

Основы радиационной безопасности в медицине Сообщение 2.

Ядерная медицина: радионуклидная диагностика и радионуклидная терапия

Б.Я. Наркевич

ГУ «Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина» РАМН, г. Москва,
Институт медицинской физики и инженерии, г. Москва

Обеспечение радиационной безопасности пациентов

Рассмотренные в сообщении 1 принципы нормирования, обоснования и оптимизации радиационных воздействий в медицине реализуются на основе важнейшей концепции *получения необходимой и полезной диагностической информации или выраженного терапевтического эффекта при минимально возможных уровнях облучения пациента*. Если в ранее принятых нормативных документах приводились предельно допустимые дозы для некоторых медицинских радиологических процедур, в частности при рентгено- и радионуклидной диагностике, то в НРБ-99 в соответствии с рекомендациями МКРЗ подчеркивается, что пределы доз медицинского облучения не устанавливаются в принципе. Это означает, что при планировании и выполнении любой диагностической или терапевтической радиологической процедуры приоритет отдается не снижению уровня облучения, а получению чисто медицинского эффекта (основное, то есть первичное, требование), но при минимально возможной лучевой нагрузке на пациента (дополнительное, то есть вторичное, требование).

Применительно к ядерной медицине *принцип обоснованности* (оправданности) использования открытых радионуклидных источников означает:

– принятие компетентными органами Минздравсоцразвития РФ обоснованного решения на клиническое применение конкретных диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов;

– принятие органами Роспотребнадзора РФ обоснованных решений на утверждение проектов строительства новых и реконструкции действующих радиологических корпусов с подразделениями ядерной медицины;

– принятие органами Роспотребнадзора РФ обоснованных решений по выдаче санитарно-эпидемиологических заключений на право работы с открытыми радионуклидными источниками в подразделениях ядерной медицины;

– принятие врачами-радиологами клинически обоснованных решений о проведении радиодиагностических исследований или радиотерапевтических процедур, при реализации которых реальная чистая польза конкретному больному (диагностическая информация или терапевтический эффект) должна заведомо превышать риск любых возможных стохастических и нестохастических радиационно-индуцированных эффектов;

– принятие руководством подразделений ядерной медицины обоснованных решений по использованию тех или иных средств и технологических приемов при ликвидации последствий радиационных аварий в помещениях подразделения ядерной медицины.

Принцип оптимизации при проведении ядерно-медицинских процедур предусматривает:

– поддержание на возможно низком и достижимом уровне индивидуальных доз облучения пациентов при условии получения необходимой диагностической информации при радионуклидной диагностике или полезного терапевтического эффекта для больного при радионуклидной терапии;

– проектирование, эксплуатацию и поддержание средств и технологий ядерной медицины на уровне, обеспечивающем настолько низкие дозы облучения пациентов, насколько это разумно достижимо с учетом экономических и социальных факторов.

Принцип нормирования применительно к ядерной медицине, как уже отмечалось, непосредственно не используется, но в каждом подразделении радионуклидной диагностики могут быть установлены контрольные уровни (но не пределы доз!) допустимого облучения пациентов от вводимых в организм радиофармпрепаратов.

Решение о необходимости проведения радиодиагностического исследования и/или радионуклидной терапии принимает лечащий врач. Обоснование при назначении ядерно-медицинской процедуры вписывается в амбулаторную карту или в историю болезни. При невозможности передачи амбулаторной карты или истории болезни с пациентом обоснование записывается в выданном направлении на ядерно-медицинскую процедуру.

Важно подчеркнуть, что единоличную ответственность за проведение ядерно-медицинской процедуры несет врач-радиолог, проводящий процедуру, который и принимает окончательное решение о типе и методике ядерно-медицинской процедуры, руководствуясь основными принципами обоснованности и оптимизации. При этом он имеет право отказаться от проведения ядерно-медицинской процедуры при отсутствии клинических показаний и/или обоснования в направлении на процедуру. О принятом решении он обязан проинформировать лечащего врача и зафиксировать свой мотивированный отказ в амбулаторной карте, истории болезни или направлении на процедуру. При инструктаже старшего медицинского персонала по аспектам обеспечения РБ пациентов необходимо постоянно напоминать, что данное врачу-радиологу право принятия решения о необходимости проведения ядерно-медицинской процедуры является одной из основных мер по обеспечению РБ пациентов в ядерной медицине.

Если в данном учреждении установлены контрольные уровни допустимого облучения пациентов при радионуклидной диагностике, то при назначении повторного радиодиагностического исследования, помимо клинических показаний, необходимо учитывать суммарную дозу облучения, полученную пациентом в результате всех рентгенорадиологичес-

ких исследований, которые были проведены в течение одного года перед датой назначения повторного исследования, в том числе и в других медицинских учреждениях. Однако в случае необходимости оказания больному помощи по жизненным показаниям или неотложной помощи ядерно-медицинская процедура проводится без учета сроков и результатов предшествующих рентгенорадиологических исследований. Радионуклидная терапия онкологических заболеваний должна назначаться только после тщательной оценки вероятности отдаленных последствий облучения и риска, связанного с альтернативными методами лечения.

Врач-радиолог для каждого конкретного больного должен выбрать наиболее подходящий радиофармпрепарат, определить методику ядерно-медицинской процедуры, а также наименьшую возможную активность радиофармпрепарата, исходя из того, чтобы необходимая диагностическая информация или достаточный терапевтический эффект были получены при наименьшей эффективной дозе облучения пациента. При планировании процедур радионуклидной терапии непосредственное участие обязательно должен принимать медицинский физик.

До введения радиофармпрепарата больному врач-радиолог должен проконтролировать правильность выполнения всех предписанных ранее больному мероприятий, необходимых для подготовки к проведению данной ядерно-медицинской процедуры, а также проинструктировать больного относительно его поведения при ожидании, в ходе выполнения процедуры и после нее, имея в виду снижение лучевой нагрузки на самого больного, на персонал и на отдельных лиц из населения. Инструктаж должен проводиться с учетом клинического и психологического состояния больного, уровня его знаний в области РБ и других конкретных обстоятельств. Особенно тщательным должен быть инструктаж больного при его госпитализации в “активную” палату с закрытым режимом пребывания в ней. По требованию пациента врач-радиолог должен информировать его об ожидаемой дозе облучения.

При выявлении ошибочного или экстравазального введения *диагностического* радиофармпрепарата врач-радиолог должен принять обоснованное решение на повторное введение радиофармпрепарата. При выявлении ошибочного или экстравазального введения *терапевтического* радиофармпрепарата дан-

ная процедура должна быть квалифицирована как радиационная авария, и для ликвидации ее последствий необходимо действовать в соответствии с рекомендациями, приведенными ниже.

При ожидании своей очереди на радиодиагностические исследования пациенты с уже введенными радиофармпрепаратами должны размещаться в специализированных (ожидальня) и/или общих (холлы, коридоры) помещениях подразделения ядерной медицины на максимально возможном удалении друг от друга. Врач-радиолог должен проинструктировать больного относительно соблюдения неподвижности тела при проведении радиодиагностических измерений, а лаборантка или медсестра, проводящая измерения, должна непрерывно контролировать неподвижность в ходе этих измерений. В зависимости от клинического состояния больного и при исследованиях детей, следует прибегать к психологической, фармакологической или механической иммобилизации пациента. О нарушении неподвижности тела пациента медсестра должна сообщать врачу-радиологу. Для снижения дозы внутреннего облучения после окончания радиодиагностических измерений врач-радиолог может рекомендовать больному изменение пищевого режима, очистительные процедуры и/или прием мочегонных или слабительных средств в зависимости от типа и активности введенного радиофармпрепарата и от клинического состояния больного.

При оформлении эпикриза лечащий врач должен указать суммарную эффективную дозу наружного и внутреннего облучения, полученную пациентом в данном медицинском учреждении от проведенных рентгенорадиологических процедур.

Радионуклидная диагностика *in vivo* не проводится женщинам репродуктивного возраста в период установленной или возможной беременности. При введении диагностического и терапевтического радиофармпрепарата кормящей грудью женщине грудное вскармливание младенца должно быть временно приостановлено, причем продолжительность его прерывания устанавливается врачом-радиологом в зависимости от типа и активности введенного радиофармпрепарата. Пациент имеет право отказаться от проведения ядерно-медицинских процедур за исключением радиодиагностических исследований, проводимых с целью выявления эпидемиологически опасных заболеваний.

В настоящее время лучевая нагрузка на пациента, которому с диагностической или терапевтической целью вводится радиофармпрепарат, может быть легко рассчитана по табулированным данным. В свою очередь эти данные являются результатом эффективного применения так называемого MIRD-формализма — математического аппарата дозиметрии внутреннего облучения от инкорпорированных радиоактивных соединений, в том числе и от радиофармпрепаратов. MIRD-формализм основан на вычислении доз в органах-мишенях при их облучении от органов-источников, для чего предварительно методом Монте-Карло были рассчитаны средние поглощенные дозы в органах-мишенях на единицу накопленной активности в органах-источниках с учетом динамики накопления и выведения радиофармпрепарата из последних.

Первые расчеты по такой методике были проведены MIRD-комитетом Общества ядерной медицины США (Medical Internal Radiation Dose Committee) для математического фантома так называемого условного человека МКРЗ. Впоследствии MIRD-формализм был оформлен в виде пакета компьютерных программ. По второй его версии MIRD-DOSE2 пользователю для расчетов эффективной и органных доз облучения были доступны данные для 6 гетерогенных геометрических фантомов с низкой степенью антропоморфности (взрослый мужчина, новорожденный и дети в возрасте 1, 5, 10 и 15 лет), для 50 различных радионуклидов, 26 органов-источников и 25 органов-мишеней. В следующей версии MIRD-DOSE3, доступной через интернет, к ним были добавлены данные для геометрических фантомов взрослой женщины без и с беременностью на 3, 6 и 9 мес, эмбриона и плода, а также для расчета доз в патологических очагах сферической формы и костном мозге с учетом формы энергетического спектра испускаемых бета-частиц. Под названием OLINDA эта версия была адаптирована к персональным компьютерам, работающим в операционных средах Unix, MacIntosh, Windows NT. Последняя версия под названием RADAR (www.dose-inforadar.com) обеспечивает набор данных для 800 радионуклидов, поглощенных фракций для всех известных стилизованных и некоторых воксельных фантомов различной степени антропоморфности, усредненных кинетических данных для 58 различных РФП, в том числе 17 терапевтических РФП, а также соответ-

ствующие оценки радиационных рисков внутреннего облучения.

Полученные в обширных расчетах результаты были обобщены и табулированы в официальных рекомендациях MIRД-комитета, в Публикациях 53 и 80 МКРЗ и Приложении к Публикации 62 МКРЗ. Поскольку эти документы не переведены на русский язык и мало доступны, в табл. 4 собраны современные данные по удельным эффективным дозам облучения от наиболее применяемых зарубежных радиофармпрепаратов. Аналогичные данные для радиофармпрепаратов отечественного производства приведены в табл. 5. Умножив соответствующее значение из таблицы на вводимую пациенту активность РФП в ед. МБк, можно получить достаточно точную для клиники оценку эффективной дозы облучения больного в единицах мЗв.

Значительные трудности возникают при дозиметрическом планировании и контроле доз внутреннего облучения патологических очагов и нормальных тканей при радионуклидной терапии. Особенно это относится к облучению критических по радиочувствительности органов, прежде всего основного органа кроветворения — красного костного мозга, неравномерно распределенного по всему скелету. Именно возникающие при этом явления миелотоксичности ограничивают функциональные возможности радионуклидной терапии и представляют собой наиболее важный фактор в обеспечении РБ пациентов.

В течение пребывания в “активной” палате больного периодически вызывают в кабинеты отделения радионуклидной терапии, где находятся гамма-камера или клинический радиометр, для проведения измерений функции удержания терапевтической активности радиофармпрепарата в органах-мишенях и/или патологических очагах.

Должны быть предприняты определенные меры по предотвращению занесения поверхностных радиоактивных загрязнений с тела, одежды и обуви пациента на рабочие поверхности, особенно на дверные ручки, и на детекторы радиометра и гамма-камеры. С этой целью больной в своей палате должен вымыть с мылом руки, лицо и шею, перед выходом из палаты сменить обувь, а перед посещением кабинета радиометрии должен подвергнуться процедуре определения уровней загрязненности тела, одежды и обуви по бета-излучению в пункте радиационного контроля пациентов.

При выписке из отделения радионуклидной терапии больной сдает загрязненную радиоактивностью больничную одежду и сменную обувь, проходит санобработку с принятием душа в санпропускнике для пациентов, после чего в пункте радиационного контроля проходит процедуру определения уровней радиоактивности в теле и на своей собственной одежде и обуви по мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и по мощности флюенса бета-излучения.

Измерения мощности дозы гамма-излучения от тела амбулаторных больных с введенной терапевтической активностью радиофармпрепаратов должны также проводиться в том же пункте радиационного контроля, в частности и для пациентов после нахождения для выдержки на распад радиофармпрепарата в помещении дневного пребывания. При этом в соответствии с НРБ-99 мощность дозы на расстоянии 1 м от тела пациента на выходе из отделения радионуклидной терапии не должна превышать 3 мкЗв/ч. Относительно научной обоснованности этого норматива речь пойдет далее.

Обеспечение радиационной безопасности персонала

Радиационная защита персонала подразделений ядерной медицины имеет свою выраженную специфику, обусловленную необходимостью предотвращения или снижения уровня как внешнего, так и внутреннего профессионального облучения.

Защита персонала от внешнего облучения. С целью снижения уровня внешнего облучения гамма-квантами и бета-частицами от радионуклидных генераторов и фасовок с радиофармпрепаратами необходимо выполнять следующие требования:

— исключить доступ в помещения блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат всех лиц, не участвующих в выполнении процедур радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии, в том числе других пациентов, сотрудников и вообще посторонних лиц;

— по возможности увеличивать расстояние между источником и работающим с ним сотрудником, в том числе между сотрудниками и пациентами с введенными уже радиофармпрепаратами;

— по возможности сокращать продолжительность пребывания персонала в радиаци-

Таблица 4. Эффективные дозы внутреннего облучения пациентов различного возраста при внутривенном введении радиофармпрепаратов из расчета на ед. введенной активности, мЗв/МБк

Радиофармпрепарат	Более 15 лет	15 лет	10 лет	5 лет	1 год
³² P-фосфат	2,20	3,00	5,10	10,0	22,0
⁵¹ Cr-EDTA	0,0023	0,0031	0,0046	0,0070	0,0132
⁵¹ Cr-эритроциты (<i>in vitro</i> мечение)	0,26	0,33	0,52	0,80	1,50
⁶⁷ Ga-цитрат	0,12	0,16	0,25	0,40	0,79
⁷⁵ Se-селенметионин	3,0	3,8	6,5	9,2	15,0
^{99m} Tc-пертехнетат:					
без блокировки ЩЖ	0,013	0,016	0,025	0,040	0,073
с блокировкой ЩЖ	0,0053	0,0056	0,0098	0,015	0,026
^{99m} Tc-альбумин	0,0079	0,0097	0,015	0,023	0,042
^{99m} Tc-DTPA:					
в норме	0,0063	0,0078	0,011	0,017	0,030
при сниженной функции почек	0,0053	0,0066	0,0097	0,015	0,026
^{99m} Tc-коллоид:					
в норме	0,014	0,018	0,028	0,041	0,073
при диффузных поражениях печени	0,017	0,019	0,029	0,043	0,076
^{99m} Tc-производные IDA:					
в норме	0,024	0,029	0,044	0,070	0,150
при паренхиматозных поражениях печени	0,013	0,016	0,024	0,037	0,075
^{99m} Tc-MIBI	0,0083	0,010	0,017	0,029	0,057
^{99m} Tc-НМРАО	0,0093	0,011	0,019	0,037	0,067
^{99m} Tc-MAG3	0,0079	0,0098	0,014	0,023	0,047
^{99m} Tc-лейкоциты (<i>in vitro</i> мечение)	0,011	0,013	0,023	0,039	0,077
^{99m} Tc-фосфаты, фосфонаты:					
в норме	0,0080	0,010	0,015	0,025	0,051
при нарушенной функции почек	0,0082	0,011	0,017	0,028	0,061
^{99m} Tc-макроагрегат альбумина	0,012	0,018	0,025	0,038	0,069
^{99m} Tc-эритроциты (<i>in vivo</i> мечение)	0,0081	0,0099	0,015	0,024	0,043
^{99m} Tc-DMSA	0,016	0,019	0,027	0,042	0,069
^{99m} Tc-микросферы	0,011	0,016	0,022	0,033	0,062
^{99m} Tc-аэрозоль (ингаляция)	0,0011	0,0012	0,0021	0,0035	0,0069
¹¹¹ In-блеомицин	0,16	0,20	0,29	0,44	0,77
¹¹¹ In-октреотид	0,0054	0,0064	0,011	0,019	0,037
^{113m} In-элюат	0,013	0,017	0,028	0,046	0,092
¹²³ I-MIBG	0,014	0,015	0,029	0,049	0,095
¹³¹ I-йодид натрия:					
без блокировки ЩЖ	24	37	56	120	220
с блокировкой ЩЖ	0,072	0,088	0,14	0,21	0,41
¹³¹ I-альбумин	0,86	1,12	1,7	2,8	5,4
¹³¹ I-макроагрегат альбумина	0,52	0,73	1,1	1,6	3,1
¹³¹ I-гиппуран	0,066	0,083	0,13	0,19	0,37
¹³¹ I-бенгал-роз	0,91	1,14	1,9	3,2	6,3
¹³³ Xe-раствор	0,00019	0,00026	0,00041	0,00064	0,0013
¹⁹⁸ Au-коллоид	1,5	2,1	3,3	5,3	10,1
²⁰¹ Tl-хлорид	0,23	0,36	1,5	2,2	3,4

Таблица 5. Эффективные дозы внутреннего облучения взрослых пациентов при внутривенном введении отечественных радиофармпрепаратов из расчета на ед. введенной активности, мЗв/МБк

РФП	Е	РФП	Е	РФП	Е	РФП	Е	РФП	Е
^{99m} Tc-макротех	0,0198	^{99m} Tc-технетрил	0,0197	¹¹¹ In-цитрин	0,160	^{99m} Tc-альбумин	0,0079		
^{99m} Tc-пентатех	0,0099	^{99m} Tc-пирфотех	0,074	^{113m} In-индифит	0,0496	⁶⁷ Ga-цитрат галлия	0,115		
^{99m} Tc-технефит	0,0317	^{99m} Tc-пертехнетат	0,0110	^{113m} In-индифор	0,0151	¹³¹ I-бенгальская роза	0,904		
^{99m} Tc-технемек	0,0152	^{99m} Tc-бромезида	0,0306	¹²³ I-МИБГ	0,0894	¹³¹ I-йодид	1,152		
^{99m} Tc-технефор	0,0061	^{99m} Tc-технемаг	0,0122	¹²³ I-йодид	0,567	¹³¹ I-гиппурат	0,125		
^{99m} Tc-карбомек	0,0082	^{99m} Tc-теоксим	0,0142	¹²³ I-гиппурат	0,0246	²⁰¹ Tl-хлорид	0,0643		

онных полях радионуклидных источников, в том числе и продолжительность контакта с теми пациентами, которым уже введены РФП, но без снижения качества диагностики и лечения;

– по возможности снижать активность фазовок радиофармпрепаратов, в радиационном поле которых находятся работающие с ними;

– использовать стационарные и передвижные средства радиационной защиты, в том числе строительные конструкции, защитные боксы, сейфы, экраны и контейнеры, сборные стенки из свинцовых блоков;

– по возможности использовать инструменты для дистанционного манипулирования с радионуклидными источниками любой активности, в том числе и с радиоактивными отходами;

– по возможности проводить парентеральное введение РФП с помощью шприцев и капельниц, оборудованных снимаемой локальной защитой в виде чехлов из тяжелых металлов, особенно у пациентов с предварительно катетеризированными кровеносными сосудами.

Защита персонала от внутреннего облучения. Предотвращение инкорпорации радионуклидов, приводящей к профессиональному внутреннему облучению бета-частицами, достигается путем тщательного выполнения следующих требований:

– проводить все манипуляции с радиофармпрепаратами, наборами для радионуклидной диагностики *in vitro* и радиоактивными отходами только с использованием комплекта средств индивидуальной защиты от внутреннего облучения, в состав которого должны входить халат, шапочка, хирургические перчатки, легкая сменная обувь;

– при уборке рабочих помещений блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат, особенно туалета для амбулаторных больных, необходимо дополнительно использовать пленочный фартук, нарукавники, пластиковые или резиновые бахилы или галоши;

– застилать рабочие поверхности в “активных” палатах фильтровальной бумагой (особенно стол и пол в палатных санузлах), которая должна регулярно заменяться при проведении влажной уборки в этих палатах;

– при ликвидации радиационных аварий с проливанием различных радиоактивных растворов нужно использовать тот же комплект дополнительных средств индивидуальной защиты от внутреннего облучения и, при необходимости, респираторы;

– менять основную спецодежду не реже одного раза в неделю со сдачей загрязненной спецодежды и сменной обуви на дезактивацию и/или в спецпрачечную;

– по возможности использовать одноразовые средства индивидуальной защиты с их последующим удалением как твердые радиоактивные отходы;

– особое внимание необходимо уделять предотвращению распространения радиоактивных загрязнений с перчаток на другие поверхности, особенно на дверные ручки.

Таким образом, РБ персонала обеспечивается тщательным выполнением всех установленных технологических операций по подготовке радиофармпрепаратов, их введению в организм пациентов, по пребыванию больных в “активных” палатах. Сюда же следует отнести технологии сбора, хранения и удаления различных радиоактивных отходов (РАО), образующихся при работе подразделений радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии.

Сбор и удаление твердых РАО. К твердым РАО относятся не подлежащие дальнейшему использованию материалы и предметы, у которых удельная радиоактивность, то есть активность на единицу массы, больше пороговых значений, приведенных в НРБ-99 для данного радионуклида.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении установленных технологий работы с открытыми радионуклидными источниками к твердым *штатным низкоактивным* РАО относятся:

– использованные хирургические перчатки после работы в блоках радионуклидного обеспечения и “активных” палатах;

– ватные тампоны, марлевые подушечки, кровоостанавливающие повязки, использованные при инъекциях радиофармпрепаратов;

– использованные при инъекциях радиофармпрепаратов одноразовые шприцы в разобранном виде после односуточной размывки проточной водой;

– одноразовые салфетки и полотенца, использованные больными при пероральном введении терапевтических радиофармпрепаратов (в основном, ¹³¹I);

– опорожненные флаконы из-под различных радиоактивных растворов после односуточной размывки проточной водой;

– использованная фильтровальная и туалетная бумага из помещений блоков радионуклидного обеспечения и “активных” палат;

– больничная (для пациентов) и профессиональная спецодежда разового использования;

– посуда разового использования для больных, госпитализированных в “активные” палаты;

– пищевые и бытовые отходы от больных из “активных” палат;

– отработанные сменные фильтры системы спецвентиляции.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении установленных технологий работы с открытыми радионуклидными источниками к твердым *штатным среднеактивным* РАО относятся:

– отработанные сменные фильтры и адсорбенты из системы очистки жидких РАО;

– трупы больных с введенными терапевтическими активностями радиофармпрепаратов, умерших в период пребывания в “активных” палатах;

– спецодежда разового использования, в которой проводилась дезактивация рабочих поверхностей при штатной влажной уборке “активных” палат.

При ликвидации последствий радиационных аварий, связанных с проливанием радиоактивных растворов, к твердым *аварийным среднеактивным* РАО относятся:

– спецодежда разового использования, в которой проводилась дезактивация рабочих поверхностей при ликвидации последствий радиационных аварий;

– опилки, фильтровальная бумага и другие средства, использованные при дезактивации.

Твердые РАО собираются в специальные контейнеры со сменными полиэтиленовыми мешками, которые в конце рабочего дня должны сдаваться в хранилище РАО. Контейнеры должны устанавливаться в хранилище радиофармпрепаратов, в фасовочной, радиоманипуляционной, моечной, туалете для амбулаторных больных, а также во всех “активных” палатах. Туда же доставляются трупы больных с введенной активностью и помещаются в морозильную камеру, где выдерживаются на радиоактивный распад необходимое время в соответствии с ОСПОРБ-99, после чего проводится патологоанатомическое исследование в установленном порядке. При необходимости срочного проведения подобного исследования следует рассчитать допустимую продолжительность процедуры вскрытия трупа патологоанатомом по нормативам для персонала группы Б, приведенным в НРБ-99.

В хранилище РАО все твердые отходы сортируются по категории активности, закладываются в пластиковые мешки и помещаются за радиационной защитой (стационарной бетонной или металлической передвижной стенкой). На каждом мешке должна быть этикетка с указанием радионуклида, даты поступления на хранение и запланированной даты удаления после выдержки на распад в качестве неактивных отходов. По достижении этой даты распавшиеся отходы удаляются вместе с обычными бытовыми и больничными отходами с предварительным дозиметрическим контролем, причем с удаляемых предметов и материалов должны быть убраны знаки радиационной опасности.

Пищевые отходы от больных из “активных” палат должны собираться в металлические контейнеры (емкости). После дозиметрического контроля контейнеры либо помещаются в холодильник для выдержки на распад и последующего удаления как обычные пищевые отходы медицинского учреждения, либо удаляются сразу, если не превышены установленные в НРБ-99 нормативы по содержанию радиоактивности в РАО.

Использованные свинцовые транспортные контейнеры от фасовок РФП отдельно складываются в хранилище РАО, где их также выдерживают на распад по результатам дозиметрического контроля. После выдержки контейнеры должны быть подвергнуты контролю на радиоактивную загрязненность их внутренних поверхностей и переданы фирме-поставщику РФП либо сдаются как лом цветных металлов с предварительным устранением знаков радиационной опасности.

Загрязненные радиоактивностью предметы спецодежды и сменная обувь персонала хранятся в кладовой блока радионуклидного обеспечения в пластиковых мешках, а постельное белье, полотенца, больничные пижамы и сменная обувь больных – в кладовой блока “активных” палат. Перед сдачей их в спецпрачечную проводят дозиметрический и радиометрический контроль с целью сортировки и отбраковки тех предметов, уровни загрязнения которых превышают установленные в НРБ-99 нормативы и которые должны быть отобраны для соответствующей выдержки на распад перед сдачей в спецпрачечную.

Сбор и удаление жидких РАО. При отсутствии радиационных аварий и соблюдении технологий работы с открытыми радионук-

лидными источниками в подразделениях радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии к жидким *штатным среднеактивным* РАО относятся:

- неиспользованные остатки радиоактивных растворов из флаконов, мензурок и фасовок радиофармпрепаратов;
- сливные и сточные воды из туалета для амбулаторных больных;
- сливные и сточные воды из санузлов “активных” палат.

При ликвидации последствий радиационных аварий в тех же подразделениях к жидким *аварийным среднеактивным* РАО относятся:

- сточные воды из системы спецканализации в отделениях радионуклидной терапии, попадающие на рабочие поверхности при засорах и протечках дренажных труб;
- сливные воды от процедур дезактивации, проводимых при массивном пролипании радиоактивных растворов с высокой удельной активностью.

При отсутствии радиационных аварий и соблюдении технологий работы с открытыми радионуклидными источниками в подразделениях радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии к жидким *штатным низкоактивным* РАО относятся:

- сливные воды из раковин, находящихся в помещениях блока радионуклидного обеспечения и во вспомогательных помещениях блока “активных” палат, но не из самих “активных” палат;
- сливные и сточные воды из санпропускника с туалетом для персонала;
- сливные воды из раковин, установленных в следующих помещениях блока “активных” палат: перевязочная-смотровая, моечная посуды для больных, кабинеты радиометрии и сцинтиграфии, пункт радиационного контроля больных, а также санпропускник для больных.

Все среднеактивные и низкоактивные жидкие РАО в отделениях радионуклидной диагностики в соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.1892–04 через дренажные трубы допускается сбрасывать непосредственно в хозяйственно-бытовую канализацию. Низкоактивные жидкие РАО в отделениях радионуклидной терапии также должны удаляться через хозяйственно-бытовую канализацию. Напротив, среднеактивные жидкие РАО из “активных” палат в соответствии с действующими нормативами должны собираться в накопительных баках выдержки на станции

спецочистки жидких РАО, где после соответствующей выдержки и соответствующего разбавления нерадиоактивной водой удаляются в хозяйственно-бытовую канализацию под дозиметрическим контролем.

Радиационный контроль. В подразделениях ядерной медицины одним из важных элементов системы обеспечения РБ является радиационный контроль уровней облучения персонала. Он должен включать:

- индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала гамма-квантами и бета-частицами от различных радионуклидных источников;
- индивидуальный радиометрический контроль уровней инкорпорации радионуклидов у всех лиц, отнесенных к категории А персонала;
- измерения уровней радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, одежды и кожных покровов работающих;
- измерения мощности поглощенной дозы фотонного излучения на рабочих местах персонала;

– измерения объемной активности радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений (при их наличии, например, при ингаляционной сцинтиграфии);

– радиометрический и дозиметрический контроль твердых РАО перед их удалением после выдержки на радиоактивный распад;

– радиометрический контроль загрязненной радиоактивностью спецодежды и сменной обуви персонала подразделений радионуклидной диагностики и радионуклидной терапии;

– радиометрический контроль больничной одежды и обуви от больных при их выписке из отделения радионуклидной терапии, а также полотенец и постельного белья из “активных” палат перед их сдачей в спецпрачечную;

– радиометрический контроль состава и активности сбрасываемых в хозяйственно-бытовую канализацию вод со станции спецочистки жидких РАО.

Конкретные места, состав, объемы и периодичность оперативного радиационного контроля должны быть установлены службой радиационной безопасности данного медицинского учреждения по согласованию с региональными органами Роспотребнадзора.

Конкретные значения уровней профессионального облучения персонала подразделений ядерной медицины, в зависимости от целого ряда факторов и обстоятельств, варьируют в широких пределах: эффективная доза

профессионального облучения составляет от 0,5 мЗв/год для врачей-радиодиагностов до 6,0 мЗв/год для процедурных медсестер, занятых подготовкой и введением радиофармпрепаратов.

Наконец, РБ персонала обеспечивается комплексом изложенных в НРБ-99 ограничений и требований по допуску к работам с радионуклидными источниками и по пределам доз профессионального облучения (см. сообщение 1).

Обеспечение радиационной безопасности населения и окружающей среды

В соответствии с НРБ-99 для лиц из населения установлен по эффективной дозе предел 1 мЗв/год. При этом отмечено, что в эту дозу техногенного облучения не входит вклад от медицинских радиологических процедур. Это означает, что для каждого индивидуума из населения не следует учитывать ту лучевую нагрузку, которую данный человек получил при прохождении собственных рентгенорадиологических исследованиях или при выполнении собственной лучевой терапии. Однако это отнюдь не означает, что не нужно учитывать те дозы облучения, которые получает данный индивидуум от медицинского облучения других лиц из населения. Эти дозы техногенного облучения принципиально отличаются от доз собственного медицинского облучения тем, что они не приносят непосредственной пользы для здоровья данного индивидуума, и поэтому должны быть ограничены.

После введения в организм диагностической или терапевтической активности радиофармпрепарата пациент сам становится источником наружного и, вследствие выведения радионуклидов из его организма, внутреннего облучения отдельных лиц из населения. В эту группу входят прежде всего родственники, в том числе дети, и лица, которые осуществляют уход за таким больным. Сюда же относятся коллеги по работе, пассажиры общественного транспорта, которым пользуется больной, и другие лица, находящиеся в регулярном или эпизодическом контакте с этим пациентом.

В НРБ-96 были установлены некоторые ограничения для облучения отдельных лиц из населения от пациентов, которым были введены диагностические активности радиофармпрепаратов, однако из НРБ-99 эти ограничения были исключены. Это означает, что при любых сценариях облучения этих лиц от паци-

ентов с введенными диагностическими радиофармпрепаратами заведомо не будет превышен установленный в НРБ-99 для населения предел эффективной дозы 1 мЗв/год и что РБ таких лиц будет полностью обеспечена.

Как уже было отмечено выше, лишь для использования *терапевтических* радиофармпрепаратов в НРБ-99 введено ограничение, в соответствии с которым мощность эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от тела пациента при его выходе из отделения радионуклидной терапии не должна превышать 3 мкЗв/ч. При этом норматив 5 мЗв/год, установленный в НРБ-99 для лиц, оказывающих помощь при проведении рентгенорадиологических процедур, можно по праву применить и к родственникам, и к другим лицам, ухаживающим за больным после курса радионуклидной терапии (но не к детям, для которых должен действовать предел дозы 1 мЗв/год!).

Однако многочисленные расчетные исследования у нас в стране и за рубежом, а также *in vivo* дозиметрия облучаемых лиц показали, что даже при далеко не тщательном выполнении инструкций по ограничению контактов реальные дозы облучения лиц из населения не превышают основного предела дозы 1 мЗв/год, установленного в рекомендациях МКРЗ и в НРБ-99 для всего населения, и дозы 5 мЗв/год, установленной МКРЗ и НРБ-99 для лиц, осуществляющих уход за больным.

Практически во всех развитых странах норматив для выписки пациентов после госпитального курса радионуклидной терапии варьирует от 20 до 70 мкЗв/ч на расстоянии 1 м от тела больного. В частности, в Германии такое ограничение составляет 3,5 мкЗв/ч на расстоянии 3 м (по существу, это равно 31,5 мкЗв/ч на расстоянии 1 м), в Японии — 30 мкЗв/ч на расстоянии 1 м, в США и Канаде — 70 мкЗв/ч на расстоянии 1 м, в Австралии и Новой Зеландии — 25 мкЗв/ч на расстоянии 3 м (по существу, это составляет 225 мкЗв/ч (!) на расстоянии 1 м). Все эти нормативы взяты из официальной Публикации 94 МКРЗ. Такие научно обоснованные ограничения по мощности дозы позволяют для подавляющего большинства больных тиреотоксикозом использовать не госпитальный, а амбулаторный режим радионуклидной терапии с ¹³¹I.

Поэтому ограничение по мощности дозы, установленное в НРБ-99 (3 мкЗв/ч на расстоянии 1 м), следует охарактеризовать как научно необоснованное, клинически недопустимое и экономически неэффективное вслед-

ствие своей чрезмерной жесткости, поскольку в 10–15 раз превосходит то ограничение, которое принято во всех центрах радионуклидной терапии развитых стран. В настоящее время проводятся научно-организационные исследования по смягчению данного ограничения.

РБ отдельных лиц из населения, эпизодически или регулярно контактирующих с пациентами, которым введены терапевтические радиофармпрепараты, обеспечивается:

- запретом посещения больных, находящихся в “активных” палатах, родственниками и другими посторонними лицами;

- обязательным проведением дозиметрического контроля уровня внешнего облучения от тела пациента с введенным радиофармпрепаратом при выходе из отделения радионуклидной терапии для больных как после завершения пребывания в “активных” палатах с их обязательной санобработкой при выписке из стационара, так и при амбулаторном режиме лечения;

- тщательным и неукоснительным выполнением всех тех инструкций и рекомендаций по контактам с другими лицами, которые врач-радиолог дает самому пациенту при выписке из отделения радионуклидной терапии или после введения радиофармпрепарата в амбулаторном режиме лечения;

- максимально возможным снижением продолжительности контактов и увеличением расстояния между больным и родственниками, особенно детьми, после курса радионуклидной терапии;

- регулярным проведением санитарно-гигиенических мероприятий по снижению уровня радиоактивного загрязнения предметов сантехники, посуды, одежды, белья, вещей общего пользования (например, пультов дистанционного управления бытовыми электроприборами) и других предметов при уходе в домашних условиях за больным после выписки из отделения радионуклидной терапии или при лечении в амбулаторном режиме;

- временным прерыванием грудного вскармливания младенца матерью, которой введен диагностический и/или терапевтический радиофармпрепарат; продолжительность прерывания устанавливается врачом-радиологом;

- временным воздержанием от воспроизводства потомства пациентом, в организм которого введен терапевтический радиофармпрепарат. Продолжительность воздержания устанавливается врачом-радиологом.

В международном и отечественном законодательстве полным умолчанием обходится вопрос о допустимости попадания в окружающую среду радионуклидов, используемых как метки диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов. Как известно, подавляющее большинство всех радионуклидных диагностических исследований проводится в амбулаторном режиме. Поэтому наибольшая часть введенных пациентам радиофармпрепаратов попадает в окружающую среду через обычную хозяйственно-бытовую канализацию, когда в принципе нельзя полностью проконтролировать состав и активность удаляемых таким образом жидких радиоактивных отходов. И хотя в НРБ-99 для некоторых диагностических и всех терапевтических радионуклидов установлены так называемые уровни вмешательства по среднегодовой активности в питьевой воде, такое умолчание, очевидно, означает, что сброс радиоактивности в окружающую среду от больных, проходящих диагностические исследования или радионуклидную терапию в амбулаторном режиме, не приводит к нарушению норм РБ для окружающей среды.

Следуя той же логике, в методических указаниях МУ 2.6.1.1892–04 уже разрешен прямой сброс любых жидких радиоактивных отходов непосредственно в хозяйственно-бытовую канализацию для всех подразделений радионуклидной диагностики без какой-либо предварительной очистки или разведения, в том числе и из туалетов для больных. Это разрешение относится как ко всем **диагностическим** радиофармпрепаратам, так и к тем **терапевтическим** радиофармпрепаратам, которые официально допускается использовать в только амбулаторном режиме, например ^{89}Sr .

Однако для **терапевтических** радиофармпрепаратов, не предназначенных к амбулаторному использованию, сброс в хозяйственно-бытовую канализацию допустим только после соответствующей очистки и разбавления до тех минимально значимых уровней удельной активности радионуклидов в жидких радиоактивных отходах, которые приведены в санитарных правилах СПОРО–2002. Именно поэтому при проектировании новых и реконструкции действующих радиологических корпусов с подразделениями радионуклидной терапии предусматривают создание и оснащение станций спецочистки жидких радиоактивных отходов, поступающих по спецканализации из “активных” палат.

До настоящего времени такая ситуация казалась неизбежной. Однако сравнительно недавно были опубликованы официальные рекомендации МКРЗ (Публикация 94) и МАГАТЭ (Публикация 1207). В них допускается прямой сброс жидких РАО из подразделений радионуклидной терапии в хозяйственно-бытовую канализацию без какой-либо предварительной очистки и (или) выдержки на распад. В рекомендациях подчеркивается, что, благодаря сильнейшему разбавлению сбрасываемых РАО, в коммуникациях и коллекторах городской канализации концентрация поступающей на городские станции аэрации радиоактивности вполне соответствует принятым ограничениям МКРЗ. Мало того, при радиационном мониторинге очищенных вод и остающегося шлама оказалось, что персонал станций аэрации получает дополнительное облучение не более 10 мкЗв/год при уровне естественного радиационного фона около 2000 мкЗв/год. (Измерения проводились в Лондоне.) При этом было установлено, что это ничтожно малое дополнительное облучение, в основном, обусловлено не йодом-131, который является основным радионуклидом для радионуклидной терапии, а технецием-99m, что обусловлено сбросом в канализацию экскретов от большого количества пациентов, ранее прошедших радионуклидные диагностические исследования в амбулаторном режиме.

В этих рекомендациях МКРЗ и МАГАТЭ отказ от систем очистки медицинских РАО

жестко не навязывается и указывается, что эта задача должна решаться в соответствии с национальным законодательством каждой страны. Но при этом говорится, что строительство и эксплуатация станций очистки жидких РАО в медицинских учреждениях экономически невыгодны и реального выигрыша в обеспечении РБ населения и окружающей среды они не дают, приводя, кроме того, к неоправданному профессиональному облучению персонала при работе на подобных станциях.

В связи с появлением этих рекомендаций МКРЗ и МАГАТЭ во многих странах Европы, в частности в Великобритании, начали выводить из эксплуатации ранее построенные станции очистки жидких РАО при медицинских учреждениях, где функционируют подразделения радионуклидной терапии. Большинство фирм – изготовителей оборудования для таких станций уже свернули создание и монтаж этого оборудования вследствие экономической убыточности.

Вполне очевидно, что и у нас, в России, нужно учитывать эти рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ при строительстве новых центров радионуклидной терапии. Однако сначала нужно провести предварительную работу по внесению необходимых изменений и официальному утверждению соответствующих разделов в НРБ-99, ОСПОРБ-99, СПОРО-2002 и других отечественных нормативных документах.

(Продолжение в следующем номере журнала)