

В.В. Уваров  
Генеральный директор ЗАО «ИНТЕЛМЕДТЕХНИКА»

### ВВЕДЕНИЕ

Маммография сегодня, одна из немногих областей лучевой диагностики, где рентгеновское излучение не уступает свои позиции альтернативным методикам, таким как: УЗИ, МРТ и радионуклидная диагностика. В справочнике «Молочная железа – 100 основных диагнозов» маммография рекомендована, как диагностический метод в 55% случаев, в 10% случаев рекомендованы ультразвуковые методы исследования и в 5% случаев преимущества имеет магнитно-резонансная томография. В оставшихся 30% случаев для постановки диагноза все названные методы используются совместно с клиническими данными.

Рак молочной железы в развитых странах занимает лидирующее место в списке смертности от онкологических заболеваний. Поэтому огромное внимание уделяется скринингу популяции женщин возрастом более 35 лет. Всем пациенткам рекомендуется выполнить базовую маммограмму для последующего сравнения, а в возрасте после 40 лет рекомендовано проходить маммографию не реже одного раза в два года. Маммография сегодня – единственный разрешенный в развитых странах мира скрининговый метод исследования, использующий ионизирующее излучение. Отношение преимуществ раннего выявления РМЖ к риску получения РМЖ после маммографии оценивается в интервале от 700:1 до 1000:1.

При скрининге обычно выполняют по две проекции каждой молочной железы. Женщинам из группы риска (по семейной картине, например) или с симптомами заболеваний молочной железы выполняют диагностическую маммографию – по три проекции каждой молочной железы.

Исторически первые маммограммы были получены еще в 20-х годах 20 века, но о современной маммографии можно говорить, начиная с 1972 года, когда к уже существующим одноэмульсионным зеленочувствительным пленкам были разработаны специальные маммографические кассеты с одним усиливающим редкоземельным экраном, имеющим пик светимости также в зеленой области. В 90-е годы сложилась современная концепция устройства рентгеновского маммографа с высокочастотным (до 100 кГц) рентгеновским генератором, с микрофокусными трубками (0,1/0,3 мм) с молибденовым анодом, с автоматическим контролем экспозиции, использующим метод короткой предэкспозиции для расчета плотности молочной железы и автоматического выбора оптимальных параметров экспозиции. Список существенных параметров маммографа приведен в Таблице 1.

### СПЕКТРЫ И ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Маммограф существенно отличается от обычных рентгеновских аппаратов, во-первых, диапазоном пиковых рабочих напряжений на трубке: так в медицинской рентгенодиагностике используются значения пиковых напряжений от 40 до 150 кВп (киловольт в пике), а маммографы работают в диапазоне 20–35 кВп. Напряжения выше 30 кВп не рекомендованы, так как дают низкую контрастную чувствительность снимка. Фокус рентгеновской трубки размером 0,3 мм считается микрофокусом в стационарных рентгеновских аппаратах, а для маммографов рентгеновские трубки с двумя фокусами 0,1 мм/0,3 мм – норма.

*Напомним некоторые основы генерации рентгеновского излучения: На рентгеновскую трубку подается высокое напряжение (например, 28 киловольт, как на рис. 1А). Электроны с нити накала (катода) трубки ускоряются и сталкиваются*

Таблица 1. Существенные параметры рентгеновского маммографа

<b>Рентгеновский генератор (моноблочного типа)</b>	
Частота высоковольтного преобразования рентгеновского генератора	100 кГц
Мощность рентгеновского генератора	3,5 кВт
Диапазон кВп	20–35 с шагом 0,5 кВп
Автоматический контроль экспозиции	Принцип «нулевой точки»
<b>Рентгеновская трубка</b>	
Размер фокальных пятен рентгеновской трубки, мм	0,1 и 0,3
Сочетания материал мишени анода/ материал фильтра	Mo / 30 мкм Mo, Mo / 50 мкм Rh Rh / 50 мкм Rh
С-дуга (гентри)	
Расстояние источник/приемник	65 см (или 65–70 см)
Диапазон движения по вертикали	55–130 см от пола
<b>Растр</b>	
Отношение растра	От 3:1 до 5:1
Плотность растра	30 л/см
<b>Компрессионные лопатки и прочие возможности</b>	
Возможность увеличения изображения	До 2х
Наличие лопатки для прицельных снимков	Наличие

*с анодом. В момент столкновения все они имеют кинетическую энергию 28 килоэлектронвольт (кЭв). (Известно, что электрон, проходя разность потенциалов 1 вольт, получает энергии один электронвольт – это специальная единица измерения введена физиками для удобства).*

*Электроны тормозят в материале мишени анода, передавая свою кинетическую энергию гамма-квантам тормозного (рентгеновского) излучения, спектр которого имеет хорошо известный колоколообразный вид (рис. 1А). (О двух пиках так называемого характеристического излучения мы расскажем позже).*

*Некоторые электроны полностью отдают свою энергию гамма квантам – мы видим, что спектр заканчивается в области 28 кЭв. Высокое напряжение, поданное на рентгеновскую трубку называют пиковым, так как оно определяет пиковые (максимальные) значения энергий получаемых гамма-квантов. При этом максимальное количество гамма-квантов образуется в области энергий примерно 2/3 от максимального кВп.*

Появление в 90-х годах рентгеновских трубок с молибденовой (Mo) (а затем и родиевой (Rh)) мишенью анода было революционным для маммографии. Молибден имеет меньшую плотность и более низкую температуру плавления, чем вольфрам (то есть анод трубки должен быть вращающимся, чтобы не расплавиться), но он имеет ценную особенность для маммографии – пики характеристического излучения при 17,5 и 19,6 кэВ (см. рис. 1А). Соответственно в этой же области молибден имеет и К-скачок своей поглощающей способности рентгеновского излучения (см. рис. 1Б). При использовании молибденового фильтра с молибденовым анодом результирующий пучок излучения (см. рис. 1В) имеет практически моноэнергетический вид (с пиком ниже 20 кэВ), что гарантирует высокую четкость изображения.

Для молочных желез с большой компрессионной толщиной (5-6 см) желательно либо сделать излучение немного «жестче» с помощью более плотного родиевого фильтра, либо использовать родиевую мишень анода.

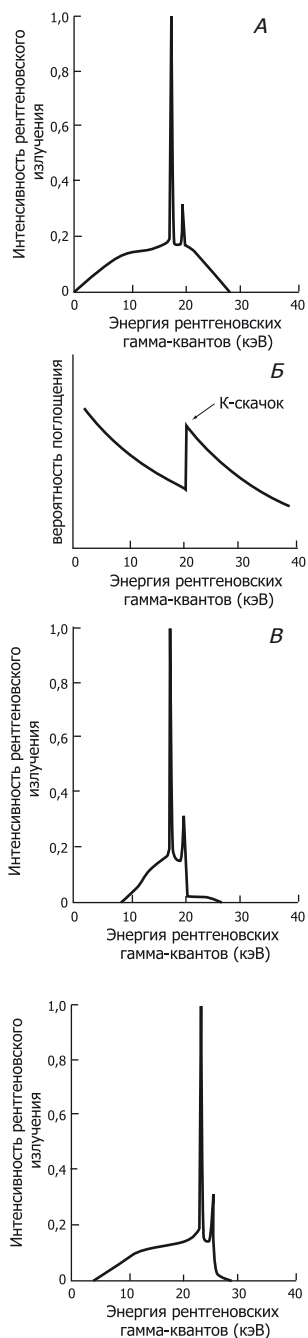


Рис. 1А. Спектр маммографической трубки с молибденовым анодом при 28 кВп.

Рис. 1Б. Поглощающая способность молибденового фильтра (для рентгеновского излучения).

Рис. 1В. Результирующий почти моноэнергетический спектр маммографической трубки с молибденовым анодом при 28 кВп и молибденовым фильтром 30 мкм.

Родий имеет пики характеристического излучения в области выше 20 кэВ (см. Рис. 2) Соответственно после фильтрации родиевым фильтром образуется почти моноэнергетический пучок излучения с пиком выше 20 кэВ (более «жестким»).

В большинстве маммографов возможна опциональная поставка дополнительного родиевого фильтра и автоматического сменщика фильтров.

Очевидно, что большая молочная железа требует также использования кассеты большого формата – 24 x 30 см.

Родиевый фильтр и устройство автоматической смены родиевого/молибденового фильтра (в зависимости от компрессионной толщины молочной железы) сегодня стали обычными опциями даже для скрининговой маммографии. Стремление к совершенству (иногда чрезмерное) привело к созданию рентгеновских трубок с несколькими дорожками мишеней, в некоторых случаях каждая дорожка имеет свой угол наклона (биангулярные и триангулярные аноды).

Сегодня несложно заказать для маммографа рентгеновские трубки с двумя мишенями анода (молибденовой и родиевой) или даже с тремя дорожками мишеней (молибден, родий и вольфрам). Правда использование вольфрама в качестве мишени анода для маммографии не очень оправдано, так как вольфрам не имеет пиков характеристического излучения в рабочей области энергий (от 17 до 24 кэВ). Но остается место для «игры» с фильтрацией излучения с энергиями в области 30–35 кэВ.

Поясним, как это можно сделать: надо подать на трубку с вольфрамовым анодом напряжение 33 кВ и получить максимум спектра в области 22 кэВ, а затем отфильтровать «мягкую» составляющую молибденовым или родиевым фильтром.

**Резюме: В большинстве случаев достаточно трубки с молибденовым анодом и молибденовым фильтром. При наличии в скрининговой группе большого количества женщин с большими молочными железами не обойтись без кассетодержателя под формат 24x30 см и устройства для автоматической смены мо-**

Рис. 2. Спектр маммографической трубки с родиевым анодом и родиевым фильтром 50 мкм при 28 кВп.

либденового фильтра на родиевый в зависимости от компрессионной толщины молочной железы.

### УСТРОЙСТВО МАММОГРАФА

Основным модулем маммографа является С — дуга (или гентри), которая объединяет: рентгеновскую трубку, приемник изображения (плёночный или цифровой) и систему компрессии молочной железы (см. рис. 3). Расстояние источник приемник (РИП) может быть фиксированным (65 см) или изменяемым.

Увеличение РИП несколько уменьшает эффект геометрического увеличения изображения, но не позволяет его полностью избежать. При увеличении РИП требуется увеличение мощности рентгеновского генератора, так что любителям съемки молочной железы с РИП=80 см надо заказывать, как минимум, 5 кВт генератор.

Для биопсии необходимо иметь изоцентрическую С-дугу, чтобы при выполнении косых проекций объект исследования оставался по центру изображения. В некоторых маммографах с изменяемым РИП это достигается путем максимального удаления приемника изображения от трубки.

С — дуга маммографа может вращаться вокруг горизонтальной оси для выполнения косых и боковых проекций, а также двигаться по вертикали (см. рис. 4). Следует учесть, что некоторые азиатские маммографы рассчитаны на низкорослых пациенток.

Классической укладкой считается положение пациентки, стоя или сидя. Классическая конструкция С — дуги маммографа изображена на рис. 3 и 4.



Рис. 3. С — дуга маммографа MELODY, фирмы VILLA SISTEMI MEDICALI, Италия. Рентгенолаборант устанавливает столик для увеличения изображения



Рис. 4. Выполнение КМЛ и боковой проекции на маммографе MELODY, фирмы VILLA SISTEMI MEDICALI, Италия

Простейшие маммографы работают с одним форматом кассет – 18x24 см, а для компрессии имеют: одну компрессионную лопатку под формат кассет 18x24 см и столик для увеличения изображения до 2х раз. Увеличение изображения с прицельной компрессией лопаткой диаметром примерно 8 см выполняется достаточно часто при выявлении обызвествлений.

Все производители имеют свой ряд компрессионных лопаток, но мы хотим обратить внимание на лопатку для биопсии с сеткой и отверстиями. Эта лопатка предназначена для выполнения биопсии под контролем УЗИ, что возможно даже на простом маммографе, не подготовленном к биопсии под контролем рентгеновского излучения.

### БИОПСИЯ

Если по результатам скрининга было обнаружено «подозрительное» образование или обызвествление, то в большинстве случаев, требуется биопсия. Многие маммографы не приспособлены для работы с биопсийными приставками, поэтому эту опцию следует оговаривать до поставки аппарата.

Маммограф, способный работать с биопсийной приставкой, обычно оснащен изоцентрической С — дугой, то есть при вращении С — дуги область интереса всегда остается в центре изображения.

Маммографы обычно используются при выполнении биопсии режущей иглой гильотинного типа, тогда как аспирационная биопсия тонкими иглами выполняется по контролю УЗИ аппарата. Наибольшее распространение получили приставки для биопсии, которые по необходимости устанавливаются на аппарат (рис. 5).

Приставка технически достаточно сложное механическое устройство. Она оснащена держателями для игл или для биопсийного пистолета.

Описания этапов выполнения процедуры:

1. Укладка пациентки (кресло или кушетка) и компрессия молочной железы для выполнения снимка. При правильной укладке пациентки интересующее нас образование будет видно в центре маммограммы.
2. Выполнение двух снимков в косых проекциях ( $\pm 15^\circ$ ). Автоматические фиксаторы позволяют легко получить необходимый угол наклона С-дуги маммографа.
3. Полученные маммограммы вводятся в считыватель, где путем простых тригонометрических преобразований микропроцессор автоматически рассчитывает три координаты образования. На экране появляется минимальная и максимальная длина иглы. После выбора иглы ее держатель автоматически перемещается в требуемое положение.

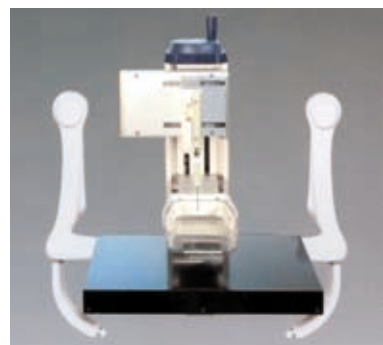


Рис. 5 Приставка для выполнения биопсии ВУМ 3D, фирмы VILLA SISTEMI MEDICALI, Италия

4. Устанавливается адаптер с иглой нужного диаметра.
5. Вводится игла для отбора биоптата. После ее установки горизонтальные перемещения держателя иглы автоматически блокируются. Это делается для безопасности пациента.
6. Проведение двух дополнительных снимков для удостоверения в правильности расположения иглы. Углы экспозиции те же.
7. Отбор биоптата. На этом этапе глубину ввода иглы можно менять с пульта управления. Для упрощения этой операции на экране высвечиваются как текущие, так и расчетные координаты кончика иглы.

8. Держатель иглы возвращается в исходное состояние.

Как мы видим основным лимитирующим фактором по времени является обработка пленки (3 снимка) – это около 10 минут. Плюс расчет координат – это еще около 3-5 минут. Возникли решения с использованием цифровых детекторов небольшой площади (рис. 6), но как отмечено в главе о Биопсии справочника «Молочная Железа – 100 основных диагнозов» – иногда врач не может сориентироваться по небольшому размеру изображения.



Рис. 6. Цифровой детектор фирмы СИМЕНС, Германия, для цифровой биопсии.

### МАРКИРОВКА ПЛЕНКИ

На кассетодержателе маммографа обычно расположены встроенные маркеры типа Право/Лево или с названиями основных проекций. Но есть дополнительная информация, которая обычно записывается на пленке специальным карандашом или на конверте, или на наклейке на пленку, это: название лечебного учреждения, дата исследования, имя пациента, имя оператора, доза и т.д.

Можно впечатать всю информацию в специальную область в углу снимка. Для этого можно заказать кассеты с окошком и специальный маркер пленки (рис. 7)



Рис. 7. Маркер пленки Easylabel, фирмы VILLA SISTEMI MEDICALI, Италия

Например, в памяти маркера Easylabel

можно сохранить: Названия ЛПУ, имена до 26 операторов, названия до 10 различных кабинетов, имена до 125 пациентов с местом и временем рождения, названия 26 проекций, 26 комментариев, а также дозу, полученную пациентом.

### ЦИФРОВАЯ МАММОГРАФИЯ

Маммография – это последняя область лучевой диагностики, в которую пришли цифровые методы визуализации. Сегодня можно говорить о двух лидирующих методах:

- о использование цифровых плоскочастотных детекторов из аморфного селена
- о использование методик компьютерной рентгенографии.

Основным препятствием в развитии цифровой маммографии послужили высокие требования к пространственному разрешению – 10 пар линий/мм (возможно завышенные), которые были золотым стандартом для пленочной маммографии. Пара линий – это два пиксела с цифровой точки зрения, то есть на формате 24 x 30 см нам надо получить изображение размером 4800 x 6000 пикселов – это примерно 28,8 Мегапиксела (Мпикс.). Очевидно, что разработчики цифровых маммографов столкнулись с трудностями получения, обработки, хранения и визуализации изображения такого размера.

Проблемы получения цифрового маммографического рентгеновского изображения заключаются в том, что при уменьшении размера чувствительного элемента детектора уменьшается количество заряда, который собирает этот



элемент при экспозиции. То есть растет вклад шумов и падает качество изображения. Чтобы достичь 10 пар линий на мм надо сделать чувствительный элемент детектора размером 50 микрон. Минимальный размер чувствительного элемента плоскочувствительного детектора сегодня составляет 70 мкм, что дает пространственное разрешение 7 п.л./мм (14 пикселей/мм).

Всех производителей маммографов с полноформатными плоскочувствительными детекторами сегодня можно разбить на три группы: 70 мкм (SIEMENS, HOLOGIC) – размер изображения 24x29 см = 14,2 Мпикс., 85 мкм (PHILIPS, METALTRONICA, PLANMED) – размер изображения 24x30 см = 10,1 Мпикс., и 100 мкм (GE) – размер изображения 24x31 см = 7,4 Мпикс.

Хорошим для медицинской визуализации считается монитор с размером 21 дюйм по диагонали, и с матрицей изображения 1600x1200 пикселей (1,9 Мпикс.). Для цифровой маммографии рекомендовано использовать медицинские монокромные мониторы 2500x2000 пикселей (5 Мпикс.). Мониторы с матрицей изображения от 6 до 10 мегапикселей являются сегодня дорогостоящей экзотикой.

Очевидно, что даже на 5 мегапиксельном мониторе, изображения как 7,4 Мп, так и 14,2 Мп будут показаны в сжатом виде. Этот факт заставил задуматься о том, почему для маммографии надо именно 10 п.л./мм? Чтобы выявить миллиметровый кальцинат формально нужно разрешение в одну пару линий на мм. А чтобы увидеть слабое изменение оптической плотности более важным параметром является контрастная чувствительность. Но методы доказательной медицины не позволяют что-либо принять на веру, и усилия большинства разработчиков цифровых маммографов сегодня сосредоточены сегодня в основном на доказательстве диагностической значимости маммографии с пространственным разрешением 5 пар линий/мм за счет высокой контрастной чувствительности метода, а также за счет компьютерной обработки изображения.

### СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ (РАДИОГРАФИИ)

Системы компьютерной рентгенографии (радиографии) первыми получили признание в цифровой маммографии. Это стало возможным потому, что эти системы могут работать с аналоговыми маммографами и не требуют покупки нового рентгеновского оборудования. Кроме того эти системы первыми достигли пространственного разрешения 10 пар линий/мм.



Рис. 8. Сканер системы компьютерной рентгенографии CR35 фирмы AGFA, Бельгия

Система компьютерной рентгенографии представляет собой сканер (дигитайзер), который считывает изображение с многократной пластины из запимающего люминофора, которая установлена в кассете вместо системы экран/пленка (рис. 8). Сканер (дигитайзер) подключен к рабочей станции рентгенолаборанта, которая выполняет основные действия по получению и оптимизации изображения.

Все элементы системы компьютерной рентгенографии, предназначенной для маммографии должны учитывать высокое пространственное разрешение получаемого снимка: мониторы станции врача рентгенолога должны быть желательны 5 мегапиксельные, системы архивации должны хранить не менее 300/500

Гб информации, а главное принтер должен быть достаточно высокого качества (рис. 9)

Технология маммографии сегодня стремительно развивается. Основными направлениями сегодня являются – совершенствование цифровых методов визуализации детекторами большой площади, трехмерная реконструкция изображений, энергетические методы распознавания кальцинов и системы компьютерной диагностики (CAD). Но без врача, без хорошего рентгенолаборанта все это современное оборудование – не будет работать. Поэтому мы надеемся, что эта статья, а главное сама книга «Молочная железа – 100 основных диагнозов» будет Вашим надежным помощником в повседневной работе. Успехов!



Рис. 9. Специализированный маммографический медицинский принтер Drystar AXYS фирмы AGFA, Бельгия