



Радиационная нагрузка при проведении рентгенодиагностических исследований методами микрофокусной рентгенографии

Барковский А.Н. (ФГУН НИИРГ)
Грязнов А.Ю., Потрахов Н.Н. (СПбГЭТУ)

Современная практика медицинской диагностики показывает, что одновременно с расширением объема рентгенологических исследований увеличивается частота воздействия рентгеновского излучения на население. Так, например, принятая ведущими отечественными клиниками методика диагностики в терапевтической стоматологии предполагает при первичном обращении пациента к врачу и его последующем лечении назначение трех-четырех рентгеновских снимков, в том числе – одного панорамного [1]. Отмеченная тенденция развития медицинской рентгенодиагностики требует повышенного внимания к вопросам обеспечения радиационной безопасности при проведении рентгенологических исследований. Можно выделить основную задачу совершенствования отечественной рентгенодиагностики – максимально возможное снижение дозы облучения пациентов и медперсонала при сохранении (или увеличении) объема получаемой информации.

Для решения указанной задачи возможны два пути. Один из них заключается в совершенствовании существующей рентгенодиагностической аппаратуры, например, в улучшении характеристик источников рентгеновского излучения за счет перехода от полуволновых схем питания рентгеновских трубок к высокочастотным или схемам с постоянным напряжением или – повышении чувствительности приемников рентгеновского излучения за счет использования «зеленых» комплектов «экран-пленка», цифровых систем визуализации и т. д.

Однако более перспективным путем решения указанной задачи является создание новых методик диагностирования и оригинальной аппаратуры для их реализации. Примером может служить разработка томографических методов диагностики (рентгеновской, позитронно-эмиссионной) или фазо-контрастного метода получения рентгеновских изображений. Сюда же, в полной мере, может быть отнесена микрофокусная рентгенография – метод получения рентгеновских изображений с помощью источников излучения, размер фокусного пятна которых составляет менее 100 мкм.

Одним из первых практических применений рентгеновского излучения, как известно, явилось просвечивание различных объектов с целью изучения их внутреннего строения. Уже первые исследования в этой области, выполненные самим В.К. Рентгеном, позволили предложить два способа получения рентгеновских изображений: способ контактной съемки [2] и способ съемки с увеличением изображения [3].

Геометрическая схема способа контактной съемки показана на рисунке 1. Используется источник излучения с протяженным фокусным пятном 1. Объект съемки 2 располагается на достаточно большом расстоянии от источника излучения и вплотную (в контакте) к приемнику изображения 3. Хорошо заметно, что расстояние между источником излучения и объектом (расстояние фокус-объект) существенно влияет на качество, в первую очередь, на нерезкость изображения H_{Γ} . Величина расстояния фокус-объект выбирается, исходя из требований к резкости получаемых снимков с учетом конкретных размеров фокусного пятна d и толщины объекта.

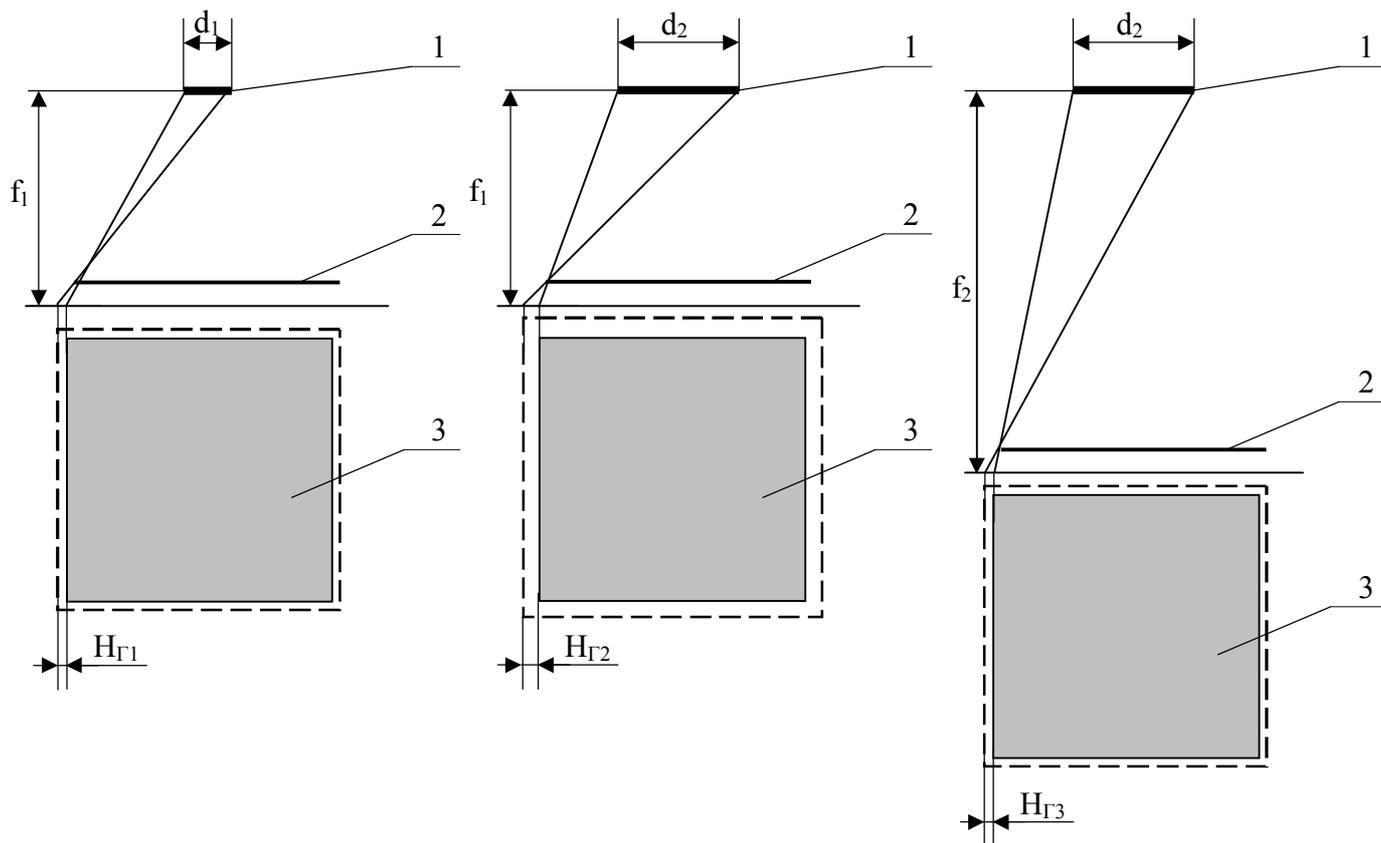


Рис. 1. Контактная рентгенография:

1 – протяженное фокусное пятно, 2 – объект съемки, 3 – изображение объекта, d – диаметр фокусного пятна, f – расстояние фокус-объект, H_{Γ} – геометрическая нерезкость изображения

Геометрическая схема способа съемки с увеличением изображения объекта показана на рисунке 2. Используется источник излучения с точечным фокусным пятном 1. Основная особенность этой схемы заключается в том, что объект съемки 2 располагается на определенном расстоянии как от источника излучения 1, так и от приемника изображения 3. Соотношение расстояний f_1 и f_2 определяет коэффициент увеличения изображения $K=(f_1+ f_2)/f_1$. Нерезкость изображения детали объекта не превышает допустимых значений во всем диапазоне величин расстояния фокус-объект f_1 .

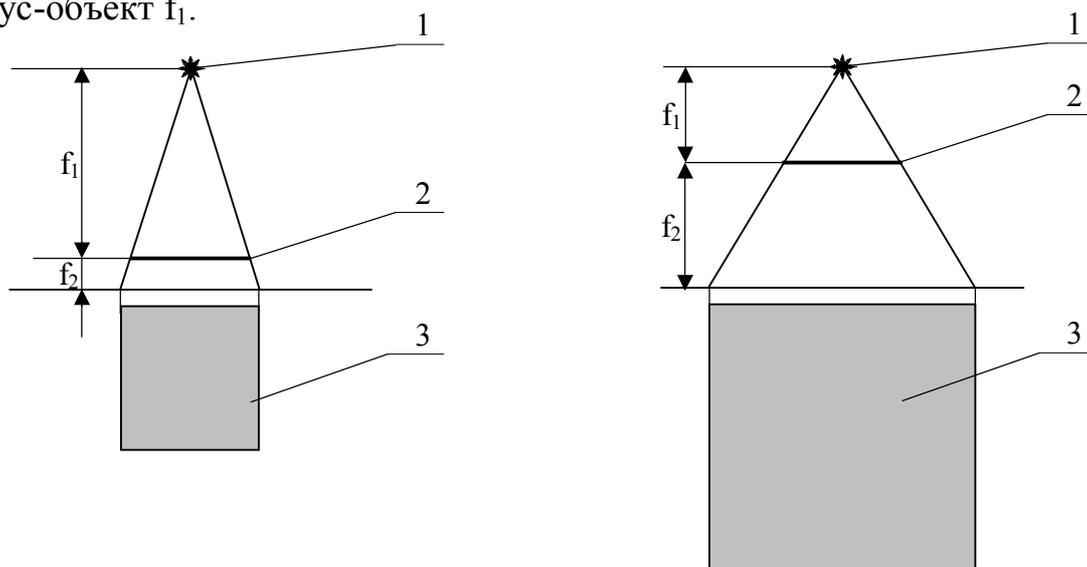


Рис. 2. Микрофокусная рентгенография:

1 – точечное фокусное пятно, 2 – объект съемки, 3 – изображение объекта, f_1 – расстояние фокус-объект, f_2 – расстояние объект-приемник изображения

С целью уверенного распознавания наиболее мелких характерных деталей органов тела человека, например трабекулярного рисунка костной ткани, увеличение рентгеновского изображения должно составлять от 3 до 7 раз [4]. Результаты исследований показывают, что для получения резкого изображения этих органов в реальном диапазоне их размеров и фокусных расстояний величина фокусного пятна источника излучения не должна превышать 100 мкм. По ГОСТ 22091.9-86 источник рентгеновского излучения с фокусным пятном указанных размеров определяется как микрофокусный, поэтому в настоящее время для способа съемки с увеличением изображения используется более полное название – микрофокусный способ съемки. Соответственно, рентгенография с помощью микрофокусных источников рентгеновского излучения – микрофокусная рентгенография.

К сожалению, несовершенство технологии и отсутствие опыта конструирования не позволили получить в первых рентгеновских трубках

фокусное пятно столь малого размера. Поэтому перспективные работы Рентгена и некоторых его последователей не были по достоинству оценены в практической рентгенографии. Дальнейшее ее развитие, в первую очередь для целей медицинской диагностики пошло по пути совершенствования способа контактной съемки – наращивания мощности рентгеновских трубок с целью обеспечения удовлетворительной резкости снимков за счет съемки с большого расстояния. Вплоть до настоящего времени в подавляющем большинстве рентгенологических исследований расстояние между источником излучения и объектом съемки составляет 700÷1000 мм и более, в стоматологии 200÷400 мм [5,6].

Современная медицинская практика показывает, что наиболее часто обслуживающий персонал оказывается непосредственно рядом с пациентом при проведении рентгенодиагностических исследований в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Соответственно, облучение рентгенолаборанта, медсестры и т. д. именно в этой области медицины может оказаться необоснованно большим. Ситуация усугубляется в связи с появлением в последнее время большого количества частных стоматологических клиник и даже отдельных кабинетов, оборудованных дентальными рентгеновскими аппаратами и самостоятельно проводящих рентгенологические исследования. Поэтому целесообразно, в первую очередь, исследовать возможности микрофокусной рентгенографии с целью снижения радиационной нагрузки на обслуживающий персонал в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии.

Известно, что для уверенного диагностирования большинства клинических случаев в стоматологии необходимо обеспечить на снимке соответствие размеров рентгеновского изображения зубов или отдельных участков челюсти их истинным анатомическим размерам. С этой целью необходимо расположить приемник изображения, например кассету с рентгеновской пленкой, параллельно плоскости продольного сечения зуба. В настоящее время для реализации этого условия используется получившая широкое распространение методика «параллельной съемки» [1]. При получении снимков таким способом расстояние фокус-объект составляет не менее 350÷400 мм, а расстояние объект съемки – рентгеновская пленка - 15÷30 мм. В качестве источника излучения используются мощные длиннотубусные рентгеновские аппараты с размером фокусного пятна около 1 мм.

Кассета с рентгеновской пленкой при помощи специального пленкодержателя-позиционера располагается во рту пациента параллельно плоскости продольного сечения исследуемого зуба и перпендикулярно оси пучка рентгеновского излучения. Поскольку характерный размер диагностируемой области составляет 30÷40 мм, то угол расхождения пучка излучения - «непараллельность рентгеновских лучей» не превышает 10-15°. Размеры изображения зуба H практически равны его истинным размерам h , искажения формы изображения зуба по сравнению с его анатомическим изображением не происходит - изображение объекта подобно самому объекту.

В основу малодозового микрофокусного способа дентальной съемки положены приводимые ниже расчеты. По оценкам специалистов [5] общая допустимая нерезкость N рентгеновских снимков при исследованиях костных структур, в том числе дентальных, не должна превышать 0,125÷0,15 мм. Если пациент в момент снимка неподвижен относительно рентгеновского аппарата и кассеты с рентгеновской пленкой, то общая нерезкость складывается из геометрической N_{Γ} и экранной N_{Θ} , составляющих и может быть рассчитана по формуле [5]:

$$N = \sqrt{N_{\Gamma}^2 + N_{\Theta}^2}, \quad (1)$$

где $N_{\Gamma} = d \cdot \frac{f_2}{f_1}$, d – диаметр фокусного пятна, f_1 – расстояние фокус-объект, f_2 – расстояние объект-рентгеновская пленка (рис. 3).

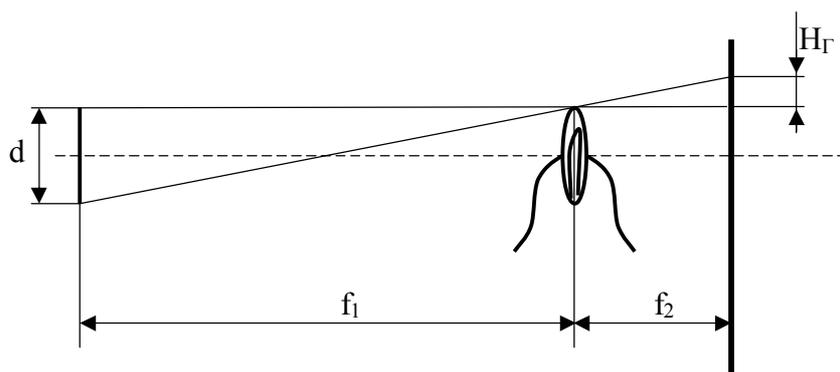


Рис. 3. К возникновению геометрической нерезкости

При диаметре фокусного пятна 1 мм (характерный размер для большинства современных длиннотрубусных дентальных аппаратов) – величина геометрической нерезкости составляет около 0,1-0,15 мм и, соответственно, величина общей нерезкости в схеме «параллельной» съемки

практически равна допустимой нерезкости рентгеновского снимка даже без учета экранной составляющей. Использование же усиливающих экранов с разрешающей способностью, например, 5-7 пар линий/мм, обуславливает дополнительную – экранную нерезкость величиной 0,15-0,3 мм. В этом случае общая нерезкость снимка, в соответствии с выражением (1), составит 0,25-0,45 мм и превысит допустимую величину почти в 3 раза. Это одна из основных причин, по которой все внутриротовые снимки на традиционных тубусных аппаратах выполняются на безэкранный пленку.

При диаметре фокусного пятна 0,1 мм (100 мкм) и условии обеспечения геометрической нерезкости не более $0,125 \div 0,15$, расстояние фокус-объект может быть уменьшено в $4 \div 5$ раз. Изображение зуба при этом на пленке будет увеличено в $1,5 \div 3$ раза и подобно анатомическому изображению.

Уменьшение расстояния фокус-объект в соответствии с законом «обратных квадратов» позволит снизить интенсивность первичного пучка рентгеновского излучения по сравнению со схемой «параллельной» съемки более, чем на порядок.

Увеличение размеров изображения позволит практически исключить влияние экранной нерезкости на качество снимка и впервые в отечественной стоматологии – использовать для внутриротовой съемки усиливающие экраны [7]. За счет использования экранов интенсивность первичного пучка рентгеновского излучения может быть дополнительно снижена.

Кроме описанных, необходимо отметить еще один фактор, позволяющий снизить дозу облучения при микрофокусной рентгенографии. Как известно, уменьшение размеров фокусного пятна приводит к расширению спектра пространственных частот изображения этого пятна в высокочастотной области. Но именно высокочастотная составляющая спектра «отвечает» за передачу изображения мелких деталей объекта исследования, которые представляют наибольший интерес при анализе рентгеновских снимков. Расчеты показывают, что для пятна диаметром 0,1 мм по отношению к пятну диаметром 1 мм выигрыш в интенсивности пространственной частоты 2,5 пар лин./мм составляет 3 раза, а частоты 4 пар лин./мм – уже 16 раз.

На этом основании, сравнивая микрофокусную рентгенографию и рентгенографию на аппаратах с протяженным фокусным пятном можно сделать следующий вывод: при одинаковой резкости рентгеновских снимков микрофокусные аппараты позволяют получать изображения объектов, содержащих мелкие детали с меньшими дозами облучения [8]

В результате исследований, проведенных сотрудниками лаборатории рентгенотелевизионных систем СПбГЭТУ, была разработана методика микрофокусной дентальной съемки. Принципиальные отличия предложенной методики от всех, используемых в настоящее время, заключается в следующем:

- размер фокусного пятна источника рентгеновского излучения составляет менее 0,1 мм (100 мкм);
- расстояние фокус-объект может быть уменьшено до 60÷100 мм;
- интенсивность первичного пучка рентгеновского излучения может быть снижена более, чем в 10 раз.

Следует отметить, что реализация возможностей микрофокусной рентгенографии в стоматологии в значительной мере сдерживается отсутствием необходимого нормативного обеспечения для ее широкого внедрения. Достаточно естественно, что появление новых технических средств требует корректировки нормативных документов для обеспечения возможности их эффективного использования при безусловном выполнении требований радиационной безопасности. Так требование п.9.15 санитарных правил СанПиН 2.6.1.1192-03 [10] не допускает проведения дентальных рентгеновских исследований при кожно-фокусном расстоянии менее 10 см, а при анодном напряжении более 70 кВ – менее 20 см. Это ограничение не учитывает возможности получения качественных снимков с использованием микрофокусных аппаратов при значительно меньшем кожно-фокусном расстоянии. В этом случае значительно снижается экспозиция и кожная доза, ради ограничения которой и введено это ограничение, практически не возрастает. Но при этом на порядок снижаются дозы персонала и дозы облучения тела пациента неиспользуемым рентгеновским излучением. Кроме того, дентальная съемка с использованием микрофокусных рентгеновских аппаратов проводится при токах около 0,1 мА и практически при тех же выдержках, что и для обычных аппаратов, т.е. количество электричества за один снимок у них значительно меньше и реальная рабочая нагрузка микрофокусных аппаратов при дентальной съемке не превысит 1,0 (мА·мин)/неделю, а не 40 (мА·мин)/неделю, которые приходится использовать для них при проведении дозовых оценок в настоящее время. В соответствии с п.12 приложения 11 к СанПиН 2.6.1.1192-03, анодный ток рентгеновской трубки, при котором проводится измерение, находится в знаменателе выражения для оценки приведенной к стандартной рабочей нагрузке мощности дозы рентгеновского излучения, сравниваемой с

нормируемой величиной. Таким образом, при использовании одинакового значения стандартной рабочей нагрузки (40 (мА·мин)/неделю) для обычных и микрофокусных аппаратов, мы получим для последних, при прочих равных условиях) в 70-80 раз большую величину приведенной к стандартной рабочей нагрузке мощности дозы за счет малого анодного тока. Это конечно же нонсенс. Учет указанного обстоятельства, и использование для микрофокусных дентальных аппаратов величины стандартной рабочей нагрузки 0,5-1 (мА·мин.)/неделю позволил бы вообще отказаться от необходимости какой-либо защиты персонала, т.к. условия обеспечения радиационной безопасности в этом случае будут с большим запасом обеспечены на расстоянии 0,5 м от излучателя без применения каких-либо дополнительных средств радиационной защиты. Необходимо выделить микрофокусные дентальные аппараты в отдельный класс, установить для них разумную величину стандартной рабочей нагрузки и уменьшить допустимую величину кожно-фокусного расстояния.

Необходимо также уточнить требование п.3.22 СанПиН 2.6.1.1192-03, требующего обеспечить «управление передвижными дентальными аппаратами с помощью выносного пульта управления на расстоянии не менее 2,5 м». Это требование также явно не оправдано для рассматриваемого класса аппаратов и к тому же не всегда реализуемо на практике при допустимом размере процедурной 6 м².

На основании вышеизложенного, предлагается новая малодозовая технология медицинской рентгенографии. Основной отличительной особенностью предлагаемой технологии является то, что для ее практической реализации может быть использован источник рентгеновского излучения мощностью всего несколько ватт. Для сравнения, мощность современных длиннотубусных дентальных аппаратов составляет несколько сот ватт и выше [2].

Столь малая величина мощности источника излучения дает основание для разработки и внедрения в отечественную медицинскую практику нового класса рентгенодиагностической аппаратуры – портативных рентгеновских аппаратов. Конструкция такого аппарата, благодаря малым габаритам и весу, а также малым уровням излучения позволяет, в принципе, проводить дентальную съемку «вручную», без использования традиционного для любого рентгенодиагностического аппарата штатива, хотя такой метод съемки и не допускается действующими санитарными правилами СанПиН 2.6.1.1192-03. По-видимому, этот вопрос также требует дополнительной

проработки. На рисунке 4 представлен первый российский портативный рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Стома», в составе «ручного» рентгеновского аппарата «ПАРДУС-Р» и устройства для визуализации рентгеновских изображений «ВИДЕОГРАФ». В моноблоке этого аппарата может быть установлена рентгеновская трубка как с прострельной мишенью, для реализации схемы прицельной дентальной съемки, так и с массивной мишенью, для панорамной дентальной съемки [8].



*Рис. 4. Портативный цифровой рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Стома»:
1 – микрофокусный рентгеновский аппарат «ПАРДУС-Р»;
2 – устройство для визуализации «РЕНТЕНОВИДЕОГРАФ»;
3 – персональный компьютер.*

Замеры мощности дозы неиспользуемого излучения в максимальном режиме съемки для обоих вариантов комплектации аппарата показали, что на расстоянии более одного метра от фокусного пятна – «вытянутой руки» персонал группы «А» в соответствии с требованиями СанПиН 2.6.1.1192-03 будет находиться в безопасных условиях работы [9].



Рис. 5. Микрофокусные снимки голеностопа

Следует отметить, что диагностические возможности предлагаемой технологии не ограничиваются только стоматологией. Просвечивающие способности современных отечественных микрофокусных аппаратов семейства «ПАРДУС» позволяют получать высококачественные изображения большинства органов тела. В качестве примера на рисунке 5 приведены рентгеновские снимки голеностопа, выполненные на рентгенодиагностическом комплексе «ПАРДУС-Травма» в бытовых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рабухина Н.А., Аржанцев А.П.* Рентгенодиагностика в стоматологии. – М.: ООО МИА, 1999.
2. *Röntgen W.C.* Röntgenbild eines Jagdgewehrs. Sitzungsber. d. preuss Akad. d. Wiss. Mai 1897.
3. *Coerens P.* Einführung in die Metallographie. 3 Aufl. 344 S. Halle. W. Knapp, 1922.
4. *Васильев А.Ю.* Рентгенография с прямым многократным увеличением в клинической практике. – М.: ИПТК ЛОГОС, 1998.
5. Лучевая диагностика в стоматологии. Под ред. А.Ю. Васильева. – М.: «Медика», 2007.
6. *Кишковский А.Н., Тютин Л.А.* Медицинская рентгенотехника: руководство. – Л.: Медицина, 1983
7. *Потрахов Н.Н.* Микрофокусная дентальная рентгенография // Мат. II межд. конгр. «Невский радиологический форум - 2005». – СПб.: МАПО, 2005.
8. *Потрахов Н.Н.* Интраоральная панорамная рентгенография // Медицинская техника, 2001. №6. С. 38-40.
9. Экспертное заключение ФГУП НИИРГ № 372-06 от 16.01.2007.
10. «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских аппаратов и проведению рентгенологических исследований». Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.1192-03.