

Основные технические характеристики рентгеновских компьютерных томографов для выбора модели в соответствии с профилем медицинского учреждения

Аннотация

В статье предлагается перечень унифицированных технических характеристик рентгеновских компьютерных томографов и их значения, рекомендованные для различных лечебных учреждений, в зависимости от их профиля.

Техническое оснащение учреждений здравоохранения имеет большое значение для обеспечения необходимого качества оказываемых медицинских услуг и определяет эффективность системы здравоохранения в целом.

При выборе модели рентгеновского компьютерного томографа (РКТ) для того или иного медицинского учреждения часто предпочтение отдается моделям с неоправданно завышенными и избыточными техническими характеристиками для тех медицинских задач, которые решаются в медицинском учреждении.

Цель данной статьи – обсуждение и выбор характеристик РКТ для ряда наиболее широко используемых моделей РКТ.

Основными трудностями при выборе технических характеристик являются:

- многообразие аппаратуры для различных видов исследований и уровней медицинских учреждений;
- сложная взаимозависимость технических характеристик друг от друга;
- сложная зависимость конкретных значений параметров от диагностических возможностей и безопасности исследования пациентов.

В настоящее время в мире происходит интенсивное переоснащение лечебных учреждений высокотехнологичной медицинской техникой, вызванное стремительным развитием современных технологий, прежде всего компьютерных. Ведущее место в высокотехнологичном медицинском оснащении занимает техника для лучевой диагностики, где одной из наиболее перспективных является компьютерная рентгеновская томография. Поскольку переоснащение компьютерной томографии требует значительных затрат, закупка компьютерных томографов производится за счет централизованного бюджета, государственного или регионального. Такая сложная техника, как реконструкционный компьютерный томограф (РКТ), характеризуется многочисленными эксплуатационными характеристиками, информационными, физическими, механическими и эргономическими, по-разному влияющими на диагностические свойства устройства. Специалисту порой бывает затруднительно выбрать при переоснащении ту или иную модель, в наибольшей степени соответствующую профилю лечебного учреждения и задачам диагностического отделения.

Ниже делается попытка определить, как та или иная техническая характеристика влияет на процесс диагностики. Такой анализ может быть полезен при выборе оснащения лечебного учреждения разного профиля и специализации. Окончательный выбор аппаратуры для оснащения должен быть сделан после тщательного обсуждения каждого параметра специалистами, занятыми эксплуатацией оборудования соответствующего диагностического кабинета.

Технические характеристики РКТ должны обеспечивать комплекс исследований, соответствующих профилю медицинского учреждения, и качество изображения, соответствующее мировому уровню.

Качество изображения РКТ имеет наиважнейшее значение при диагностике.

Наиболее значимыми характеристиками изображения являются следующие:

- 1) пространственное разрешение, характеризующее возможность различать мелкие детали изображения, например, мелкоузелковые образования при исследовании легких.

Различаются пространственное разрешение в плоскости томографии и разрешение по продольной оси тела пациента Z .

Факторы, влияющие на пространственное разрешение в плоскости томографии – это геометрические параметры томографического исследования: размер фокусного пятна рентгеновской трубки, геометрия излучения, расстояние между элементами детектора, а также величина апертуры гентри и расстояние перемещения фокусного пятна во время измерения.

Пространственное разрешение оценивается функцией пространственной модуляции (ФПМ) – чаще всего для значения ФПМ = 10 %. Это частота, при которой контрастность снижается до 10 % от максимальной, регистрируемой при частоте 0 пар линий/см. ФПМ рассчитывается с помощью преобразования Фурье от функции распределения точки. На практике для этой цели используют сканирование тонкого стержня или проволоки. Современные коммерческие системы обеспечивают разрешение порядка 25 пар линий/см.

Пространственное разрешение по оси Z , вдоль продольной оси исследуемого пациента зависит от толщины среза и профиля чувствительности среза. Профиль чувствительности среза характеризует отклик томографической системы в плоскости, перпендикулярной плоскости среза. Толщина измеряемых срезов определяется апертурой коллиматора. Для повышения разрешения по оси Z применяются специальные алгоритмы реконструкции информации.

Для оценки пространственного разрешения по оси Z рассчитывается функция пространственной модуляции (ФПМ). Как и для плоскости среза, для Z -направления эта функция рассчитывается с помощью преобразования Фурье, однако в данном случае указанное преобразование берется не от функции распределения точки, а от профиля чувствительности среза.

В большинстве случаев этот параметр игнорируют и оценивают толщину среза, но по мере распространения исследований трехмерных образцов и трехмерной визуализации изменение разрешения по оси Z приобретает все большее значение;

- 2) низкоконтрастное разрешение в плоскости изображения – это возможность выявлять низкоконтрастные детали на изображении. Оценку низкоконтрастного разрешения проводят с помощью фантома низкоконтрастного разрешения, имеющего вставки из материалов с различными значениями коэффициента ослабления рентгеновского излучения;
- 3) величина матрицы изображения – параметр, оказывающий существенное влияние на пространственное разрешение в плоскости томографии. В современных томогра-

фах размер матрицы составляет обычно 512 x 512 пикселей, а размер поля обзора – примерно 50 см. Негативное влияние матрицы изображения удается исключить, если диаметр наименьшей разрешаемой структуры превышает размер пиксела в два и более раз (условие Найквиста);

- 4) шум изображения характеризуется стандартным отклонением (единица Хаунсфильда) и обусловлен флуктуациями числа рентгеновских квантов, регистрируемых детектором. Шум изображения зависит от типа детектора, его эффективности и чувствительности;
- 5) толщина среза определяет возможность диагностики мелких деталей на изображении. В современных РКТ толщина срезов выбирается из диапазона 0,4...10 мм. Срез характеризуется величиной, которая обозначается как FWHM и

равна ширине профиля на уровне 50 % от максимального значения.

Кроме характеристик, определяющих качество изображения, для диагностики важны характеристики, определяемые механическими параметрами РКТ, параметрами рентгеновского излучателя, алгоритмами обработки информации.

Среди механических параметров РКТ важны конструктивные параметры, определяющие возможность исследования пациентов различного веса и габаритов, например апертура гентри. Так, последние современные модели имеют апертуру до 70 см. Этот размер достаточен для большинства исследований взрослого населения. Увеличение данного параметра приводит к неоправданному увеличению массы РКТ и его стоимости. Габаритные размеры РКТ не связаны с качеством диагностической инфор-

Таблица 1

Основные характеристики РКТ и их влияние на процесс диагностики

Наименование параметра, единицы измерения	Количество линеек детекторов			Примечание
	≤16	≤32	≥64	
Гентри, размер апертуры, мм	700	700	700	Увеличение размера апертуры свыше 700 мм нецелесообразно
Габаритные размеры	–	–	–	Не связаны с качеством диагностики
Угол наклона Гентри, град., не менее	±30	±30	±30	Не имеет решающего значения при выборе модели РКТ
Масса, кг, не более	2000	2000	2000	Практически не влияет на выбор модели РКТ. Определяет нагрузку на перекрытия медицинского учреждения
Интегрированный монитор для отображения параметров сканирования: дозы, координат стола, угла наклона гентри	+	+	+	Для удобства работы оператора
Индикатор контроля задержки дыхания	–	+	+	Важен при исследовании легких и сердечно-сосудистых заболеваний
Рентгеновская трубка				
Теплоемкость анода, млн. тепловых ед., не менее	5,0	7,0	7,5	Характеризует долговечность рентгеновской трубки
Максимальная скорость охлаждения анода, млн. тепловых ед., не менее	0,8	1,680	1,680	Характеризует предельную нагрузку на аппарат и пропускную способность РКТ
Размер фокусного пятна, мм, не более	0,5x1,2	0,5x1,2	0,5x1,2	Фокусное пятно меньшего размера предпочтительнее для выполнения тонких срезов с высоким разрешением
Рентгеновский излучатель				
Максимальный анодный ток, мА, не менее	345	500	600	Определяет мощность дозы при исследовании
Максимальная мощность генератора, кВт	50	60	80	Определяет максимальное значение анодного тока при заданных анодном напряжении и времени экспозиции
Диапазон анодного напряжения, кВ	80...130	80...135	80...140	Значение анодного напряжения свыше 140 кВ приводит к ухудшению контрастности изображения, а ниже 80 кВ – к повышению дозы облучения
Время полного оборота блока рентгеновская трубка – кольцо детекторов, с/об	0,5...2	0,5...2	0,33...2	–
Количество срезов при одном обороте блока детектор – рентгеновская трубка	16	32	64	–
Стол пациента				
Максимальная нагрузка на стол пациента, кг	200	200	200	–
Продольное перемещение деки стола, см, не менее	150	150	150	–
Диапазон вертикального перемещения стола, см, не менее	30...100	30...100	30...100	–
Точность позиционирования, мм, не хуже	±0,5	±0,25	±0,25	–
Панели управления гентри и столом пациента, расположенные с обеих сторон гентри	+	+	+	–
Дистанционное управление столом	+	+	+	–
Скорость горизонтального движения стола при позиционировании, мм/с	10...100	10...100	10...100	–

мации и определяют размер помещения для установки РКТ. Масса РКТ имеет значение при необходимости ограничения нагрузки на перекрытия медицинского учреждения.

Угол наклона гентри в большинстве моделей РКТ находится в пределах $\pm 30^\circ$. Параметр определяет возможность наклона рентгеновского излучателя для получения косых срезов, например при исследовании головы при травмах. Однако в современных многосрезовых РКТ с возможностью 3-мерных реконструкций этот параметр становится менее значимым, так как в трехмерном изображении с помощью обработки информации можно получить косые срезы под любым углом.

Время получения среза, определяемое скоростью вращения блока рентгеновская трубка – кольцо детекторов, определяет скорость обследования. Особенно важное значение эта характеристика имеет при исследовании объектов, находящихся в постоянном и быстром движении. В многослойных спиральных томографах ряда моделей фирм «Siemens», «Toshiba», «GE» для исследования сердечной деятельности применяется синхронизация с ЭКГ. При этом значительно улучшается качество изображения.

Выбор РКТ из предлагаемых различными фирмами моделей при равных параметрах изображения предпочтительнее для моделей, обеспечивающих большее удобство работы оператора, меньшую дозу, получаемую пациентом при исследовании, а также высокую пропускную способность.

Для удобства работы важен такой параметр, как возможность дистанционного управления параметрами движения стола, гентри, установкой рабочих режимов рентгеновской трубки.

Доза, получаемая пациентом при компьютерной томографии, зависит от спектра рентгеновского излучения, т. е. от напряжения на трубке и установленных спектральных фильтров. Напряжение на трубке выбирается исходя из диаметра сечения тела пациента и определяется задачами диагностики. Прямой зависимости между напряжением на рентгеновской трубке и дозой облучения нет. Зависимость дозы и анодного тока прямая.

С увеличением анодного тока доза линейно возрастает при одном и том же времени экспозиции.

Доза зависит от толщины среза, увеличиваясь линейно с увеличением толщины среза.

Таблица 1 (окончание)

Основные характеристики РКТ и их влияние на процесс диагностики

Наименование параметра, единицы измерения	Количество линеек детекторов			Примечание
	≤16	≤32	≥64	
Спиральное сканирование				
Минимальная длительность полного скана, с	0,6	0,6	0,6	–
Максимальная длительность полного скана, с	1,5	1,5	1,0	–
Максимальная длительность непрерывного спирального сканирования, с	100	100	100	–
Мультисканирование: количество сканирований, не менее	10	10	10	–
Максимальное поле обзора, мм, не менее	500	500	500	–
Питч, мм/толщина среза x число срезов	1...2,0	0,5...2,0	0,5...2,0	–
Число реконструированных изображений в секунду (при матрице 512 x 512), изобр./с	10	16	20	–
Продолжительность реконструкции изображения (матрица 512 x 512), с/изобр., не более	1,0	1,0	1,0	–
Параметры изображения				
Диапазон толщин срезов, мм	0,5...10	0,5...10	0,4...10	–
Матрица сбора информации, пиксел	512x512	512x512	512x512	–
Матрица изображения, пиксел	1280x1024	1280x1024	1280x1024	–
Низкоконтрастное разрешение при уровне контраста 0,3 % при дозе ≤ 20 мГр, мм	3	3	3	–
Высококонтрастное разрешение:				
при 0 % MTF, пар линий/мм	20	20	20	–
при 10 % MTF, пар линий/мм	15	15	15	–
при 50 % MTF, пар линий/мм	10	10	10	–
Программное обеспечение				
Протоколы модуляции дозы	–	+	+	–
Протоколы педиатрические	–	+	+	–
Синхронизация с ЭКГ	–	+	+	–
Аксиальная кардиография	–	+	+	–
Коррекция аритмии	–	+	+	–
Клинические программы				
Проверка кальцинирования коронарных артерий	–	+	+	–
Исследование сосудов	–	+	+	–
Параметры сердечной деятельности	–	+	+	–
Проверка функции легких	+	+	+	–
Виртуальная колоноскопия	+	+	+	–
Оценка перфузии мозга	+	+	+	–
Денситометрия	+	+	+	–

Также доза зависит от размера исследуемой области и времени проведения томографии.

Производители разных фирм внедряют протоколы томографии, обеспечивающие уменьшение дозы облучения, например, протоколы с модуляцией анодного тока в зависимости от исследуемого органа, анатомических размеров и возраста пациента.

В настоящее время на мировом рынке существует ряд РКТ, отличающихся конструкцией, количеством линеек детекторов, теплоемкостью трубок, скоростями сканирования и получения информации. Из этого ряда можно выделить следующие:

- спиральный мультidetекторный РКТ для всего тела с числом линеек детекторов до 16;
- спиральный мультidetекторный РКТ для всего тела с числом линеек детекторов до 32;
- спиральный мультidetекторный РКТ для всего тела с числом линеек детекторов до 64;
- спиральный мультidetекторный РКТ для всего тела с числом линеек детекторов до 128;
- специализированные РКТ для головы и отдельных частей тела;
- аппараты для томосинтеза, совмещающие возможности цифровой рентгенографии и 3D-реконструкции.

При анализе основных технических характеристик РКТ ограничимся первыми тремя типами РКТ. Все три типа РКТ широко используются для диагностики. Чем больше линеек детекторов имеет РКТ, тем быстрее собирается информация для получения 3D-изображения. Однако при этом возрастает доза облучения и ухудшается качество изображения из-за воздействия рассеиваемого объектом излучения. Требуются специальные алгоритмы обработки информации и специальные клинические программы в соответствии с профилем медицинского учреждения. Для повышения пропускной способности РКТ используются рентгеновские трубки с повышенной теплоемкостью и высокой скоростью охлаждения, а также генератор повышенной мощности.

В *табл. 1* приводится перечень рекомендуемых значений технических характеристик РКТ и указывается их влияние на процесс диагностики.

В качестве примера приводятся *табл. 2* и *3*.

Таблица 2

Влияние параметров томографии на дозу облучения пациента

Параметр	Эффект
Напряжение на трубке	Напряжение выбирается в соответствии с диаметром тела пациента и задачами диагностики; простой зависимости между напряжением (кВ) и дозой облучения пациента нет
Фильтрация излучения	Предпочтительна более высокая степень фильтрации
Анодный ток	Доза линейно зависит от величины анодного тока
Время томографии	Доза линейно зависит от времени томографии
Толщина среза	Доза увеличивается с толщиной среза (применимо только для пошаговой томографии)
Объем томографии	Доза увеличивается с увеличением исследуемого объема

Типичные значения эффективной дозы КТ составляют 1,0...10,0 мЗв.

Большинство клинических рутинных исследований могут выполняться на 16- и 32-срезовом РКТ. Томографы с большим числом срезов (64, 128 и более) за один оборот рентгеновской трубки предназначены для специальных исследований (кардиологических) и для определенной группы пациентов (например детей). Чем больше линеек детекторов содержит РКТ, тем бы-

стрее собирается информация для заданного 3D-изображения, что особенно важно для диагностики сердечно-сосудистой системы. При исследовании сердца, находящегося в постоянном и быстром движении, используется синхронизация с ЭКГ. Однако при увеличении числа линеек детекторов и, следовательно, числа срезов РКТ возрастает доза облучения пациента и ухудшается качество изображения за счет воздействия рассеиваемого объектом излучения. Для уменьшения дозы облучения пациента используются определенные режимы работы РКТ и специальные программы модуляции дозы в зависимости от весовых параметров пациента, возраста, пола.

Таблица 3

Значения дозы для типичного КТ-исследования (непрерывная односпиральная томография с питчем = 1) (данные получены для «Somatom Sensation 16» и «среднестатистического» пациента)

Анатомическая область	Голова	Грудная полость	Брюшная полость	Таз
Область томографии, см	12	30	40	20
Толщина среза, мм	16x1,5	16x1,5	16x1,5	16x1,5
Произведение анодного тока на время вращения трубки, мАс	320	100	160	160
Напряжение на трубке, кВ	120	120	120	120
Воздушная керма, мГр/100 мАс	25,0	16,9	16,9	16,9
Жизненно важный орган	Мозг	Легкие	Желудок	Толстая кишка
Тканевая доза, мЗв	54,6	12,2	15,7	11,7
Эффективная доза, мЗв	2,9	3,8	8,2	3,9
Эквивалент облучения фоновой радиацией (3 мЗв/год), лет	1,0	1,3	2,7	1,3

Приведенные в *табл. 2* и *3* значения параметров соответствуют уровню мировой техники 2010-2012 гг. Учитывая стремительное развитие техники РКТ можно предположить их неизбежное изменение в ближайшем будущем, что должно быть учтено при выборе оснащения медицинских учреждений.

Список литературы:

1. *Календер В.* Компьютерная томография. Основы, техника, качество изображений и области клинического использования / Перевод с англ. – М.: Техносфера, 2006.
2. *Основы лучевой диагностики и терапии.* Нац. руководство по лучевой диагностике и терапии / Под ред. С.К. Тернового. – М.: ГЕОТАР-Медиа, 2012.

Николай Николаевич Блинов,
д-р техн. наук, профессор,
зав. лабораторией,
Наталья Всеволодовна Колесникова,
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора,
г. Москва,
e-mail: otдел-22@mail.ru