

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (ФМБА РОССИИ)

**МЕДИЦИНСКАЯ
РАДИОЛОГИЯ
И
РАДИАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

**MEDICAL RADIOLOGY
AND
RADIATION SAFETY**

Meditsinskaia Radiologiia i Radiatsionnaia Bezopasnost

2009

Том 54

№ 4

Периодический научный журнал. Издается с сентября 1956 года

Москва

**А.С. Аврунин¹, В.Ю. Голиков², С.С. Сарычева², Р.М. Тихилов¹,
И.И. Шубняков¹, М.П. Ганева¹, И.Д. Товпич¹, Д.Г. Плиев¹**

**ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕНСИТОМЕТРА *PRODIGY*
ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ПЛОТНОСТИ
КОСТНОЙ ТКАНИ**

**A.S. Avrunin, V.Yu. Golikov, S.S. Sarycheva, R.M. Tikhilov,
I.I. Shoubniakov, M.P. Ganeva, I.D. Tovpich, D.G. Pliev**

**Radiation Doses of Patients at Using of X-Ray Densitometer *Prodigy*
for Individual Monitoring of Bone Tissue Density**

РЕФЕРАТ

Цель: Определение эффективных доз облучения пациентов при исследованиях плотности минеральной компоненты костей методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии с использованием рентгеновского костного денситометра *Prodigy* (GE LUNAR, США)

Материал и методы: В качестве дозиметрического критерия облучения пациента использована концепция эффективной дозы. Она была определена при диагностических исследованиях предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела на аппарате *Prodigy*.

Результаты: Диапазон значений эффективных доз составил от 0,1 до 5,2 мкЗв.

Выводы: Значения эффективных доз внешнего облучения пациентов при проведении данных медицинских исследований относительно малы и соответствуют среднему уровню облучения населения России от природного фона в течение одного дня.

Ключевые слова: проекционная минеральная плотность костной ткани, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, дозы облучения

ABSTRACT

Purpose: To estimate effective doses for patients undergoing diagnostic examination of the bone mineral density using x-ray densitometer *Prodigy* (GE LUNAR, USA).

Material and methods: As dosimetric criterion, of patient's exposure was used effective dose concept. Effective dose was determined for the next diagnostic examinations: forearm, lumbar part of the spine, proximal part of the hip and the whole body using x-ray densitometer *Prodigy*.

Results: The effective doses range between 0,1 and 5,2 μ Sv.

Conclusion: The values of effective external doses for patients undergoing medical examination mentioned a bone is relatively small and corresponds to average natural radiation level dose in Russian Federation during the one day.

Keywords: bone mineral density, dual-energy X-ray absorptiometry, radiation doses

Введение

Старение населения, особенно в ряде экономически развитых регионов мира, сопровождается увеличением числа остеопоротических переломов. В ближайшие десятилетия ожидается значительное увеличение их количества [1]. Соответственно растут затраты на лечение и реабилитацию пострадавших. Это отягощает медицинскую проблему социально-экономическими последствиями. Так, если в 1995 г. в США затраты на лечение и реабилитацию пациентов с остеопоротическими переломами превысили 13 млрд. долл., то к 2020 г. ожидаемые затраты составят 30–40 млрд. долл. Около двух третей переломов

относятся к переломам шейки бедренной кости, что приводит к смерти около четверти пострадавших в течение года после травмы, а оставшиеся в живых зачастую длительно нетрудоспособны. Переломы других участков скелета, в особенности позвоночника, сопровождаются выраженным болевым синдромом и беспомощностью пострадавшего [2].

В этой связи необходимо подчеркнуть, что даже наиболее эффективные методы лечения и схемы реабилитации дают крайне скромную надежду на уменьшение суммарных затрат. В этих условиях наиболее эффективным подходом является профилактика переломов. Так, отсрочка в результате профилактиче-

¹ РНИИ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Акад. Байкова, д. 8.

² НИИРГ им. П.В. Рамзаева, Россия, 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8.

¹ Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, 8 Akad. Baykova str., 195427, St-Petersburg, Russia

² Research Institute of Radiation Hygiene, 8 Mira str. 197101, St. Petersburg, Russia

Сравнительная характеристика различных методов оценки минеральной плотности костной ткани [12]

Метод	Участок	Относительная чувствительность к изменениям	Погрешность воспроизводимости*, %	Точность**, %	Продолжительность исследования, мин	Лучевая нагрузка, мР	Стоимость, усл. ед.
Однофотонная абсорбциометрия	Проксимальный участок лучевой кости	1	2–3	5	15	10	75
Двухфотонная абсорбциометрия	Позвоночник, бедро, другие регионы, весь скелет	2	2–4	4–10	20–10	5	100–150
Компьютерная томография	Позвоночник	3–4	2–5	5–20	10–20	100–1000	100–200
Моноэнергетическая абсорбциометрия	Средний и дистальный радиус, пяточная кость	2	1–2	5	10–20	5–10	50
Двухэнергетическая абсорбциометрия	Позвоночник, бедро, другие регионы, весь скелет	2	1–2	3–5	5	1–3	75
Количественная компьютерная томография	Позвоночник, бедро	3–4	1–2	5–10	10	100–300	100

* Ошибка воспроизводимости – величина отклонения результатов набора данных измерения ПМПКТ относительно их среднего значения при повторных измерениях стабильного объекта на протяжении определенного периода времени [13]

** Точность – отклонение данных измерения ПМПКТ относительно истинного содержания минералов в кости. Последнее определяется путем оценки ПМПКТ денситометрически в кости трупа, после чего измеряемый образец сжигают и измеряют количество минерала в золе [13]

ских мер начала остеопороза на 5–6 лет сокращает ожидаемое число переломов бедра на 50 % [1]. Одним из важнейших элементов профилактики является использование в широкой клинической практике современных чувствительных методов лучевой диагностики ранней потери костной массы. Их краткая характеристика представлена в табл. 1.

В настоящее время как в России, так и за рубежом при определении проекционной минеральной плотности костной ткани (ПМПКТ) наиболее часто используется метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Эта технология является “золотым стандартом” в диагностике остеопороза [3, 4] и применяется для индивидуального мониторинга костной массы.

Одним из преимуществ приборов этого типа является низкая лучевая нагрузка на пациента, сопоставимая со средней ежедневной дозой естественной

фоновой радиации [2]. Наши исследования, проведенные ранее, также подтвердили эти представления (табл. 2).

В то же время развитие технологии применения этого метода [5–7] и новые инженерные решения, используемые при создании приборов, требуют проведения новых оценок доз облучения пациентов. Известно, что за исключением случаев профилактических медицинских исследований и исследований практически здоровых лиц с научно-исследовательской целью медицинское облучение не нормируется [8]. Однако при проведении любого рентгенодиагностического исследования необходимо оценивать дозу облучения пациента и связанный с этим облучением дополнительный риск возникновения вредных для здоровья последствий.

Таблица 2

Эффективная доза при проведении двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии на мультidetекторном костном денситометре SOPHOS XRA [14]

№№ п.п.	Область исследования	Экспозиция, с	Эффективная доза, мкЗв		
			Дети, лет		Взрослые
			5-10	11-15	
1	Плечевой сустав	190	0,00010	0,00015	0,00020
2	Диафиз плечевой кости в средней трети	300	0,00016	0,00024	0,00032
3	Локтевой сустав	190	0,00010	0,00010	0,00005
4	Лучезапястный сустав	190	0,00020	0,00010	0,00005
5	Поясничный отдел позвоночника	300	0,00221	0,00237	0,00320
6	Шейка бедренной кости	190	0,00120	0,00150	0,00160
7	Диафиз бедренной кости	300	0,00190	0,00237	0,00253
8	Коленный сустав	190	0,00015	0,00010	0,00005
9	Диафизы костей голени	300	0,00032	0,00016	0,00008
10	Голеностопный сустав с захватом пяточной кости	190	0,00020	0,00010	0,00005
11	Все области (с двух сторон)	4680	0,0096	0,0103	0,0111

Цель работы – определить эффективные дозы облучения пациентов при проведении диагностических исследований предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела с использованием двухэнергетического рентгеновского костного денситометра Prodigy (производитель GE LUNAR, США).

Материал и методы

В качестве дозиметрического критерия облучения пациента используется концепция эффективной дозы [8]. Эффективная доза – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Определение эффективной дозы на практике представляет значительные сложности, т. к. ее значение не может быть непосредственно измерено и требует проведения расчетов.

Входными параметрами для расчета эффективной дозы облучения пациентов служат радиационные и технические характеристики используемой рентгеновской аппаратуры (напряжение на рентгеновской трубке, толщина и материал фильтра, радиационный выход рентгеновского аппарата и т. п.) и характеристики самого рентгенодиагностического исследования (размеры поля облучения, геометрия облучения, экспозиция и т. п.). В качестве модели тела пациентов используют антропоморфные математические фантомы. Метод оценки эффективной дозы включает расчет средних органых доз в более чем 20 органах и тканях математических фантомов при моделировании специфических условий меди-

цинского облучения [9].

Согласно методическим указаниям МУК 2.6.1.1797–03 [10], значение эффективной дозы E облучения пациента при проведении рентгенологического исследования определяется по формуле:

$$E = R \times i \times t \times K_e, \text{ мкЗв}, \quad (1)$$

где: R – радиационный выход рентгеновского излучателя, $(\text{мР} \cdot \text{м}^2)/(\text{мА} \cdot \text{с})$; i – ток рентгеновской трубки, мА; t – продолжительность проведения исследования (время экспозиции), с; K_e – коэффициент перехода к эффективной дозе облучения пациента (дозовый коэффициент) с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, мкЗв/ $(\text{мР} \cdot \text{м}^2)$.

Рентгенологические исследования на костном денситометре Prodigy выполняются методом сканирования исследуемой области костно-суставной системы при различных скоростях сканирования $V_{\text{скан}}$, $\text{см}^2/\text{с}$. Значения скоростей сканирования определяли, по данным фирмы-изготовителя, приведенным в документации на прибор, следующим образом:

$$V_{\text{скан}} = S_{\text{скан}}/t_{\text{скан}} \text{ см}^2/\text{с}, \quad (2)$$

где: $S_{\text{скан}}$ – площадь зоны сканирования, см^2 ; $t_{\text{скан}}$ – продолжительность сканирования всей зоны, с.

Формулы (1) и (2) были использованы для проведения диагностических исследований предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела с использованием рентгеновского костного денситометра Prodigy.

Параметры проведения исследований с помощью аппарата *Prodigy*

Анатомическая область	Пациент	Ток, мА	Зона измерения длина × ширина, см	Время сканирования, с	Эффективное время экспозиции, с
Позвоночник	Гиперстеник	3,0	15,1 × 12	55	0,2
	Нормостеник	3,0	15,1 × 12	29	0,1
	Гипостеник	0,75	15,1 × 12	29	0,1
Проксимальные отделы двух бедренных костей	Гиперстеник	3,0	2 × 15,1 × 12	111	0,2
	Нормостеник	3,0	2 × 15,1 × 12	58	0,1
	Гипостеник	0,75	2 × 15,1 × 12	58	0,1
Все тело	Нормостеник	0,15	150,8 × 60	294	0,02
	Гипостеник	0,15	150,8 × 60	294	0,02
Предплечье	Нормостеник	0,15	13,4 × 10	22	0,1

Согласно документации на прибор, все исследования проводятся при напряжении на аноде трубки 76 кВп и общей фильтрации 4 мм Al, включая эффективную фильтрацию излучения столом, на котором располагается пациент. Расстояние от анода трубки до стола составляет 22 см, а от анода трубки до детектора излучения – 58 см.

При скорости сканирования $V_{\text{скан}}$ (см²/с) тела пациента пучком рентгеновского излучения площадью поперечного сечения 1,92×0,33 см эффективное время экспозиции $t_{\text{экс}}$ (время воздействия на пациента рентгеновского излучения) определяется следующим образом:

$$t_{\text{экс}} = 1,92 \times 0,33 / V_{\text{скан}} \text{ с.} \quad (3)$$

Данный параметр характеризует эффективное время облучения пациента, т.к. его облучение осуществляется послойно, в отличие от обычной рентгенографии, когда облучение осуществляется широким пучком одновременно всей заданной анатомической области. Используемые для пациентов различного телосложения значения анодного тока и рассчитанные значения времени экспозиции, соответствующие трем рассматриваемым типам исследований, приведены в табл. 3.

Значение радиационного выхода рентгеновского излучателя оценивали на основании результатов измерений поверхностных доз, выполненных фирмой-изготовителем и приведенных в табл. 1 технической документации на прибор, следующим образом:

1. Мощность дозы на расстоянии 22 см от анода трубки (на поверхности стола):
(83 мкГр/0,2 с) = 415 мкГр/с.
2. Значение мощности дозы на расстоянии 1 м:
(415 мкГр/с) × (22/100)² = 20,1 мкГр/с.
3. Значение радиационного выхода рентгеновского излучателя:

$$20,1 \text{ мкГр/3 мА} \cdot \text{с} = 6,7 \text{ мкГр/мАс} = 0,77 \text{ мР/мАс.}$$

Значения коэффициентов перехода к эффективной дозе облучения пациента K_e при проведении диагностических исследований поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела с использованием рентгеновского костного денситометра *Prodigy* были рассчитаны с помощью компьютерной программы EDEREX. Эта программа используется в настоящее время в России для расчета значений коэффициентов перехода K_e от измеряемых на практике параметров проведения медицинских диагностических исследований к эффективной дозе облучения пациента в соответствии с методическими указателями [10]. Геометрические условия облучения пациентов показаны на рис. 1.

Значения эффективных доз внешнего облучения пациентов различного телосложения при проведении диагностических исследований поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела были рассчитаны с использованием формулы (1). При исследовании предплечья значение компоненты эффективной дозы, обусловленное воздействием прямого излучения, много меньше, чем от компоненты, обусловленной рассеянным излучением. Поэтому при проведении диагностического исследования этого отдела скелета значение эффективной дозы облучения пациента оценивали только на основе измерений мощностей доз рассеянного излучения возле аппарата, выполненных фирмой-изготовителем и приведенных в документации на прибор. При измерении ПМПКТ всего тела компоненты эффективной дозы, обусловленные как прямым, так и рассеянным излучением, сравнимы по величине, и оба значения включены в результирующую оценку

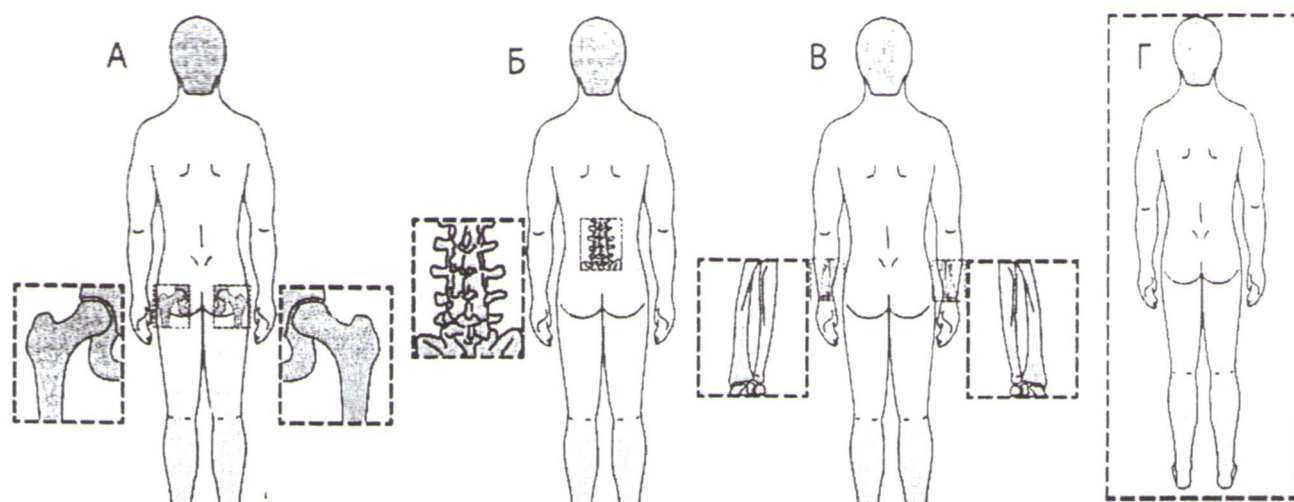


Рис. 1. Локализация областей сканирования на входе пучка рентгеновского излучения в тело пациента при измерении ПМПКТ. А – проксимальные отделы двух бедренных костей; Б – поясничный отдел позвоночника; В – дистальные отделы предплечья; Г – все тело

эффективной дозы. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Полученные оценки значений эффективных доз облучения пациентов при проведении четырех видов диагностических исследований на аппарате *Prodigy* хорошо согласуются с аналогичными литературными данными, указывающими, что диапазон значений эффективных доз для современных костных денситометров составляет от 1 до 10 мкЗв [11].

Заключение

Значения эффективных доз внешнего облучения пациентов при проведении исследований предплечья, поясничного отдела позвоночника, проксимальных отделов бедренных костей и всего тела с использованием рентгеновского костного денситометра *Prodigy* относительно малы. Они соответствуют среднему уровню облучения населения России от природного фона в течение одного дня. Для сравне-

Таблица 4

Эффективные дозы облучения пациентов при четырех диагностических исследованиях на аппарате *Prodigy*

Анатомическая область	Пациент	K_e , мкЗв/(мР·м ²)	Эффективная доза, мкЗв
Позвоночника	Гиперстеник	7,0	3,2
	Нормостеник		1,6
	Гипостеник		0,4
Проксимальные отделы двух бедренных костей	Гиперстеник	11,3	5,2
	Нормостеник		2,6
	Гипостеник		0,7
Все тело	Нормостеник	30	¹⁾ 0,1 + ²⁾ 0,2 = 0,3
	Гипостеник	30	¹⁾ 0,1 + ²⁾ 0,2 = 0,3
Предплечье	Нормостеник	—	²⁾ 0,1

1) – вклад в эффективную дозу прямого излучения;

2) – вклад в эффективную дозу рассеянного излучения

ния можно указать, что при обычной рентгенографии поясничного отдела позвоночника в России средние значения эффективной дозы составляют 200–900 мкЗв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Melton III L.J.* Эпидемиология переломов. // В сб. "Остеопороз. Этиология, диагностика лечение". Под ред. *Е.А. Лепарского*. – СПб.: БИНОМ, НЕВСКИЙ ДИАЛЕКТ, 2000, С. 249–228.
2. *Blake G.M., Fogelman I.* The role of bone density measurements in the evaluation of new treatments for osteoporosis. // *Current Pharm. Design*, 2002, No. 8, P. 1885–1905.
3. *Оганов В.С.* Рецензия на статью С.С. Радионовой, А.К. Морозова, Н.Б. Варецкой-Чивиликиной и соавт. "Оценка диагностической значимости остеоденситометра ДРЛ CALSKAN". // *Остеопороз и остеопатии*, 2005, № 3, С. 29–33.
4. *Chan K. M., Anderson M., Edith Lau M.C.* Exercise interventions: Defusing the world's osteoporosis time bomb. // *Bull.WHO*, 2003, **81**, No. 11, P. 827–830.
5. *Аврунин А.С., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Емельянов В.Г.* Неинвазивный клинический метод оценки остеоцитарного ремоделирования. Новые возможности двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. // *Ортопедия, травматология и протезирование*, 2008, № 2, С. 67–74.
6. *Аврунин А.С., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Емельянов В.Г.* Оценивает ли двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия параметры физиологического обмена минерального матрикса? // *Гений ортопедии*, 2008, **1**, С. 41–49.
7. *Аврунин А.С., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Емельянов В.Г.* Позволяет ли метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии выявить быстрые колебания проекционной минеральной плотности костной ткани в поясничном отделе позвоночника? // *Вестник травматологии и ортопедии*, 2008, № 3, С. 47–52.
8. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99.* СП 2.6.1.758-99. Минздрав России, М., 1999.
9. *Голиков В.Ю., Барковский А.Н., Барышков Н.К., Власов А.Ю.* Оценка эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований. // В сб. "Радиационная гигиена". – СПб. 2003, С. 75–88.
10. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. Методические указания по методам контроля. МУК 2.6.1.1797–03. М. 2003.
11. UNITED NATIONS Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation. // *UNSCEAR Report*, United Nations, New York, 2000. Vol. 1.
12. *Johnston C.C., Melton III L.J.* Костная денситометрия. // В сб. "Остеопороз. Этиология, диагностика лечение". Под ред. *Е.А. Лепарского*. – СПб.: БИНОМ, НЕВСКИЙ ДИАЛЕКТ, 2000, С. 297–320.
13. *Насонов Е.Л., Скрипникова И.А., Насонова В.А.* Проблема остеопороза в ревматологии. – М.: СТИН, 1997, 429 с.
14. *Аврунин А.С., Корнилов Н.В.* Метод двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии при динамическом контроле состояния костной ткани в процессе лечения остеопороза. // *Гений ортопедии*, 2002, № 2, С. 123–128.

Поступила 15.06.2009