

СКРИНИНГ-ТЕСТ ОСТЕОПОРОЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ПРОСКАН

*А.Н. Гуржиев, С.Н. Гуржиев, В.М. Кораблев, П.В. Садиков, В.Г. Сухарев
ЗАО Рентгенпром, Москва*

Цель испытаний состояла в проверке возможности использования флюорографов серии ПроСкан для скрининга остеопороза при флюорографическом обследовании населения. Правильность заключений по состоянию плотности костной ткани на флюорографе модели ПроСкан-2000 проверялась сравнением заключений для выборки из 106 человек, полученных на этом аппарате, с заключениями, полученными для этой же выборки людей на денситометре Discovery A производства компании Hologic, США. Результаты сравнения показали, что флюорографы серии ПроСкан можно использовать для скрининга остеопороза при флюорографическом обследовании населения.

Ключевые слова: *остеопороз, скрининг, рентгеновская абсорбциометрия*

Введение

Остеопороз, по оценке Всемирной организации здравоохранения, занимает по медицинской значимости среди неинфекционных заболеваний четвертое место вслед за сердечно-сосудистыми, онкологическими заболеваниями и сахарным диабетом. В связи с этим постоянно совершенствуются методы исследования и аппараты, применяемые в костной денситометрии.

В рамках научно-производственной деятельности предприятия ЗАО Рентгенпром разработан и реализован в программном обеспечении флюорографических аппаратов серии ПроСкан не имеющий аналогов метод измерения плотности костной ткани [1] с оценкой Т-индекса плотности, используемого при диагностике остеопороза.

Заключительным этапом работ по реализации денситометрии на флюорографах ПроСкан была проверка правильности диагностирования остеопороза при стандартном флюорографическом обследовании. Эта проверка

была осуществлена прямым сравнением диагнозов на остеопороз, полученных на серийном аппарате ПроСкан-2000 для выборки из 106 пациентов при стандартной флюорографии грудной клетки, с диагнозами, полученными для этой же выборки пациентов на сертифицированном денситометре Discovery A производства компании Hologic, США.

Цель данной работы состояла в анализе измерительной денситометрической информации, полученной для одной и той же выборки пациентов на флюорографе ПроСкан-2000 и денситометре Discovery A, и выработке заключения о возможности использования флюорографов серии ПроСкан для первичного диагноза остеопороза.

Общие сведения об испытаниях

Флюорограф малодозовый цифровой сканирующий ПроСкан, заводской номер 08-30112, модель ПроСкан-2000, установлен на базе Лечебно-профилактического центра на

водном транспорте (Москва) для обследования органов грудной клетки пациентов. На этом флюорографе дополнительно было установлено программное обеспечение (версия 3.8.0.6), оснащенное функцией скрининг-теста остеопороза. Основы способа измерения плотности костной ткани на одноэнергетическом однопроеctionном рентгеновском аппарате без использования какого-либо калибровочного эталонного объекта изложены в заявке на изобретение [1].

Двухэнергетический денситометр Discovery A производства компании Hologic, США установлен в НИИ ревматологии (Москва) для денситометрического обследования пациентов. Основы способа измерения плотности костной ткани на двухэнергетическом однопроеctionном рентгеновском аппарате изложены, в частности, в обзорной статье [2].

Выборка из 106 человек сформирована из добровольцев. В ее состав вошли 22 мужчины в возрасте от 19 до 71 года и 84 женщины в возрасте от 28 до 81 года. Каждому пациенту на протяжении одного дня выполнялось два обследования: флюорографическое обследование грудной клетки на аппарате ПроСкан с одновременным заключением по состоянию плотности костной ткани и остеоденситометрическое обследование поясничного отдела позвоночника и проксимальной части бедренной кости на аппарате Discovery A. Результаты испытаний функции скрининг-теста на остеопороз на с помощью флюорографа ПроСкан отражены в Протоколе [3].

На флюорографе ПроСкан измерялась проекционная плотность живой костной ткани четырех костных структур: ключицы, центральной части позвоночника, спинных и грудных частей ребер. Центральная часть позвоночника среднестатистически приходится на грудные позвонки T7–T10. На денситометре Discovery A измерялась минеральная проекционная плотность проксимального отдела бедренной кости в целом, шейки бедра и поясничного отдела позвоночника, включающего позвонки L1–L4.

T и Z-индексы плотности костной ткани

Распределения измеренных плотностей костной ткани и у мужчин, и у женщин характеризуются функциональной зависимостью

среднего значения плотности $\langle \rho(x) \rangle$ от возраста x , среднеквадратичным разбросом (или стандартным отклонением) σ измеренных плотностей ρ относительно функциональной зависимости $\langle \rho(x) \rangle$ и максимальным значением плотности $\langle \rho(x) \rangle^{\max}$, которое достигается в возрасте 25–30 лет. Эти характеристики – функциональная зависимость $\langle \rho(x) \rangle$, стандартное отклонение σ и максимальное значение $\langle \rho(x) \rangle^{\max}$ – находятся в справочной базе данных денситометрических аппаратов и используются для вычисления T и Z -индексов плотности костной ткани.

Снижение плотности костной ткани человека классифицируется в медицине как проявление признаков остеопороза. В качестве количественной меры степени заболевания принято использовать либо T -индекс – отклонение (в единицах σ) плотности костной ткани пациента ρ в меньшую сторону от среднего максимального значения плотности $\langle \rho(x) \rangle^{\max}$, либо Z -индекс – отклонение (в единицах σ) плотности костной ткани пациента ρ в меньшую сторону от среднего значения плотности $\langle \rho(x) \rangle$ при возрасте x , соответствующем возрасту пациента.

$$T = \frac{\rho - \langle \rho(x) \rangle^{\max}}{\sigma}, \quad Z = \frac{\rho - \langle \rho(x) \rangle}{\sigma}. \quad (1)$$

T и Z -индексы – безразмерные величины.

В соответствии с рекомендацией ВОЗ при диагностике остеопороза необходимо использовать T -индекс. По классификации ВОЗ у здоровых людей $T \geq -1$. Признаки костного заболевания (остеопения) соответствуют величинам T в интервале $-2,5 < T < -1$. Значения $T \leq -2,5$ соответствуют тяжелой форме заболевания (остеопороз).

По каждому из 106 человек тестовой группы с флюорографа ПроСкан и денситометра Discovery A с использованием справочных баз данных этих аппаратов получены оценки T и Z -индексов плотности костной ткани. Необходимо отметить следующую особенность. Оценки T и Z -индексов с аппарата Discovery A индивидуальны не только для каждого пациента, но и имеют некоторое различие для разных костных структур данного пациента. Оценки T и Z -индексов с аппарата ПроСкан индивидуальны для каждого пациента, но одинаковы для всех костных структур данного пациента.

В таблицах костные структуры, по которым дано заключение на аппарате Discovery A, будут обозначаться как: Позв. – поясничный

Таблица 1
Распределение пациентов по T-индексу на аппаратах Discovery A и ПроСкан

	Норма	Остеопения	Остеопороз
Позв.	55	35	16
Бедро	77	22	7
Шейка	54	41	11
ПроСкан	51	51	4

отдел позвоночника, Бедро – проксимальная часть бедренной кости в целом, Шейка – шейка бедра. Заключение с аппарата ПроСкан одинаково для всех костных структур данного пациента, поэтому будет обозначаться как ПроСкан.

В табл. 1 приведено распределение пациентов по заключениям, полученным на основании оценок T-индексов с денситометра Discovery A и флюорографа ПроСкан.

Согласованность диагноза по T-индексу

В процессе клинических обследований на двухэнергетических денситометрах, измеряющих минеральную проекционную плотность поясничного позвоночника и бедренной кости, на большой статистике пациентов было установлено, что заключения по обоим костным структурам с использованием T-индекса совпадают, в среднем, в 56 % случаев. Например, в работе [4] на статистике пациентов 5627 процент совпадения заключений составил 56±2 %, в работе [5] на статистике 4188 – 58±3 %, в работе [6] на статистике 3015 – 54±3 %. Под совпадением заключений понимаются те случаи, когда T-индекс поясничного позвоночника и T-индекс бедренной кости дают одинаковое показание: либо норма, либо остеопения, либо остеопороз. Все остальные варианты относятся к несовпадению заключений.

При попарном сравнении заключений с денситометра Discovery A и флюорографа ПроСкан следует, по всей видимости, ожидать соизмеримый с эмпирическими данными работ [4–6] процент совпадения заключений.

В табл. 2 приведено количество совпадений при попарном сравнении заключений по T-индексу для исходной выборки в 106 пациентов. В правой колонке количество совпадений приведено в процентном исчислении с ошибками. Округление сделано до целых процентов.

Приведенные в табл. 2 результаты показывают, что в пределах статистических погрешностей проценты совпадения заключений по всем сравниваемым парам соизмеримы друг с другом и с эмпирическими данными работ [4–6].

Специфичность и чувствительность показаний

Разделим пациентов на две группы по признакам О и П. Признак О означает отрицательное заключение (норма, $T \geq -1,0$), признак П означает положительное заключение (ненорма – остеопения либо остеопороз, $T < -1,0$).

Возьмем один из аппаратов за эталонный, другой за тестируемый. Признаки заключениям тестируемого аппарата по отношению к эталонному присваиваются по стандартному правилу: истинно отрицательный (ИО) и истинно положительный (ИП) – при совпадении показаний тестируемого и эталонного аппаратов, ложноотрицательный (ЛО) и ложноположительный (ЛП) – при несовпадении.

Специфичность и чувствительность показаний тестируемого аппарата по отношению к эталонному вычисляются по формулам:

$$\text{Специфичность} = N(\text{ИО}) / (N(\text{ИО}) + N(\text{ЛП})), \quad (2)$$

$$\text{Чувствительность} = N(\text{ИП}) / (N(\text{ИП}) + N(\text{ЛО})). \quad (3)$$

Таблица 2
Количество совпадений при попарном сравнении заключений по T-индексу на аппаратах Discovery A и ПроСкан

Комбинация	Норма	Остеопения	Остеопороз	Сумма	Совпало, %
ПроСкан и Позв.	41	24	3	68	64 ± 10
ПроСкан и Бедро	48	18	1	67	64 ± 10
ПроСкан и Шейка	38	26	1	65	62 ± 10
Позв. и Бедро	49	7	4	60	57 ± 9
Позв. и Шейка	41	20	5	66	63 ± 10
Бедро и Шейка	52	16	6	74	70 ± 11

Таблица 3

**Диагностические характеристики заключений на аппарате ПроСкан
относительно эталонного аппарата Discovery A**

Эталон	Тест	ИО	ЛО	ИП	ЛП	Специфичность	Чувствительность
Позв.	ПроСкан	41	10	41	14	$0,75 \pm 0,06$	$0,80 \pm 0,06$
Бедро	ПроСкан	48	3	26	29	$0,62 \pm 0,06$	$0,90 \pm 0,06$
Шейка	ПроСкан	38	13	39	16	$0,70 \pm 0,06$	$0,75 \pm 0,06$
$\langle \rangle \pm \sigma$						$0,69 \pm 0,07$	$0,82 \pm 0,08$

Таблица 4

**Диагностические характеристики заключений на аппарате Discovery A
относительно эталонного аппарата ПроСкан**

Эталон	Тест	ИО	ЛО	ИП	ЛП	Специфичность	Чувствительность
ПроСкан	Позв.	41	14	41	10	$0,80 \pm 0,06$	$0,75 \pm 0,06$
ПроСкан	Бедро	48	29	26	3	$0,94 \pm 0,03$	$0,47 \pm 0,07$
ПроСкан	Шейка	38	16	39	13	$0,75 \pm 0,06$	$0,71 \pm 0,06$
$\langle \rangle \pm \sigma$						$0,83 \pm 0,10$	$0,64 \pm 0,15$

В формулах (2) и (3): $N(\text{ИО})$ означает количество истинно отрицательных заключений, $N(\text{ЛО})$ – количество ложноотрицательных заключений, $N(\text{ИП})$ – количество истинно положительных заключений, $N(\text{ЛП})$ – количество ложноположительных заключений.

Слова “специфичность и чувствительность показаний тестируемого аппарата по отношению к эталонному” означают следующее.

Когда эталонный аппарат обладает 100 %-ой эффективностью правильных заключений, величина специфичности равна доле истинных заключений для пациентов с признаком О, а величина чувствительности равна доле истинных заключений для пациентов с признаком П. Это и есть истинные значения специфичности и чувствительности показаний, присущие тестируемому аппарату.

Когда эталонный аппарат не обладает 100 %-ой эффективностью правильных заключений, значения специфичности и чувствительности показаний, вычисленные по вышеизложенному правилу, будут всегда ниже их истинных значений, присущих тестируемому аппарату.

В табл. 3 приведены численные значения $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$, значения специфичности и чувствительности показаний ПроСкан, когда в качестве эталонного аппарата взят Discovery A. В нижней строке приведен усредненный результат.

В табл. 4 приведены численные значения $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$, значения специфичности и чувствительности показаний Discovery A, когда в качестве эталонного аппарата взят ПроСкан.

Поскольку и ПроСкан, и Discovery A не обладают 100 %-ой эффективностью правильных заключений, оценки специфичности и чувствительности показаний, приведенные для ПроСкан в табл. 3 и для Discovery A в табл. 4, занижены по отношению к их истинным значениям.

Метод оценки истинных значений специфичности и чувствительности показаний

В основе метода лежит вероятностное описание результатов заключений с Discovery A и ПроСкан, приведенных в табл. 5. В этой таблице представлено распределение пациентов по признакам О и П по каждой из костных структур Discovery A и по ПроСкан (строчки 1–4), по комбинациям из двух (строчки 5–10), трех (строчки 11–14) и четырех (строчка 15) костных структур. Числа для комбинаций из двух костных структур (строчки 5–10) означают количество пациентов, у которых данный признак присутствует в заключении одновременно по обеим костным структурам, входящим в комбинацию. То же самое относится к

Таблица 5

Распределение пациентов по отрицательным и положительным заключениям

		N(O)	N(П)
1	Позв.	55	51
2	Бедро	77	29
3	Шейка	54	52
4	ПроСкан	51	55
5	Позв.+Бедро	49	23
6	Позв.+Шейка	41	38
7	Позв.+ПроСкан	41	41
8	Бедро+Шейка	52	27
9	Бедро+ПроСкан	48	26
10	Шейка+ПроСкан	38	39
11	Позв.+Бедро+Шейка	40	22
12	Позв.+Бедро+ПроСкан	39	22
13	Позв.+Шейка+ПроСкан	33	33
14	Бедро+Шейка+ПроСкан	38	24
15	Позв.+Бедро+Шейка+ПроСкан	33	21

комбинациям из трех и четырех костных структур.

Истинные значения специфичности и чувствительности показаний и для ПроСкан, и для Discovery А априори неизвестны. Их оценки можно получить с помощью вероятностного описания результатов заключений, представленных в табл. 5. Такой способ получения оценок неизвестных истинных величин относится к одному из статистических методов обработки экспериментальной информации [7]. Данные табл. 5 и являются той экспериментальной информацией, на основании которой оцениваются истинные значения специфичности и чувствительности показаний на аппаратах Discovery А и ПроСкан.

Вероятностное описание результатов заключений

Обозначим исходное количество пациентов как $N_0=106$. Введем 9 неизвестных (определяемых) параметров:

Первый параметр N_1 – истинное количество пациентов с признаком О (истинное количество пациентов с признаком П будет составлять $N_2=N_0-N_1$).

Четыре параметра α_i – доля истинных заключений по i -й костной структуре для пациентов с признаком О.

Четыре параметра β_i – доля истинных заключений по i -й костной структуре для пациентов с признаком П.

Индекс i принимает значения от 1 до 4: $i=1$ соответствует поясничному позвоночнику, $i=2$ – бедренной кости, $i=3$ – шейке бедра, $i=4$ – ПроСкан.

Данные табл. 5 позволяют написать 30 уравнений связи относительно 9 неизвестных параметров.

Пятнадцать уравнений для количества пациентов, получивших заключение О:

$$N(O) = N_1 \cdot \prod_i \alpha_i + N_2 \cdot \prod_i (1 - \beta_i), \tag{4}$$

и пятнадцать уравнений для количества пациентов, получивших заключение П:

$$N(П) = N_2 \cdot \prod_i \beta_i + N_1 \cdot \prod_i (1 - \alpha_i). \tag{5}$$

В произведениях индекс i пробегает по тем костным структурам, по которым получено заключение. Например, для 10-й строчки табл. 5 индекс i принимает значения $i=3, 4$, для 11-й строчки $i=1, 2, 3$.

Каждое из уравнений связи (4) и (5) содержит два слагаемых. Первое слагаемое соответствует количеству истинных заключений, второе слагаемое – количеству ложных заключений.

100 %-ая эффективность правильного диагноза соответствует тому, что одновременно и доля истинных заключений для пациентов с признаком О равна единице (100 % в процентном исчислении), и доля истинных заключений для пациентов с признаком П также равна единице (100 % в процентном исчислении). В этом случае ложные заключения (правые слагаемые в уравнениях (4), (5)) обнуляются и остаются только истинные (левые слагаемые).

Система уравнений (4), (5) инвариантна (не меняет свой вид) относительно следующей замены переменных:

$$N'_1 = N_2, \quad N'_2 = N_0 - N'_1 = N_1, \tag{6}$$

$$\alpha'_i = 1 - \beta_i, \quad \beta'_i = 1 - \alpha_i. \tag{7}$$

Это означает, что, если найдено решение:

$$N_1, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \tag{8}$$

то и набор переменных:

$$N'_1, \alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3, \alpha'_4, \beta'_1, \beta'_2, \beta'_3, \beta'_4 \tag{9}$$

также будет решением системы уравнений (4), (5).

Чтобы ответить на вопрос, какое из двух решений (8) или (9) брать в качестве правильного, обратимся к следующему логическому рассуждению.

Пусть субъективно (без использования заключений ПроСкан и Discovery A) каждому нечетному пациенту будет присвоен признак О, а каждому четному – признак П. При таком субъективном способе заключений как доля истинных заключений для пациентов с признаком О, так и доля истинных заключений для пациентов с признаком П, а также специфичность и чувствительность будут составлять 0,5 (50 % в процентном исчислении). Аппараты ПроСкан и Discovery A позволяют получить дополнительную измерительную информацию о плотности костной ткани для определения признаков О или П, поэтому для этих аппаратов доля истинных заключений для пациентов с признаком О, доля истинных заключений для пациентов с признаком П, специфичность и чувствительность должны быть выше 0,5.

Таким образом, из двух возможных решений выбирается то, которое дает одновременно все значения долей истинных заключений, значения специфичности и чувствительности, превышающие величину 0,5.

Алгоритм нахождения параметров вероятностной модели

Количество уравнений связи составляет 30 и превышает количество неизвестных параметров, равное 9. В математике это означает, что система уравнений (4), (5) является переопределенной и точное аналитическое решение отсутствует. В таких случаях оптимальное решение находится с использованием метода наименьших квадратов [7]. То есть находится такое решение, для которого сумма квадратов отклонений правых частей уравнений от левых минимальна. Решение методом наименьших квадратов системы 30 уравнений относительно 9 неизвестных параметров дает следующие численные значения параметров:

$$N_1=59\pm 2, (N_2=N_0-N_1=106-59=47), \quad (10)$$

$$\alpha_1=0,83\pm 0,05, \beta_1=0,87\pm 0,05, \quad (11)$$

$$\alpha_2=0,99\pm 0,01, \beta_2=0,60\pm 0,07, \quad (12)$$

$$\alpha_3=0,83\pm 0,05, \beta_3=0,89\pm 0,05, \quad (13)$$

$$\alpha_4=0,80\pm 0,05, \beta_4=0,92\pm 0,04, \quad (14)$$

Второй набор параметров, являющийся, в соответствии с заменой переменных (6), (7),

также решением системы уравнений (4), (5), составляет:

$$N'_1=47, (N'_2=N_0-N'_1=106-47=59), \quad (15)$$

$$\alpha'_1=0,13, \beta'_1=0,17, \quad (16)$$

$$\alpha'_2=0,40, \beta'_2=0,01, \quad (17)$$

$$\alpha'_3=0,11, \beta'_3=0,17, \quad (18)$$

$$\alpha'_4=0,08, \beta'_4=0,20 \quad (19)$$

Из двух приведенных решений выбирается первое (10)–(14), поскольку для второго решения (15)–(19) оценки истинных заключений и оценки специфичности и чувствительности меньше нижнего допустимого предела 0,5.

Специфичность в рамках принятой вероятностной модели составляет:

- ✓ $(N_1 \cdot \alpha_1) / (N_1 \cdot \alpha_1 + N_1 \cdot (1 - \alpha_1)) = \alpha_1$ – для заключений Discovery A по поясничному позвоночнику,
- ✓ $(N_1 \cdot \alpha_2) / (N_1 \cdot \alpha_2 + N_1 \cdot (1 - \alpha_2)) = \alpha_2$ – для заключений Discovery A по бедренной кости в целом,
- ✓ $(N_1 \cdot \alpha_3) / (N_1 \cdot \alpha_3 + N_1 \cdot (1 - \alpha_3)) = \alpha_3$ – для заключений Discovery A по шейке бедра,
- ✓ $(N_1 \cdot \alpha_4) / (N_1 \cdot \alpha_4 + N_1 \cdot (1 - \alpha_4)) = \alpha_4$ – для заключений ПроСкан.

Чувствительность в рамках принятой вероятностной модели составляет:

- ✓ $(N_2 \cdot \beta_1) / (N_2 \cdot \beta_1 + N_2 \cdot (1 - \beta_1)) = \beta_1$ – для заключений Discovery A по поясничному позвоночнику,
- ✓ $(N_2 \cdot \beta_2) / (N_2 \cdot \beta_2 + N_2 \cdot (1 - \beta_2)) = \beta_2$ – для заключений Discovery A по бедренной кости в целом,
- ✓ $(N_2 \cdot \beta_3) / (N_2 \cdot \beta_3 + N_2 \cdot (1 - \beta_3)) = \beta_3$ – для заключений Discovery A по шейке бедра,
- ✓ $(N_2 \cdot \beta_4) / (N_2 \cdot \beta_4 + N_2 \cdot (1 - \beta_4)) = \beta_4$ – для заключений ПроСкан.

Полученные численные оценки истинных значений специфичности и чувствительности с ошибками на них приведены в табл. 6.

Рассмотрим, как через оценки истинных значений специфичности и чувствительности (табл. 6) выражаются значения специфичности и чувствительности (табл. 3 и 4), полученные по правилу: один аппарат – эталонный, второй – тестируемый.

Если за эталонные взять заключения Discovery A по поясничным позвонкам L1–L4, то ожидаемое количество исходов $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$ на ПроСкан, согласно вероятностному описанию, будет оцениваться как:

$$N(\text{ИО})=N_1\alpha_1\alpha_4+N_2(1-\beta_1)(1-\beta_4)=40,$$

Таблица 6
Оценки истинных значений
специфичности и чувствительности

	Специфичность	Чувствительность
Позв.	$\alpha_1=0,83 \pm 0,05$	$\beta_1=0,87 \pm 0,05$
Бедро	$\alpha_2=0,99 \pm 0,01$	$\beta_2=0,60 \pm 0,07$
Шейка	$\alpha_3=0,83 \pm 0,05$	$\beta_3=0,89 \pm 0,05$
ПроСкан	$\alpha_4=0,80 \pm 0,05$	$\beta_4=0,92 \pm 0,04$

$$N(\text{ЛО})=N_1\alpha_4(1-\alpha_1)+N_2\beta_1(1-\beta_4)=11,$$

$$N(\text{ИП})=N_2\beta_4\beta_1+N_1(1-\alpha_1)(1-\alpha_4)=40,$$

$$N(\text{ЛП})=N_2\beta_4(1-\beta_1)+N_1\alpha_1(1-\alpha_4)=15.$$

И наоборот, если за эталонные взять заключения ПроСкан, то ожидаемое количество исходов $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$ на Discovery А для позвонков L1–L4, согласно вероятностно-мупо описанию, будет оцениваться как:

$$N(\text{ИО})=N_1\alpha_4\alpha_1+N_2(1-\beta_4)(1-\beta_1)=40,$$

$$N(\text{ЛО})=N_1\alpha_1(1-\alpha_4)+N_2\beta_4(1-\beta_1)=15,$$

$$N(\text{ИП})=N_2\beta_4\beta_1+N_1(1-\alpha_4)(1-\alpha_1)=40,$$

$$N(\text{ЛП})=N_2\beta_1(1-\beta_4)+N_1\alpha_4(1-\alpha_1)=11.$$

Результаты вычислений, сделанных подобным образом для варианта, когда в качестве эталонного аппарата взят Discovery А, приведены в табл. 7, а для варианта, когда в ка-

честве эталонного аппарата взят ПроСкан, приведены в табл. 8.

Ожидаемое количество исходов $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$ и ожидаемые величины специфичности и чувствительности (табл. 7 и 8), вычисленные с использованием оценок истинных значений специфичности и чувствительности (табл. 6), в пределах статистических погрешностей хорошо согласуются с реальными исходами $N(\text{ИО})$, $N(\text{ЛО})$, $N(\text{ИП})$, $N(\text{ЛП})$ и реальными величинами специфичности и чувствительности (табл. 3 и 4), вычисленными по правилу: один аппарат – эталонный, второй – тестируемый. Это означает, что оценки специфичности и чувствительности, приведенные в табл. 6 для Discovery А и ПроСкан, близки к их истинным значениям.

Как и ожидалось, из-за не 100 %-ой эффективности правильных заключений на аппаратах Discovery А и ПроСкан, специфичности и чувствительности показаний на этих аппаратах, вычисленные по правилу: один аппарат – эталонный, второй – тестируемый (табл. 3 и 4), оказались систематически ниже их истинных значений, оценки которых приведены в табл. 6.

Выводы

По результатам сравнительного анализа заключений по состоянию плотности костных структур тестовой группы пациентов, полученных с помощью двухэнергетического денсито-

Таблица 7
Ожидаемые оценки количества исходов, специфичности и чувствительности
на аппарате ПроСкан относительно эталонного аппарата Discovery А

Эталон	Тест	ИО	ЛО	ИП	ЛП	Специфичность	Чувствительность
Позв.	ПроСкан	40 ± 4	11 ± 2	40 ± 3	15 ± 3	0,73 ± 0,06	0,78 ± 0,06
Бедро	ПроСкан	48 ± 3	3 ± 1	26 ± 3	29 ± 4	0,62 ± 0,06	0,90 ± 0,06
Шейка	ПроСкан	40 ± 4	11 ± 2	40 ± 3	15 ± 3	0,73 ± 0,06	0,78 ± 0,06
< > ± σ						0,69 ± 0,06	0,82 ± 0,07

Таблица 8
Ожидаемые оценки количества исходов, специфичности и чувствительности
на аппарате Discovery А относительно эталонного аппарата ПроСкан

Эталон	Тест	ИО	ЛО	ИП	ЛП	Специфичность	Чувствительность
ПроСкан	Позв.	40 ± 4	15 ± 3	40 ± 3	11 ± 3	0,78 ± 0,06	0,73 ± 0,06
ПроСкан	Бедро	48 ± 3	29 ± 3	26 ± 3	3 ± 1	0,94 ± 0,03	0,47 ± 0,07
ПроСкан	Шейка	40 ± 4	15 ± 3	40 ± 3	11 ± 3	0,78 ± 0,06	0,73 ± 0,06
< > ± σ						0,83 ± 0,09	0,64 ± 0,15

метра Discovery A и одноэнергетического флюорографа ПроСкан, можно сделать следующие выводы:

1. Проценты совпадения заключений для пациентов тестовой группы по различным парным комбинациям костных структур, плотность которых измерялась на аппаратах Discovery A и ПроСкан, в пределах статистических погрешностей соизмеримы друг с другом и с эмпирическими данными, полученными на других двухэнергетических денситометрах.
2. Средняя величина специфичности показаний на ПроСкан при сравнении с Discovery A как эталонным аппаратом составляет 0,69, средняя величина чувствительности – 0,82.
3. Оценка величины истинной специфичности показаний на ПроСкан, полученная на основании вероятностного описания результатов заключений на Discovery A и ПроСкан, составляет 0,80, оценка величины истинной чувствительности – 0,92.
4. Результаты сравнения заключений на Discovery A и ПроСкан показали, что данные пациента, получаемые при стандартном (скрининговом) флюорографическом обследовании населения на флюорографах серии ПроСкан, могут быть использованы для скрининга остеопороза.

Список литературы

1. Гуржиев А.Н., Гуржиев С.Н., Кorableв В.М., Кострицкий А.В. Способ определения величин минеральной и объемной плотности костной ткани, относящийся к одноэнергетической рентгеновской денситометрии. Заявка на изобретение от 01.06.2009, регистрационный номер заявки 2009120439, номер патента 2412650.
2. Periard M.A. X-ray and gamma photon bone densitometry in clinical diagnosis. // Canad. J. Med. Radiat. Technology, 2001, **32**, No. 4, P. 24–32.
3. ПРОТОКОЛ клинических испытаний функции скрининг-теста заболевания остеопороз в составе аппарата ПроСкан производства ЗАО Рентгенпром, Россия. Совместный документ ФГБУ “НИИР” РАМН и ЗАО Рентгенпром, 2013.
4. Woodson G. Dual X-Ray absorptiometry t-score concordance and discordance between hip and spine measurement sites. // J. Clin. Densitometry, 2000, **3**, No. 4, P. 319–324.
5. Moayyeri A. et al. Discordance in diagnosis of osteoporosis using spine and hip bone densitometry. // BMC Endocrine Disorders, 2005, **5**:3 doi: 10.1186/1472-6823-5-3.
6. Maghraoui A. et al. Prevalence and risk factors of discordance in diagnosis of osteoporosis using spine and hip bone densitometry. // Ann Rhenium Dis (in press).
7. Hudson D. J. Lectures on Elementary Statistics and Probability. Geneva, 1964.

FUNCTION TESTING OF A SCREENING-TEST OF OSTEOPOROSIS BY THE APPARATUS PROSCAN

A.N. Gurzhiev, V.M. Gurzhiev, V.M. Korablev, P.V. Sadikov, V.G. Sukharev
Roentgenprom JSC, Moscow, Russia

The purpose of the tests was to check the possibility of using photofluorographic apparatus ProScan for detecting osteoporosis during fluoroscopic examination of the population. The correctness of the opinions on the state of bone density on the photofluorograph model ProScan-2000 was tested by comparing the findings for a sample of 106 people screening results from ProScan apparatus with the conclusions obtained for the same sample of people on the densitometer Discovery A production company Hologic (USA). The results of the comparison showed that the photofluorographic series ProScan can be used for obtaining osteoporosis disease during fluoroscopic examination of the population.

Key words: *osteoporosis, screening, photofluorograph ProScan-2000*

E-mail: korablev@roentgenprom.ru