



Качество костной ткани по данным количественной рентгеновской компьютерной томографии при различной величине минеральной плотности кости

Волков А.А. *, Белосельский Н.Н., Прибытков Ю.Н., Прибытков А.Ю.

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ярославль, Россия

Quality of bone tissue for quantitative X-ray computer tomography with a different value of bone mineral density

Volkov A.A. *, Beloselsky N.N., Pribytkov Yu.N., Pribytkov A.Yu.

Yaroslavl state medical university of the ministry of health of the Russian Federation, Yaroslavl', Russia

Цель исследования: изучить некоторые качественные особенности костной ткани тел поясничных позвонков у женщин при различной величине минеральной плотности кости по данным количественной рентгеновской компьютерной томографии.

Материал и методы. Результаты количественной компьютерной томографии поясничных позвонков 127 женщин различного возраста, находившихся в кардиологическом отделении Ярославской областной клинической больницы по поводу гипертонической болезни II стадии без кризового течения, разделенных на 5 групп в зависимости от величины средней минеральной плотности губчатой костной ткани.

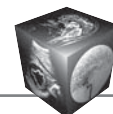
Результаты. Определено уменьшение минеральной плотности губчатой костной ткани на 22–26% с каждой последующей группой наблюдаемых до среднего значения минеральной плотности 50–74 мг/мм³, в группе с величиной средней минеральной плотности менее 50 мг/мм³ объем снижения этого показателя составил 38% от предыдущего значения. В целом снижение минеральной плотности губчатой костной ткани в наблюдаемых группах составило 72%, кортикальной – 42%. Разница плотности губчатой кости в зоне измерения (плотностной интервал) между наиболее минерализованными элементами, такими как костные балки, и наименее минерализованными, такими как костный матрикс и межтрабекулярное пространство, сократилась до уровня средней минеральной плотности трабекулярной кости 100–124 мг/мм³, далее в наблюдаемых группах оставалась практически неизменной. Плотность

наименее минерализованных компонентов губчатой костной ткани в зоне измерения в группе среднего значения плотности менее 50 мг/мм³ была близка к нулю.

Выводы. Степень снижения минеральной плотности губчатой кости при развитии остеопении и остеопороза значительно выше, чем у кортикальной костной ткани. Снижение костной массы губчатой кости сопровождается сужением плотностного интервала с выраженным уменьшением минимальной плотности в зоне измерения. Аналогичных изменений кортикальной костной ткани не отмечается. Уменьшение минеральной плотности губчатой кости по мере развития остеопороза происходит достаточно равномерно с усилением его при костной массе менее 50 мг/мм³. Уменьшение минеральной плотности кортикальной кости происходит менее равномерно с усилением ее снижения на этапе остеопении (Т-критерий от –1,0 до –2,5) и при наиболее выраженных проявлениях остеопороза при костной массе менее 50 мг/мм³.

Ключевые слова: количественная компьютерная томография, качество костной ткани, минеральная плотность костной ткани, остеопороз, остеопения.

Ссылка для цитирования: Волков А.А., Белосельский Н.Н., Прибытков Ю.Н., Прибытков А.Ю. Качество костной ткани по данным количественной рентгеновской компьютерной томографии при различной величине минеральной плотности кости. *Медицинская визуализация*. 2019; 23 (1): 106–111. DOI: 10.24835/1607-0763-2019-1-106-111.



Objective. To study some of the qualitative features of the bone tissue of the bodies of the lumbar vertebrae in women with different bone mineral density values according to quantitative x-ray computed tomography.

Materials and methods. Results of quantitative computed tomography of the lumbar vertebrae of 127 women of different ages who were in the cardiology department of the Yaroslavl Regional Clinical Hospital for hypertronic disease of the II st. without a crisis flow, divided into five groups depending on the average mineral density of the spongy bone tissue.

Results and discussion. A decrease in the mineral density of cancellous bone tissue was determined by 22–26% with each subsequent group observed to an average mineral density of 50–74 mg/mm³; in a group with an average mineral density of less than 50 mg/mm³, the reduction in this index was 38% values. In general, the decrease in the mineral density of spongy bone tissue in the observed groups was 72%, cortical 42%. The difference in density of the spongy bone in the measurement zone (density interval) between the most mineralized elements such as bone beams and the least mineralized such as bone matrix and intertrabecular space, was reduced to the level of the average mineral density of the trabecular bone 100–124 mg/mm³, then in the observed groups remained almost unchanged. The density of the least mineralized components of cancellous bone tissue in the measurement zone in the group of an average density value of less than 50 mg/mm³ was close to zero.

Conclusions. The degree of decrease in the mineral density of the spongy bone with the development of osteopenia and osteoporosis is much higher than in cortical bone tissue. Reduction of the bone mass of the spongy bone is accompanied by a narrowing of the density interval with a pronounced decrease in the minimum density in the measurement zone. Similar changes in cortical bone tissue are not observed. Reduction of the mineral density of the spongy bone as osteoporosis develops fairly uniformly with an increase in bone mass of less than 50 mg/mm³.

Reduction of the mineral density of the cortical bone occurs less evenly with an increase in its decrease in the stage of osteopenia (T-test – from –1,0 to –2,5) and with the most pronounced manifestations of osteoporosis, with bone mass less than 50 mg/mm³.

Key words: quantitative computed tomography, quality of bone tissue, bone mineral density, osteoporosis, osteopenia.

Recommended citation: Volkov A.A., Beloselsky N.N., Pribytkov Yu.N., Pribytkov A.Yu. Quality of bone tissue for quantitative x-ray computer tomography with a different value of bone mineral density. *Medical Visualization*. 2019; 23 (1): 106–111.

DOI: 10.24835/1607-0763-2019-1-106-111.

Введение

Качество костной ткани – понятие, включающее в себя способность кости противостоять повреждениям, определяется совокупностью нескольких ее характеристик. К ним относят минеральную плотность кости, состояние микроархитектоники, качество коллагена, скорость метаболизма, прочность костной ткани и ряд других параметров, ис-

следуемых в настоящее время с помощью сложных лабораторных и инструментальных методов, не имеющих широкого практического клинического применения [1–3]. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, чаще всего применяемая сегодня в клинике, имеет ряд особенностей, не позволяющих оценить качественное состояние кости. Так, в частности, этот метод не дает возможность отдельно определить минеральную плотность кортикальной и губчатой кости, оценить различие плотности минерализованной кости и остеοидной ткани, что, безусловно, имело бы большое клиническое значение как при выявлении остеопороза в целом, так и при дифференциальной диагностике различных его разновидностей [4, 5].

Количественная рентгеновская компьютерная томография (КРКТ), доступная сегодня во многих лечебно-профилактических учреждениях, при наличии соответствующего программного обеспечения дает возможность не только отдельно анализировать минеральную плотность губчатой и кортикальной костной ткани аксиальной части скелета, но и косвенно судить о иных показателях качества кости, включая и некоторые аспекты состояния ее ремоделирования. В целом все это имеет большую практическую значимость и соответствующий научный интерес.

Цель исследования

Изучить некоторые качественные особенности костной ткани тел поясничных позвонков у женщин при различной величине минеральной плотности кости по данным КРКТ.

Материал и методы

Для решения поставленных задач были изучены результаты КРКТ 127 женщин различного возраста, обследованных с соблюдением соответствующих этических норм на базе Ярославской областной клинической больницы по поводу заболеваний, не связанных со снижением минеральной плотности кости. Средний возраст обследованных составил $62,8 \pm 2,34$ года.

КРКТ выполнялась на компьютерном томографе Somatom фирмы Siemens. В ходе диагностической процедуры пациентку укладывали поверх калиброванного фантома и выполняли томографию вместе с ним. По топограмме гентри располагалось параллельно замыкательным площадкам тел, срезы толщиной 10 мм проводились через срединные отделы II, III, IV поясничных позвонков. Данные о плотности костной ткани в мг/м³ формировались с помощью соответствующего программного обеспечения томографа.



Анализировались следующие количественные и качественные показатели состояния костной ткани:

Первая группа – средние данные о состоянии кости.

1. Средняя минеральная плотность губчатой ткани тел трех поясничных позвонков в $\text{мг}/\text{мм}^3$ (СПГ).

2. Среднее отклонение плотности губчатой ткани тел позвонков (СОПГ) в $\text{мг}/\text{мм}^3$. Показатель вычисляется “вручную” путем определения разницы между средним, максимальным и минимальным значением костной массы в зоне измерения.

По мнению авторов, по СОПГ можно косвенно судить об объемном соотношении максимально и минимально минерализованных компонентов костной ткани в зоне измерения.

Считаем необходимым предоставить отдельно от СПГ и СОПГ следующие показатели: СПГ_{max} (в $\text{мг}/\text{мм}^3$) – максимальная величина и СПГ_{min} (в $\text{мг}/\text{мм}^3$) – минимальная величина.

Вторая группа: аналогичные показатели выделены и для кортикальной костной ткани.

3. Средняя минеральная плотность кортикальной ткани (СПК) тел трех поясничных позвонков в $\text{мг}/\text{мм}^3$.

4. Среднее отклонение плотности кортикальной костной ткани (СОПК) в $\text{мг}/\text{мм}^3$ и СПК_{max} и СПК_{min} .

Третья группа показателей имеет сравнительный характер за счет сопоставления приведенных выше параметров.

5. Среднее кортикально-губчатое различие (СКГР) в $\text{мг}/\text{мм}^3$. Дает представление о различии костной массы кортикальной и губчатой кости в телах позвонков. Известно, что потеря костной массы губчатой костью обычно возникает раньше и выражена больше, чем кортикальной, по мнению авторов, СКГР (разница между СПГ и СПК) характеризует особенности уменьшения плотности костной ткани при развитии первичного и некоторых формах вторичного остеопороза.

6. Средний кортикально-губчатый индекс (СКГИ) – отношение СПГ и СПК – показатель более приемлем для сравнительного анализа, чем предыдущий. Вычисляется в среднем и для каждого из трех позвонков в отдельности.

7. ПИК и ПИГ – плотностный интервал между средней максимальной и средней минимальной плотностью кортикальной и губчатой кости в зоне измерения соответственно.

Четвертая группа параметров имеет интегральное значение за счет сопоставления выявленной костной массы со средней ее величиной, соответствующей норме.

8. Т-критерий (Т) – характеризует состояние минеральной плотности кости по отношению к известной максимальной минеральной плотности с учетом пола. Измеряется в стандартных отклонениях (SD).

9. Z-критерий (Z) характеризует состояние минеральной плотности кости по отношению к нормальной минеральной плотности с учетом возраста и пола. Измеряется в стандартных отклонениях (SD).

Интегральные показатели были получены для каждого из трех тел позвонков в отдельности.

Все пациентки на основе величины минеральной плотности кости были разделены на 5 подгрупп – от максимальной величины костной массы $125 \text{ мг}/\text{мм}^3$ и более (23 пациентки) до минимальной, менее $50 \text{ мг}/\text{мм}^3$ (14 больных). Численный состав подгруппы при минимальной костной массе был недостаточен для полноценной статистической характеристики. Этот факт учитывался при общей оценке анализируемых данных.

Отметим, что средняя величина минеральной плотности в зоне измерения оценивается по наиболее часто встречаемой в изображении интенсивности пикселя, калиброванной по фантому с известной плотностью в $\text{мг}/\text{мм}^3$. Однако в зоне измерения несколько менее часто встречались пиксели с большей и меньшей интенсивностью. Диапазон между средним и минимальным, средним и максимальным значениями интенсивности у производителя данного томографа именуется стандартным отклонением пикселей. Фактически это означает, что количественная компьютерная томография, помимо определения среднего значения костной массы, оценивает плотность как минимально, так и максимально минерализованных компонентов костной ткани в зоне измерения. С определенной долей условности к первым можно отнести “костный матрикс”, межтрабекулярное пространство, а ко вторым – непосредственно минерализованные элементы, то есть костные балки и пластины.

Результаты и их обсуждение

В таблице приведены средние результаты количественной компьютерной томографии исследуемых пациенток.

Как видно из приведенных данных, снижение средней плотности губчатой кости от ее среднего значения в группе $125 \text{ мг}/\text{мм}^3$ и более в целом составило 72%, а кортикальной костной ткани – только 42%. При этом определяется, что уменьшение минеральной плотности трабекулярной кости по мере ее снижения от максимальной величины



Таблица. Качественные абсорбциометрические показатели состояния костной ткани в зависимости от величины минеральной плотности кости – МПК ($M \pm m$), %

Table. Qualitative absorptiometric indicators of bone tissue condition depending on the bone mineral density

| Показатель | МПК, мг/мм ³ | | | | |
|---|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | ±125 | 100–124 | 75–99 | 50–74 | –50 |
| n | 23 | 23 | 40 | 27 | 14 |
| Средний возраст, годы | 53,4 ± 2,26 | 60,7 ± 2,44 | 62,7 ± 2,32 | 67,6 ± 2,38 | 69,5 ± 2,68 |
| СПГ, мг/мм ³ | 148,4 ± 2,1 | 109,7 ± 2,2* | 85,7 ± 1,22* | 66,6 ± 21* | 41,5 ± 3,0 |
| | | –26%* | –22%* | –22%* | –38%* |
| СПГ _{max} , мг/мм ³ | 204,2 ± 3,1 | 166,9 ± 1,3* | 126,5 ± 1,3* | 104,0 ± 1,6* | 77,8 ± 2,5* |
| | | –18%* | –24,5%* | –17,5%* | –25%* |
| СПГ _{min} , мг/мм ³ | 92,6 ± 2,28 | 53,9 ± 1,9* | 44,9 ± 1,7 | 27,3 ± 1,9* | 5,2 ± 2,7* |
| | | –42% | –2% | –40% | –81,5% |
| ПИГ, мг/мм ³ | 111,6 ± 2,9 | 113,0 ± 1,6 | 81,6 ± 1,5 | 76,7 ± 1,8 | 72,6 ± 2,6 |
| | | +1,2% | –38,5% | –6,4% | –5,6% |
| СПК, мг/мм ³ | 351,5 ± 3,1 | 274,2 ± 3,2* | 252,1 ± 3,3* | 242,5 ± 3,2 | 203,1 ± 4,4* |
| | | –22%* | –8% | –4% | –16% |
| СПК _{max} , мг/мм ³ | 466,7 ± 3,2 | 389,3 ± 3,48* | 361,7 ± 3,5 | 346,7 ± 3,3 | 305,4 ± 5,6* |
| | | –17%* | –7% | –5% | –12%* |
| СПК _{min} , мг/мм ³ | 236,3 ± 2,3 | 158,9 ± 2,26* | 142,5 ± 3,3* | 138,3 ± 3,5 | 100,8 ± 5,2* |
| | | –33%* | –11%* | –3% | –27,5%* |
| ПИК, мг/мм ³ | 230,4 ± 2,8 | 230,4 ± 2,66 | 219,2 ± 3,38 | 208,4 ± 3,38 | 204,6 ± 5,5 |
| | | 0 | –5,1% | –5,2% | –1,9% |
| СКГИ | 2,27 ± 0,12 | 2,49 ± 0,14 | 2,84 ± 0,18 | 3,90 ± 0,18* | 5,59 ± 0,22* |
| | | +10% | +14% | +37% | +70% |
| T-индекс | –0,28 ± 0,06 | 1,31 ± 0,06 | –2,55 ± 0,1 | –3,10 ± 0,2 | –4,42 ± 0,5 |
| Z-индекс | +1,22 ± 0,1 | +0,57 ± 0,1 | –0,63 ± 0,1 | –1,14 ± 0,1 | –1,75 ± 0,5 |

* $p < 0,05$. M – выборочное среднее, m – ошибка среднего, p – уровень значимости, n – число наблюдений.

до 50 мг/мм³ происходило достаточно равномерно, в среднем на 22–26% от предыдущей группы. Вместе с тем при минимальной величине костной массы – менее 50 мг/мм³ – по сравнению с предшествующей группой отмечено значительно более выраженное снижение – на 38%. Определяется также, что плотностный интервал губчатой кости (ПИГ) – различие СПГ_{max} и СПГ_{min} достоверно сокращался при снижении костной массы до уровня 100 мг/мм³, оставаясь в дальнейшем практически неизменным (рис. 1).

В целом, по нашему мнению, это является признаком усиления явлений остеомалации в составе губчатой костной ткани при таком уровне снижения костной массы. Величина минимальной средней плотности губчатой ткани (СПГ_{min}) при костной массе менее 50 мг/мм³ была близка к нулю, что может свидетельствовать о значительном торможении процесса ремоделирования костной ткани.

Уменьшение минеральной плотности кортикальной кости было менее выраженным, происходило более равномерно, было наиболее ярко представлено при снижении костной массы от максимальной величины до уровня 100 мг/мм³

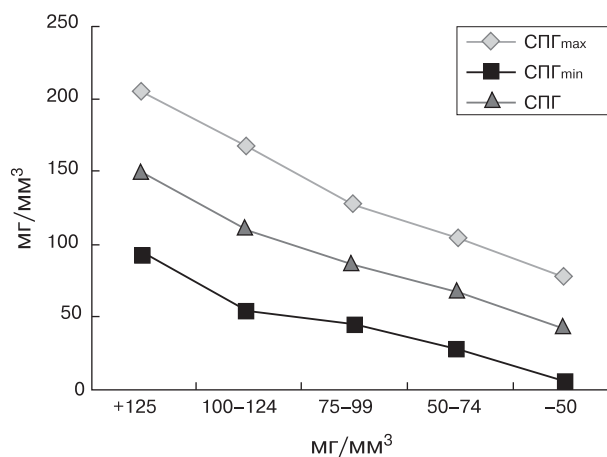


Рис. 1. Изменение плотностного интервала губчатой (СПГ_{max} и СПГ_{min}) кости при снижении минеральной плотности костной ткани (мг/мм³).

Fig. 1. Changes in the density interval of spongy bone (ADS_{max} and ADS_{min}) with a decrease in bone mineral density (mg/mm³). * average density of spongy bone.

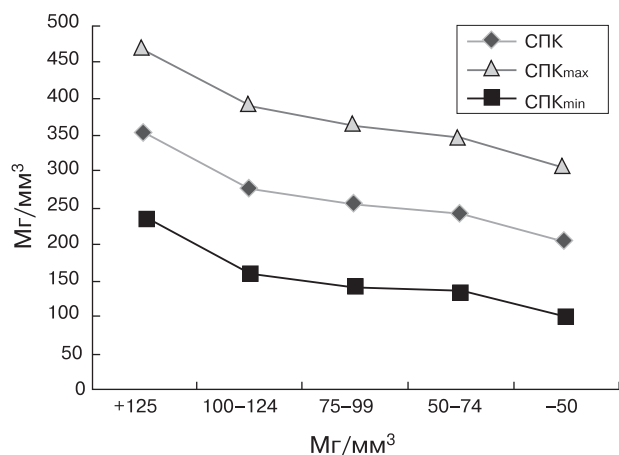


Рис. 2. Изменение плотностного интервала кортикальной ткани (СПК_{max} и СПК_{min}) кости при снижении минеральной плотности костной ткани (мг/мм³)

Fig. 2. Changes in the density interval of cortical bone (ADC*_{max} and ADC*_{min}) with a decrease in bone mineral density (mg/mm³). * average density of cortical bone.

и сопровождалось минимальным сужением плотностного интервала (различие средней максимальной и средней минимальной плотности в зоне измерения) (рис. 2).

Все это, по нашему мнению, свидетельствует о существенных различиях в развитии и проявлениях остеопении и остеопороза в кортикальной и губчатой костной ткани тел позвонков.

Обобщая полученные данные в целом, можно сделать ряд выводов о значительном отличии абсорбциометрического состояния губчатой и кортикальной костной ткани при различной величине минеральной плотности кости.

Выводы

1. Степень снижения массы губчатой кости при Т-критерии $> -2,5$ SD и Т-критерии $\leq -2,5$ SD значительно выше, чем у кортикальной костной ткани.

2. Снижение костной массы губчатой кости сопровождается усилением явлений остеомалации, проявляющимся в виде сужения плотностного интервала с выраженным уменьшением минимальной плотности в зоне измерения, что может объясняться как истончением трабекул, уменьшением количества переплетений между поперечно и продольно ориентированными трабекулами, так и нарушением процесса ремоделирования кости в виде снижения степени накопления солей кальция и фосфора. Аналогичных изменений кортикальной костной ткани не отмечается.

3. Уменьшение минеральной плотности губчатой кости по мере развития остеопороза происхо-

дит достаточно равномерно с усилением его при костной массе менее 50 мг/мм³.

4. Уменьшение минеральной плотности кортикальной кости происходит менее равномерно с усилением ее снижения на этапе остеопении (Т-критерий от $-1,0$ до $-2,5$) и при наиболее выраженных проявлениях остеопороза при костной массе менее 50 мг/мм³.

Дополнительная информация

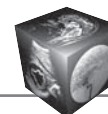
Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставленные окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литературы

1. Камиллов Ф.Х., Фаршатов Е.Р., Еникеева Д.А. Клеточно-молекулярные механизмы ремоделирования костной ткани и ее регуляция. *Фундаментальные исследования*. 2014; 7-4: 836-842.
2. Capulli M., Paone R., Rucci N. Osteoblast and osteocyte: games without frontiers. *Arch. Biochem. Biophys.* 2014; 561: 3-12.
3. Howard A.M., Anderson P., Vordin B.E.C. Physiological basis of metabolic bone disease. Boca Raton: Taylor & Francis, 2014. 219 p.
4. Гладкова Е.В., Федоников А.С., Царева Е.Е. Система лабораторно-инструментальной оценки состояния метаболизма костной ткани. *Фундаментальные исследования*. 2015; 1-5: 925-928.
5. Чижова М.В. Возможности компьютерно-томографической морфометрии и денситометрии в диагностике дегенеративно-дистрофических заболеваний и остеопороза позвоночника: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2014. 23 с.

References

1. Kamilov F.Kh., Farshatova E.R., Yenikeeva D.A. Cellular molecular mechanisms of bone tissue remodeling and its regulation. *Basic research*. 2014; 7-4; 836-842. (In Russian)
2. Capulli M., Paone R., Rucci N. Osteoblast and osteocyte: games without frontiers. *Arch. Biochem. Biophys.* 2014; 561: 3-12.
3. Howard A.M., Anderson P., Vordin B.E.C. Physiological basis of metabolic bone disease. Boca Raton: Taylor & Francis, 2014. 219 p.
4. Gladkova E.V., Fedonikov A.S., Tsareva E.E. The system of laboratory and instrumental assessment of the state of bone tissue metabolism. *Fundamental Research*. 2015; 1-5: 925-928. (In Russian)
5. Chizhova M.V. Possibilities of computed tomographic morphometry and densitometry in the diagnosis of degenerative-dystrophic diseases and spinal osteoporosis: Author. dis. for the degree of Candidate honey. Sciences. St. Petersburg, 2014. 23 p. (In Russian)



Для корреспонденции*: Волков Алексей Александрович – 150000 Ярославль, ул. Революционная, 5. Тел.: 8-4852-30-56-41.
Тел./факс: 8-4852-72-91-42. E-mail: neartist@bk.ru

Волков Алексей Александрович – ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ЯГМУ, Ярославль.
ORCID: 0000-0002-9605-7305.

Белосельский Николай Николаевич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ЯГМУ, Ярославль.
ORCID: 0000-0002-7691-2458.

Прибытков Юрий Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, Ярославль. ORCID: 0000-0003-0270-3909.

Прибытков Антон Юрьевич – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, Ярославль.
ORCID: 0000-0002-2007-8628.

Contact*: Aleksej A. Volkov – 150000 Yaroslavl', Revolucionnaya str., 5. Phone: +7-4852-30-56-41. Fax: +7-4852-72-91-42. E-mail: neartist@bk.ru

Aleksej A. Volkov – assistant of the department of Radiation diagnostics and radiotherapy at Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl'.
ORCID: 0000-0002-9605-7305.

Nikolaj N. Belosel'skij – doct. of med. sci., Professor of the department of Radiation diagnostics and radiotherapy at the Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl'. ORCID: 0000-0002-7691-2458.

Jurij N. Pribytkov – doct. of med. sci., Professor, Head of the department of Radiation diagnostics and radiation therapy, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl'. ORCID: 0000-0003-0270-3909.

Anton Ju. Pribytkov – cand. of med. sci., associate professor of the department of Radiodiagnosis and radiotherapy of the Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl'. ORCID: 0000-0002-2007-8628.

Поступила в редакцию 04.06.2018.

Received on 04.06.2018.

Принята к печати 15.01.2019.

Accepted for publication on 15.01.2019.