

Актуальность

Аномалии развития и патологические изменения краниовертебральной области (КВО), а также их роль в патогенезе неврологических расстройств продолжают привлекать внимание клиницистов и специалистов лучевой диагностики. Актуальность изучения краниовертебральных аномалий имеет не только клиническое, но и медико-социальное значение, так как они нередко являются причиной развития тяжелых неврологических нарушений. Клинические признаки краниовертебральных

аномалий определяются их видом и локальным расположением [4, 16].

Высокая степень полиморфизма клинических проявлений при аномалиях КВО, хроническое прогрессирующее течение, сглаженность клинических проявлений нередко приводят к поздней диагностике и, как следствие, стойкой потере трудоспособности и инвалидизации пациентов [4–9, 11].

Учитывая, что КВО — наиболее подвижный сегмент по сравнению с другими отделами позвоночника, необходима раз-

работка новых методов функционального исследования данного отдела [9–14].

В доступной литературе встречаются данные по применению функциональной мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в оценке нестабильности позвоночно-двигательных сегментов шейного отдела позвоночника [15–20]. Однако отсутствие дополнительной физиологической поструральной нагрузки и отсутствие данных о полученной обследуемым лучевой нагрузке послужило основанием к поиску более оптимального и низкодозового метода лучевого исследования при подозрении на патологию КВО и смежных анатомических областей [4, 12–14].

Несмотря на преимущества, конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) до сих пор не имеет широкого применения в повседневной клинико-диагностической практике для исследования краниовертебральной области у взрослых и детей в связи с предполагаемой высокой дозой облучения. В доступной литературе встречаются единичные работы, посвященные ее применению [4, 5, 12–14]. Проблемы индивидуальной лучевой нагрузки и пути ее снижения мы планируем рассмотреть во 2-й части.

Цель: ознакомить с возможностями и особенностями выполнения методики конусно-лучевой компьютерной томогра-

фии краниовертебральной области, в том числе с функциональными пробами и интерпретацией полученных результатов.

Материалы и методы

Для диагностики патологических изменений КВО нами была разработана методика конусно-лучевой компьютерной томографии с функциональными пробами (патент на промышленный образец № 121589, от 26.05.2020), отработаны укладки, физико-технические условия и режимы сканирования.

КЛКТ-исследование КВО проводилось на системе конусно-лучевой волюметрической томографии и панорамной дентальной рентгенографии Gendex CB-500 производства США.

Сканирование КВО области выполнялось в режиме Volume Center, размер поля сканирования — $14 \times 8,5$ см. Время сканирования составляло 23 с. Технические условия — напряжение рентгеновской трубки и сила тока — задавались автоматически после выбора параметров сканирования. Исследование проводилось по специально разработанному протоколу (табл.).

Перед исследованием пациент снимает украшения, пирсинг и другие металлические предметы, приводящие при обследовании к возникновению артефактов. При проведении исследования КВО в среднем физио-

**Физико-технические параметры сканирования КВО
на конусно-лучевом компьютерном томографе Gendex-CB 500 (США)**

Параметры сканирования	Показатели
Режим сканирования	Volume center
Размер вокселя	0,2
Размер поля сканирования, см	$14 \times 8,5$; $8,5 \times 8,5$
Время сканирования, с	23
Время экспозиции, с	4,7
Напряжение рентгеновской трубки, кВ	120
Сила тока, мАс	30,89

логическом положении и в положении максимального сгибания голова пациента сзади фиксируется подголовником. При этом область затылка плотно прилежит к подголовнику, который перемещается в горизонтальной плоскости для лучшей стабилизации положения головы. Для стабилизации подбородка используется направляющий фиксатор положения подбородка (прямой или изогнутый), который перемещается в вертикальной плоскости, с закрепленной чашей, во избежание артефактов от динамической нерезкости. Также применяются мягкие ленточные фиксаторы, поставляющиеся в комплекте оборудования.

Далее включается лазерное позиционирование на аппарате для установки правильного положения головы пациента. Позиционер на панели управления испускает вертикальный и горизонтальный луч, помогающий установлению правильных ориентиров для сканирования необходимой зоны обследования. Для выполнения КЛКТ КВО в стандартной позиции центральный вертикальный луч должен проходить по спинке носа (рис. 1). Горизонтальный луч (франкфуртская линия) проходит ниже уровня наружного слухового прохода на 1,5 см. Боковой вертикальный луч проходит через нижний край мочки уха (рис. 2).

С целью диагностики наличия и/или отсутствия нестабильности кранио-verteбральной зоны нами был разработан метод КЛКТ-диагностики патологических состояний КВО с применением функциональных проб. Для снижения индивидуальной и популяционной лучевой нагрузки использовался протокол со снижением киловольтаж и времени сканирования. Данный прием позволил сохранить диагностическую эффективность методики. Учитывая достаточно продолжительное время сканирования, укладки для функциональных проб были разработаны с позиционирова-



Рис. 1. Позиционирование центрального вертикального луча при КЛКТ КВО



Рис. 2. Позиционирование центрального горизонтального луча при КЛКТ КВО

нием в максимально комфортном положении для пациента и применением штатных приспособлений (ленточных фиксаторов, подбородочного упора и подголовника). Это позволило исклю-

чить артефакты от динамической нерезкости на получаемых изображениях.

После выполнения томографии в среднем физиологическом положении пациент осуществляет движение головы в виде максимального сгибания таким образом, чтобы подбородок плотно фиксировался подбородочным фиксатором до возможности удержания ее в этом положении на время сканирования (рис. 3). Горизонтальный луч, в положении пациента с максимальным сгибанием, позиционировался через центр козелка уха, боковой вертикальный луч проходил параллельно завитку уха.

Далее обследуемый осуществляет движение головы в виде максимального разгибания таким образом, чтобы держатель головы для панорамного сканирования зафиксировал голову пациента до возможности удержания ее в этом положении на все время сканирования. Лазерное позиционирование горизонтального луча при максимальном разгибании проводится параллельно ножке завитка, вдоль передней ушной

борозды, боковой вертикальный луч позиционировался через Дарвинов бугорок (рис. 4).

По окончании томографии проводится реконструкция полученных изображений с толщиной среза 0,2 мм. После получения срезов в аксиальной проекции выполнялась мультипланарная реконструкция (МПР), выстраивающая точки по зубовидному отростку С2 позвонка. Для оценки морфометрических угловых и линейных измерений краниовертебральной области нами сформировался срез сагиттальной проекции. Вместе с тем мультипланарные реконструкции и кросс-секции при КЛКТ позволяют проводить диагностический поиск в различных плоскостях.

Результаты и их обсуждение

При вычислении рентгенометрических показателей были использованы общепринятые измерения структур краниовертебральной области (Дьяченко



Рис. 3. Позиционирование луча по световым меткам при КЛКТ КВО с максимальным сгибанием



Рис. 4. Позиционирование луча по световым меткам при КЛКТ КВО с максимальным разгибанием

В. А., 1949; Королук И. П., 1996; Голибиевская Т. А. и др.; Vurdem U. E. et al., 2012).

З. Л. Бродская (1981) предложила диагностику аномалий основания черепа разбить на три группы:

1-я группа: измерение ориентировочных показателей (рис. 5, 6):

Как видно на рис. 5, линия Чемберлена (А) соединяет заднюю точку твердого нёба (а) и задний край большого затылочного отверстия (верхний край чешуи затылочной кости (с), где в норме зубовидный отросток С2 позвонка может пересекать эту линию не более чем на 5 мм (линия А [ас]). Линия Мак-Грегора (В) соединяет заднюю точку твердого нёба (а) и нижний край чешуи затылочной кости — точка (б). Зубовидный отросток С2 позвонка может пересекать эту линию не более чем на 8 мм (линия В [аб]).

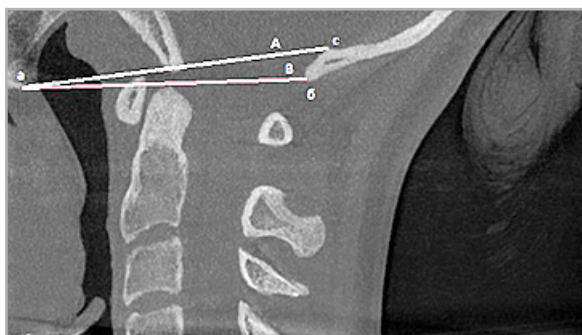


Рис. 5. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Ориентировочные показатели: А — линия Чемберлена, В — линия Мак-Грегора

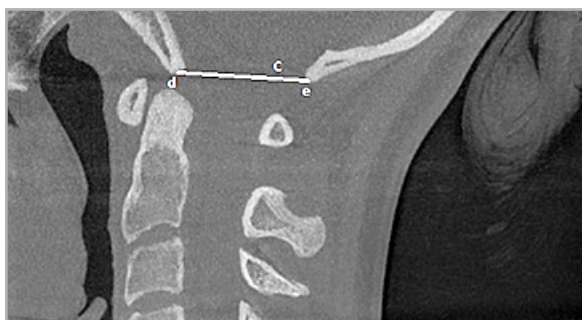


Рис. 6. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Ориентировочный показатель (С — линия Мак-Рея)

В норме линии Чемберлена и Мак-Грегора могут совпадать между собой либо линия Мак-Грегора располагается на 2–4 мм ниже, что связано с толщиной чешуи затылочной кости.

Как видно на рис. 6, линия Мак-Рея — сагиттальная линия входа в большое затылочное отверстие, соединяющая базион — передний край большого затылочного отверстия (d) и опистион — задний край большого затылочного отверстия (e). Расстояние от верхушки зубовидного отростка С2 позвонка до линии Мак-Рея в норме равно 7–12 мм (линия С [de]).

2-я группа: измерение уточняющих показателей (рис. 7–9):

Как видно на рис. 7, угол Богарта образован линиями, проведенными между линией Мак-Рея — линия а и линией Блюменбахова ската (ската черепа — линия б). В норме он не должен быть более 140° — угол А (аб).

Как видно на рис. 8, краниовертебральный угол — угол между линией ската черепа — линия с и линией, параллельной передней поверхности позвоночного канала (задней поверхности зубовидного отростка С2 позвонка) — линия d. Угол характеризует величину физиологического краниовертебрального кифоза, в норме составляющего $130\text{--}165^\circ$ — угол В (cd).

Как видно на рис. 9, угол входа в большое затылочное отверстие (БЗО) образуется пересечением линии, каса-



Рис. 7. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Уточняющий показатель (угол А — угол Богарта)

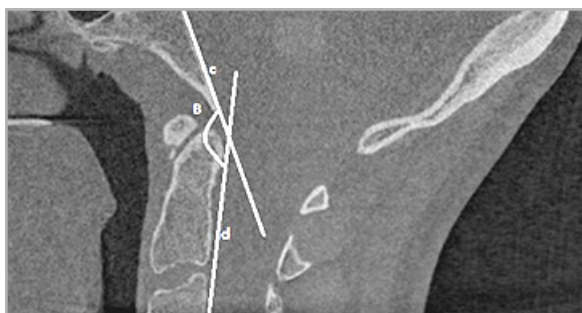


Рис. 8. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Уточняющий показатель (угол B — краниовертебральный угол)

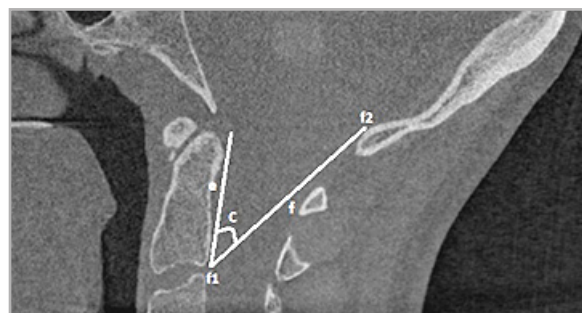


Рис. 9. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Уточняющий показатель (угол C — угол входа в БЗО)

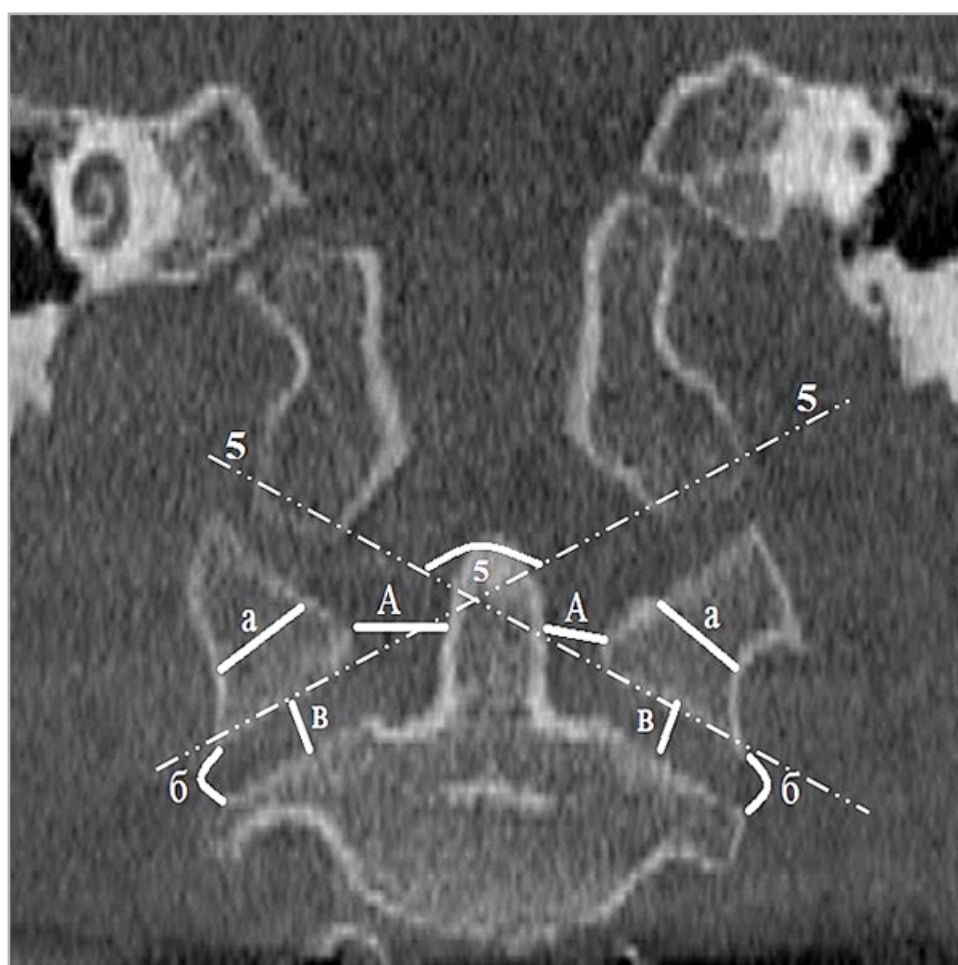


Рис. 10. КЛКТ-томограмма, MPR в коронарной плоскости. Уточняющие показатели: расстояние A — расположение зубовидного отростка $C2$ позвонка по отношению к боковым массам $C1$; расстояние a — ширина боковых масс $C1$; расстояние $б$ — расположение боковых масс $C1$ относительно верхней суставной поверхности $C2$; расстояние $в$ — высота суставных пространств латеральной атлантоаксиальной фасетки. Угол 5 — кондиллярный угол, образованный пересечением линий 5

тельной к задней поверхности зубовидного отростка $C2$ позвонка (передняя поверхность позвоночного канала —

линия e , и линии, соединяющей задне-нижний край тела $C2$ точка $f1$ с задним краем большого затылочного отверс-

тия — точка $f2$ — линия f ($f1f2$). В норме этот угол составляет от 25° до 55° — угол C (ef).

К уточняющим показателям также относится оценка визуализации сочленений $C1$ и $C2$ (атлантаксиальное сочленение), рентгенометрию которых мы проводили по КЛКТ-томограммам в аксиальной плоскости и MPR в корональные и сагиттальные плоскости (рис. 10, 11).

Как видно на рис. 10:

1) расположение зубовидного отростка $C2$ позвонка по отношению к боковым массам $C1$ позвонка (расстояние A). В норме зуб должен располагаться симметрично между латеральными массами атланта, с одинаковыми параметрами вертикального пространства по обеим сторонам;

2) положение атланта относительно осевого позвонка (расстояние a). Ширина боковых масс $C1$ должна быть одинаковой, разница в ширине латеральных масс — основание для подозрения на ротацию атланта, а также на недоразвитие одной из поверхностей. Боковая масса с большей шириной — сторона с передней ротацией;

3) расположение боковых краев латеральных масс $C1$ относительно верхней суставной поверхности $C2$ позвонка (расстояние b). Боковые края латеральных масс атланта не должны выходить за верхнюю суставную поверхность $C2$ позвонка. «Нависание» атланта предполагает перелом или правосторонний/левосторонний подвывих $C1$ позвонка во фронтальной плоскости;

4) высота суставных пространств латеральной атлантаксиальной фасетки (расстояние c). Двусторонние суставные пространства латеральной атлантаксиальной фасетки имеют равную высоту. При разнице расстояний говорят об нестабильности атлантаксиального сочленения;

5) кондиллярный угол — проводят по MPR в корональной плоскости, из-

меряют угол, открытый кверху, между линиями, проведенными по осям щелей верхних (атланта-окципитальных) суставов. В норме он составляет $124-134^\circ$. При базилярной импрессии — 180° или становится открытым книзу.

Как видно на рис. 11:

1) расположение зубовидного отростка $C2$ позвонка по отношению к бо-



Рис. 11. КЛКТ-томограмма, аксиальная плоскость. Уточняющие показатели: расстояние «А» — расположение зубовидного отростка $C2$ позвонка по отношению к боковым массам $C1$; расстояние «z» — величина щели сустава Крювелье

ковым массам $C1$ позвонка (расстояние A). В норме зуб должен располагаться симметрично между латеральными массами атланта, с одинаковыми параметрами вертикального пространства по обеим сторонам;

2) величина щели сустава Крювелье (расстояние z). В норме у взрослого при сгибании головы вперед этот промежуток не превышает 3 мм, а у ребенка 5 мм. При увеличении этого расстояния можно подозревать передний подвывих $C1$ позвонка (показатели сопоставимы с линией 3, рис. 14).

3-я группа: коррелирующие рентгенометрические показатели.

Для оценки стабильности КВО необходимо оценить соотношения большого затылочного отверстия и

краниального отдела позвоночного канала. Для этого проводится определение коррелирующих показателей (рис. 12–20).

Как видно из рис. 12, оценивались следующие коррелирующие показатели:

1) переднее краниовертебральное (супрадентальное) расстояние — линия *a* (отрезок *AD*) — измеряют между передним краем БЗО (базион) — точка *A* — и верхушкой зубовидного отростка С2 позвонка — точка *D*. В норме супрадентальное расстояние составляет у детей 4–6 мм и достигает у взрослых 12 мм;

2) заднее краниовертебральное расстояние — линия *b* (отрезок *EB*) — измеряют между верхней поверхностью

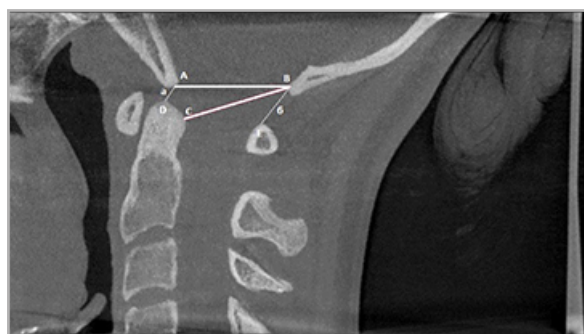


Рис. 12. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующие показатели: линия *a* — супрадентальное расстояние; линия *b* — заднее краниовертебральное расстояние; линия *AB* — сагиттальная линия входа в большое затылочное отверстие; линия *CB* — отношение величины входа в позвоночный канал



Рис. 13. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующий спондилометрический показатель — линия *1* — ретродентальное расстояние

задней полудуги атланта — точка *E* — и нижним краем чешуи затылочной кости (опистионом) — точка *B*. В среднем положении головы этот показатель составляет в норме 4–7 мм, но при выполнении функциональных проб (при наклоне головы вперед и назад) может колебаться от 0 до 13 мм;

3) для оценки анализа отношения величины входа в позвоночный канал повторно оценивалась сагиттальная линия входа в большое затылочное отверстие — линия Мак-Рея — линия *AB*, которая соединяет базион (передний край большого затылочного отверстия) — точка *A* и опистион (задний край большого затылочного отверстия) — точка *B*;

4) отношение величины входа в позвоночный канал — линия *CB* (от верхушки задней поверхности зубовидного отростка С2 — точка *C* — к заднему краю большого затылочного отверстия — точка *B*) — к полному размеру большого затылочного отверстия (линия, соединяющая базион/передний край большого затылочного отверстия — точка *A* — и опистион/задний край большого затылочного отверстия — точка *B*) в норме должно составлять не менее $1/2$, чаще $3/4$. Расстояние *CB* (отношение величины входа в позвоночный канал) оценивают как наименьшее расстояние, «доступное» для краниального отдела спинного мозга.

Для выявления нестабильности/гипермобильности отдельных позвоночно-двигательных сегментов оценивают следующие спондилометрические показатели (рис. 13):

Как видно на рис. 13, ретродентальное расстояние — линия *1* (*ab*) — измеряют между верхушкой задней поверхности зубовидного отростка С2 позвонка — точка *a* — и верхушкой передней поверхности задней полудуги атланта С1 — точка *б*. В норме ретродентальное расстояние должно быть равно или превышать $2/3$ расстояния между внутренними контурами пе-

редней и задней полудуг С1. Уменьшение этого показателя отмечается при атлантоаксиальной нестабильности, связанной с нестабильностью переднего сустава Крювелье.

Как видно на рис. 14, линия Swischuk'a — линия 2 — линия, соединяющая заднюю стенку позвоночного канала между С1 и С3 позвонками. В норме основание остистого отростка С2 должно располагаться не более чем на 1 мм кзади от линии Swischuk'a (ли-



Рис. 14. КЛКТ-томограмма, MPR в сагитальной плоскости. Коррелирующие спондилометрические показатели: линия 2 — линия Swischuk'a; линия 3 — величина щели сустава Крювелье



Рис. 15. КЛКТ-томограмма, MPR в сагитальной плоскости. Коррелирующий спондилометрический показатель — индекс Power (отношение BC : AD)

ния 2). Нарушение указанных соотношений, а именно отклонение основания остистого отростка С2 позвонка более чем на 1 мм по отношению к линии 2, характерно для атлантоаксиальной нестабильности, связанной с нестабильностью переднего сустава Крювелье или с корпоро-дентальной нестабильностью С2 позвонка.

Линия 3 — величина щели сустава Крювелье. В норме у взрослого при сгибании головы вперед этот промежуток не превышает 3 мм, а у ребенка 5 мм. При увеличении этого расстояния можно подозревать передний подвывих С1 позвонка.

Как видно на рис. 15, индекс Power — отношение расстояния между базионом (передним краем большого затылочного отверстия) — точка В — и вершины задней полудуги атланта — точка С — к расстоянию между вершинкой зубовидного отростка С2 позвонка — точка А — и опистионом (задним краем большого затылочного отверстия) — точка D. Этот показатель характеризует стабильность краниовертебральной зоны и в норме равен или меньше 1 — линия 4.

Для определения анатомо-топографических соотношений в атланто-окципитальных и атлантозатылочных сочленениях, нестабильности и гипермобильности отдельных позвоночно-двигательных сегментов необходимо знать соотношения верхне-шейных позвонков и размеры позвоночного канала, которые определяются с помощью критериев Уайта (рис. 16–19).

Как видно на рис. 16, задний атлантоаксиальный промежуток (продольный размер позвоночного канала) — это расстояние между вершинкой задней поверхности зубовидного отростка С2 позвонка — точка а — до вершины передней поверхности дуги позвонка С1 — точка б. В норме оно составляет $17 \pm 0,5$ мм. Уменьшение величины канала менее 10 мм свидетельствует о переднем подвывихе — линия 1 (аб).



Рис. 16. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующий показатель (критерий Уайта). Линия 1 — задний атлантоаксиальный промежуток



Рис. 17. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующий показатель (критерий Уайта). Линия 2 — метод Мак-Грегора

Как видно на рис. 17 — метод Мак-Грегора. Проводится линия от заднего края твердого нёба — точка *c* — до переднего края затылочного отверстия — точка *d*. Восстанавливается перпендикуляр по центру зубовидного отростка и измеряется расстояние от этой линии до верхушки зубовидного отростка — точка *e*. В норме оно составляет 4–5 мм. Увеличение этого расстояния свидетельствует о вертикальном подвывихе — линия 2.

Как видно на рис. 18 — метод Ранавата. Проводится линия через центр передней дужки позвонка С1 — точка *f*. Восстанавливается перпендикуляр к центру корня дужки С2 позвонка — точка *j*. Измеряется расстояние от этой

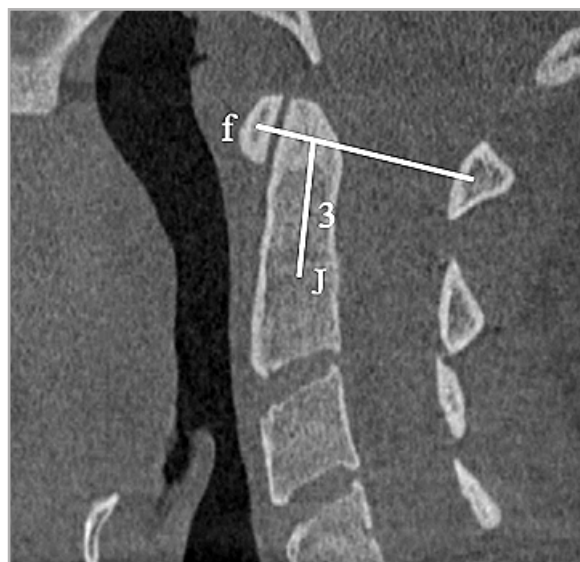


Рис. 18. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующий показатель (критерий Уайта). Линия 3 — метод Ранавата



Рис. 19. КЛКТ-томограмма, MPR в сагиттальной плоскости. Коррелирующий показатель (критерий Уайта). Линия 4 — метод Редлунд-Ионелла

линии до центра дужки. В норме оно составляет 15 мм для мужчин и 13 мм для женщин. При уменьшении этого расстояния существует подозрение на вертикальный подвывих — линия 3.

Как видно на рис. 19 — метод Редлунд-Ионелла. Расстояние между линией Мак-Грегора — линия *A* — и центром нижнего края тела позвонка С2 — точка *i*. У мужчин это расстояние составляет 34 мм, а у женщин — 29 мм. Уменьшение этого расстояния говорит о вертикальном подвывихе — линия 4.

Как видно на рис. 20, бимастоидальная линия Фишгольда — Метцгера формируется за счет реконструкции в косой плоскости через сосцевидный отросток височной кости и зубовидный отросток С2. Данная особенность реконструкции связана с тем, что данные структуры находятся в различных плоскостях. Зубовидный отросток не должен возвышаться над этой линией более чем на 1–2 мм. Увеличение этого показателя свидетельствует о базилярном вдавлении.

В пакет документов установлена программа визуализации данных ДКТ i-CATVision, которая позволяет получить и визуализировать: панорамное изображение выделенной (самостоятельно скорректированной) зоны; изображение краниовертебральной зоны в различных плоскостях возможностью регулирования толщины выделенного слоя; изображение сечения в любой плоскости зубочелюстной системы, ВНЧС, ряд изображений для цефалометрии; изображение околоносовых пазух и смежных анатомических областей.

В рамках нашей работы был разработан протокол описания КЛКТ кра-

ниовертебральной зоны стандартного и функционального исследования.

При оценке конусно-лучевой компьютерной томографии краниовертебральной области в стандартной проекции оценивались следующие показатели:

1. Физиологический лордоз: сохранен, выпрямлен, патологический кифоз, тенденция (склонность) к кифозу.
2. Наличие сколиоза и его стадии — при наличии указывается угол и отклонение: нет сколиоза, 1-я стадия, 2-я стадия.
3. Наличие унковертебрального артроза: отсутствует, при наличии указывается локализация (в сочленениях С1-С2, С2-С3).
4. Наличие спондилоартроза: отсутствует, есть (в сочленениях С1-С2, С2-С3).
5. Форма тел позвонков: обычная, клиновидная деформация, бабочковидная деформация, клиновидный полупозвонок, расщепление.
6. Высота межпозвоночных дисков (указывается в сантиметрах): не снижена, снижена на уровне С2-С3.

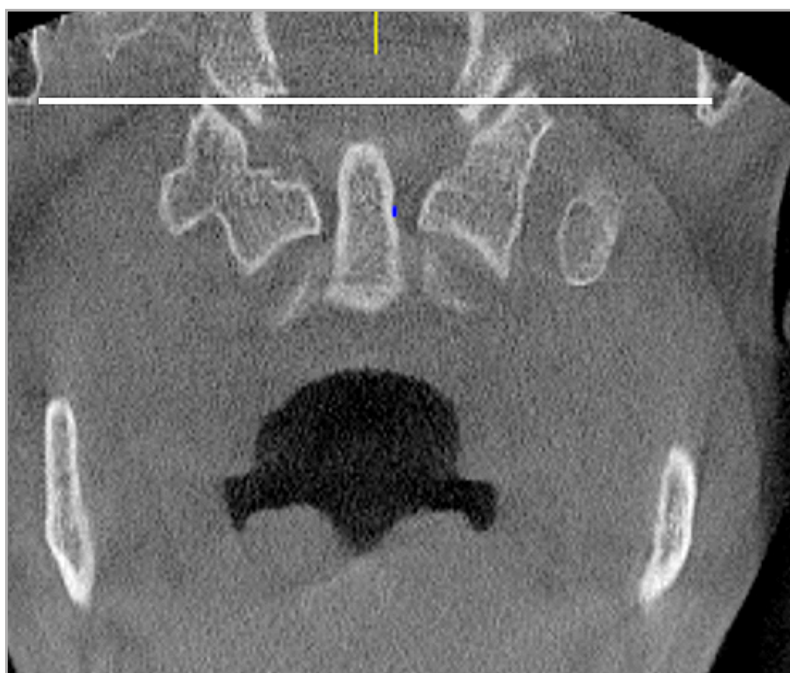


Рис. 20. КЛКТ-томограмма, MPR-реконструкция в косой плоскости через сосцевидный отросток височной кости и зуб С2. Линия — бимастоидальная линия Фишгольда — Метцгера

7. Высоту тел позвонков (указать размеры в сантиметрах): сохранена, снижена тела С2, снижена тела С3.
8. Смещение тел позвонков относительно друг друга: нет смещения, смещение до 2 мм, ретролистез более 2 мм, антелистез более 2 мм.
9. Оценивалось положение зубовидного отростка С2 позвонка по отношению к линии Чемберлена: на уровне линии Чемберлена, выше линии Чемберлена до 3 мм, выше линии Чемберлена более 4 мм, не доходит до линии Чемберлена.
10. Оценивалось положение зубовидного отростка С2 позвонка по отношению к линии Мак-Грегора: на уровне линии Мак-Грегора, выше линии Мак-Грегора до 5 мм, выше линии Мак-Грегора от 5 до 8 мм, выше линии Мак-Грегора более 9 мм, не доходит до линии Мак-Грегора.
11. Оценивалось положение зубовидного отростка С2 позвонка по отношению к линии Мак-Рея: не доходит до линии Мак-Рея, на уровне линии Мак-Рея, выше линии Мак-Рея.
12. Оценивалось положение зубовидного отростка С2 позвонка по отношению к бимастоидальной линии Фишгольда — Метцгера: не доходит до линии Фишгольда — Метцгера, на уровне линии Фишгольда — Метцгера, выше линии Фишгольда — Метцгера до 2 мм, выше линии Фишгольда — Метцгера от 2 до 3 мм, выше линии Фишгольда — Метцгера более 4 мм.
13. Оценивался сагиттальный размер краниального отдела позвоночного канала на уровне С1: до 15 мм, 16–30 мм, более 31 мм.
14. Оценивалось переднее затылочно-позвонковое расстояние: 0–5 мм, 6–9 мм, более 10 мм.
15. Оценивался краниовертебральный угол: менее 130 градусов, 130–165 градусов, более 166 градусов.
16. Оценивался сфеноидальный угол: менее 130 градусов, более 131 градуса.
17. Оценивался сфено-вертебральный угол: менее 79 градусов, 80–105 градусов, более 106 градусов.
18. Оценивался угол входа в большое затылочное отверстие: менее 25 градусов, 25–55 градусов, более 56 градусов.
19. Нарушение анатомических соотношений в сочленениях С1 с суставными отростками затылочной кости: норма; совмещение или выход правых краев суставных отростков затылочной кости за края суставных поверхностей С1 (правосторонний подвывих во фронтальной плоскости); совмещение или выход левых краев суставных отростков затылочной кости за края суставных поверхностей С1 (левосторонний подвывих во фронтальной плоскости); выход краев суставных отростков затылочной кости за края суставных поверхностей С1 в одном сочленении, при норме в другом (ротационный подвывих).
20. Форма рентгеновской щели сустава Крювелье: норма; снижение высоты; увеличение высоты; клиновидность формы (передний подвывих С1).
21. Пространственное положение зуба С2 позвонка: норма (продольная ось зуба и тела С2 образуют при пересечении угол 180 градусов); ступенчатая деформация линии, проведенной вдоль переднего контура тела и зуба, угол менее 180 градусов (угловое отклонение зуба, листез).
22. Нарушение анатомических соотношений в сочленениях С1-С2: норма; выход правых краев боковых масс С1 за правый край суставных отростков С2 (правосторонний подвывих во фронтальной плоскости); выход левых краев боковых масс С1 за правый край суставных

отростков С2 (левосторонний подвывих во фронтальной плоскости); выходение краев боковых масс С1 за край суставных отростков С2 в одном сочленении, при норме в другом (ротационный подвывих). Дополнительно оцениваются конгруэнтность поверхностей.

При оценке КЛКТ краниовертебральной области с функциональными пробами оценивались:

1. Смещение вышележащего тела позвонка по отношению к нижележащему при максимальном сгибании: нет смещения; смещение до 2 мм (физиологическая нестабильность); смещение более 3 мм (патологическая нестабильность).
2. Смещение вышележащего тела позвонка по отношению к нижележащему при максимальном разгибании: нет смещения; смещение до 2 мм (физиологическая нестабильность); смещение более 3 мм (патологическая нестабильность).
3. Гипермобильность (смещение тел позвонков при сгибании и разгибании шейного отдела позвоночника более чем на 2 мм у взрослых и детей): отсутствует; есть на уровне С2-С3.
4. Нарушение анатомических соотношений в суставе Крювелье: норма; расположение верхнего полюса переднего бугорка С1 краниальнее верхушки зуба в физиологическом положении (краниальный подвывих С1); расположение верхнего полюса переднего бугорка С1 краниальнее верхушки зуба только при максимальном разгибании (нестабильность переднего сустава С1-С2).

Обсуждение

Предложенный нами способ обследования краниовертебральной области имеет ряд преимуществ по сравнению с методиками, предложенными рядом

авторов (Тероной С. К., Серова Н. С., 2016, 2017, 2019, 2020), в наличии функционального вертикального позиционирования при выполнении нативного исследования и функциональных проб, однако уступает в объеме и распространенности полученной информации. В отличие от работ, посвященных обследованию краниовертебральной области методом традиционной рентгенографии (Голимбиевская Т. А., 2014; Дьяченко В. А., 1949; Королук И. П., 1996; Мицкевич В. А., 2005; Ульрих Э. В., 2004), в нашем исследовании на КЛКТ отмечается более точное позиционирование точек для расчета линейных и угловых показателей, что совпадает с результатами Goel A. (2015, 2018), Gaunt T. (2018), Lechuga L. (2016). Однако ограничение зоны обследования при КЛКТ-исследовании не позволяет получить цефалометрические показатели, такие как базальный угол, угол прогибания затылочной кости, оценить длину Блюменбаховского ската, линии Метцгера и Фижгольда, индекс Клауса, оценка которых уже возможна при увеличении области сканирования на КЛКТ-томографах нового поколения, с расширением области сканирования до 30 см. В связи с невозможностью получения мягкотканного компонента диагностика аномалии Арнольда-Киари методикой КЛКТ значительно затруднена. Предпочтение — МРТ головного мозга и шейного отдела позвоночника либо мультирезонансная компьютерная томография.

Выводы

Таким образом, КЛКТ является высокоинформативной методикой в диагностике патологических состояний КВО в связи с детальной визуализацией структуры костной ткани и возможностью определения пространственного положения анатомических структур основания черепа и С1-С2 позвонков за счет построения мультипланарных реконструкций. КЛКТ

обладает высокой разрешающей способностью с широким спектром возможностей постпроцессорной обработки изображений. При изменении протоколов исследования, неинвазивности методики и хорошей переносимости пациентами создаются условия для оперативного выполнения исследования, исключающие наличие артефактов.

Список источников

1. Голимбиевская Т. А. Рентгеноанатомия и рентгеносемиотика костных дисплазий краниовертебральной области / Т. А. Голимбиевская, И. Э. Ицкович, Н. В. Смоленцева. СПб.: СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2014. 52 с.
2. Дьяченко В. А. Аномалии развития позвоночника в рентгено-анатомическом освещении / В.А. Дьяченко. МЕДгиз, 1949. С. 1–162.
3. Королюк И. П. Рентгеноанатомический атлас скелета (норма, варианты, ошибки интерпретации) / И. П. Королюк. М.: Видар, 1996. 192 с.
4. Лубашева О. Я., Петрова А. Д., Лубашев Я. А. Анализ популяционной лучевой нагрузки при обследовании смежных анатомических областей головы и шеи в поликлинических условиях // Научное издание «104 конгресс российского общества рентгенологов и радиологов». Сборник тезисов 9–11.11.2020. СПб., 2020. 241 с. С. 105–106.
5. Лубашева О. Я., Петрова А. Д., Лубашев Я. А., Трутень В. П., Севрюкова Е. В., Васильев А. Ю. // Свидетельство о регистрации электронного ресурса «База данных прицельной периапикальной внутриротовой рентгенографии, конусно-лучевой и мультисрезовой компьютерной томографии пациентов, обследованных по поводу патологических изменений челюстно-лицевой области и смежных анатомических областей» № 24523 от 15 мая 2020 г., Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование», ФГБУН «Институт программных систем им. А.К. Айламазяна» РАН.
6. Мицкевич В. А. Патология шейного отдела позвоночника. Нестабильность шейного отдела позвоночника / Международный неврологический журнал, Институт ревматологии РАМН, Москва, 2005.
7. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А. Лучевая диагностика неотложных состояний краниовертебральной зоны и шейного отдела позвоночника у пациентов в амбулаторных условиях // 103-й конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов 6–8 ноября 2019. С. 167.
8. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Севрюкова Е. В. Сравнительный анализ методов традиционной рентгенографии и конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике аномалии Киммерле // Лучевая диагностика и терапия. N 1 (S). 2020. С. 145. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343>
9. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А. Возможности конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике костных вариантов патологических изменений краниовертебральной области у взрослых и детей // Лучевая диагностика и терапия. N 1 (S). 2020. С. 145–146. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343>
10. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А. Сравнительный анализ дозовых лучевых нагрузок при рентгенологических исследованиях краниовертебральной зоны // Научное издание «104 конгресс российского общества рентгенологов и радиологов». Сборник тезисов. 9–11.11.2020. СПб., 2020. 241 с. С. 151–152.
11. Петрова А. Д., Лубашева О. Я., Лубашев Я. А., Севрюкова Е. В., Васильев А. Ю. // Свидетельство о регистрации электронного ресурса «База данных традиционной рентгенографии, мультиспиральной, конусно-лучевой и магнитно-резонансной компьютерной

- томографии пациентов, обследованных по поводу патологических изменений краниовертебральной области» № 24461 от 06 февраля 2020 г. Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование», ФГБУН «Институт программных систем им. А. К. Айламазяна» РАН.
12. Терновой С. К., Серова Н. С., Абрамов А. С., Терновой К. С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии шейного отдела позвоночника. *REJR*. 2016;6 (4):38-43. DOI: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43
 13. Терновой С. К., Кавалерский Г. М., Серова Н. С., Терновой К. С., Абрамов А. С., Черепанов В. Г. Патент на изобретение N: RU(11)2637829(13)C1: способ функциональной мультиспиральной компьютерно-томографической диагностики нестабильности позвоночно-двигательных сегментов шейного отдела позвоночника от 07.12.2017.
 14. Терновой С. К., Лычагин А. В., Серова Н. С., Абрамов А. С., Черепанов В. Г., Мискарян Т. И. Результаты применения функциональной мультиспиральной компьютерной томографии при хирургическом лечении пациентов с нестабильностью шейного отдела позвоночника. *REJR* 2019; 9(2):55-62. DOI: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-55-62
 15. Терновой С. К., Серова Н. С., Абрамов А. С., Мискарян Т. И. Значение функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике нестабильности позвоночно-двигательных сегментов шейного отдела позвоночника // Вестник рентгенологии и радиологии. 2020;101(5):296-303. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-5-296-303>
 16. Ульрих Э. В., Мушкин А. Ю. Вертебрология в терминах, цифрах, рисунках. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2004. 187 с.
 17. Gaunt T., Mankad K., Calder A., Tan A. P., Talenti G., Watson T. A., Thompson D. Abnormalities of the craniovertebral junction in the paediatric population: a novel biomechanical approach. *Clin. Radiol*. 2018. Vol. 73, no. 10. P. 839–854. DOI: 10.1016/j.crad.2018.05.020
 18. Goel A., Nadkarni T., Shah A., Ramdasi R., Patni N. Bifid Anterior and Posterior Arches of Atlas: Surgical Implication and Analysis of 70 Cases. *Neurosurgery*. 2015. Vol. 77, Issue 2. P. 296–305. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000761
 19. Goel A. Craniovertebral Junction Instability-An Overview. *World Neurosurg*. 2018 Vol. 110. P. 515–516. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.10.158.
 20. Lechuga L., Weidlich G. A. Cone Beam CT vs. Fan Beam CT: A Comparison of Image Quality and Dose Delivered Between Two Differing CT Imaging Modalities. *Cureus*. 2016. Vol. 8, no. 9. P. e778. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5063198/>
 21. Rafic K. H. M., Sujith C., Rajesh B., Timothy P. B., Selvamani B., Ravindran P. B. A new strategy for craniocervical axis localization and adaptive dosimetric evaluation using cone beam CT // *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*. 2020. Vol. 25, no. 2. P. 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2019.11.003>
 22. Vurden U. E. Analysis of the Volumes of the Posterior Craniocervical Fossa, Cerebellum, and Herniated tonsils Using the Stereological Methods in Patients with Chiari Type I Malformation / U.E. Vurden [et al.]. *The Scientific World Journal*. 2012. P. 1–7.

References

1. Golimbievskaya T. A. X-ray anatomy and X-ray semiotics of bone dysplasias of the craniovertebral region / T. A. Golimbievskaya, I. E. Itskovich, N. V. Smolentsev. SPb.: SZGMU im. I. I. Mechnikova, 2014. 52 p. (In Russ.).
2. Dyachenko V. A. Anomalies in the development of the spine in X-ray anatomical illumination / V. A. Dyachenko. MEDgiz, 1949. P. 1–162. (In Russ.).

3. Korolyuk I. P. X-ray anatomical atlas of the skeleton (norm, variants, errors of interpretation) / I. P. Korolyuk. M.: Vidar, 1996. 192 p. (In Russ.).
4. Lubasheva O. Ya., Petrova A. D., Lubashev Ya. A. Analysis of population radiation exposure during examination of adjacent anatomical regions of the head and neck in outpatient conditions. Nauchnoye izdaniye «104 kongress rossiyskogo obshchestva rentgenologov i radiologov». Sbornik tezisov 9–11.11.2020. SPb. 2020. 241 p. P. 105–106. (In Russ.).
5. Lubasheva O. Ya., Petrova A. D., Lubashev Ya. A., Truten V. P., Sevryukova E. V., Vasiliev A. Yu. Radiography, cone beam and multislice computed tomography of patients. Examined for pathological changes in the maxillofacial region and adjacent anatomical regions № 24523 ot 15 maya 2020 g., Ob'yedinennyy fond elektronnykh resursov «Nauka i obrazovaniye», FGBUN «Institut programmnykh sistem im. A. K. Aylamazyan» RAN. (In Russ.).
6. Mitskevich V. A. Pathology of the gay spine. Instability of the cervical spine / Mezhdunarodnyy nevrologicheskikh zhurnal, Institut revmatologii RAMN. Moskva, 2005. (In Russ.).
7. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A. Radiation diagnosis of emergency conditions of the craniovertebral zone and cervical spine in patients on an outpatient basis. 103 kongress Rossiyskogo obshchestva rentgenologov i radiologov 6–8 noyabrya 2019. P. 167. (In Russ.).
8. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Sevryukova E. V. Comparative analysis of traditional radiography and cone-beam computed tomography in the diagnosis of Kimmerle anomaly. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. N 1 (S). 2020. P. 145 (in Russ.). <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343>
9. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A. Possibilities of cone beam computed tomography in the diagnosis of bone variants of pathological changes in the craniovertebral region in adults and children. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. N1 (S) 2020. P. 145–146. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343>
10. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A. Comparative analysis of radiation exposure during radiographic studies of the craniovertebral zone. Nauchnoye izdaniye «104 kongress rossiyskogo obshchestva rentgenologov i radiologov». Sbornik tezisov. 9–11.11.2020. SPb. 2020. 241 p. PP. 151–152. (In Russ.).
11. Petrova A. D., Lubasheva O. Ya., Lubashev Ya. A., Sevryukova E. V., Vasiliev A. Yu. Certificate of registration of the electronic resource «Database of traditional radiography, multislice, cone-beam and magnetic resonance computed tomography of patients examined for pathological changes in the craniovertebral region»ю Ob'yedinennyy fond elektronnykh resursov «Nauka i obrazovaniye», FGBUN «Institut programmnykh sistem im. A. K. Aylamazyan» RAN. (In Russ.).
12. Ternovoy S. K., Serova N. S., Abramov A. S., Ternovoy K. S. Method of functional multislice computed tomography of the cervical spine. *REJR*. 2016;6(4):38-43. (In Russ.). DOI: 10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43
13. Ternovoy S. K., Kavalersky G. M., Serova N. S., Ternovoy K. S., Abramov A. S., Cherepanov V. G. Patent na izobreteniyе N: RU(11)2637829(13)C1: method for functional multislice computed tomography diagnostics of instability of the spinal motion segments of the cervical spine dated 07.12.2017. (In Russ.).
14. Ternovoy S. K., Lychagin A. V., Serova N. S., Abramov A. S., Cherepanov V. G., Miskaryan T. I. The results of the use of functional multislice computed tomography in the surgical treatment of patients with cervical instability. section of the spine. *REJR*. 2019; 9(2):55-62. (In Russ.).DOI: 10.21569/2222-7415-2019-9-2-55-62

15. Ternovoy S. K., Serova N. S., Abramov A. S., Miskaryan T. I. The value of functional multislice computed tomography in the diagnosis of instability of the spinal motion segments of the cervical spine. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2020;101(5):296-303. (In Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2020-101-5-296-303>
16. Ulrikh E. V., Mushkin A. Yu. Vertebrology in terms, numbers, drawings. St. Petersburg: ELBI-SPb, 2004. 187 p. (In Russ.).
17. Gaunt T., Mankad K., Calder A., Tan A. P., Talenti G., Watson T. A., Thompson D. Abnormalities of the craniovertebral junction in the paediatric population: a novel biomechanical approach. *Clin. Radiol*. 2018. Vol. 73, no. 10. P. 839–854. DOI: 10.1016/j.crad.2018.05.020
18. Goel A., Nadkarni T., Shah A., Ramdasi R., Patni N. Bifid Anterior and Posterior Arches of Atlas: Surgical Implication and Analysis of 70 Cases. *Neurosurgery*. 2015. Vol. 77, Issue 2. P. 296–305. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000761
19. Goel A. Craniovertebral Junction Instability-An Overview. *World Neurosurg*. 2018 Vol. 110. P. 515–516. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.10.158
20. Lechuga L., Weidlich G. A. Cone Beam CT vs. Fan Beam CT: A Comparison of Image Quality and Dose Delivered Between Two Differing CT Imaging Modalities. *Cureus*. 2016. Vol. 8, no. 9. P. e778. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5063198/>
21. Rafic K. H. M., Sujith C., Rajesh B., Timothy P. B., Selvamani B., Ravindran P. B. A new strategy for craniospinal axis localization and adaptive dosimetric evaluation using cone beam CT. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*. 2020. Vol. 25, no. 2. P. 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2019.11.003>
22. Vurden U. E. Analysis of the Volumes of the Posterior Craniak Fossa, Cerebellum, and Herniated tonsils Using the Stereological Methods in Patients with Chiari Type I Malformation / U.E. Vurden [et al.]. *The Scientific World Journal*. 2012. P. 1–7.

Сведения об авторах / Information about the authors

Гукова Александра Дмитриевна, врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии ОКДЦ ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия.

195271 г. Санкт-Петербург, Калининский район, ул. Брюсовская д. 6, кв. 52.

+7 (953) 163-57-21

Вклад автора: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, интерпретация результатов, написание текста рукописи.

Gukova Aleksandra Dmitrievna, Radiologist in the Office of Magnetic Resonance Imaging ICDC of PAO «Gazprom», Saint Petersburg, Russia.

6/52, ul. Bryusovskaya, Kalininsky district, Saint Petersburg, 195271, Russia.

+7 (953) 163-57-21

Author's contribution: study design development, data acquisition for analysis, results interpretation, manuscript writing.

Лубашев Яков Александрович, доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ, начальник отдела лучевой диагностики МЧУ ОКДЦ ПАО «Газпром», профессор кафедры «Клиническая медицина» Московского медицинского университета «Реавиз», профессор кафедры «Рентгенология и УЗИ» Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия.

117420, г. Москва, ул. Нагатинская, д. 16, к. 4.

+7 (919) 970-45-05

Вклад автора: обобщение, интерпретация результатов и формулировка выводов исследований.

Lubashev Yakov Aleksandrovich, M. D. Med, Honored Doctor of the Russian Federation, Head of the Department of Radiation Diagnostics of Medical Private Institution Clinical Diagnostic Center of PJSC Gazprom, Professor of the Department of Clinical Medicine of the Moscow Medical University «Reaviz», Professor of the Department of Radiology and Ultrasound, Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medicalbiological agency, Moscow, Russia.

16/4, ul. Nametkina, Moscow, 117420, Russia.

+7 (903) 502-90-27

Author's contribution: generalization and interpretation of research results.

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Research funding and conflict of interest

The study was not funded by any sources. The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Статья поступила в редакцию 28.04.2023;
одобрена после рецензирования 08.07.2023;
принята к публикации 14.07.2023.

The article was submitted 28.04.2023;
approved after reviewing 08.07.2023;
accepted for publication 14.07.2023.