

УДК 616.006.34:616-089+615.849.12+617.7

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.01

ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КТ-ПАРАМЕТРОВ КОСТНОГО МОЗГА В ПЛАНИРОВАНИИ РАДИОНУКЛИДНОЙ ТЕРАПИИ КОСТНЫХ МЕТАСТАЗОВ

Л. А. АВЕРЬЯНОВА^{1*}, Л. В. ТОВСТОКОРАЯ¹, О. Г. АВРУНИН¹, А. В. ГРУШКА²

¹ Кафедра БМИ, ХНУРЭ, Харьков, УКРАИНА

² Отделение ядерной медицины, ГУ «Институт медицинской радиологии им. С. П. Григорьева, НАМНУ, Харьков, УКРАИНА

*email: lilya.averyanova@nure.ua

АННОТАЦИЯ В работе рассматриваются вопросы количественного анализа состояния костного мозга в позвоночнике человека по результатам рентгеновской компьютерной томографии. Предлагается ряд КТ-параметров для получения количественной информации о состоянии трабекулярных костных структур, поврежденных метастазами. Эти результаты позволят получать необходимые данные для определения допустимой дозы нагрузки на костный мозг, а также обеспечат косвенную морфологическую интерпретацию КТ-параметров красного костного мозга.

Ключевые слова: рентгеновская компьютерная томография (КТ), костный мозг, костная метастатическая болезнь, внутритканевая радионуклидная терапия, планирование

POSSIBILITIES OF DETERMINATION OF BONE MARROW CT-PARAMETERS FOR BONE METASTASES RADIONUCLIDE THERAPY PLANNING

L. AVERYANOVA^{1*}, L. TOVSTOKORAYA^{1*}, O. AVRUNIN¹, A. GRUSHKA²

¹ BME, KhNURE, Kharkiv, UKRAINE

² State Institution «Grigoriev Institute for Medical Radiology of NAMS of Ukraine», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This work is devoted to task of quantitative analysis of the bone marrow status in the human spine using the results of X-ray computed tomography. The approaches to estimation CT parameters of bone structures for patients with bone metastases are proposed. Currently the task of choice of software tools for calculation of actual volume of red bone marrow before and during the interstitial radionuclide therapy is not considered fundamentally. The goal of this study is to analyze the methods for quantitative assessment of red bone marrow volume in the vertebrae based on the results of CT imaging for estimation degree of damage of bone marrow for correction required dose of the radiopharmaceutical in radionuclide therapy. This research deals with method that based on the analysis of Hounsfield units (HU) in lumbar vertebrae L1-L5 using CT-scans. The values of HU of each vertebra were determined by contouring the region of interest – trabecular filling of vertebral bodies. The calculation of HUmean, HUmin and HUmax in contoured region of interest were determined using graphical tool for ellipse contouring in DICOM-viewer eFilmLite. The Hounsfield units were compared for three CT-scans of one patient with bone metastatic disease during year. The values of mean, maximal and minimal HU for vertebral bodies indicate the presence of pathological non-uniformities: the centers of the destruction and multiple sclerosis confirmed by the medical conclusions based on CT-scans. Obtained results are correlated with the physiological interpretation of CT parameters. The increase of HUmax can be related to the metastatic disease progression. The next step will be devoted to choice of suitable tools for processing of different pathological zones inside every vertebral body because trivial averaging of HU hides real proportion between trabecular volume and volume of bone marrow in case of metastatic lesion. The more productive method is to use 3D reconstruction with volumetric segmentation of vital bone structures. This approach will allow in future obtaining the necessary data to determine actual bone marrow volume for calculation of individual admissible radiation dose for interstitial radionuclide therapy.

Keywords: X-ray computed tomography (CT), bone marrow, bone metastatic disease, interstitial radionuclide therapy, planning

Введение

Проблема лечения вторичных опухолевых очагов является одной из сложнейших проблем современной онкологии. Особо часто выявляется метастатическое поражение костей – наиболее явный признак прогрессирования онкологических заболеваний, причем около 60% случаев метастазирования приходится на позвоночник [1]. Зачастую метастатические повреждения приводят к патологическим переломам позвонков и компрессии спинного мозга, приводящих к интенсивной боли и обездвиживанию больных.

Для лечения больных с метастазами в кости применяются различные методы, одним из наиболее эффективных является внутритканевая радионуклидная терапия (РНТ) остеотропными радиофармпрепаратами (РФП) на основе β -излучающих изотопов. В мире успешно используется остеотропный РФП ¹⁵³Sm-оксабифор [2, 3]. Однако выбор дозировки этого радиоактивного препарата требует строгого обоснования, поскольку необходимо предотвратить дальнейшее повреждение костных структур и костного мозга [4]. Красный костный мозг (ККМ) является наиболее радиочувствительной структурой.

В связи с этим качество планирования РНТ напрямую зависит от предварительной комплексной оценки как структурных, так и функциональных параметров ККМ. Одним из важных путей неинвазивного исследования состояния костного мозга является анализ медицинских изображений различных модальностей – рентгеновской компьютерной томографии (КТ), радионуклидной визуализации (ОФЭКТ, ПЭТ), магниторезонансной томографии (МРТ) [5-8].

Актуальность

Анализ современной зарубежной литературы показал, что актуальной в настоящее время задачей в радиоонкологии является прогностическая дозиметрия красного костного мозга, позволяющая предсказать повреждающее действие РФП на кроветворную ткань ККМ (миелотоксичность). Сложность этого прогноза обусловлена дозиметрической неопределенностью, индивидуальной чувствительностью и биологическими эффектами предыдущего лечения [4]. Улучшение соотношения «доза-миелотоксичность» в паллиативной терапии костных метастазов с использованием РФП ^{153}Sm -оксабифор представляет сложность из-за ряда факторов, требующих индивидуального подхода к каждому пациенту. Необходимо в комплексе использовать различные методы анализа состояния костного мозга – как лабораторно-аналитические, так и визуализационные. Поскольку РНТ является методом системного действия, для определения дозы на ККМ необходимо оценить его объем во всем организме, исходя как из антропометрических данных, так и используя индивидуальные показатели, полученные при анатомической и функциональной визуализации. Однако, метастатические поражения из-за своего различного строения (остеолитические, остеобластические, смешанные) и случайного расположения в костных структурах усложняют анализ томографических изображений. Поэтому уточнение индивидуальных показателей состояния ККМ в процессе РНТ требует построения более сложных алгоритмов распознавания и количественной оценки состояния структур трабекулярной кости.

Анализ литературных данных и постановка задачи

Исследование КТ-параметров костного мозга, необходимых в процессе изучения состояния позвонков пациента во время костной метастатической болезни, проводится в разных направлениях [5, 7-9]. Сейчас эта задача относится не только к медицинской диагностике, но и к области биологического материаловедения.

Одним из перспективных методов изучения микроархитектуры образцов трабекулярной костной ткани является лабораторная микро-КТ (microCT) [10-12]. Воксельная разрешающая способность микроКТ-сканов достигает 10 мкм [12]. Метод микро-КТ

позволяет определить следующие параметры трабекулярной кости: объемная фракция (bone volume/total volume, BV/TV, %), толщина костной трабекулы (TbThmm), межтрабекулярный промежуток (TbSp, mm), который как раз и представляет интерес при определении объема ККМ.

Известно также успешное применение метода периферической количественной КТ (HR-pQCT) для клинической визуализации микроструктуры кости, при этом пространственное разрешение составляет 200-500 мкм [13]. Однако наиболее часто в клинической практике применяется мультidetекторная КТ (MDCT), которая, к сожалению, позволяет достичь разрешения на уровне 0,5-1 мм [5]. Однако такое разрешение не позволяет отождествить истинную морфологическую структуру трабекулярной кости с ее КТ-структурой, поскольку размеры костной трабекулы составляют 0,25-0,7 мм, расстояния между ними 0,1-1,0 мм.

Ранее уже были предложены КТ-параметры для количественной оценки состояния костных структур позвоночника [14], однако в основном известные подходы касались остеопоротических изменений в телах позвонков. Но при костной метастатической болезни нарушения костных структур иные и должны быть рассмотрены в неразрывной связи с течением этого патологического процесса. Кроме того, есть некоторые технические ограничения существующих программных средств анализа КТ-изображений и неопределенности при изучении трабекулярных костных структур позвоночника в связи с особенностями патологических изменений. Задача создания программных средств комплексной оценки состояния ККМ при проведении РНТ также основательно не рассматривалась.

Цель работы

Поиск методов количественной оценки состояния красного костного мозга в позвонках пациентов с костной метастатической болезнью по результатам их КТ-визуализации для оценки степени его поражения и уточнения необходимой дозы РФП ^{153}Sm -оксабифор в РНТ костных метастазов.

КТ-параметры костных структур в позвонках

Методы, используемые для оценки дозы от внешних источников (внешние по отношению к кости, не обязательно к телу), делятся на две основные категории: методы, которые относятся к кости или губчатому веществу в качестве однородной ткани и методы, которые наиболее точно определяют сложную гетерогенную смесь костных структур.

В соответствии с руководящими принципами Европейской ассоциации ядерной медицины (EANM) [4, 6], для улучшения соотношения «доза-миелотоксичность» можно оценить пациент-специфическую массу костного мозга (m_{BM1}) с

помощью линейного масштабирования эталонной массы костного мозга человека (m_{BM0})

$$m_{BM1} \approx m_{BM0} \cdot \frac{AP_1}{AP_0},$$

где AP_1 - значение антропометрического параметра для пациента;

AP_0 - значение антропометрического эталонного параметра (для мужчины или женщины). Однако в этом расчете нет привязки к другим индивидуальным показателям, нежели рост и вес, которые могут быть получены по результатам томографической визуализации.

На начальном этапе необходимо определить, какие из доступных для обнаружения по КТ-снимкам параметров будут необходимы в процессе лечения костной метастатической болезни. Анализировать КТ-параметры костного мозга предлагается по КТ-срезам в области поясничных позвонков L1-L5. Один из таких параметров – объем трабекулярного вещества (TV, trabecular volume) – определяется путем оконтуривания и расчета внутреннего объема трабекулярной ткани позвонка на каждом КТ-срезе, за исключением внешней кортикальной кости и межпозвоночных дисков. Известна также оценка среднего в объеме числа Хаунсфилда [15] (рис.1).

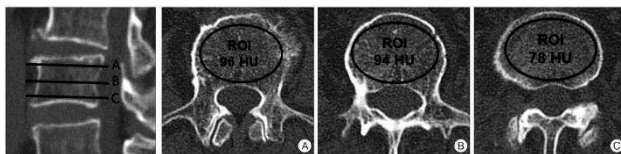


Рис. 1 – КТ-сканы позвонка L3 с определением области интереса и среднего числа Хаунсфилда [15]

Однако, только по данным КТ невозможно получить информацию о функциональном состоянии сохранившегося ККМ к моменту начала лечения. Для получения этой информации потребуются более углубленный анализ трабекулярной ткани тел позвонков по изображениям других модальностей.

Обсуждение результатов

Был проведен компьютерный анализ КТ-изображений тел поясничных позвонков L1-L5 у пациента с костной метастатической болезнью (рис.2). Данные КТ предоставлены в рамках выполнения совместного научного проекта НАМН Украины № ДР 0115U003003 «Вибір тактики лікування кісткових метастазів ¹⁵³Sm-оксабифором для зниження ризиків ускладнень». Для обработки изображений использован DICOM-вьювер eFilmLite.

С помощью графического инструмента Ellipse проводилось эллипсоидное оконтуривание внутреннего трабекулярного объема на срезах тел пяти поясничных позвонков L1-L5 (рис.1) и расчет значений чисел Хаунсфилда внутри оконтуренного

участка: среднего (HU mean), максимального (HU max) и минимального (HU min).

Результаты определения значений HU mean, максимального HU max и минимального HU min представлены на рис.3, где отражена динамика изменения этих КТ-параметров позвонков пациента по трем исследованиям с интервалом в полгода. Описание КТ позвонков:

1) В теле L1 определяются очаги деструкции и склероза, размерами до 17 мм. Определяется гемангиома до 16x37 мм.

2) В теле L1 определяются очаги деструкции и склероза, размерами до 35x29мм. Появились новые очаги склероза в телах позвонков до 13 мм в диаметре.

3) В теле L1 определяются очаги деструкции и склероза, размерами до 35x29мм. Сохраняются очаги склероза в телах позвонков. Сохраняется гемангиома 16x37.

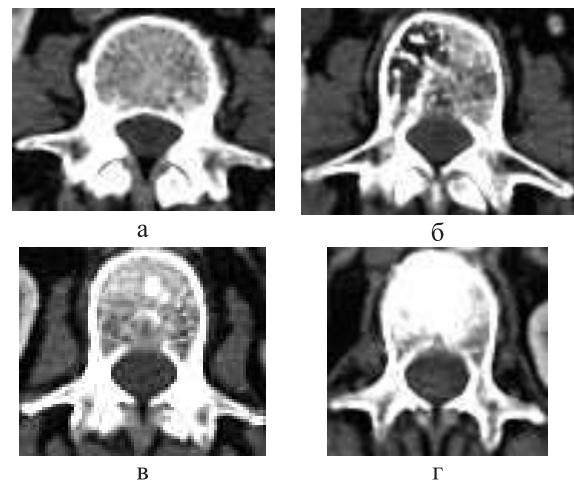


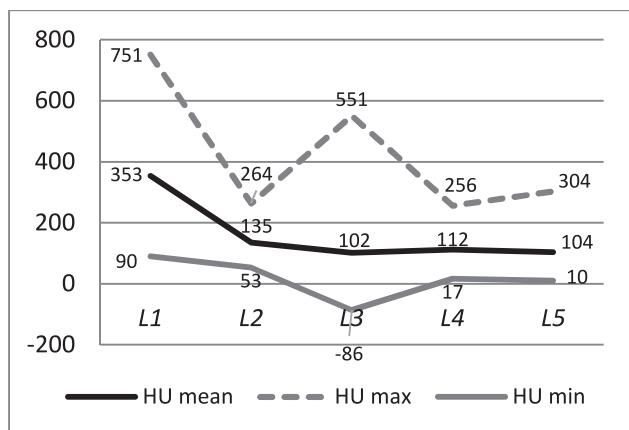
Рис. 2 – КТ-срезы поясничных позвонков L1-L4: а – L4, однородная трабекулярная структура; б – L3, гемангиома; в – L2, островки склероза; г – L1, склерозирование тела позвонка

На построенных диаграммах, приведенных на рис. 4, можно обнаружить изменения, которые происходили с костными структурами в течение года.

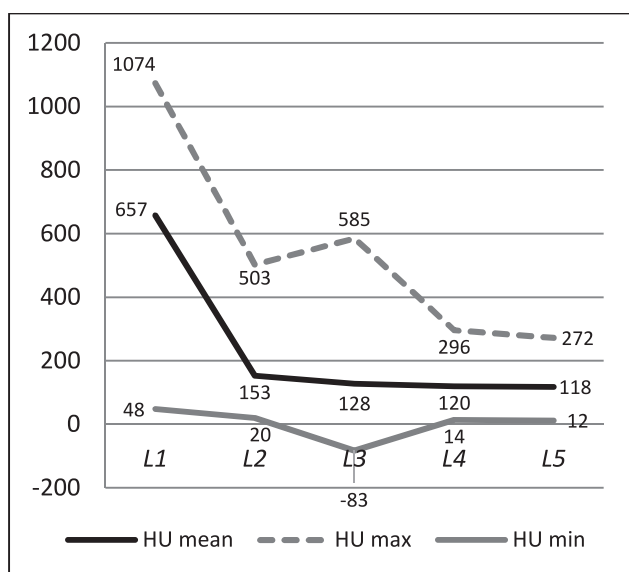
В теле L1 общее увеличение площади очага склероза (рис.2г) можно оценить по возрастанию значения HUmean от 353 до 748. Увеличение значений HUmax от 751 до 1119 говорит о существенном уплотнении очага склероза.

В теле L2 отмечается постепенное уплотнение трабекулярного рисунка (HUmax от 264 до 707), в том числе из-за появления костных островков – очагов склероза (рис. 2в).

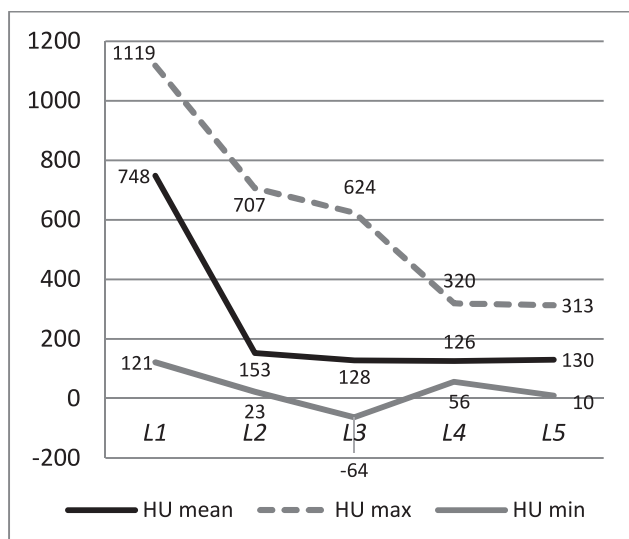
В теле L3 минимальное значение числа Хаунсфилда – отрицательное (HUmin от -86 до -64), что указывает на наличие жировой ткани. В то же время завышенное значение HUmax (от 551 до 624)



a



б



в

Рис. 3 – Распределение чисел Хаунсфилда HU в выделенных областях тел позвонков L1-L5: а – при первом КТ-сканировании; б – через полгода; в – через год

указывает на наличие плотных костных включений (рис. 2б). Наличие в теле позвонка мягкотканного новообразования (гемангиомы) снижает общее среднее значение HUmean до 102÷128, что ошибочно может считаться возрастной нормой, если упустить особенности поврежденной структуры этого позвонка.

В теле L4 и L5 существенных структурных изменений не наблюдается, плавное возрастание значений HUmax и HUmean может быть связано с уплотнением трабекул. В то же время HUmin не изменяется, т.е. вероятно, что ККМ находится в норме.

Приведенный анализ КТ-параметров HUmean, HUmax и HUmin показывает, что каждый из них характеризует определенные структурные особенности, а в комплексе они подтверждают врачебное описание состояния тел позвонков и даже дополняют его новыми упущенными деталями.

Из данного примера видно, что применение простого вычисления значений HU в выделенной области недостаточно. Обязательно нужно определить пропорции размеров тел позвонков, ибо наличие компрессионных микропереломов может «сжать» позвонок, но при этом значение HUmean изменится незначительно, а это в нашем измерении может быть ошибочно принято за норму.

Для полного понимания степени нарушений в телах поясничных позвонков пациента нужно сравнить средние показатели HUmean с нормой в соответствии с возрастом. На рис. 4 приведена диаграмма, построенная на основе данных, полученных при компьютерном анализе тел поясничных позвонков L1-L4 у пациентов разных возрастных групп [15], куда для сравнения добавлена линия HUmean с рис. 3а (результат первого КТ-обследования пациента).

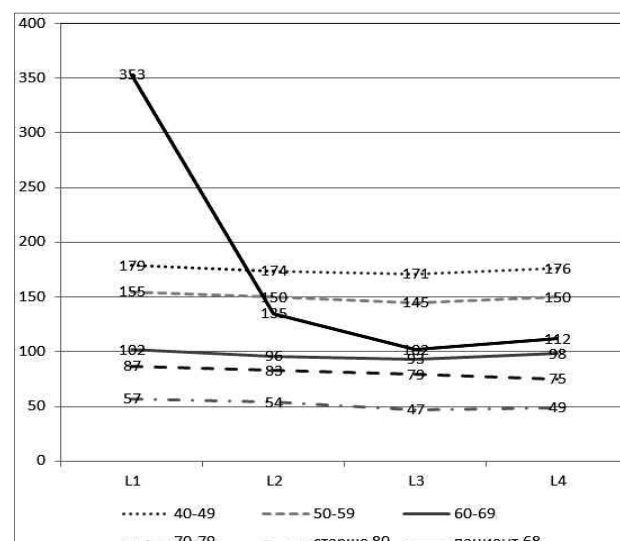


Рис. 4 – Средние значения HUmean в норме для L1-L4 в разных возрастных группах в сравнении с данными пациента (см. рис.3а)

Видно также, что значения HUmean для L3 и L4 близки к возрастной норме в интервале 60–69 лет. Значения для L2 и особенно для L1 при первом же обследовании демонстрируют резкое отклонение от возрастной нормы.

Выводы

Проведенный анализ существующих возможностей раздельного определения объема ККМ по результатам КТ-сканирования показывает, что ограниченная разрешающая способность обычного КТ-изображения не позволяет сегментировать трабекулярную костную ткань и ее заполнение. Косвенная оценка объема ККМ в случае костной метастатической болезни должна производиться с учетом поврежденных объемов кости. Также следует соотносить КТ-параметры позвонков с метастатическими поражениями с такими же параметрами для здоровых людей того же возраста. Показано, что даже использование стандартных инструментов анализа КТ-срезов позволяет получить количественные данные об изменениях в поврежденных телах позвонков, в том числе в динамике. Для расчета общего объема ККМ при планировании радионуклидной терапии необходимо создать специализированное программное средство, в котором на основе 3D визуализации костей с метастазами будут сегментированы и вычислены объемы неповрежденных структур с сохранным ККМ.

Список литературы

- 1 **Kakhki, V. R.** Pattern and distribution of bone metastases in common malignant tumors / **V. R. Kakhki** et al. // *Nucl. Med. Rev. Cent. East Eur.* – 2013. – 16(2). – P. 66-9. – doi: 10.5603/NMR.2013.0037.
- 2 **Carlo L. Maini** ¹⁵³Sm-EDTMP for bone pain palliation in skeletal metastases / **Carlo L. Maini** et al. // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2004. – 31 (1). – P. 171-178. – doi: 10.1007/s00259-004-1540-y.
- 3 **Bauman, G.** Radiopharmaceuticals for the palliation of painful bone metastasis - a systemic review / **G. Bauman** et al. // *Radiother Oncol.* – 2005. – 75(3). – P. 258-70.
- 4 **Hindorf, C.** EANM Dosimetry Committee guidelines for bone marrow and whole-body dosimetry / **C. Hindorf** et al. // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2010. – 37(6). – P. 1238-50. – doi: 10.1007/s00259-010-1422-4.
- 5 **Henes, Frank Oliver** Detection of occult vertebral fractures by quantitative assessment of bone marrow attenuation values at MDCT / **Henes, Frank Oliver** et al. // *European Journal of Radiology.* – 2013. – Vol. 83, Is. 1. – P. 167-172. – doi: 10.1016/j.ejrad.2013.09.015.
- 6 **Massimiliano Pacilio** Improving the dose–myelotoxicity correlation in radiometabolic therapy of bone metastases with ¹⁵³Sm-EDTMP / **Massimiliano Pacilio** et al. // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* – 2014. – 41. – P. 238-252. – doi: 10.1007/s00259-013-2552-2.
- 7 **Nishida, Y.** Clinical and prognostic significance of bone marrow abnormalities in the appendicular skeleton detected by low-dose whole-body multidetector computed tomography in patients with multiple myeloma / **Y. Nishida,**

- Y. Matsue, Y. Suehara,** et al. // *Blood Cancer Journal.* 2015. – 5(7). – 329 p. – doi:10.1038/bcj.2015.57.
- 8 **Scutellari, P. N.** Metastatic bone disease. Strategies for imaging / **P. N. Scutellari, G. Antinolfi, R. Galeotti, M. Giganti** // *Minerva Med.* – 2003. – 94(2). – P. 77-90.
- 9 **Krishnakumar Ramachandran** Comparison of Tc-99m MDP and Sm-153 EDTMP bone scan / **Krishnakumar Ramachandran** et al. // *Indian J. Nucl. Med.* – 2011. – 26(3). – P. 163-164. – doi: 10.4103/0972-3919.104005.
- 10 **Yuchin Wu** Using micro-CT derived bone microarchitecture to analyze bone stiffness – a case study on osteoporosis rat bone / **Yuchin Wu** et al. // *Front. Endocrinol.* – 2015. – doi: 10.3389/fendo.2015.00080.
- 11 **Hsu, J-T.** A Comparison of Micro-CT and Dental CT in Assessing Cortical Bone Morphology and Trabecular Bone Microarchitecture / **Hsu, J-T.** et al. // *PLoS ONE.* – 2014. – 9(9). – e107545. – doi:10.1371/journal.pone.0107545.
- 12 **Ian H. Parkinson** Characterisation of Trabecular Bone Structure / **Ian H. Parkinson, Nicola L. Fazzalari** // *Stud. Mechanobiol Tissue Eng. Biomater.* – 2013. – 5. – P. 31-51. – doi: 10.1007/8415_2011_113.
- 13 **Kyle K. Nishiyama** Clinical Imaging of Bone Microarchitecture with HR-pQCT / **Kyle K. Nishiyama, E. Shane** // *Curr Osteoporos Rep.* – 2013. – 11(2). – 147-155. – doi: 10.1007/s11914-013-0142-7.
- 14 **Аверьянова, Л. А.** Оценка КТ-параметров костной ткани в планировании внутритканевой радионуклидной терапии / **Л. А. Аверьянова** [и др.] // *Вестник НТУ "ХПИ", Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2015. – № 39 (1148). – С. 68-72.
- 15 **Sungjoon Lee** Correlation between Bone Mineral Density Measured by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Hounsfield Units Measured by Diagnostic CT in Lumbar Spine / **Sungjoon Lee** et al. // *J. Korean Neurosurg Soc.* – 2013. – 54(5). – P. 384-389. – doi: 10.3340/jkns.2013.54.5.384.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kakhki, V. R.** et al. Pattern and distribution of bone metastases in common malignant tumors. *Nucl Med Rev Cent East Eur.* 2013, 16(2), 66-9, doi: 10.5603/NMR.2013.0037.
- 2 **Carlo L. Maini** et al. ¹⁵³Sm-EDTMP for bone pain palliation in skeletal metastases. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2004, 31(1), 171-178, doi: 10.1007/s00259-004-1540-y.
- 3 **Bauman Get** et al. Radiopharmaceuticals for the palliation of painful bone metastasis - a systemic review. *Radiother Oncol.* 2005, 75(3), 258-70.
- 4 **Hindorf, C.** et al. EANM Dosimetry Committee guidelines for bone marrow and whole-body dosimetry. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2010, 37(6), 1238-50, doi: 10.1007/s00259-010-1422-4.
- 5 **Henes, Frank Oliver** et al. Detection of occult vertebral fractures by quantitative assessment of bone marrow attenuation values at MDCT. *European Journal of Radiology,* 2013, 83(1), 167-172, doi: 10.1016/j.ejrad.2013.09.015.
- 6 **Massimiliano Pacilio** et al. Improving the dose–myelotoxicity correlation in radiometabolic therapy of bone metastases with ¹⁵³Sm-EDTMP. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014, 41, 238-252, doi: 10.1007/s00259-013-2552-2.
- 7 **Nishida, Y., Matsue, Y., Suehara, Y.** et al. Clinical and prognostic significance of bone marrow abnormalities in the appendicular skeleton detected by low-dose whole-body multidetector computed tomography in patients with multiple

- myeloma. *Blood Cancer Journal*. 2015, **5**(7), e329, doi:10.1038/bcj.2015.57.
- 8 **Scutellari, P. N., Antinolfi, G., Galeotti, R., Giganti, M.** Metastatic bone disease. Strategies for imaging. *Minerva Med.* 2003, **94**(2), 77-90.
- 9 **Krishnakumar Ramachandran et al.** Comparison of Tc-99m MDP and Sm-153 EDTMP bone scan. *Indian J Nucl Med.* 2011, **26**(3), 163-164, doi: 10.4103/0972-3919.104005
- 10 **Yuchin Wu, Samer Adeeb, Michael R. Doschak.** Using micro-CT derived bone microarchitecture to analyze bone stiffness – a case study on osteoporosis rat bone. *Front. Endocrinol.* 2015, doi: 10.3389/fendo.2015.00080.
- 11 **Hsu J-T, Chen Y-J, Ho J-T, Huang H-L, Wang S-P, Cheng F-C, et al.** A Comparison of Micro-CT and Dental CT in Assessing Cortical Bone Morphology and Trabecular Bone Microarchitecture. *PLoS ONE*. 2014, **9**(9), e107545, doi:10.1371/journal.pone.0107545.
- 12 **Ian H. Parkinson, Nicola L. Fazzalari** Characterisation of Trabecular Bone Structure. *Stud Mechanobiol Tissue Eng Biomater.* 2013, **5**, 31-51, doi: 10.1007/8415_2011_113.
- 13 **Kyle K. Nishiyama, Elizabeth Shane.** Clinical Imaging of Bone Microarchitecture with HR-pQCT *Curr Osteoporos Rep.* 2013, **11**(2), 147-155, doi: 10.1007/s11914-013-0142-7
- 14 **Averyanova, L.** et al. Estimation of bone tissue CT-parameters for interstitial radionuclide therapy planning. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **39** (1148), 68-72.
- 15 **Sungjoon Lee, Chun Kee Chung, So Hee Oh, Sung Bae Park** Correlation between Bone Mineral Density Measured by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry and Hounsfield Units Measured by Diagnostic CT in Lumbar Spine. *J Korean Neurosurg Soc.* 2013, **54**(5), 384-389, doi: 10.3340/jkns.2013.54.5.384

Сведения об авторах (About authors)

Аверьянова Лилия Александровна – к.т.н., доц., кафедра Биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина; e-mail: lilya.averyanova@nure.ua.

Averyanova Lilya – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; lilya.averyanova@nure.ua.

Товстокорая Лолита Владиславовна – студент, кафедра Биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина; e-mail: lolita.tovstokoraya@yandex.ru.

Tovstokoraya Lolita – student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: lolita.tovstokoraya@yandex.ru.

Аврунин Олег Григорьевич – д.т.н., проф., кафедра Биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков; e-mail: gavrun@list.ru.

Avrunin Oleg – Doctor of Science (Dr. Sc.), Professor, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: gavrun@list.ru.

Грушка Анна Васильевна – к.м.н., с.н.с, Государственное учреждение «Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева НАМН Украины», Харьков, Украина; e-mail: grushka.ganna@ukr.net.

Grushka Anna – Candidate of Medical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, State Institution «Grigoriev Institute for Medical Radiology of NAMS of Ukraine», Kharkiv, Ukraine; e-mail: grushka.ganna@ukr.net.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Аверьянова Л.А. Возможности определения КТ-параметров костного мозга в планировании радионуклидной терапии костных метастазов / **Л.А. Аверьянова, Л.В. Товстокорая, О. Г. Аврунин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.01.

Please cite this article as:

Averyanova, L., Tovstokora, L., Avrunin, O., Grushka, G. Possibilities of determination of bone marrow CT-parameters for bone metastases radionuclide therapy planning. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 5-10, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.01.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Авер'янова, Л. А. Можливості визначення КТ-параметрів кісткового мозку в плануванні радіонуклідної терапії кісткових метастазів / **Л. А. Авер'янова, Л. В. Товстокора, О. Г. Аврунін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.01.

АНОТАЦІЯ У роботі розглядаються питання кількісного аналізу стану кісткового мозку в хребті людини з використанням результатів рентгенівської комп'ютерної томографії. Пропонується ряд КТ-параметрів для отримання кількісної інформації про стан трабекулярних кісткових структур, ушкоджених метастазами. Ці результати дозволять отримувати необхідні дані для визначення припустимого дозного навантаження на кістковий мозок, а також забезпечать непряму морфологічну інтерпретацію КТ-параметрів червоного кісткового мозку.

Ключові слова: рентгенівська комп'ютерна томографія (КТ), кістковий мозок, метастатична хвороба кісток, внутрішньотканнна радіонуклідна терапія, планування

Поступила (received) 01.07.2016