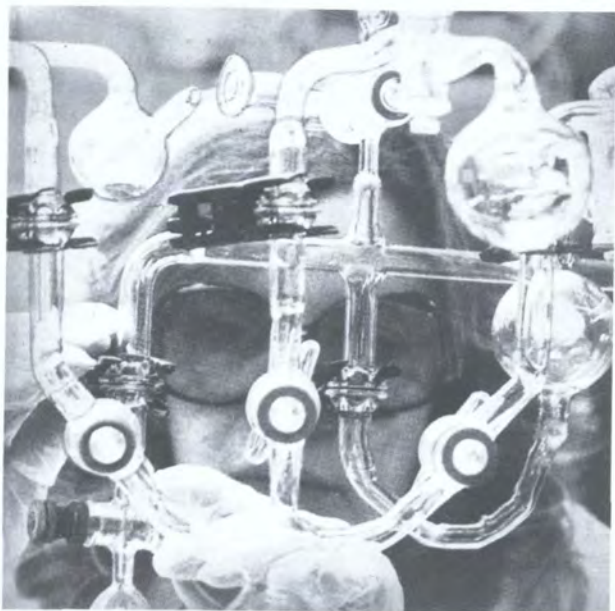




Процедуры и приборы ядерной медицины играют важную роль в здравоохранении и медицинских исследованиях, однако не все страны в состоянии воспользоваться этим. Усилия МАГАТЭ, ВОЗ и других организаций направлены на оказание помощи развивающимся странам в преодолении трудностей создания подразделений ядерной медицины в большем числе своих больниц и лабораторий.

На фото (сверху слева): медицинский исследователь по радиофармакологии; лаборантка, выполняющая пробный радиоиммунный анализ в лаборатории; получение изображения органов с помощью ядерных методов; исследователь рака, анализирующий авторadiограмму, где черные участки показывают радиоактивные частицы ДНК (деоксирибонуклеиновой кислоты). (Фото NEN).



# Публикации Международного агентства по атомной энергии

Международное агентство по атомной энергии является международной организацией системы ООН, главные задачи которой — стремиться к достижению более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире. Одной из важных функций является публикация научно-технических книг и журналов по следующим темам:



Биологические науки  
Ядерная безопасность и охрана окружающей среды  
Физика  
Химия, геология и сырьевые материалы  
Реакторы и ядерная энергетика  
Применение изотопов и излучений в промышленности  
Гарантии и инспекции  
Ядерное право  
Ядерная документация — ИНИС

## КАК ЗАКАЗАТЬ ПУБЛИКАЦИИ МАГАТЭ

Агент с исключительным правом на продажу публикаций МАГАТЭ, которому необходимо направлять все заказы и запросы, назначен в следующую страну:

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ  
АМЕРИКИ

Bernan Associates —  
UNIPUB,  
10033-F King Highway,  
Lanham, MD 20706

Публикации МАГАТЭ могут быть куплены в следующих странах у агентов по продаже или в нижеперечисленных книжных магазинах, или через крупных местных книгопродавцов. Оплата может производиться в местной валюте или в купонах ЮНЕСКО.

АВСТРАЛИЯ Hunter Publications, 58 A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066  
АРГЕНТИНА Comisión Nacional de Energía Atómica, Avenida del Libertador 8250, RA-1429 Buenos Aires  
БЕЛЬГИЯ Service Courrier UNESCO, 202, Avenue du Roi, B-1060 Brussels  
ВЕНГРИЯ Kultura, Hungarian Foreign Trading Company P.O. Box 149, H-1389 Budapest 62  
ИЗРАИЛЬ Heiliger and Co. Ltd., Scientific and Medical Books, 3, Nathan Strauss Street, Jerusalem 94227  
ИНДИЯ Oxford Book and Stationary Co., 17, Park Street, Calcutta-700016  
Oxford Book and Stationary Co., Scindia House, New Delhi-110001  
ИСПАНИЯ Díaz de Santos, Lagasca 95, Madrid-6  
ИТАЛИЯ Díaz de Santos, Balmes 417, Barcelona-6  
LIBRERIA Scientifica, Dott. Lucio de Biasio "aeiou" Via Meravigli 16, I-20123 Milan  
НИДЕРЛАНДЫ Martinus Nijhoff B.V., Lange Voorhout 9-11, P.O. Box 269, NL-2501 The Hague  
ПАКИСТАН Mirza Book Agency, 65, Shahrah Quaid-e-Azam, P.O. Box 729, Lahore-3  
ПОЛЬША Ars Polonia-Ruch, Centrala Handlu Zagranicznego, Krakowskie Przedmiescie 7, PL-00-068 Warsaw  
РУМЫНИЯ Pexim, P.O. Box 136-137, Bucarest  
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО Her Majesty's Stationary Office, Agency Section PDIB, P.O. Box 569, London SE1 9NH  
СССР Москва Г-200, Смоленская-Сенная 32-34, Международная книга  
ФРАНЦИЯ Office International de Documentation et Librairie, 48, rue Gay-Lussac, F-75240 Paris Cedex 05  
ЧССР S.N.T.L., Spálená 51, CS-113 02 Prague 1  
Alfa Publishers, Hurbánovo námestie 6, CS-893 31 Bratislava  
ШВЕЦИЯ AB C.E. Fritzes Kungl. Hovbokhandel, Fredsgatan 2, P.O. Box 16356 S-103 27 Stockholm  
ЮГОСЛАВИЯ Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, POB. 36, YU-11001 Belgrade  
ЮЖНАЯ АФРИКА Van Schaik's Bookstores (Pty) Ltd., Libri Building Church Street, P.O. Box 724, Pretoria 0001  
ЯПОНИЯ Maruzen Company, Ltd., P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International

Заказы и заявки (на информацию) из стран, в которых еще не назначены агенты по продаже, необходимо направлять непосредственно в Отдел публикаций МАГАТЭ по адресу:  
Division of Publications,  
International Atomic Energy Agency,  
Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria



# Содействие внедрению ядерной медицины в развивающихся странах

Обзор темы и роль МАГАТЭ в этой области

Раманик Ганатра и Мохамед Нофаль



Ядерная медицина, согласно описанию в одном из технических докладов Всемирной организации здравоохранения, охватывает применение всех видов неизолированных радиоактивных материалов для целей диагностики и лечения заболеваний, а также для медицинских исследований. Она включает не только диагностические процедуры *in vivo*, но также радиоиммунный анализ (РИА) и связанные с ним *in vitro* процедуры.

Многочисленность видов применения радионуклидов в медицинских исследованиях затрудняет их полный учет в таком определении этой, в основном, клинической области медицины. Для объединения клинических и нескольких исследовательских применений радионуклидов часто используется такой всеохватывающий термин как „медицинские применения”. Таким образом, следует различать два вида медицинских применений радионуклидов: один — когда радионуклиды используются непосредственно в применении к больному и другой — когда они помогают в понимании характера болезни. На практике ядерная медицина носит в основном диагностический характер.

Хотя радионуклиды использовались в медицине до второй мировой войны, широкое и разнообразное их применение для медицинских целей стало возможным лишь позднее, когда появились ядерные реакторы, производящие их в достаточных количествах. Можно сказать, что атомная энергия сначала предстала перед медиками в облике чудовища, а затем постепенно они узнали о ее пользе для врачебных целей. Основной движущей силой в развитии ядерной медицины было не столько ее воздействие на здравоохранение, сколько

Д-р Ганатра — сотрудник Секции медицинских применений Отдела биологических наук Агентства и д-р Нофаль — руководитель этого Отдела.

желание искать все больше и больше возможностей для применения атомной энергии на благо человека, подобно обратной стороне медали.

### Применение ядерной медицины

Каким бы ни был путь ее эволюции, ядерная медицина примерно за 40 лет получила такое развитие, что сейчас нет ни одной клинической специальности, которая не пользовалась бы радионуклидами.

Применение ядерной медицины в диагностике имеет три аспекта: 1) клинический — объект исследования; 2) радиофармацевтический — препарат, вводимый больному и 3) технический — приборы для выявления радиоактивности либо *in vivo*, либо *in vitro* в крови, моче или в спинномозговой жидкости. При чистом применении *in vitro* радиоактивность не вносится в организм пациента, вместо этого меченное радиоактивностью вещество добавляется к клиническому препарату (например, крови), находящемуся в пробирке.

Ниже приводятся четыре основные категории применения ядерной медицины, при этом для каждой категории дается только по одному примеру, поскольку полный перечень был бы слишком обширным.

• Обнаружение радиоактивности снаружи *in vivo* после введения радионуклида внутрь. Сюда входят: 1) составление изображения органов, например, печени и 2) функциональные исследования без составления изображения, например, ренограмма, представляющая собой графическое описание пути прохождения меченного радиоактивностью вещества с почечными выделениями.

● Измерение радиоактивности *in vitro* в клинических условиях после введения радионуклида внутрь. Сюда входят исследования: 1) абсорбции, например, витамина В<sub>12</sub>; 2) состава тканей тела, например, полного содержания воды в организме; 3) метаболизма, например, белкового обмена и 4) крови, например, выживания красных кровяных шариков.

● Анализы *in vitro*, когда радиоактивные вещества не вносятся в организм пациента, например, радиоиммунные анализы (РИА) гормонов.

● Радиоизотопная терапия, например, применение радиоактивного йода для лечения рака щитовидной железы.

Общим для всех этих диагностических исследований является использование радиоизотопов в качестве меток. С их помощью пытаются проследить за определенным физиологическим явлением в организме, где их поведение неотличимо от естественных физиологических субстанций. Радиоизотопы подобны шпионам, следящим за биологическими явлениями в организме. Замаскированная радиоактивная метка передает информацию о том, что происходит в организме в разных точках и в разное время. Эмиссия от радиоактивных трейсеров может контролироваться высокочувствительными и точными современными электронными приборами. Таким образом можно получить количественные данные (для щитовидной железы) и характеристики объема (для крови), определить скорость прохождения веществ (для ренограммы) или вид биологической реакции (для биохимических применений).

Специального внимания заслуживают два вида исследований, доминирующих над всеми остальными: составление изображения и радиоиммунные анализы (см. текст в рамках).

### Вклад в здравоохранение

Поскольку ядерная медицина служит прежде всего целям диагностики, в ней более всего ценится способность проникновения без сопутствующих нарушений. Набор основных приборов и методов может использоваться для различных целей в отличие, например, от электроэнцефалограммы, которая помогает только невропатологам и никому больше. Эти приборы и методы ядерной медицины при всей их чувствительности не всегда могут дать точный исчерпывающий ответ. Возможно, с их помощью нельзя установить диагноз, но они могут помочь исключить ряд версий, требующих многих других дорогостоящих исследований, — например, обнаружение повреждения, занимающего определенный участок в ткани мозга, не дает возможности определить характер повреждения. Необходим ряд дополнительных исследований, чтобы прийти к точному диагнозу. С другой стороны,

отрицательный результат сканирования мозга исключит наличие поврежденного участка, и таким образом отпадет необходимость дальнейших неврологических исследований, которые большей частью дороги и иногда связаны с травмами.

Исходя из этих предпосылок, давайте сгруппируем процедуры современной ядерной медицины следующим образом:

● процедуры, помогающие установить конкретный позитивный диагноз, например, проверка функций щитовидной железы

● процедуры, которые могут исключить определенный диагноз, например, сканирование с целью обнаружения поврежденных участков

● процедуры, помогающие наблюдению за пациентами, например, ядерная кардиология. После установления окончательного диагноза и назначения лечения, ненарушающий характер радиоизотопных процедур делает их особенно подходящими для наблюдения за больными.

### Ядерная медицина в развивающихся странах

Ядерная медицина развивалась параллельно с общим ростом ядерной технологии. Поэтому в настоящее время она достигла высокого уровня в промышленно развитых странах, располагающих ресурсами для разработки необходимых приборов и фармацевтических средств. Большое количество приборов сейчас можно легко приобрести по коммерческим каналам. Радиофармацевтические средства тоже доступны в таких формах, которые позволяют поставлять их в различные страны из нескольких международных источников.

Ядерная медицина не может больше рассматриваться как уникальная и экзотическая дисциплина. Широкое применение радионуклидов в медицине показало, что благодаря им можно добиться сохранения жизни, восстановления здоровья, установления причины заболевания и облегчения страданий. Нет ни одной области медицины, которая в большей или меньшей степени не использовала бы методы ядерной медицины. Поэтому желательно, чтобы в планах развития здравоохранения в развивающихся странах ядерной медицине было отведено соответствующее место при условии наличия достаточно развитой инфраструктуры для применения ее методов.

Для внедрения у себя ядерной медицины развивающимся странам необходимо решить ряд проблем. Чтобы стать дееспособной медицинской службой в больнице, подразделению ядерной медицины требуется иметь широкий набор тестов, оно должно обслуживать большое число пациентов, направляемых из различных клинических отделений, чутко реагировать и быть в состоянии давать конкретные ответы на многочисленные диагностические вопросы без нанесения ущерба пациенту.

Такой вид службы требует сложного оборудования, непрерывного обеспечения фармацевтическими средствами и, прежде всего, подготовленного персонала.

Развивающиеся страны испытывают недостаток всех этих компонентов. Оборудование стоит дорого и его трудно содержать в условиях, обеспечивающих нормальную эксплуатацию. Фармацевтические средства должны импортироваться из-за границы, причем поставки подвержены колебаниям из-за целого ряда причин. Персонал обычно проходит подготовку в развитых странах, но после возвращения на родину трудно приспособляется к местным условиям. Радиоиммунные анализы являются сравнительно простой процедурой *in vitro*, требующей недорогого оборудования, но и в этом случае зачастую бывает так, что больница в стране третьего мира не в состоянии поддерживать точность и качество большого числа проб для разнообразных анализов.

## Частота процедур

Частота применения процедур ядерной медицины в США в настоящее время оценивается в 33 на 1000 чел. в год\*. Это должно быть намного выше по сравнению с частотой применения этих методов в развивающихся странах.

Хотя нет оценок применительно к ядерной медицине, можно предположить наличие аналогии с положением в области радиологических исследований. В мире в целом один рентгеновский аппарат приходится на 5000 чел., однако в развивающихся странах Африки и Юго-Восточной Азии один аппарат приходится на 60 000 или на 100 000 человек. Есть данные, что частота радиологических обследований составляет 1000 обследований на 1000 чел. в год в развитых странах по сравнению со средней частотой менее 10 обследований на 1000 чел. в год в развивающихся странах, по сообщению сотрудника Секции радиационной медицины Всемирной организации здравоохранения г-на Н. Раковину. Что касается ядерной медицины, положение не только не может быть лучше, но возможно, что соответствующие показатели даже намного хуже.

## Пути и средства поддержки со стороны МАГАТЭ

В настоящее время усилия МАГАТЭ в области ядерной медицины направлены на помощь развивающимся странам в оснащении своих больниц средствами ядерной медицины. Это составляет

\* См. „Тенденции и практика медицины в Соединенных Штатах”, Ф. Меттлер, А. Уильямс и др., *Journal of Nuclear Medicine*, 26, 201 (1985).

часть основной цели Агентства, связанной с перенесением технологии из развитых в развивающиеся страны. Эти усилия прилагаются по следующим направлениям:

● **Техническая поддержка.** В течение 1985 г. 3,18 млн. долл. США из Фонда технической помощи было использовано на связанные со здравоохранением проекты в 41 стране, что составляет 9,5 % от

## Радиоиммунный анализ: проникновение вглубь организма в интересах здоровья

Достижения радиоиммунного анализа (РИА) стали славной страницей в истории ядерной медицины, получившей широкое признание присуждением Нобелевской премии Розалине Ялов в 1977 г. за ее работу в этой области. Эти анализы являются средством количественных и специфических измерений большого числа биологических важных веществ в клинической пробе (например, крови), взятой у пациента. Здесь, как и при ядерном изображении, главным является трейсер. С помощью меченого радиоактивностью гормона пытаются проследить пути движения связанных и несвязанных гормональных фракций в присутствии связывающего агента в пробе крови.

Жизнь становится возможной благодаря сбалансированному взаимодействию тысяч сложных органических молекул, имеющих размеры от нескольких до многих тысяч атомов и содержащихся в биологических жидкостях в концентрациях от нескольких частиц на сотню до нескольких частиц на миллиард. Многие отличаются друг от друга почти незаметно и тем не менее выполняют совершенно различные функции. До появления РИА анализ большинства этих веществ был труден или невозможен и проникновение в биохимические процессы было соответственно ограничено.

Благодаря РИА стало возможным сделать два важнейших шага вперед. Во-первых, был введен в действие метод изоляции конкретных представляющих интерес веществ с помощью очень специфичного и чувствительного „реагента” — особого класса биологических молекул, называемых антителами. Во-вторых, использование радиоактивных трейсеров позволило измерить ничтожные количества этих выделенных молекул.

РИА является примером медицинского применения радионуклидов, которое можно осуществить на самом низком уровне технической сложности. Этот вид анализа и связанные с ним методы стали играть огромную роль в медицинской диагностике и исследованиях. Сегодня сотни различных веществ анализируются этими методами, включая гормоны, витамины, фармацевтические средства, лекарства, продукты, выделенные инфекционными вирусами и паразитами, вещества из злокачественных опухолей и многие другие. Ежегодные капиталовложения в эти методы во всем мире должны превышать 1 млрд долл. США, и эта технология используется в разной степени в диагностике заболеваний, возможно, у 10–20 % пациентов больниц развитых стран. Естественно, развивающиеся страны очень хотели бы включить эти методы в свои системы здравоохранения\*

\* См. „Содействие применению радиоиммунного анализа в здравоохранении”, Р. Дадли, *Бюллетень МАГАТЭ*, том 25, № 2 (июнь 1983).

общего бюджета технической помощи. Большая часть помощи направлена на создание центров ядерной медицины для исследований *in vivo* и *in vitro*. Практика ядерной медицины требует дорогого электронного оборудования и постоянного обеспечения радиофармацевтическими средствами. В большинстве случаев это нельзя обеспечить в местных условиях, поэтому необходимы хорошие воздушные коммуникации и быстрое оформление таможенных документов. Приборы должны содержаться при оптимальных условиях в подходящих помещениях, приспособленных для поддержания их в рабочем состоянии и для проведения ремонтных работ.

Поэтому центры ядерной медицины могут быть созданы в относительно небольшом числе стран, имеющих соответствующую инфраструктуру, при крупных городских больницах в этих странах.

• *Учебные курсы.* В течение более десяти лет Агентство организует межрегиональные ежегодные учебные курсы и поездки по ядерной медицине для участников из развивающихся стран. В настоящее время практикуется направление в основном врачей в качестве преподавателей для этих курсов, где дается основной вводный обзор текущих клинических методов, применяемых в ядерной медицине. Участникам предоставляется теоретическая и практическая подготовка по общепринятым применениям радиоизотопов для диагностики и лечения, по безопасному обращению с радиоизотопами, по общим принципам радиофармакологии, по анализу, интерпретации и контролю качества процедур ядерной медицины *in vivo* и *in vitro*, по организационным аспектам ядерной медицинской службы в условиях клиники, а также по основным разделам физики, связанным с радиацией и радиоактивностью. Дополнительно Отдел биологических наук Агентства часто организует различные краткосрочные курсы и практические занятия в течение года в различных районах мира по специальным вопросам ядерной медицины, например, по контролю качества приборов для сканирования, по радиоиммунному анализу и по содержанию оборудования для ядерной медицины.

• *Помощь экспертов.* Одним из наиболее важных элементов подготовки специалистов является приезд в развивающуюся страну признанного эксперта для обучения на месте по некоторым или всем аспектам ядерной медицины. Командировка эксперта может продолжаться от нескольких месяцев до целого года. Когда в страну поставляется сложное оборудование, в проекте обычно предусматривается направление эксперта для подготовки персонала по эксплуатационным и техническим вопросам. В течение 1985 г. были предоставлены услуги экспертов в объеме 72 человеко-месяцев в рамках 69 проектов технической помощи в области ядерной медицины.

• *Предоставление стипендий для обучения.* Конечной целью организации службы ядерной медицины в любой стране является подготовка в полном объеме местного специалиста, который мог бы взять на себя клинические и технические обязанности по этой службе. Для достижения этой цели местный специалист, снабженный необходимыми академическими удостоверениями, направляется за границу для всеобъемлющей подготовки в подходящем для него учебном заведении на период от нескольких месяцев до нескольких лет. Например, в 1985 г. стипендии по ядерной медицине были предоставлены в объеме 388 человеко-месяцев.

• *Конференции, симпозиумы, семинары.* Эти совещания предназначены для обмена идеями между учеными из различных стран. В 1985 г. Агентство в сотрудничестве с ВОЗ организовало международный симпозиум на тему „Ядерная медицина и связанные с ней медицинские применения ядерных методов в развивающихся странах”\*. В дальнейшем предполагается провести симпозиум на тему „Исследование динамической функции в ядерной медицине” и семинар по „Подготовке специалистов в ядерной медицине”.

• *Исследовательские контракты.* Многие правила клинической ядерной медицины, принятые в различных странах, могут оказаться неприемлемыми для развивающихся стран. В связи с этим возникает необходимость упростить процедуру и работать с относительно менее сложными приборами и радиофармацевтическими средствами, которые легко доступны. В программах Агентства оказывается поддержка этому процессу адаптации методов с целью удовлетворения нужд лабораторий в развивающихся странах. При этом подходе признается, что новые методы не могут быть приняты без изменений *de novo*, а должны адаптироваться применительно к реальностям развивающихся стран. Имея в виду этот процесс адаптации, Агентство учредило координационную исследовательскую программу по следующим темам: 1) оптимизация процедур ядерной медицины для диагностики и лечения нарушений функций щитовидной железы; 2) количественная оценка процедур сканирования для диагностики заболеваний печени; 3) исследование воздействия процедур контроля качества приборов ядерной медицины; 4) формулирование и осуществление планов содержания ядерных лабораторий; 5) применение радионуклидов в диагностике инфекционных заболеваний; 6) внешняя оценка качества радиоиммунного анализа гормонов щитовидной железы.

В исследовательском контракте Агентства должны учитываться существующие тенденции в развитии ядерной медицины в мире и ее будущая роль в общей клинической структуре — важные

\* Материалы симпозиума в настоящее время опубликованы и их можно получить в МАГАТЭ. См. раздел *Keep Abreast* для заказа информации.



Помощь экспертов является важным аспектом учебной программы Агентства по ядерной медицине. (Фото NEN).

компоненты при разработке будущих программ Агентства.

### Тенденции и новые направления

Ядерная медицина начиналась как вид исследований функций и потоков в организме с помощью трейсеров. Прогресс в области сканирования и разработка новых радиофармацевтических средств, локализующихся в различных органах, направили внимание специалистов ядерной медицины к получению изображений различных органов. В течение многих лет, помимо радиологии, ядерная медицина была единственным методом, используемым для этой цели. В настоящее время это уже не так, поскольку появился целый ряд других методов для получения изображений, таких как ультразвук, компьютерная осевая томография (КОТ) и ядерно-магнитный резонанс. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и ограничения. Администратору больницы приходится выбирать, какую из технологий использовать. Врачу тоже нужно выбрать наиболее подходящий для больного метод обследования.

Постепенно приходит понимание, что основная роль ядерной медицины заключается не в поиске анатомических дефектов или структурных нарушений, а в изучении функционально-временной зависимости, или, другими словами, в исследовании того, как меняется распределение радиофармацевтического препарата в организме за определенный период времени. Такого рода работы позволяют

получать важную информацию о функциях различных органов. В связи с этим особое внимание было обращено на изучение функций сердечно-сосудистой системы и головного мозга. За последние несколько лет благодаря ядерной медицине резко увеличился объем данных об этих функциях. До сих пор такие данные получались с помощью специальных приборов и радиофармацевтических средств циклотронного производства. Однако есть основание рассчитывать на скорое появление новых церебральных и миокардных средств, меченных технецием-99m, а также на реализацию возможности проводить функциональные исследования мозга и сердца *in vivo* с помощью обычных гамма-камер.

### Радиофармацевтические средства

Будущее ядерной медицины неразрывно связано с прогрессом в области радиофармакологии. При всех других методах анатомического изображения нужен только прибор и пациент. В ядерной медицине необходимо также иметь подходящее радиофармацевтическое средство. В этом слабость и в то же время преимущество ядерной медицины. Возможность разработки широкого спектра новых радиофармацевтических средств, индивидуально предназначенных для изучения конкретных функций организма, способствует повышению разнообразности и виртуозности этой области медицины. Можно ожидать дальнейшего расширения ее возможностей в области диагностики благодаря появлению большого числа новых радиофармацевтических препаратов, которые готовятся к выпуску.

Другое новое направление, также связанное с радиофармакологией, — это использование специфических моноклоновых антител, меченных соответствующим радионуклидом и нацеленных на отдельный антигенный участок, либо для получения изображения, либо в терапевтических целях. Использование радиофармацевтических препаратов, нацеленных на такие специфические антигены или рецепторы, дает возможность соединять специфику иммунологии и чувствительности радиоизотопов в одном исследовании.

В то же время должно постепенно расширяться представление о широких возможностях анализов *in vitro*, таких как РИА. Нет нужды в непосредственном видении повреждения, чтобы судить о заболевании, или в каком-либо изображении пораженного органа. Можно обнаружить „следы на песке времени” в форме биологических меток болезни в циркулирующей крови. В этом отношении две области представляются потенциально наиболее многообещающими — распознавание признаков опухоли для диагностики и лечения раковых больных и обнаружение антигенов и антител при инфекционных заболеваниях.