

ОБНАРУЖИВАЯ СКРЫТЫЕ СВЯЗИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ОБЛАСТИ ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНЫХ И ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ

ВЕНКАТЕШ АЙЕНГАР

Голод и недоедание относятся к числу тяжелейших проблем, с которыми приходится сталкиваться большинству бедных и нуждающихся людей в мире. На целом ряде конференций ООН по вопросам продовольствия и питания отмечалась необходимость борьбы с нищетой и недоеданием, особенно среди женщин и детей.

Ядерные и изотопные методы представляют собой ценные средства, способные оказать помощь в решении этих многогранных проблем.

Ежегодно 30 млн. детей в развивающихся странах рождаются с задержкой внутриутробного развития плода, результатом которого является низкая масса тела при рождении. Это составляет около 24% всех рождений в таких странах. Почти 200 млн. детей младше 5 лет (свыше 150 млн. в Азии и около 27 млн. в Африке) испытывают недоедание средней или тяжелой степени, при этом 70 млн. из них страдают от сильного недоедания. Прогнозируется, что к 2020 г. появятся около 1 млрд. детей с аномальным психическим развитием.

Страдают также и взрослые. По имеющимся данным, около 243 млн. взрослого населения в развивающихся странах живут в условиях недостаточного питания, что снижает их трудоспособность и устойчивость к инфекционным заболеваниям. Материнская анемия носит пандемический характер; в некоторых странах она превышает 80% и сопровождается очень высоким уровнем материнской смертности. Данные, полученные как из развивающихся, так и из промышленно развитых

стран, свидетельствуют о связи материнского и раннего детского недоедания с возросшей восприимчивостью людей зрелого возраста к сахарному диабету, сердечно-сосудистым заболеваниям и гипертонии.

Прослеживается прочная связь между материнским и детским недоеданием и последующей заметной предрасположенностью детей к ожирению, сахарному диабету, высокому артериальному давлению и ишемической болезни сердца. К этому следует добавить являющиеся тяжким бременем переживание и ожирение, которые быстрыми темпами распространяются в тех же развивающихся странах и от которых в равной мере страдают как дети, так и взрослые.

С начала 90-х гг. все больше внимания уделяется возникающим проблемам, связанным с так называемым “скрытым, или молчаливым, голодом”. Данный термин имеет отношение к недостаточности питательных микроэлементов, обнаруживаемой у мужчин, женщин и детей, которые испытывают постоянное недоедание. В соответствии с глобальными расчетами около 2 млрд. людей в более чем 100 развивающихся странах страдают от множественной недостаточности питательных микроэлементов. Свыше 90% беременных женщин и детей дошкольного возраста в развивающихся странах проявляют признаки железодефицитной анемии и других связанных с этим расстройств.

Нарушения питания в течение жизни человека. Недостаточность питания оказывает существенное воздействие на че-

ловека на всех этапах его жизни. Борьба с обусловленными питанием расстройствами, сопутствующими человеку в течение всего его жизненного цикла, представляет важнейшую задачу для ученых на ближайшие десятилетия (см. таблицу на стр. 18).

Недостаточность питания во время беременности зачастую приводит к задержке внутриутробного развития плода (ЗВУР), следствием которой является рождение ребенка с низкой массой тела. Все это оказывает непосредственное влияние на выживание и развитие малолетних детей. Недостаточность питания матери во время грудного вскармливания усугубляет уже существующее негативное воздействие на растущего ребенка. Такие страдающие от недостаточности питания дети в дальнейшем плохо учатся.

Питание в подростковом возрасте в настоящее время только еще получает признание как область, требующая мониторинга режима питания. За этот имеющий критическое значение подростковый период дети набирают до 50% массы своего тела во взрослом возрасте, 20% своего взрослого роста и 50% своей скелетной массы взрослого возраста. В это время в максимальных объемах требуются калорийная пища, белки, кальций и питательные микро-

Г-н Айенгар – руководитель Секции связанных с питанием и здоровьем экологических исследований Департамента ядерных наук и применений. Все справочные материалы можно получить у автора по адресу: V.Iyengar@idea.org

элементы, включая железо, цинк и фолат. Недостаточное потребление питательных веществ во взрослом возрасте может привести к началу связанных с питанием нарушений. Недоедающим взрослым присуща общая пониженная устойчивость к заболеваниям и повышенная потеря трудоспособности, что в конечном счете сказывается на общем качестве жизни, особенно по мере их вхождения в категорию лиц старшего возраста.

Питание в пожилом возрасте представляет особую проблему ввиду распространенности остеопороза. Эта тяжелая болезнь характеризуется низкой плотностью костей, приводящей к переломам (особенно у женщин, находящихся в периоде постменопаузы), что существенно ограничивает качество их жизни. Старение связано также с изменениями в составе тканей тела, такими как снижение жировой массы тела и повышение риска заболеваний и несчастных случаев. Таким образом, повышение внимания к потребностям в области питания пожилых людей и ухода за ними имеет важное значение с точки зрения снижения риска развития остеопороза и других дегенеративных заболеваний.

Загрязнение окружающей среды и связанные с ним болезни. Острота проблемы недостаточного питания еще более усугубляется загрязнением окружающей среды. Такие загрязнители, как свинец и оксиды азота, оказывают истощающее воздействие на здоровье людей, которые и без того недоедают. Загрязнение в более широком контексте включает как антропогенные, так и неантропогенные факторы. Паразитарные инвазии и распространение инфекционных болезней составляют значительную часть экологического компонента расстройств алиментарного происхождения.

Недоедающее население Азии, Африки и Латинской Америки страдает от множества других болезней, обусловлен-

ных недостаточностью питания: они в большей степени подвержены паразитарным инфекционным заболеваниям (анкилостоме, амебиазу) и малярии. Ключевым показателем в этой области является контраст в уровнях смертности людей, проживающих в промышленно развитых и развивающихся странах, который обусловлен различной инфекционной нагрузкой (см. график на стр. 17). Плохое питание в раннем детстве в сочетании с диарейными, респираторными и другими инфекционными заболеваниями приводит к задержке роста, замедлению психического развития и развития моторики, снижению иммунной активности и повышению риска осложнений и смертельных исходов вследствие инфекционных заболеваний.

Еще одной критически важной проблемой является продовольственная безопасность, которая касается некоторых аспектов, имеющих отношение к сфере питание–здоровье–болезнь. Исследование пищевой токсикологии быстро превращается в глобальную проблему. Беспокойство вызывает межэлементное взаимодействие свинца и железа (анемия), ртути и железа, мышьяка и селена, селена и йода, кадмия и цинка. То же касается и переноса питательных и токсичных веществ через плаценту от матери к плоду.

Дети в большей мере восприимчивы к воздействию свинца, и сочетание железодефицитной анемии с вызываемым свинцом токсикозом может оказать на них чудовищное воздействие. У детей с железодефицитной анемией могут наблюдаться повышенные уровни поглощения свинца по сравнению с детьми, в организме которых содержится достаточно железа.

Важно понять взаимодействие питательных веществ с пестицидами, оксидами азота, табаком и алкоголем, наряду с тяжелыми металлами.

Сочетание загрязнения и недоедания оказывает влияние на

качество жизни конкретных людей, являясь причиной потери трудоспособности и заболеваемости. Это зачастую выражается в форме показателя продолжительности жизни в годах, прошедших в условиях приспособления к наличию инвалидности (Disability-Adjusted Life Years – DALY), который представляет собой комбинированный показатель времени, потерянного из-за преждевременной смертности, и времени, прожитого в условиях инвалидности. Чем больше величина DALY, тем значительнее бремя болезни. Существенная часть DALY во всем мире приходится на инфекционные и паразитарные заболевания. В региональном масштабе в странах Африки к югу от Сахары отмечается свыше 40% DALY, обусловленных инфекционными и паразитарными заболеваниями, в то время как в Европейском регионе этот показатель составляет менее 3%.

УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ

Глобальные проблемы в области питания вызывают множество вопросов и требуют действий со стороны международного сообщества ученых, диетологов, врачей и других специалистов-медиков. Какие шаги следует предпринять для исправления сложившейся ситуации? Как это можно осуществить с экономической точки зрения? Каким образом можно контролировать прогресс в этой области? Какова роль технологии в рамках общего процесса мониторинга? Последний вопрос, наиболее актуальный в контексте данной статьи, является особенно важным для МАГАТЭ и оказываемого им содействия программам в области питания.

Агентство стало проводить деятельность в области питания человека в целях применения ядерных и связанных с ними изотопных методов для решения широко распространенных в развивающихся странах проблем.

Среди многочисленных достаточных применений изотопные

методы особенно подходят для определения целей и прослеживания прогресса в рамках программ развития в сфере продовольствия и питания. Они представляют собой механизмы, позволяющие оценить статус отдельных лиц и групп населения в области питания, измерить связанные с питанием потребности, а также потребление витаминов и минералов и их биодоступность.

Деятельность МАГАТЭ способствует:

- выяснению природы проблем в области питания и действенности конкретных мер по вмешательству;
- осуществлению программ по вмешательству в области питания посредством мониторинга их эффективности и сокращения затрат на эти программы;
- стимуляции переработки местных продуктов питания в целях обеспечения их оптимальной питательной ценности;
- заблаговременному информированию о необходимых долгосрочных усовершенствованиях в области здравоохранения; и
- более энергичному наращиванию потенциала в развивающихся странах.

Мониторинг в области здравоохранения и питания удалось укрепить благодаря широкому распространению ядерных и изотопных применений в промышленно развитых странах в целях анализа энергетических потребностей человека, состава тканей тела и метаболизма важных питательных веществ, таких как белки, жиры, витамины и минеральные вещества. Полученная информация позволила добиться конкретных многочисленных усовершенствований в области питания и здоровья. Проблема состоит в том, чтобы донести выгоды подобных достижений до развивающихся стран.

Исследования могут проводиться в основных областях, имеющих отношение к здоровью и питанию, в следующих формах:

- оценка статуса и потребностей в области питания;

ДЕТСКАЯ СМЕРТНОСТЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕДОЕДАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ 10,4 МЛН. СЛУЧАЕВ СМЕРТИ ДЕТЕЙ МЛАДШЕ 5 ЛЕТ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ



Источник: ВОЗ.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРИЧИН ПРИЧИНЫ СЛУЧАЕВ СМЕРТИ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ И РАЗВИТЫХ СТРАНАХ



Примечание: Цифры (в тысячах) относятся к общему годовому числу случаев смерти по каждой из причин в развитых или в развивающихся странах. Таким образом, несмотря на то что доля общего числа случаев смерти от болезней системы кровообращения выше в промышленно развитых странах, абсолютный показатель – 5,5 млн. случаев смерти – намного меньше 9,8 млн. случаев смерти от тех же болезней в развивающихся странах.

Источник: The World Health Report, 1997, WHO, Geneva.

НЕДОСТАТОЧНОСТЬ ПИТАНИЯ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Этап жизни	Расстройства алиментарного происхождения	Основные последствия	Применимые ядерные методы
Эмбрион/плод	Задержка внутриутробного развития, йоддефицитные расстройства, недостаточность соли фолиевой кислоты	- Низкая масса тела при рождении - Церебральные нарушения - Дефект нервной трубки - Мертворождение	РИА (T_3, T_4, ТТУ, соль фолиевой кислоты)
Новорожденные	Низкая масса тела при рождении, йоддефицитные расстройства	- Задержка роста - Задержка развития - Церебральные нарушения - Дальнейшая недостаточность питания	- РИА (T_3, T_4, ТТУ, соль фолиевой кислоты) - Меченая дейтерием вода (при грудном вскармливании) - Стабильные изотопы (питательные микроэлементы) - Субстраты, меченные ^{13}C и ^{15}N (питательные макроэлементы)
Грудные и малолетние дети	Белково-калорийная недостаточность, йоддефицитные расстройства, недостаточность витамина А, железодефицитная анемия	- Задержка развития - Повышенный риск инфекции - Высокий риск смерти - Слепота - Анемия - Задержка роста	- РИА (ферритин, соль фолиевой кислоты, T_3, T_4, ТТУ и другие гормоны) - Меченая дейтерием вода (при грудном вскармливании) - Стабильные изотопы (питательные микроэлементы, например ^{57}Fe, ^{67}Zn) - Субстраты, меченные ^{13}C (питательные макроэлементы, <i>Helicobacter pylori</i>)
Подростки	Белково-калорийная недостаточность, йоддефицитные расстройства, железодефицитная анемия, недостаточность соли фолиевой кислоты, недостаточность кальция	- Внезапное замедление роста - Остановка в росте - Замедление/отставание психического развития - Зоб - Повышенный риск инфекции - Слепота - Анемия - Недостаточная минерализация костей	- РИА (ферритин, соль фолиевой кислоты, T_3, T_4, ТТУ и другие гормоны) - Вода с двойной меткой (энергетические затраты) - Стабильные изотопы (питательные микроэлементы) - Субстраты, меченные ^{13}C (питательные макроэлементы, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (плотность костей, состав тканей тела)
Беременные женщины и кормящие матери	Белково-калорийная недостаточность, йоддефицитные расстройства, недостаточность витамина А, железодефицитная анемия, недостаточность соли фолиевой кислоты, недостаточность кальция	- Материнская анемия - Материнская смертность - Повышенный риск инфекции "Куриная" слепота/слепота - Низкая масса тела при рождении/высокий риск смерти плода	- РИА (ферритин, соль фолиевой кислоты, T_3, T_4, ТТУ и другие гормоны) - Меченая дейтерием вода (при грудном вскармливании) - Стабильные изотопы (питательные микроэлементы) - Субстраты, меченные ^{13}C (питательные макроэлементы, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (плотность костей, состав тканей тела)
Взрослые	Белково-калорийная недостаточность, железодефицитная анемия, ожирение, рак	- Худоба - Апатичность - Ожирение - Болезнь сердца - Сахарный диабет - Гипертония/инсульт - Анемия	- РИА (ферритин, гормоны, например инсулин) - Вода с двойной меткой (энергетические затраты) - Устойчивые изотопы (питательные микроэлементы) - Субстраты, меченные ^{13}C (питательные макроэлементы, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (состав тканей тела)
Пожилые	Белково-калорийная недостаточность, железодефицитная анемия, ожирение, рак, остеопороз	- Худоба - Ожирение - Переломы позвоночника и в области тазобедренного сустава, травмы - Болезнь сердца - Сахарный диабет	- РИА (ферритин, гормоны) - Вода с двойной меткой (энергетические затраты) - Стабильные изотопы (питательные микроэлементы) - Субстраты, меченные ^{13}C (питательные макроэлементы, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (плотность костей, состав тканей тела) - Меченая дейтерием вода (состав тканей тела)

Примечания: DEXA (Dual Energy X-Ray Absorptiometry) – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия
 РИА – радиоиммунный анализ
 ТТУ – тиреотропный гормон
 T_4 – тироксин

Источник: на основании WHO/NHD/99.9.

ЯДЕРНЫЕ И ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЗДОРОВЬЯ И ПИТАНИЯ

Оценка недостаточности питательных микроэлементов. Стабильные изотопы являются единственным средством непосредственного измерения поглощения и биодоступности железа. Они рассматриваются в качестве “золотого стандарта” для исследований железа в организме человека и для других исследований биодоступности питательных элементов (например, железа, цинка и витамина А).

Методы изотопного разбавления используются при оценке статуса витамина А. В основе данного принципа лежит преобразование меченых каротиноидов в витамин А, которое можно проследить с помощью каротиноидов, меченных углеродом-13. Таким образом размеры пула витамина А измеряются путем разбавления перорально введенного индикатора в различных пулах организма. Данный метод обладает потенциалом применения для оценки эффективности добавок витамина А и каротиноидных добавок, а также обогащенных рационов при исследованиях в области питания.

Еще одной сферой эффективного применения стабильных изотопов является оценка биодоступности микроэлементов и размеров пулов таких микроэлементов, как железо (железо-57 и железо-58) и цинк (цинк-67 и цинк-70). Прием этих меченых микроэлементов можно проследить *in vivo*. Данный подход доказал свою пригодность при измерении эффективности питательных добавок и при испытаниях обогащенных рационов в некоторых развивающихся странах.

Выявление инфекционных заболеваний. Анализы вдыхаемого и выдыхаемого углерода-13 используются при исследовании процессов образования колоний *Helicobacter pylori* в желудке. При анализах проводится измерение скорости образования $^{13}\text{CO}_2$ в выдыхаемом воздухе с последующим пероральным приемом меченой ^{13}C мочевины. Анализы с использованием стабильных изотопов являются надежными и неинвазивными методами, которые могут безопасно применяться в работе с детьми, когда наблюдаются высокие уровни инфекции и недостаточности питания. Важно также отметить, что стоимость оборудования является не слишком высокой и может оказаться доступной для многих развивающихся стран.

Оценка общих энергетических затрат. Метод двойной метки воды ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) – единственный, позволяющий точно определить энергетические потребности людей в их собственной среде обитания и один из наиболее надежных способов определения поступающей с пищей энергии. Этот метод получает все более широкое распространение, поскольку он недорог, точен и может применяться в полевых условиях.

После введения воды с двойной меткой в организм оба изотопа смешиваются с водой организма и в течение нескольких дней выводятся из биологических жидкостей организма.оборот воды в организме можно определить по ежедневным измерениям концентрации водорода-2 (дейтерия) в пробах мочи или слюны. Когда пробы подвергаются анализу на кислород-18, полученные данные отражают большую скорость выделения, чем по водороду-2, поскольку кислород входит также в состав выдыха-

емой двуокиси углерода. Таким образом различия в скорости выделения меченых атомов кислорода-18 и водорода-2 отражают объем двуокиси углерода, образовавшейся за период наблюдения. Этот параметр можно использовать для расчета общих энергетических затрат объекта исследования.

Определение безжировой массы тела. Вводится доза воды, меченой водородом-2 и кислородом-18, и оставляется на 4–6 часов до достижения равновесного состояния. Концентрация изотопов в слюне или моче покажет степень разбавления, которое претерпел изотоп. После расчета безжировой массы тела разница с общей массой тела составит объем жировых тканей.

Измерение общего поступления и выделения азота. Баланс поступления и выделения азота нарушается в периоды стресса, когда катаболические процессы преобладают над процессами синтеза, что в конечном счете приводит к негативному балансу. Общий оборот белка в организме измеряется посредством введения одной пероральной дозы аминокислоты, или предпочтительнее белка, меченой азотом-15. Моча собирается в течение 9–12 часов, после чего определяется объем меченого азота в NH_3 мочи и в мочеvine. Две полученные величины представляют надежную оценку общего оборота белка в организме, на которую не влияют изменения в небелково-азотном метаболизме.

Поглощение и утилизация питательных элементов. Отнятые от груди дети часто подвергаются инфекционным заболеваниям, ведущим к диарее. Прием питательных элементов в эти периоды недостаточен для поддержания роста детей; требуется восстановление функций тонкой кишки. Когда рис, меченный углеродом-13 (облученный $^{13}\text{CO}_2$ в период фотосинтеза), готовится и употребляется в пищу, переваривание и поглощение крахмала могут быть определены по появлению меченого $^{13}\text{CO}_2$ в пробах выдыхаемого воздуха. Степень недостаточного поглощения может быть установлена путем вычитания объема меченого углерода из общего углерода стула.

Анализ продуктов питания. Нейтронный активационный анализ (НАА) является высокоэффективным методом благодаря его исключительной чувствительности и возможности одновременного определения нескольких микроэлементов. Масс-спектрометрия с использованием индуктивно связанной плазмы (ИСП-МС) также позволяет осуществлять многоэлементные определения. Применение близких к НАА методов является особенно привлекательным для развивающихся стран, поскольку они располагают многими исследовательскими реакторами, которые могут служить необходимым источником нейтронов.

Измерение загрязнения воздуха. Ядерные и другие аналогичные аналитические методы уникально подходят для проведения неразрушающих многоэлементных анализов воздушных твердых частиц, собранных на фильтрах. Обычно используемые методы включают: ИСП-МС, НАА, индуцированное частицами рентгеновское излучение, индуцированное частицами гамма-излучение, энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ и рентгенофлуоресценцию на основе полного отражения.

- оценка недостаточности питательных микроэлементов;
- выявление инфекционных заболеваний;
- анализ продуктов питания;
- измерение загрязнения воздушной среды (см. во вставке на стр. 19 примеры применения).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ В ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ МАГАТЭ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ОБЛАСТИ ПИТАНИЯ

При оценке питания грудных детей и детей более старшего возраста, беременных женщин и кормящих матерей, а также людей с минимальным уровнем потребления пищевых продуктов важны многие факторы. Среди них – измерение объемов потребляемого материнского молока, расходуемой энергии, статуса питательных микроэлементов, использования питательных макроэлементов и состава тканей тела. Применение стабильных изотопных индикаторов является безопасным и неинвазивным методом. Они не испускают каких-либо внешне измеряемых излучений; их избыток по сравнению с естественными уровнями определяется лишь по изменениям в соотношении основных и второстепенных изотопов. Такое соотношение измеряется с помощью изотопного масс-спектрометра, в котором легкие и тяжелые формы одной и той же молекулы подвергаются разделению и количественному определению.

Фактически проблема заключается в стоимости подобного анализа, поскольку многие страны не располагают необходимой измерительной аппаратурой и опытом. Однако стабильные изотопы для поддерживаемых МАГАТЭ исследований поставляются в рамках конкретного проекта, а в некоторых случаях помощь в проведении анализов оказывается также одной из признанных МАГАТЭ лабораторий. В основе подоб-

ных действий лежит осознание того, что эти исследования послужат стимулом для укрепления инфраструктуры национальных объектов в целях проведения дальнейших исследований.

Основные изотопы (водород-1, углерод-12, азот-14 и кислород-18) всегда сопровождаются в постоянной пропорции более тяжелыми второстепенными изотопами, индивидуальная распространенность которых колеблется от 0,02% до 1,11%. Измерения показывают, что в организме человека массой 50 кг содержится в совокупности 225 г водорода-2, углерода-13, азота-15, кислорода-17 и кислорода-18. Хотя соотношение второстепенных и основных изотопов колеблется, каждый основной изотоп имеет характерную базовую распространенность, с которой сопоставляются результаты проведенных с помощью изотопов измерений. Стабильные изотопы могут приниматься перорально, а пробы продуктов обмена веществ, в которые они поступают (например, вода в организме, выдыхаемая двуокись углерода, мочевина), могут отбираться из выдыхаемого и выдыхаемого воздуха, слюны, молока, мочи и стула.

Существует целый ряд поддерживаемых МАГАТЭ стратегических применений ядерных и изотопных методов. Некоторые из этих методов действительно имеют весьма специфические особенности, делающие их уникально пригодными для исследований в конкретных областях питания человека.

В настоящее время изотопные стратегии, разработанные усилиями МАГАТЭ, находят практическое применение в более чем 50 государствах-членах. Ниже приводятся некоторые примеры подобных применений.

Проекты технического сотрудничества. В рамках региональной программы технического сотрудничества с участием Аргентины, Бразилии, Кубы, Мексики и Чили изотопы используются для оценки про-

грамм вмешательства в области питания. В рамках национального проекта в Чили завершено исследование, в котором изотопные методы применялись в различных целях. Ученые проводили измерения биодоступности железа в обогащенном молоке, предоставляемом в рамках национальной программы дополнительного питания, биодоступности цинка и состава тканей тела у детей, а также состава тканей тела и энергетических затрат у детей дошкольного возраста.

Наряду с этим получены практические результаты первой стадии регионального проекта в странах Восточной Азии и Тихого океана. В ходе исследований проводились измерения эффективности поликомпонентных питательных добавок с использованием методов устойчивых изотопов для оценки биодоступности цинка и железа в семи странах-участниках – Вьетнаме, Индонезии, Китае, Малайзии, Пакистане, Таиланде и на Филиппинах.

В дополнение к этому для изучения недоедания МАГАТЭ разрабатывает неинвазивные методы с использованием изотопных индикаторов для измерения общего содержания витамина А в организме в условиях приема дополнительных питательных веществ (Гана, Перу), обогащения пищевых продуктов (Перу, Израиль) и улучшения режима питания (Китай, Таиланд, Филиппины и Индия). Основное внимание уделяется проблемам потребления витаминов А детьми и беременными или кормящими женщинами.

Проекты координированных исследований (ПКИ). В рамках ПКИ по остеопорозу проводились исследования различий в минеральной плотности костей (МПК) молодых взрослых людей различной расовой принадлежности (3752 человека), привлеченных к исследованиям в 11 центрах 9 стран. В результате были отмечены весьма значительные различия в средней массе, росте и МПК в разных

странах. С учетом поправок на возраст, массу тела и рост различия в МПК по разным центрам продолжают оставаться заметными среди как мужчин, так и женщин. В костной массе молодых взрослых людей существуют значительные различия, которые, если они сохраняются до старости, могут привести к дву-трехкратной разнице в степени риска перелома костей.

В ПКИ по физиологическому моделированию эталонного азиатского человека участвовали несколько стран Азии; в его ходе были получены наборы достоверных данных по потреблению пищи, которые доступны для всеобщего использования. Наряду с другими применениями эти данные позволят расширить возможности стран-участниц в решении национальных проблем радиологической защиты. Это также укрепит потенциал решения проблем в области питания с помощью усовершенствованных справочных данных, полученных по целому ряду дополнительных элементов, и матриц справочных материалов.

Еще в одном проекте основное внимание уделялось изотопным оценкам материнского и детского питания в целях оказания помощи в предотвращении задержки роста. Пакистан и страны-участницы из Латинской Америки усовершенствовали и применяли изотопные методы в полевых исследованиях. Данные методы используются также в ПКИ по оценке мониторинга роста младенцев, осуществляемом в рамках программы ВОЗ по мониторингу роста.

Благодаря полевым исследованиям существенный прогресс достигнут также в борьбе с упорным поносом, на который приходится значительная часть младенческой смертности от диарейных заболеваний во многих странах. В работе участвовали страны Африки, Азии и Латинской Америки, присоединившиеся к ПКИ по инфекции *Helicobacter pylori* и недостаточности питания, особенно среди молодежи. Успешное приме-

нение нашли изотопные методы с использованием проб вдыхаемого и выдыхаемого изотопа углерода-13. Данные исследования охватывали образование бактериальных колоний, переваривание и поглощение питательных веществ в целях изучения роли *Helicobacter pylori* и их влияния на плохую усвояемость питательных веществ у малолетних детей.

ПЕРСПЕКТИВЫ НА БУДУЩЕЕ

На консультативном совещании, созванном МАГАТЭ в декабре 2000 г., прогнозировались перспективы применений стабильных изотопов в исследованиях в области питания. На совещании были определены новые виды применения на основе совершенствования существующих методов для распространения использования методов стабильных изотопов в исследованиях минеральных веществ и микроэлементов в области питания и превращения их применения в рядовую практику. Ниже приводятся примеры подобных применений.

■ Проведенные в последнее время исследования показывают, что кальций в скелете можно метить изотопом кальция-41. Это дает уникальную возможность непосредственно изучать потери и баланс кальция в костях с помощью изотопных меток, выделяемых с мочой.

■ Основанный на одновременном выделении перорально и внутривенно введенных меток метод мочевого мониторинга был утвержден для определения реального поглощения кальция; предпринимаются также попытки добиться утверждения данного метода для мочевого мониторинга поглощения цинка и магния.

■ Методы исследований с помощью стабильных изотопов регулярно используются для оценки поглощения железа, меди, цинка, селена, кальция и магния из принимаемой в ходе исследования пищи. В диапазон применения этих методов мож-

но включить и другие элементы, такие как молибден, никель, ванадий, олово и бор, в целях лучшего понимания их биологических функций. Полуустойчивые, очень долгоживущие радионуклиды (алюминий-26, марганец-53 и йод-129) могут использоваться для мониторинга моноизотопных элементов.

■ Применение методов стабильных изотопов для исследования поглощения не ограничивается элементами, необходимыми организму человека. Они могут также использоваться для токсикологических исследований в отношении свинца, ртути и хрома. Что касается тяжелых металлов, методы стабильных изотопов применяются к людям для исследования поглощения кадмия.

■ Впечатляющий прогресс наблюдается в области измерительной аппаратуры для масс-спектрометрии изотопного соотношения (МСИС) с интегрированным газохроматографическим интерфейсом. Данное усовершенствование облегчает превращение конкретных соединений в двуокись углерода, водород или азот, позволяющие проводить измерения специфических для данных соединений изотопных соотношений. Ожидается, что это позволит создать новые интересные виды применения в области наук о питании.

Прогресс в этой области расширит сферу использования многих полезных видов применения изотопных методов для совершенствования питания и здоровья человека. Эти методы только начинают применять в развивающихся странах, где они не только могут принести пользу миллионам людей благодаря улучшению питания, но и служат конкретными индикаторами социально-экономического прогресса. Во многих случаях стабильные изотопы обеспечивают единственный прямой канал получения информации, способной оказать непосредственное воздействие на жизнь и благополучие мужчин, женщин и детей во всем мире. □