

Научная статья

УДК 616.711.1-007.271-073.756.8

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361>

МСКТ-семиотика позвонков у больных со стенозом шейного отдела позвоночника

А.А. Суфианов^{1,2,3}, Д.Н. Набиев^{2✉}, А.В. Бурцев⁴, Р.А. Суфианов¹, М.Т. Карсанова^{1,2}, В.В. Питеров^{4,2}

¹ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

² Федеральный центр нейрохирургии, Тюмень, Россия

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Давид Нодарович Набиев, davidnabiev82@gmail.com

Аннотация

Введение. Количество хирургических вмешательств на шейном отделе позвоночника по поводу стеноза постоянно увеличивается, что обосновывает необходимость тщательной предоперационной подготовки, учитывая сложность вмешательства и возраст пациентов.

Цель работы — обосновать необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ плотности костной ткани тел и дуг позвонков для оценки ее качества при планировании костно-пластической декомпрессивной ламинопластики у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника на фоне дегенеративно-дистрофических изменений.

Материалы и методы. Одноцентровое ретроспективное исследование. Качественные и количественные характеристики позвоночника изучены методами рентгенографии и мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) у 82 больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями шейного отдела позвоночника со стенозом позвоночного канала (СШОП).

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о тенденции увеличения общей плотности шейных позвонков от СIII к CV и уменьшения ее каудальнее с минимальной плотностью для CVII без признаков остеопороза. Аналогичная тенденция характерна и для трабекулярной кости. Достоверно отличается плотность остеонного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка от плотности наружных и внутренних пластинок. Общая плотность компактного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка превышает $(785,15 \pm 38,4)$ НУ.

Обсуждение. У пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника оценке плотности по данным МСКТ различных структурных образований позвонков должно придаваться наибольшее значение. Прежде всего, оценка плотности кости становится все более важной с возрастом пациентов. Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике.

Заключение. Полученные данные обосновывают необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ изучение плотности тел позвонков, дуги позвонка, ее толщины для разработки плана хирургического вмешательства у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника, поскольку они позволяют получать объективные данные о качестве кости.

Ключевые слова: позвоночник, шейный отдел, стеноз, семиотика, МСКТ

Для цитирования: Суфианов А.А., Набиев Д.Н., Бурцев А.В., Суфианов Р.А., Карсанова М.Т., Питеров В.В. МСКТ-семиотика позвонков у больных со стенозом шейного отдела позвоночника. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):353-361. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361. EDN: ETBFJW.



MSCT-semiotics of vertebrae in patients with cervical spine stenosis

A.A. Sufianov^{1,2,3}, D.N. Nabiev^{2✉}, A.V. Burtsev⁴, R.A. Sufianov¹, M.T. Karsanova^{1,2}, V.V. Piterov^{1,2}

¹ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

² Federal Centre of Neurosurgery, Tyumen, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

⁴ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: David N. Nabiev, davidnabiev82@gmail.co

Abstract

Introduction The number of surgical interventions on the cervical spine for stenosis has been constantly increasing. This fact proves that there is a need for careful preoperative preparation that would consider the complexity of the intervention and the age of the patients.

Purpose To substantiate the need to include the MSCT data processing algorithm of bone tissue density of vertebral bodies and arches to assess their quality for planning osteoplastic decompressive laminoplasty in patients with cervical spine stenosis due to degenerative changes.

Material and methods This single-center retrospective study investigated qualitative and quantitative characteristics of the spine with radiography and multislice computed tomography (MSCT) in 82 patients with degenerative diseases of the cervical spine and associated spinal canal stenosis (CSS).

Results and discussion The data obtained indicate a tendency for the total density of the cervical vertebrae to increase from C3 to C5 and to decrease caudally, with minimal density in C7 without signs of osteoporosis. A similar trend is characteristic of trabecular bone. The density of the osteon layer of the vertebral arch cortex differs significantly from the density of the outer and inner plates. The total density of the compact layer of the vertebral arch cortex exceeds 785.15 ± 38.4 HU.

Conclusion The data obtained justify the need to include the study of the density of vertebral bodies, vertebral arches, and its thickness in the MSCT data processing algorithm to develop a plan for surgical intervention in patients with cervical spine stenosis in order to obtain objective data on the quality of the bone.

Keywords: spine, cervical spine, stenosis, semiotics, MSCT

For citation: Sufianov AA, Nabiev DN, Burtsev AV, Sufianov RA, Karsanova MT, Piterov VV. MSCT-semiotics of vertebrae in patients with cervical spine stenosis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):353-361. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы визуализации обеспечивают отличное анатомическое изображение шейного отдела позвоночника. Выбор каждого из них зависит от клинического сценария и терапевтических альтернатив. Полипозиционная рентгенография по-прежнему остается фундаментальным методом, поскольку позволяет оценить ось позвоночника, размеры и изменения позвонков и провести последующее наблюдение после лечения, будучи экономически доступным и визуализационно обоснованным обследованием [1–3]. Значительно возросла роль МРТ, которая позволяет визуализировать мягкотканые образования позвоночника, включая межпозвонковые диски, связки, спинной мозг, в частности, его подвижность, что крайне важно для пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника (СШОП), осложненного миелопатией [2, 4–8]. Не меньшее значение придается мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) в изучении дистрофических изменений позвоночника ввиду большого пространственного разрешения и уникальной способности качественно и количественно оценивать состояние позвонков, как до лечения, так и на различных его этапах [2, 9, 10]. Часто применяется комплекс лучевых методов диагностики для оценки результатов лечения пациентов со СШОП [2, 11].

Изучение анатомии позвонков, их архитектоники, плотностных показателей крайне важно для решения вопроса о выборе метода лечения при любом характере хирургического вмешательства на позвоночнике, в том числе и при устранении стеноза шейного отдела позвоночника (СШОП). Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения во многих случаях, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике [12, 13].

Прежде всего, речь идет об оценке состояния кости для введения имплантов при различных видах транспедикулярной фиксации и других методах металлоостеосинтеза с целью предотвращения различных осложнений, связанных с мальпозицией винтов или других конструкций, несостоятельностью металлоконструкций, причем больше внимания следует уделять пациентам с выраженными дегенеративными изменениями показателям плотности (НУ) [14–16].

Плотность кости, как важный фактор прочности, определяют различными методами, однако наиболее распространенным и универсальным является МСКТ с использованием стандартизированных единиц Хаунсфилда (НУ), обеспечивая надежную оценку плотности кости, улучшая диагностические показатели [10, 18, 19]. Изучение анатомии, архитектоники, плотности позвонков проводят с помощью отдельных методов или комплексно, как в работе G. Schröder et al., где использованы микро-КТ и МСКТ [12]. Гистоморфометрическое исследование («золотой стандарт» изучения качества кости) в работе H.J. Grote et al. использовано для оценки плотности трабекулярной кости [20]. В случаях применения МСКТ плотность губчатой кости в НУ определена для позвонков C2–C7 на каждом сагитальном, корональном и аксиальном КТ-изображении, результаты компьютерной томографии шейного отдела позвоночника (ШОП) предоставляют достоверную информацию независимо от плоскости измерения, возраста или пола, а также степени дегенерации [21].

По мнению Q. Zaidi et al., О.Н. Леоновой с соавт., у пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника следует придавать наибольшее значение оценке плотности различных структурных образований позвонков по данным МСКТ [15, 22].

В представленной выше литературе, касающейся определения качества кости позвонков на основе плотности кости по данным МСКТ, изучены только некоторые показатели и параметры тела позвонка, причем при измерении, в основном, локальной плотности губчатой кости. Однако важно знать состояние всех структурных образований позвонка, особенно при использовании метода ламинопластики, где наиболее важными для хирурга анатомическими зонами являются дуги позвонка и дугоотростчатые суставы, как основные объекты, к которым фиксируют пластины.

Цель работы — обосновать необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ плотности костной ткани тел и дуг позвонков для оценки ее качества при планировании костно-пластической декомпрессивной ламинопластики у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника на фоне дегенеративно-дистрофических изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одноцентровое ретроспективное исследование выполнено на базе нейрохирургического отделения № 3 Федерального центра нейрохирургии (Тюмень). Качественные и количественные характеристики позвоночника изучены методами рентгенографии и МСКТ у 82 больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями шейного отдела позвоночника со стенозом позвоночного канала.

Уровень доказательности — IV.

Клинико-статистическая характеристика пациентов

В представленной выборке преобладали лица мужского пола (86,6 %) в возрасте от 56 до 75 лет (70,7 %). У большинства пациентов (89,0 %) имел место многоуровневый стеноз позвоночного канала (табл. 1).

Во время хирургического вмешательства у 68,3 % пациентов ламинопластика шейного отдела была выполнена на уровне $C_{III}-C_{VI}$ и $C_{III}-C_{VII}$ (табл. 2).

Таблица 1

Распределение больных по возрасту, полу и количеству уровней стенозов в шейном отделе позвоночника

Возраст	Пол		Количество стенозов				Всего
	мужчины	женщины	два	три	четыре	пять	
36–40	1	–	–	1	–	–	1
41–45	2	1	–	3	–	–	3
46–50	8	1	1	8	–	–	9
51–55	9	2	2	5	4	–	11
56–60	19	3	8	8	7	–	23
61–65	16	–	2	5	8	1	16
66–70	12	3	2	7	6	–	15
71–75	4	–	1	2	1	–	4
Итого	71	11	16	39	26	1	82

Таблица 2

Распределение больных по уровню ламинопластики шейного отдела позвоночника

Протяженность фиксации	Количество больных		Итого	
	мужчины	женщины	абс.	%
$C_{II}-C_{IV}$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_{V}$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_{VI}$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_{VII}$	1	–	1	1,2
$C_{III}-C_{V}$	5	–	5	6,1
$C_{III}-C_{VI}$	26	5	31	37,8
$C_{III}-C_{VII}$	22	3	25	30,5
$C_{IV}-C_{VI}$	7	1	8	9,8
$C_{IV}-C_{VII}$	4	2	6	7,3
$C_{V}-C_{VII}$	2	–	2	2,4
$C_{V}-Th_1$	1	–	1	1,2
Всего	71	11	82	100

Методы исследования

1. Полипозиционная и функциональная рентгенография выполнена всем 82 пациентам.
2. Мультисрезовая спиральная компьютерная томография (МСКТ) выполнена всем 82 пациентам с помощью рентгеновского компьютерного томографа Aquilion One (1385 Shmoishigami, Otawara-shi, Tochigi 324-8550, Japan, 320 линеек детекторов, максимальное количество срезов – 640).

МСКТ применена для оценки качества кости (плотность, структура, размеры тела позвонка, дужек). Измерение плотности позвонков проводили на аксиальных и сагиттальных срезах (общая плотность, плотность губчатой кости, компактного слоя). Изучали плотность кортикальной пластинки дуги позвонка в различных слоях. При необходимости производили 3D-реконструкции (рис. 1).

Критерии включения:

- 1) стеноз шейного отдела позвоночника по данным МСКТ и МРТ, полный лучевой архив;
- 2) отсутствие в анамнезе пациентов операций на шейном отделе позвоночника;
- 3) согласие пациентов на публикацию данных, полученных во время исследования, без идентификации личности.

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава РФ. Все больные подписали информированное согласие на публикацию данных без идентификации личности.

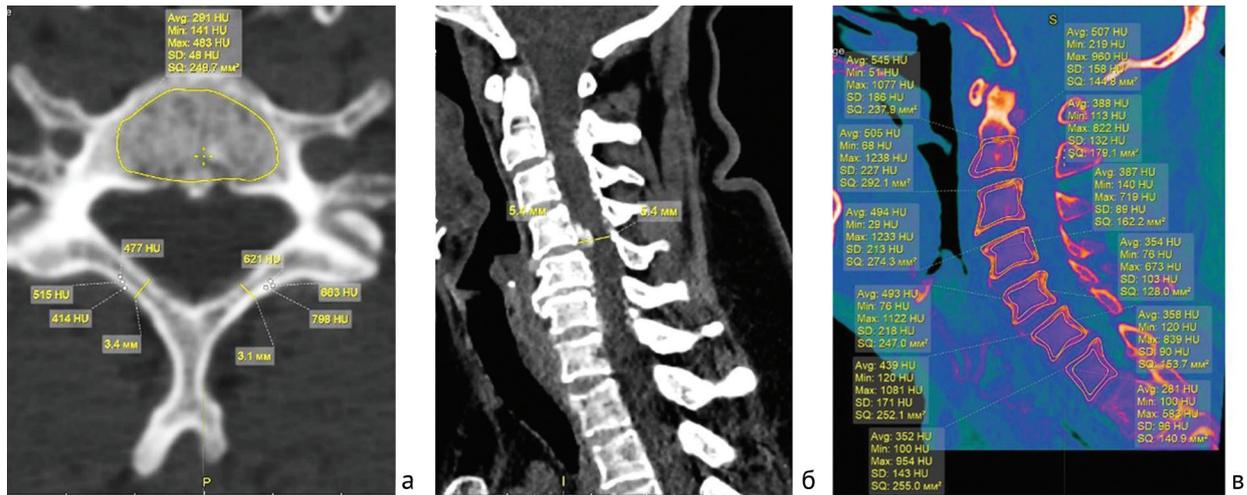


Рис. 1. МСКТ шейного отдела позвоночника больных дегенеративно-дистрофической болезнью позвоночника со стенозом позвоночного канала. Аксиальная плоскость, измерение плотности трабекулярной (губчатой) кости тела позвонка, плотности компактного слоя и толщины дуги позвонка CV (а), сагиттальная плоскость (б), сагиттальная плоскость, измерение общей плотности позвонков CIII–CVII и плотности трабекулярной кости (в)

Статистическую обработку параметров плотности проводили с помощью программы Attestat, встроенной в Microsoft Excel. Для подтверждения выводов о различиях между полученными результатами в двух группах, учитывая малые выборки, применяли U-критерий Манна – Уитни. Выборочные параметры, приводимые далее в таблицах, имели следующие обозначения: *M* – среднее, σ – стандартное средне-квадратичное отклонение, *n* – количество больных, *p* – достигнутый уровень значимости. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение общей плотности позвонков от C_{III} до C_{VII} в сагиттальной плоскости показало увеличение ее от уровня C_{III} к C_{IV}, а от уровня C_V и каудальнее отмечено снижение показателей в порядке убывания с минимумом на уровне C_{VII} (табл. 3).

Таблица 3

Общая плотность позвонков у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника в зависимости от уровня, HU

Показатели	Плотность, HU					
	C _{II}	C _{III}	C _{IV}	C _V	C _{VI}	C _{VII}
Средняя величина, <i>M</i>	394,4	445,3	452,2	439,8	411,9	337,1 ¹
Средне-квадратичное отклонение, σ	51,7	57,4	65,7	74,8	66,4	38,9

¹ – *p* < 0,044

Результаты изучения общей и локальной плотности губчатой кости тела шейных позвонков представлены на рисунке 2.

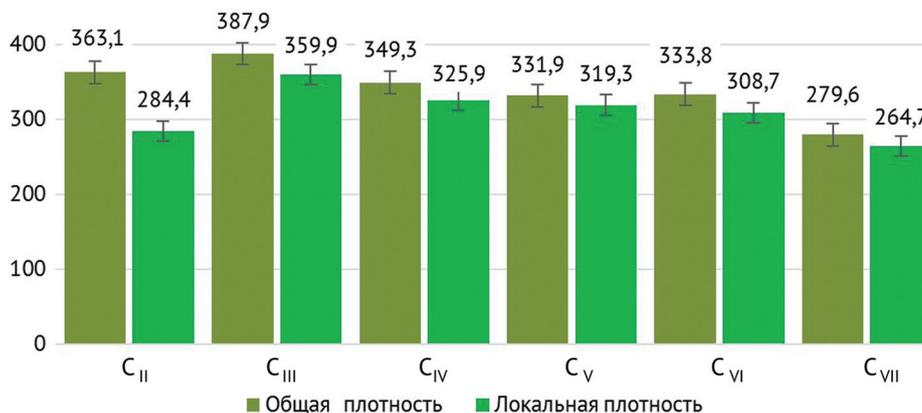


Рис. 2. Диаграмма общей и локальной плотности губчатой кости тела шейных позвонков

Измерение плотности компактного слоя тела позвонка в сагиттальной плоскости по передней и задней поверхностям показало, что плотность компактного слоя костной ткани была выше в задних отделах тел позвонков по сравнению с передними, однако без достоверных отличий. Это связано с тем, что границы компактного слоя и трабекулярной кости на аксиальных срезах четко визуализируются, тогда как в сагиттальной плоскости границы определяются условно. При изучении плотности компактного слоя шейных позвонков по передней и задней поверхностям в аксиальной плоскости отличия достоверны, кроме C_{VII}. Что касается позвонка C_{VII}, то он имел минимальную плотность с зонами резорбции и минимальными отличиями по передней и задней поверхностям, в связи с чем показатели плотности не отличались (табл. 4).

Таблица 4

Плотность компактного слоя позвонков по передней и задней поверхностям в аксиальной плоскости, HU

Зона интереса	Плотность компактного слоя позвонков в аксиальной плоскости, HU				
	C _{III}	C _{IV}	C _V	C _{VI}	C _{VII}
Передняя поверхность позвонка	449,1 ± 60,8	547,2 ± 21,8	628,5 ± 53,9	436,1 ± 63,1	312,0 ± 45,6
Задняя поверхность позвонка	516,6 ± 51,6	821,3 ± 48,9 ¹	972,4 ± 61,6 ²	599,7 ± 75,7 ³	309,25 ± 42,8

¹ – p ≤ 0,041; ² – p ≤ 0,034; ³ – p ≤ 0,05

Изучена также локальная общая и точечная плотность трех слоев кортикальной пластинки, поскольку плотность остеонного (центрального) слоя намного превышала плотность наружных и внутренних пластинок, что необходимо учитывать при предоперационном измерении плотности дуги позвонка, к которой фиксируются пластины при ламинопластике (рис. 3).

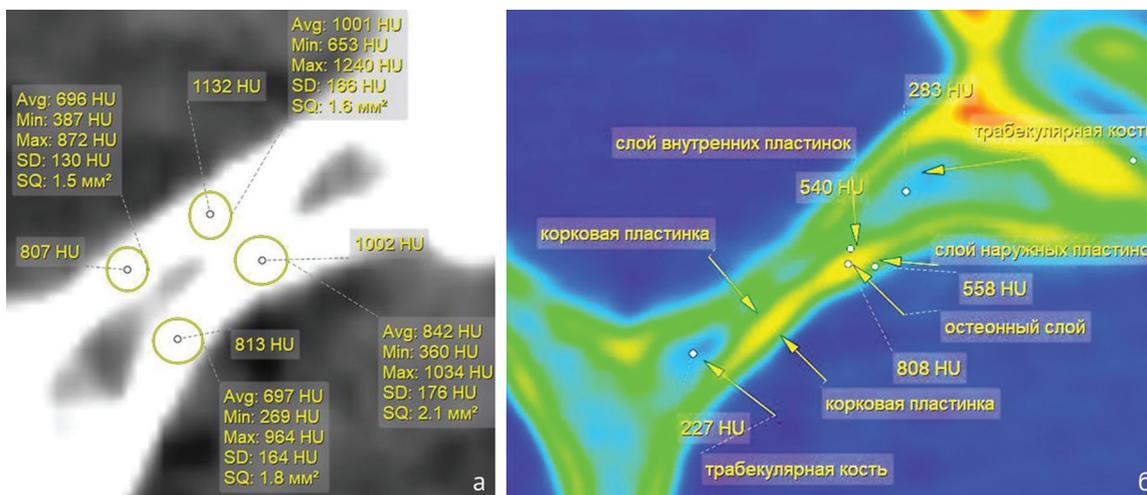


Рис. 3. МСКТ шейного отдела позвоночника. Аксиальный срез C_V. Схема измерения общей локальной плотности корковой пластинки дуги позвонка (а). Увеличенный фрагмент кортикальной пластинки дуги позвонка. Определение плотности слоев кортикальной пластинки. Фильтр (палитра) perfusion (б)

Статистические данные плотности различных слоев кортикальной пластинки дуги позвонка представлены на рисунке 4.

Плотность остеонного слоя на 33,3 % больше плотности внутренних пластинок и на 10,4 % больше плотности наружных пластинок. Это следует учитывать при измерении плотности кортикальной пластинки дуги. При измерении в области внутренних пластинок, слой которых тоньше остеонного, можно получить очень низкие показатели плотности. Необходимо измерять плотность всех слоев не только точно, но и определяя локальную общую плотность всех слоев кортикальной пластинки, которую измеряли в зоне интереса в виде круга, захватывающего всю толщину кортикальной пластинки (ROI = 1,5–2,2 см²). Локаль-

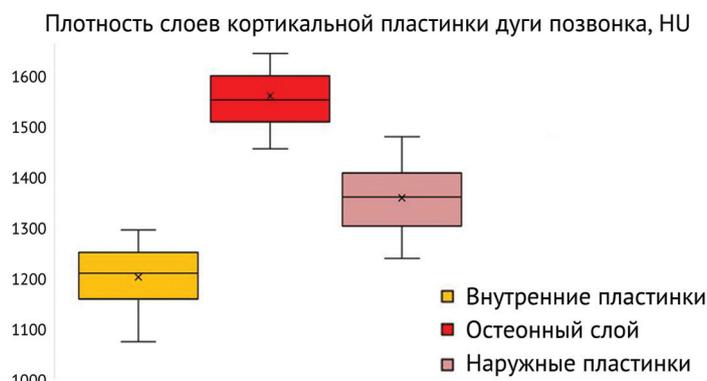


Рис. 4. Диаграмма точечной плотности слоев кортикальной пластинки дуги позвонка. *Примечание:* в графике цвет обозначает среднее значение, горизонтальная линия — эксклюзивная медиана, прямоугольник показывает межквартильный размах, а вертикальные линии — планки погрешностей

ная плотность всех слоев кортикальной пластинки дуги позвонка колебалась от 700 до 1150 HU, составляя в среднем ($785,15 \pm 38,4$) HU, причем в зоне, прилежащей к дугоотростчатым суставам, плотность была несколько выше у 75,6 % больных.

Измерение толщины дужек позвонков в аксиальной плоскости на равном расстоянии от центральной оси позвонка выявило, что у 83 % пациентов этот показатель отличался справа и слева, причем справа толщина была меньше у 45 % пациентов (рис. 5).

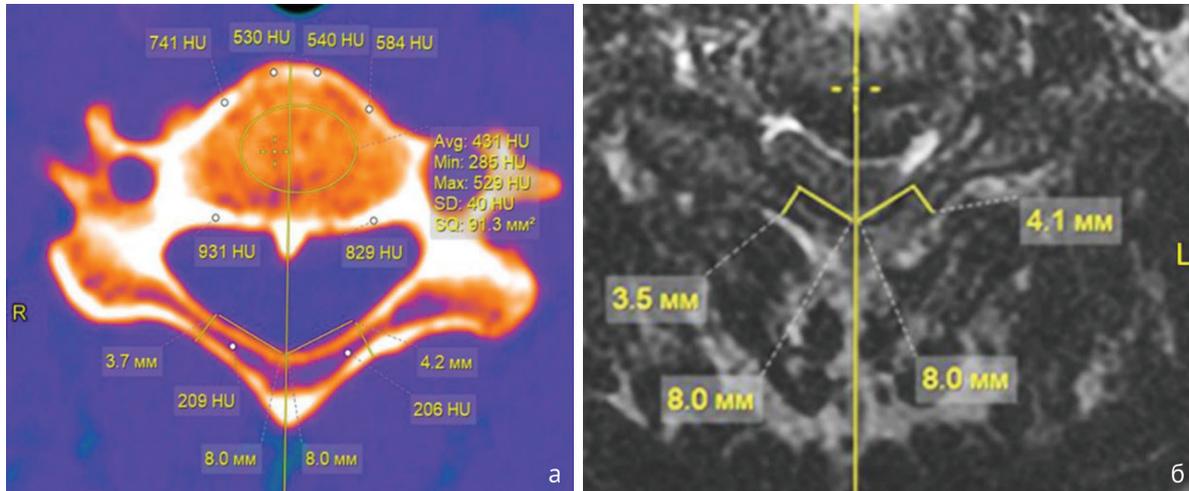


Рис. 5. МСКТ шейного отдела позвоночника пациента Ю., 65 лет. Аксиальная плоскость, измерение толщины дужек C_V позвонка на двух уровнях (а), МРТ шейного отдела позвоночника этого же пациента, аксиальная плоскость, Ax T2FRFSE. Измерение толщины дужек C_{IV} позвонка (б)

В таблице 5 представлены данные о толщине дуг позвонков на уровне C_{III} и C_V справа и слева, измерения сделаны во всех случаях на расстоянии 8 мм от центральной оси позвонка.

Измерение толщины дуги позвонка ближе к дугоотростчатому суставу показало, что она была на 1,2–1,5 мм больше.

Таблица 5
Толщина дуг позвонков на уровне C_{III} и C_V у пациентов с различной их толщиной

Толщина дуги, мм	Зона интереса	
	C_{III}	C_V
Справа	$3,8 \pm 0,5$	$4,1 \pm 0,6$
Слева	$4,0 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,8$

ОБСУЖДЕНИЕ

Применение МСКТ позволило определить не только характер и распространенность изменений позвоночника, но и изучить количественные плотностные характеристики позвонков при СШОП, что позволило объективно судить о состоянии трабекулярной и компактной костной ткани при оценке в единицах Хаунсфилда (HU). Это заключение подтверждается исследованиями А.Н. Михайлова, Т.Н. Лукьяненко [23]. В работе G. Schröder et al. с использованием микро-КТ и МСКТ у всех обследованных больных плотность губчатой кости была значительно выше в шейных позвонках (в среднем 177,6 HU), чем в грудных (в среднем 94,4 HU) или поясничных позвонках (в среднем 62,8 HU, $p < 0,001$). В нашем исследовании плотность позвонков в шейном отделе была значительно выше, чем в приведенных данных. Это связано с тем, что в указанной работе обследованы пациенты с одним или двумя переломами позвоночника в возрасте ($84,3 \pm 8,4$) года, тогда как в нашей выборке средний возраст не превышал ($58,9 \pm 7,9$) года, и не было пациентов с переломами позвоночника. Кроме того, мы изучали плотность трабекулярной кости по всей площади позвонка в аксиальной плоскости, тогда как авторы исследовали небольшой участок в центре позвонка, что не всегда отражало общую плотность [24]. Гистоморфометрическое исследование («золотой стандарт» изучения качества кости) H.J. Grote et al. выявило, что плотность трабекулярной кости в шейном отделе позвоночника заметно выше, чем в грудном или поясничном отделах [20]. Показано, что потеря костной массы в шейном отделе позвоночника с возрастом меньше, чем в других отделах позвоночника. Не отмечено значительной возрастной потери трабекулярной плотности в шейных позвонках C_{III} и C_{IV} , что согласуется с данными G. Schröder et al. [24, 25]. В работах с применением МСКТ плотность губчатой кости в HU была определена для позвонков C_{II} – C_{VI} на каждом сагиттальном, корональном и аксиальном КТ-изображении [21]. По мнению авторов, средние значения плотности в единицах Хаунсфилда (HU), которые могут быть отнесены к остеопении и остеопорозу, составили ($284,0 \pm 63,3$) и ($231,5 \pm 52,8$) соответственно. Показатели плотности двух верхних шейных позвонков (C_{II} и C_{III}) имели большую плотность, чем для других сегментов [21]. По нашим данным, трабекулярная плотность позвон-

ков была намного выше, составляя в среднем $(387,89 \pm 49,14)$ — $(333,81 \pm 46,09)$ для $C_{III}-C_{VII}$. Нами также изучена плотность различных слоев кортикальной пластинки дужки позвонка, которая является важным объектом хирургического сценария. Наибольшая плотность соответствовала остеонному слою, что совпадает с данными Г.В. Дьячковой с соавт. [26]. Локальная плотность всех слоев кортикальной пластинки дуги позвонка колебалась от 700 до 1150 НУ, составляя в среднем $(785,15 \pm 38,4)$ НУ.

По мнению Q. Zaidi et al., у пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника оценке плотности по данным МСКТ различных структурных образований позвонков должно придаваться наибольшее значение [15]. Прежде всего, оценка плотности кости становится все более важной с возрастом пациентов. Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения, особенно профилактики остеопоротических переломов, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике и контроля состояния винтов [24, 27]. Полученные данные свидетельствуют о тенденции увеличения общей плотности шейных позвонков от C_{III} к C_{V} и уменьшения ее каудальнее с минимальной плотностью для C_{VII} без признаков остеопороза. Аналогичная тенденция характерна и для трабекулярной кости. По мнению X. Liang et al., необходимо определять не только общую и локальную плотность позвонков, но и изучать ее на трех уровнях в сагиттальной плоскости (верхняя треть, центральная часть, нижняя треть) для выяснения влияния дегенерации дисков на плотность позвонка [28]. Выявлены достоверные отличия плотности компактной кости по задней поверхности позвонков $C_{III}-C_{V}$ на аксиальных срезах. Имеет место умеренная асимметрия толщины дужки позвонка на аксиальных срезах. Достоверно отличается плотность остеонного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка от плотности наружных и внутренних пластинок. Общая плотность компактного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка превышает $785,15 \pm 38,4$ НУ, что свидетельствует о достаточной плотности дуги позвонка с учетом всех ее слоев для безопасного введения фиксирующих винтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные обосновывают необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ изучение плотности тел позвонков, дуги позвонка, ее толщины для разработки плана хирургического вмешательства у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника, поскольку они позволяют получать объективную характеристику качества кости.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи.

Финансирование исследования. Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дамдинов Б.Б., Сороковиков В.А., Ларионов С.Н. и др. Особенности изменения сагиттального баланса шейного отдела позвоночника при шейно-плечевом синдроме. *Хирургия позвоночника*. 2019;16(2):42-48. doi: 10.14531/ss2019.2.42-48
2. Spirig JM, Sutter R, Götschi T, et al. Value of standard radiographs, computed tomography, and magnetic resonance imaging of the lumbar spine in detection of intraoperatively confirmed pedicle screw loosening—a prospective clinical trial. *Spine J*. 2019;19(3):461-468. doi: 10.1016/j.spinee.2018.06.345
3. Hirai T, Yoshii T, Sakai K, et al. Long-term results of a prospective study of anterior decompression with fusion and posterior decompression with laminoplasty for treatment of cervical spondylotic myelopathy. *J Orthop Sci*. 2018;23(1):32-38. doi: 10.1016/j.jos.2017.07.012
4. Wolf K, Krafft AJ, Egger K, et al. Assessment of spinal cord motion as a new diagnostic MRI-parameter in cervical spinal canal stenosis: study protocol on a prospective longitudinal trial. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):321. doi: 10.1186/s13018-019-1381-9
5. Hesni S, Baxter D, Saifuddin A. The imaging of cervical spondylotic myeloradiculopathy. *Skeletal Radiol*. 2023;52(12):2341-2365. doi: 10.1007/s00256-023-04329-0
6. Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Davies B, et al. Degenerative Cervical Myelopathy: A Practical Approach to Diagnosis. *Global Spine J*. 2022;12(8):1881-1893. doi: 10.1177/21925682211072847
7. Chen YC, Kuo CH, Cheng CM, Wu JC. Recent advances in the management of cervical spondylotic myelopathy: bibliometric analysis and surgical perspectives. *J Neurosurg Spine*. 2019;31(3):299-309. doi: 10.3171/2019.5.SPINE18769
8. Nouri A, Cheng JS, Davies B, et al. Degenerative Cervical Myelopathy: A Brief Review of Past Perspectives, Present Developments, and Future Directions. *J Clin Med*. 2020;9(2):535. doi: 10.3390/jcm9020535
9. Llopis E, Belloch E, León JP, et al. The degenerative cervical spine. *Radiologia*. 2016;58 Suppl 1:13-25. doi: 10.1016/j.rx.2015
10. Xu F, Zou D, Li W, et al. Hounsfield units of the vertebral body and pedicle as predictors of pedicle screw loosening after degenerative lumbar spine surgery. *Neurosurg Focus*. 2020;49(2):E10. doi: 10.3171/2020.5.FOCUS20249
11. Liu FJ, Ding XK, Chai Y, et al. Influence of fixed titanium plate position on the effectiveness of open-door laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):297. doi: 10.1186/s13018-022-03188-0
12. Schröder G, Reichel M, Spiegel S, et al. Breaking strength and bone microarchitecture in osteoporosis: a biomechanical approximation based on load tests in 104 human vertebrae from the cervical, thoracic, and lumbar spines of 13 body donors. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):228. doi: 10.1186/s13018-022-03105-5
13. Kim MK, Cho HJ, Kwak DS, You SH. Characteristics of regional bone quality in cervical vertebrae considering BMD: Determining a safe trajectory for cervical pedicle screw fixation. *J Orthop Res*. 2018;36(1):217-223. doi: 10.1002/jor.23633

14. Зейналов Ю.Л., Дьячкова Г.В., Бурцев А.В. и др. Компьютерно-томографическая семиотика апикальных позвонков у больных идиопатическим сколиозом в возрасте от 14 до 18 лет в зависимости от величины деформации позвоночника. *Радиология – практика*. 2021;(5):11-27. doi: 10.52560/2713-0118-2021-5-11-27
15. Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W. Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(4):E239-E244. doi: 10.1097/BRS.0000000000002813
16. Han C, Zhou C, Zhang H, et al. Evaluation of bone mineral density in adolescent idiopathic scoliosis using a three-dimensional finite element model: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):938. doi: 10.1186/s13018-023-04413-0
17. Weinberg DS, Rhee JM. Cervical laminoplasty: indication, technique, complications. *J Spine Surg*. 2020;6(1):290-301. doi: 10.21037/jss.2020.01.05
18. Choi MK, Kim SM, Lim JK. Diagnostic efficacy of Hounsfield units in spine CT for the assessment of real bone mineral density of degenerative spine: correlation study between T-scores determined by DEXA scan and Hounsfield units from CT. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016;158(7):1421-1427. doi: 10.1007/s00701-016-2821-5
19. Wang H, Zou D, Sun Z, et al. Hounsfield Unit for Assessing Vertebral Bone Quality and Asymmetrical Vertebral Degeneration in Degenerative Lumbar Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(22):1559-1566. doi: 10.1097/BRS.0000000000003639
20. Grote HJ, Amling M, Vogel M, et al. Intervertebral variation in trabecular microarchitecture throughout the normal spine in relation to age. *Bone*. 1995;16(3):301-308. doi: 10.1016/8756-3282(94)00042-5
21. Han K, You ST, Lee HJ, et al. Hounsfield unit measurement method and related factors that most appropriately reflect bone mineral density on cervical spine computed tomography. *Skeletal Radiol*. 2022;51(10):1987-1993. doi: 10.1007/s00256-022-04050-4
22. Леонова О.Н., Байков Е.С., Крутько А.В. Особенности плотности костной ткани поясничных позвонков у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника. *Гений ортопедии*. 2022;28(5):692-697. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-692-697. EDN: EUHAVU.
23. Михайлов А.Н., Лукьяненко Т.Н. Минеральная плотность позвонков у больных с шейным остеохондрозом по данным количественной компьютерной томографии. *Международные обзоры: клиническая практика и здоровье*. 2014;(6):24-32.
24. Schröder G, Jabke B, Schulze M, et al. A comparison, using X-ray micro-computed tomography, of the architecture of cancellous bone from the cervical, thoracic and lumbar spine using 240 vertebral bodies from 10 body donors. *Anat Cell Biol*. 2021;54(1):25-34. doi: 10.5115/acb.20.269
25. Schröder G, Wendig D, Jabke B, et al. Comparison of the spongiosa morphology of the human cervical spine (CS), thoracic spine (TS) and lumbar spine (LS) of a 102-year-old body donor. *Osteology*. 2019;28(04):283-288. (In German) doi: 10.1055/a-0997-8059
26. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Кутиков С.А. Способ определения локальной плотности корковой пластинки длинных костей. Патент РФ на изобретение № 2539424. 20.01.15. Бюл. № 2. Доступно по: <https://www.fips.ru/registers-doc-view/fipsServlet>. Ссылка активна на 07.02.2024.
27. Wu X, Shi J, Wu J, et al. Pedicle screw loosening: the value of radiological imagings and the identification of risk factors assessed by extraction torque during screw removal surgery. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):6. doi: 10.1186/s13018-018-1046-0
28. Liang X, Liu Q, Xu J, et al. Hounsfield Unit for Assessing Bone Mineral Density Distribution Within Cervical Vertebrae and Its Correlation With the Intervertebral Disc Degeneration. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022;13:920167. doi: 10.3389/fendo.2022.920167

Статья поступила 29.01.2024; одобрена после рецензирования 02.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 02.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Альберт Акрамович Суфианов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, Sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7580-0385>;

Давид Нодарович Набиев — врач-нейрохирург высшей категории, заведующий отделением, davidnabiev82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5380-8367>;

Александр Владимирович Бурцев — доктор медицинских наук, директор, bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;

Ринат Альбертович Суфианов — ассистент кафедры, врач-нейрохирург, Rinat.sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4031-0540>;

Мария Темболатовна Карсанова — врач-нейрохирург, asya_mag_95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8919-1012>;

Владислав Владимирович Питеров — врач-нейрохирург, Piterovva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7024-0016>.

Information about the authors:

Albert A. Sufianov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, Sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7580-0385>;

David N. Nabiev — neurosurgeon, Head of the Department, davidnabiev82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5380-8367>;

Aleksandr V. Burtsev — Doctor of Medical Sciences, Director, bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;

Rinat A. Sufianov — assistant, neurosurgeon, Rinat.sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4031-0540>;

Maria T. Karsanova — neurosurgeon, asya_mag_95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8919-1012>;

Vladislav V. Piterov — neurosurgeon, Piterovva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7024-0016>.

Вклад авторов:

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).