

Классическая (аналоговая) томография - история, современный статус.

В.В. Уваров

Член исполкома Российской
Ассоциации Радиологов
uvarovvv@me.com

Введение

Классическая (аналоговая) томография - метод рентгенографии, при котором можно получить изображение слоя изучаемого объекта за счет относительного движения рентгеновской трубки и приемника изображения вокруг объекта.

Еще в 1900-1914 годах исследователи стали решать проблему теней, возникающих при проецировании трехмерного объекта на плоскость, и закрывающих область интереса. В те годы параллельно с линейной томографией развивались и методы получения рентгеновского стереоизображения [1]. Первая мировая война и разобщенность национальных сообществ радиологов в послевоенные годы привели к тому, что в нескольких странах мира одновременно велись работы над реализацией принципа аналоговой томографии. Соответственно, для метода возникло множество разных названий: планиграфия, стратиграфия, зонография, ламинаграфия, секторная радиография, традиционная (классическая) томография, а в последние годы - «некомпьютерная томография». Сформировались и основные принципы относительного движения рентгеновского излучателя и приемника изображения: линейное, эллиптическое, круговое, спиральное, гипоциклоидное (рис. 1). В России из всех названных движений излучателя было реализовано самое простое - линейное и, соответственно, прижилось название «линейная томография». Международная комиссия по радиационным приборам и измерениям (ICRU) в своем отчете «Report 10f» рекомендовала общее название «томография» для всех этих методов исследования.

Мы считаем, что сегодня удобно использовать термин «аналоговая томография», в противоположность компьютерной (цифровой) томографии. Первые прототипы аппаратов для аналоговой томографии появились в 30-е годы 20 века, здесь следует отметить работы французского исследователя Бокажа, голландца Zeides Des Plantes, итальянца A. Vallebona и немца G. Grossman.

При этом, еще в 1915 году флорентийский исследователь С. Baese собрал так называемый radio-stereometer, который использовался в годы Первой мировой войны в режиме просвечивания (флюороскопии) для определения глубины залегания осколков методом линейной томографии у раненых. Но ему не пришло в голову использовать свой прибор для других целей в режиме рентгенографии.

Первые коммерчески доступные аппараты появились также в 30-е годы 20-го века: немецкая фирма Sanitas выпустила в 1935 году аппарат Tomograph, в 1936 году французская фирма Massiot выпустила аппарат Planigraf, а в 1938 году американская фирма Keleket X-ray Company выпустила аппарат Laminigraph.

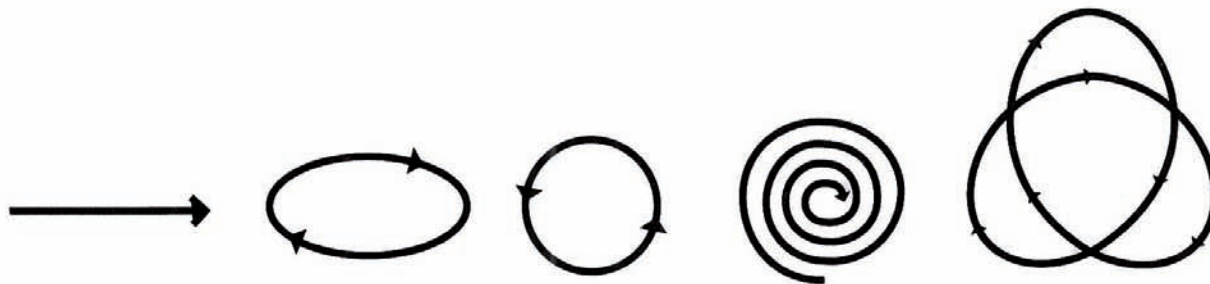


Рис.1 Пять основных траекторий движения рентгеновского излучателя при аналоговой томографии [2].

К началу Второй мировой войны методы аналоговой томографии были внедрены повсеместно.

Развитие методов компьютерной томографии в 70-х годах прошлого века привело к постепенному ослаблению позиций аналоговой томографии. Большинство статей о сравнении аналоговой и компьютерной томографии, опубликованные в 80-90е годы прошлого века, были о преимуществах КТ. Следует отметить, что также публиковались и статьи о преимуществах аналоговой томографии [3, 4], но с одной любимой европейской заботой об экономии денег.

В 1982 году в Новом Орлеане состоялся международный симпозиум, на котором обсуждались возможности аналоговой томографии по сравнению с возможностями КТ [5]. Со вступительным словом выступал сам профессор Zeides Des Plantes, который развивал аналоговую методику с 1921 года. Всего в обсуждении принимали участие двадцать восемь докладчиков из семи стран. Один из докладчиков - профессор McClennan высказался о том, что аналоговая томограмма это «испачканная рентгенограмма», но ее до сих пор широко используют, в том числе и при выполнении внутривенной пиелограммы, при этом из всех методов аналоговой томографии право на существование имеет только метод со спиральным движением излучателя, что было поддержано собравшимися. Анализ стоимости компьютерной томографии по сравнению с аналоговой томографией показал преимущества КТ, если учесть все расходы, связанные в том числе и с вероятностью постановки неверного диагноза по результатам аналоговой томографии. Также было показано что, например, при томографии позвоночника пациент получает вдвое, иногда втрое большую дозу, чем при исследовании на КТ.

Этот симпозиум подвел черту под историей развития аналоговой томографии, хотя мы понимаем, что отказ от этого метода исследования будет сопровождаться сменой поколений рентгенологов и будет не быстрым. Согласно данным ведущего производителя рентгенотехники в Италии, завода VILLA SISTEMI MEDICALI [6] до сих пор около 20% заказов рентгенографических аппаратов со столом снимков для Европейских клиник содержат требования о наличии томографической приставки.

Анализ статистической Формы №30 за 2008 год [7] показывает, что было выполнено примерно два миллиона линейных томографий (столько же, сколько и компьютерных томографий) из почти девяти миллионов рентгенологических исследований. При этом в России чуть более 700 компьютерных томографов и около 12 тысяч аппаратов, оснащенных томографической приставкой. Тенденция очевидна, и наиболее «продвинутые» рентгенологи стараются заказать аппарат без томографической приставки, но с какими-либо другими опциями: лифтом деки, более надежным рентгеновским излучателем и т.п.

Область применения аналоговой томографии

Основными областями применения аналоговой томографии являются исследования костно-мышечной системы, гортани и легких. При этом самой известной областью применения линейной томографии в России является диагностика заболеваний легких и рентгеновские аппараты, оснащенные томографической приставкой востребованы в первую очередь в Противотуберкулезных и Онкологических диспансерах. Заметим, что во многих названных ЛПУ в последние годы уже появились компьютерные томографы.

При визуализации методами рентгенографии таких структур как позвоночный столб, грудина, ребра и турецкое седло существуют проблемы в силу размера этих анатомических объектов, ориентации в теле и наличия окружающих тканей. Также затруднена рентгенографическая визуализация многих суставов, например: надключичного, височно-нижнечелюстного, крестцово-подвздошного, реберно-позвоночного и атлантозатылочного. Аналоговая томография во фронтальной проекции показала себя хорошо при исследованиях области крестца, крестцово-подвздошной и надключичной областей. Для прочих суставов, указанных выше, иногда требуется выполнение не только фронтальной, но и латеральной аналоговой томографии. Среди проблем, решаемых методами аналоговой томографии, числятся: обнаружение переломов позвоночника, плато большеберцовой кости, запястья и бедренной кости; идентификация остеохондральных дефектов и слежение за срастанием переломов. Также методами аналоговой томографии можно идентифицировать области заболевания у больных хроническим остеомиелитом (по разрушению кортикального слоя и участкам омертвления кости).

Сегодня большинство названных исследований можно выполнять другими методами медицинской визуализации (КТ, МРТ, УЗИ, методы ядерной медицины) с существенно более высоким качеством. Это не отменяет необходимости для врача знать как использовать метод аналоговой томографии. Но медицина самая консервативная практическая наука, и чаще всего врач-рентгенолог требует новый рентгеновский аппарат с устройством для выполнения линейной томографии просто по привычке.

Описание метода линейной томографии

Принцип томографического размытия объясняется на Рис.2.

Рентгеновский излучатель и кассетодержатель связаны стержнем (или синхронизованы электронно). При одновременном движении излучателя и кассеты вокруг центра вращения точка Б (расположенная в плоскости на уровне центра вращения = плоскость среза) проецируется в одно и то же место на кассете, тогда как проекции точек А и В, расположенных выше и ниже плоскости среза сильно смещаются (на Рис.2 они просто меняются местами относительно точки Б).

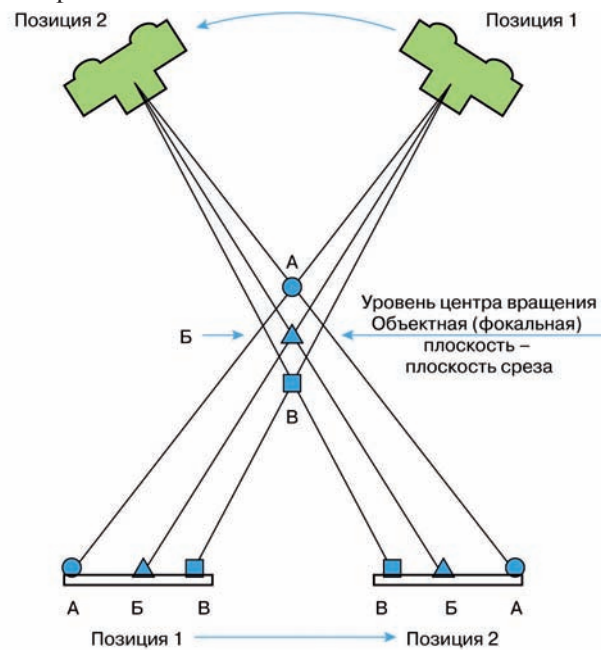


Рис. 2 Принцип томографического размытия [8]

$$H = \frac{V}{\tan(a/2)}$$

где H – толщина томографического слоя, V – максимально приемлемое размытие (сдвиг), a – угол томографии.

То есть толщина слоя томографии определяется Вашей толерантностью к сдвигу (размытию) краев изучаемого объекта. Традиционно в качестве порога выбирается сдвиг 0,5 мм, что дает следующие значения для толщины слоя томографии, приведенные в Таблице 1. Заметим, что все это тоже очень сильное упрощение. В современных теориях границу «слоя среза» определяют либо уменьшением величины значения функции передачи модуляций (МТФ) на 50%, либо 10% вкладом «вуали» от «размытого» изображения в изображение «слоя среза».

В наших модельных экспериментах с томографическим фантомом Fluke мы обнаружили, что при съемке контрастных объектов сложно определить грань их различимости – Рис.3. Слой среза был на уровне 10 мм. Угол томографии – 20°. То есть толщина слоя среза примерно 3 мм, мы видим, что цифра 8 уже имеет размытую «шапочку» и на 12 сверху то же самое (плюс тень от стержня – подставки). При этом даже единица, двойка и тройка, которые должны быть сильно размыты – прекрасно читаются.

Рисунок, конечно же, некоторое упрощение реальной ситуации, движение сопровождается тряской или может быть несинхронно при электронной томографии, что приводит к размытости всего изображения. Изображение размытых слоев все равно остается на снимке в виде вуали, причем ее уровень существенно выше чем нормы по уровню вуали на рентгеновской пленке, что существенно ухудшает читаемость снимка.

Излучатель движется по дуге, тогда как кассета – планарно, то есть в центре расстояние от источника излучения до пленки меньше, чем по краям, что делает центральную область более темной на снимке, а геометрическую модель очень приблизительной.

Отметим также, что при линейной томографии «размываются» объекты, лежащие вдоль движения трубки, тогда как перпендикулярные объекты остаются практически неизменными.

В свое время J. Kieffer вывел формулу для толщины слоя томографии [9], которая основана на упрощенных геометрических предположениях, но с тех пор кочует из учебника в учебник [2, 8, 9]:

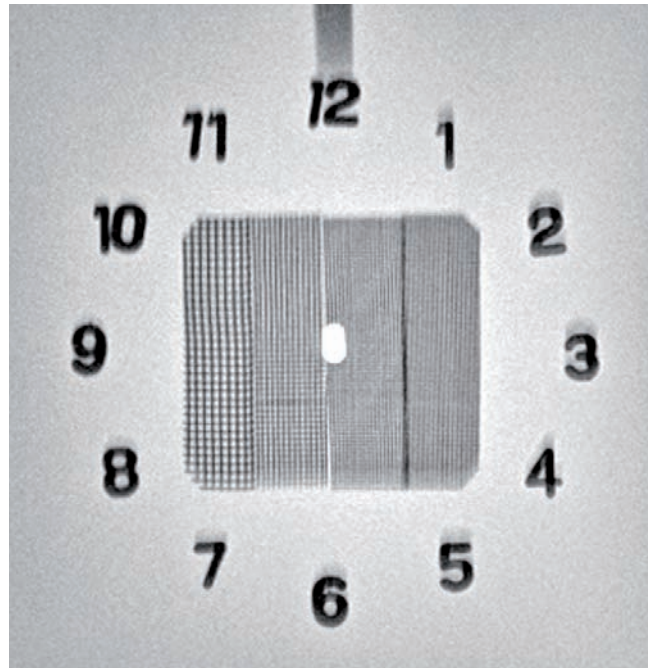


Рис. 3 Томографический фантом Fluke. Каждая ступенька имеет высоту 1 мм. Угол томографии 20°. Уровень среза 10 мм от нижнего края фантома.

Таблица 1. Зависимость толщины слоя томографии от угла томографии, при допустимом сдвиге изображения 0,5 мм

Угол томографии, α	$B = 0,5$ мм	$B = 0,5$ мм (округлено)
5	11,5	12
7	8,2	8
8	7,2	7
10	5,7	6
15	3,8	4
20	2,8	3
25	2,3	2
30	1,9	2
35	1,6	2
40	1,4	1
45	1,2	1
50	1,1	1

Мы видим, что существует три области углов томографии: 5-10 градусов – так называемая зонография; 10-35 область тонкослойной томографии; 35-50 область, где толщина слоя томографии близка к 1 мм. **То есть минимальное количество востребованных для диагностики углов линейной томографии – три.**

В Азии (Китай, Корея) линейная томография никогда не была популярной, а сегодня в Китае, например, так и вовсе никто уже не понимает зачем она нужна, если в каждой клинике стоит КТ. Но по заказу клиентов из

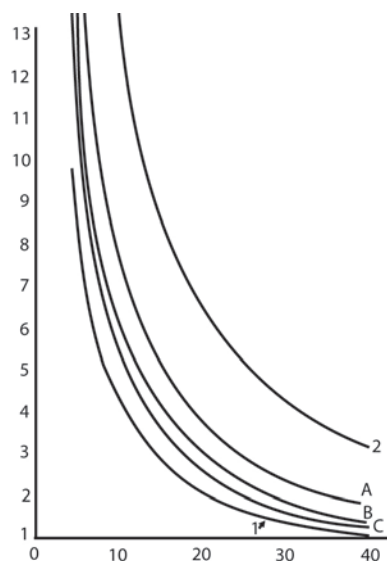
западного мира выпускаются столы-снимков с двумя углами томографии – 20 и 40. В Европе чаще всего встречаются столы снимков с 4 углами томографии – один в области зонографии (5, 7 или 8 градусов), один/два угла в области тонкослойной томографии 20 (15) и 30, например, и один угол в области срезов 2 мм (40 или 45). Большое количество углов томографии встречается только у производителей рентгенотехники из соцлагеря – Венгрия и Югославия. Они имеют вполне русский менталитет и знают как играть в тендеры. В России, первым кто реализовал для игры в тендеры стол с восемью углами томографии, был завод МОСРЕНТГЕН, ныне не существующий.

Поправки к геометрической теории линейной томографии

В 70-80-е годы прошлого века мы наблюдаем сильное развитие математических методов в области визуализации. Выходят статьи и об аналоговой томографии, в которых используется Фурье анализ, теория передаточных функций, а также учитываются такие факторы визуализации, как отклик глаза человека, реакция системы экран/пленка, размер фокуса рентгеновской трубки [10, 11].

На Рис.4 приведены результаты вычислений толщины слоя томографии с учетом всех названных параметров. Как мы видим, все поправки можно уложить в диапазон классической модели при размытии от 0,5 мм до 1,5 мм. То есть упрощенно, данные правого столбца Таблицы 1 можно умножить на 2 и иметь хорошее приближение для актуальной толщины слоя томографии.

Рис.4 Изменение толщины слоя среза в зависимости от угла томографии: Кривая 1 – Традиционная геометрическая модель с размытием 0,5 мм; Кривая 2 – Традиционная геометрическая модель с размытием 1,5 мм; Кривая А – МТФ модель томографического движения плюс отклик глаза; Кривая В – МТФ модель томографического движения плюс отклик глаза плюс отклик системы экран/пленка; Кривая С – МТФ модель томографического движения плюс отклик глаза плюс отклик системы экран/пленка плюс размер фокуса рентгеновской трубки [10].



Оборудование для линейной томографии

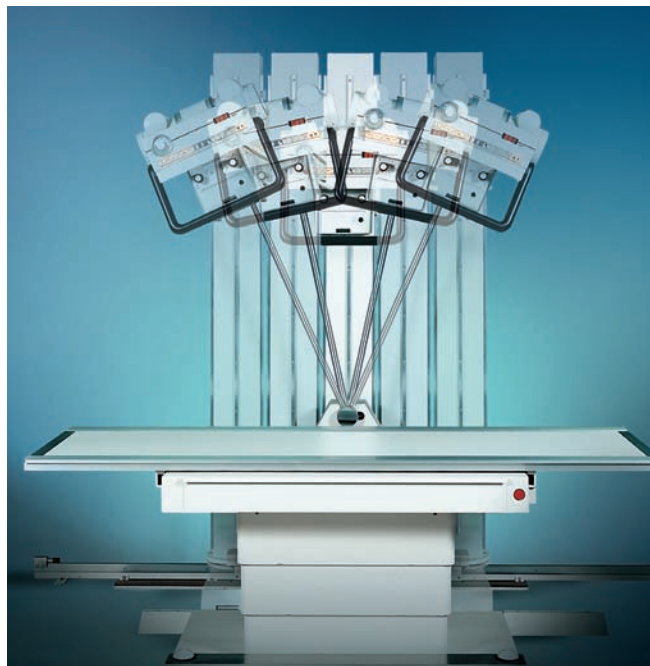
Линейную томографию выполняют, в основном, на столах снимков и на дистанционно управляемых столах-штативах. Львиную долю нагрузки принимают на себя столы снимков.

Стол снимков чаще всего оснащены устройствами для линейной томографии с механической связью (см. Рис.5). Хотя изредка встречаются столы снимков с электронной реализацией линейной томографии (например, Orega RT20, производства фирмы GMM, Италия – Рис.6).

В аппаратах, разработанных в конце 20/начале 21 века, наблюдается тенденция реализовать функцию линейной томографии в электронном виде без механической связи излучателя и приемника рентгеновского изображения.

Так, если мы рассмотрим дистанционно управляемые столы штативы уже упомянутых выше итальянских фирм VILLA SISTEMI MEDICALI и GMM,

Рис.5 Томографический стол снимков MOVIPLAN, производства завода Villa Sistemi Medicali, Италия



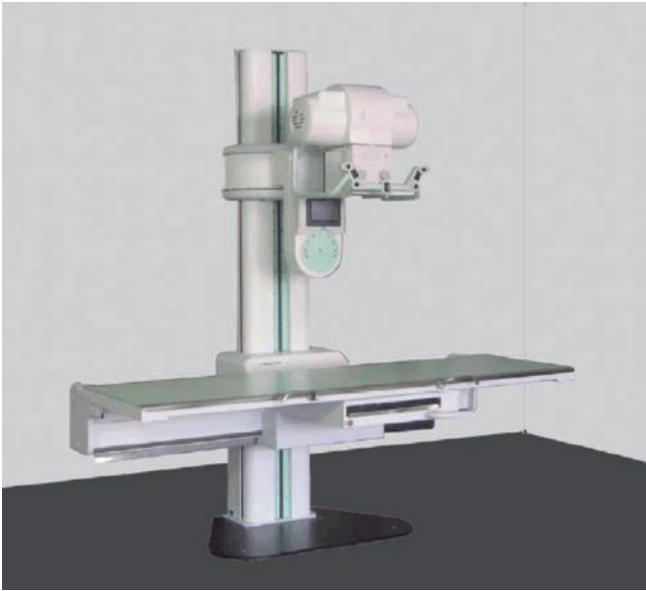


Рис.6 Томографический стол снимков OPERA RT20, производства завода GMM, Италия



Рис.7 Дистанционно управляемый стол-штатив OPERA T90, производства завода GMM, Италия

то увидим обратную (чем со столами снимков) картину (Рис. 7 и 8). Стол Орега серии Т (Т90 или Т30) – Рис.7 имеет механическую систему линейной томографии – поскольку был разработан в 80-е годы 20 века. А стол APOLLO фирмы VILLA SISTEMI MEDICALI (Рис.8) выпущен в 2004/5 и уже имеет электронную реализацию системы томографии.

Электронная томография несомненно гораздо удобнее, чем механическая. Для многих столов снимков требуется выполнять процедуру установки штанги (стержня) перед выполнением томографии. Но главное различие не в этом.

Электронная томография позволяет (теоретически) использовать любое количество углов томографии. В процессе разработки стола OPERA RT20 мы неоднократно просили завод реализовать возможность выбирать любой угол в интервале от 1 до 50 градусов с шагом 1 градус. Но итальянцы не понимают тонкости тендерной борьбы и следуют здравому смыслу. Были реализованы традиционные для фирмы GMM три угла томографии – 8, 20 и 40. Оставлена возможность при инсталляции поменять эти углы, но если Вы посмотрите еще раз на Таблицу 1, то поймете, что практического смысла в этом нет.

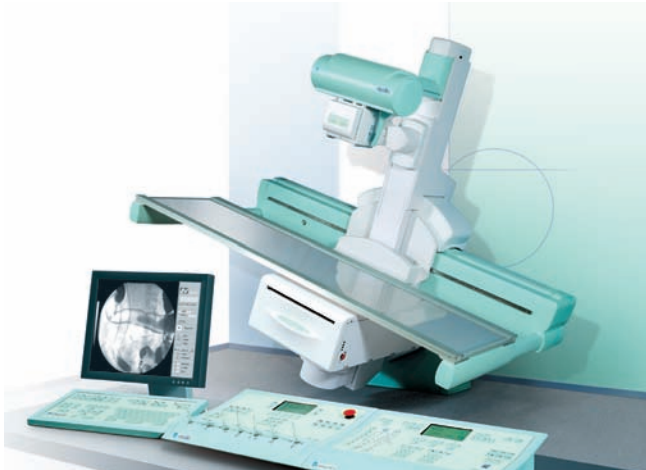


Рис.8 Дистанционно управляемый стол-штатив APOLLO, производства завода Villa Sistemi Medical, Италия

Линейная томография как диагностический метод умирает, но при этом дает жизнь более современной методике – томосинтезу. Когда несколько лет назад появились первые плоскопанельные цифровые детекторы сразу стало ясно, что при томографическом движении двумерного детектора вокруг объекта можно получить набор данных, достаточный для трехмерной реконструкции изображения.

Скорость выполнения линейной томографии

Скорость выполнения томографии - это некорректное название для длительности экспозиции.

Обычно, при выборе экспозиции на генераторе в автоматическом режиме (с рентгеноэкспонетром) используются три типа пациентов — маленький, средний, большой. В последние годы к этим трем типам прибавился режим педиатрии. В томографии чаще всего рентгеноэкспонетр не используется (хотя появились аппараты с такой функцией), расстояние источник/приемник (РИП) фиксировано — поэтому плотность почернения пленки можно регулировать только временем экспозиции (можно еще сочетанием экран/пленка, но это не всегда доступно).

Три скорости для каждого угла томографии соответствуют уже упомянутому разделению пациентов на три типа телосложения. У аппарата APOLLO (см. выше), например, четыре скорости выполнения томографии, но это не является существенным отличием при сравнении аппаратов.

Высота слоя среза

Большинство столов снимков имеют диапазон высот слоя среза от 20 мм до 250 мм. Дистанционно управляемые столы штативы имеют диапазон высот слоя среза от 20 мм до 330 (350) мм. Этим надо руководствоваться при выборе аппарата.

Заключение

Линейная томография, как диагностический метод, с каждым годом становится все менее актуальной. Компьютерная и магнитно-резонансная томография, новые методы диагностики и лечения постепенно сужают область применения линейной томографии. Мы не можем рекомендовать отказаться от приобретения новых рентгеновских аппаратов с функцией линейной томографии, так как можем себе представить ситуации, когда без этой функции сложно будет работать, но рекомендуем подумать о том нужна ли Вам линейная томография или Вы заказываете ее в силу привычки.

Если все же к закупке планируется аппарат с функцией линейной томографии, то мы можем дать следующие практические советы:

Электронная реализация томографии несомненно лучше механической, но не настолько чтобы оправдывать сильную разницу в цене (более 30%).

Наличие двух углов линейной томографии — нежелательно

Наличие трех или четырех углов томографии — эквивалентно, хотя четыре угла немного лучше.

Нет никакого диагностического смысла в наличии у аппарата более чем 4 углов томографии

Для каждого угла томографии должно быть не менее 3 скоростей ее выполнения.

Библиография

1. R. Van Tiggeln, In search for third dimension: From radiostereoscopy to three-dimensional imaging; JBR-BTR, 2002, 85: 266-270
2. Tortorici M: Concepts in medical radiographic imaging, Philadelphia, 1992, WB Saunders
3. L R Bagg, I D Cox, N J Russell, A S Thornton, B Gorman, and M J Turner Assessment of conventional tomography and fiberoptic bronchoscopy in the diagnosis of potentially malignant chest opacities. Thorax- An International Journal of Respiratory Medicine, 1984, January; 39 (1): 23-27
4. Y.A. Ali, E.M. Saleh and A.A. Mancuso, «Does conventional tomography still-have a place in glottic cancer evaluation?» Clinical Radiology, Volume 45, Issue 2, February 1992, Pages 114-119
5. Barbara I. Carter, A Comparison of Computed and Conventional Tomography Conflictual or Complimentary? J Comput Assist Tomogr, Vol. 6, No. 5. 1982
6. Частное сообщение Massimo Cavalaro - регионального менеджера по России завода VILLA SISTEMI MEDICALI, Италия.
7. Федеральное Государственное Статистическое Наблюдение. Форма 30 за 2008 год, Раздел V. Работа Диагностических Отделений
8. К.Л. Бонтграгер «Руководство по рентгенографии с рентгеноанатомическим атласом укладок», 2005, ИНТЕЛМЕДТЕХНИКА
9. Joseph Selman, The Fundamentals of X-ray and Radium Physics, Eight Edition, Charles C Thomas Publisher, Springfield, Illinois, 1994
10. C.J. Moore and B.M. Moores, A suggested theory of the conventional tomographic imaging process, Phys.Med.Biol., Vola. 26, No. 6, 985-996
11. Stylianos C. Orphanoudakis and John Strohen. "Mathematical model of Conventional tomography", Medical Physics, Vol.3, No. 4, Jul./Aug. 1976