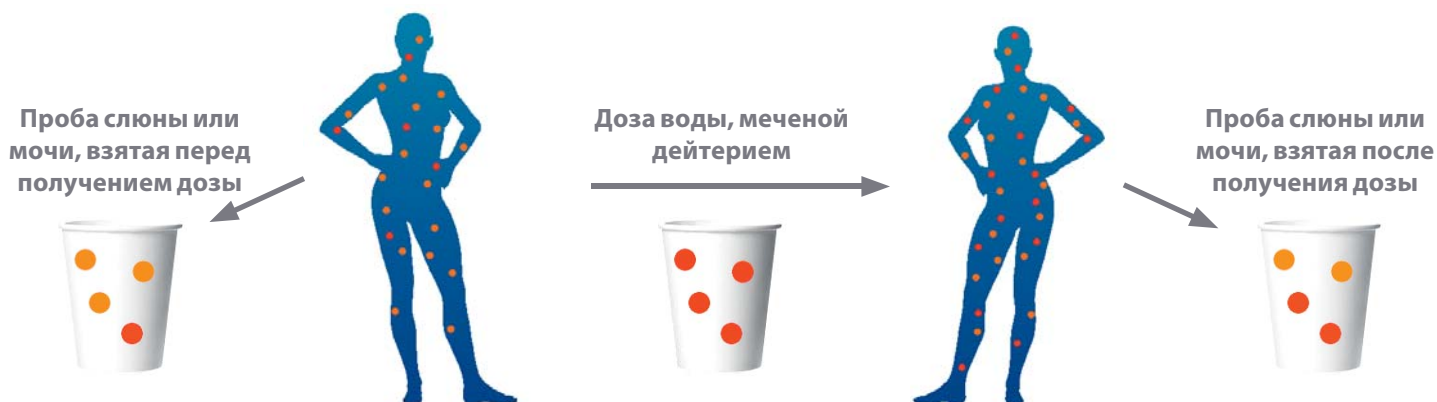


# НЕБОЛЬШАЯ ЧАСТЬ МОЖЕТ РАСКРЫТЬ ВСЮ КАРТИНУ: КАК ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ ПОМОГАЮТ РЕШАТЬ ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ



**Рис. 1. Определение количества жира в организме человека путем измерения общего количества воды в организме (ОКВО) с помощью изотопов.**

Стабильные изотопы могут использоваться для измерения количества воды или других питательных веществ в организме человека, или же количества поступившего в организм питательного вещества, которое было поглощено и переработано или выведено из него. Они могут также использоваться для измерения скорости поглощения, использования или синтеза белков, жиров или углеводов.

Стабильные изотопы углерода, водорода, кислорода, азота, железа и цинка могут использоваться в исследованиях по оценке состояния питания, расхода энергии, практики грудного вскармливания, обеспеченности питательными микроэлементами и поглощения питательных веществ, содержащихся в потребляемых пищевых продуктах.

К широко используемым стабильным изотопам относятся дейтерий (водород-2), кислород-18, углерод-13 и азот-15. Изотопы железа включают железо-57 и железо-58, а изотопы цинка – цинк-67, цинк-68 и цинк-70. Все стабильные изотопы имеют природное происхождение, но могут также быть синтезированы элементы или соединения, содержание в которых требуемых веществ повышено по сравнению с их природным содержанием. Эти изотопы или меченые изотопами соединения усваиваются организмом человека точно так же, как их природные аналоги, но с дополнительным преимуществом, заключающемся в том, что их можно отслеживать. Стабильные изотопы не радиоактивны и поэтому безопасны для людей любого возраста.

Вода состоит из изотопов водорода и кислорода. В состав природной воды входят главным образом  $^1\text{H}$  и  $^{16}\text{O}$ , но она содержит также очень небольшое количество  $^2\text{H}$  (дейтерия) и  $^{18}\text{O}$ . Вместе с тем, можно

добиться того, что вода будет содержать намного более высокую долю дейтерия или кислорода-18 по сравнению с природной водой. Такую воду называют обогащенной. Окись дейтерия ( $\text{D}_2\text{O}$ ) – это обогащенная вода, в которой 99,8% атомов водорода представляют собой водород-2.

## Оценка композиционного состава тела

Определить количество жира в организме человека можно путем измерения общего количества воды в организме (ОКВО) с помощью изотопов. Человеческий организм можно рассматривать как сумму двух компонентов: массы жира и массы тела за вычетом жира. Масса жира не содержит воды, в то время как 73-80% массы тела за вычетом жира состоит из воды. Масса тела за вычетом жира новорожденного ребенка содержит 80% воды, и эта доля постепенно уменьшается до 73% у взрослых. Это означает, что массу тела за вычетом жира можно определить путем измерения ОКВО и использования затем соответствующего коэффициента гидратации. Масса жира представляет собой разность между общей массой тела и массой тела за вычетом жира. Иногда результаты выражают в виде процентной доли полной массы тела.

Метод дейтериевого разбавления (Рис. 1) предусматривает измерение слюны и/или мочи человека непосредственно перед тем, как он выпьет определенную дозу воды, меченой дейтерием, и повторение процесса измерения 3-5 часов спустя. В пробах слюны и мочи человека обнаруживается повышенный уровень дейтерия.

В пробах мочи или слюны, полученных у испытуемого после установления изотопного равновесия,

отмечаются повышенные уровни дейтерия. Дейтерий равномерно распределяется в организме человека за 3-5 часов.

Пробы мочи или слюны, взятые до получения дозы, сравнивают с пробами, взятыми после получения дозы, с тем чтобы рассчитать ОКВО, массу за вычетом жира, и в конечном счете, количество жира в организме. Композиционный состав тела является хорошим индикатором здоровья. Слишком большое количество жира или слишком малая масса за вычетом жира повышают риск серьезных последствий для здоровья.

## Оценка практики грудного вскармливания

Питание играет жизненно важную роль на ранних стадиях развития ребенка. Изотопные методы способны помочь определить, кормят ли ребенка исключительно грудью или нет, а также количество

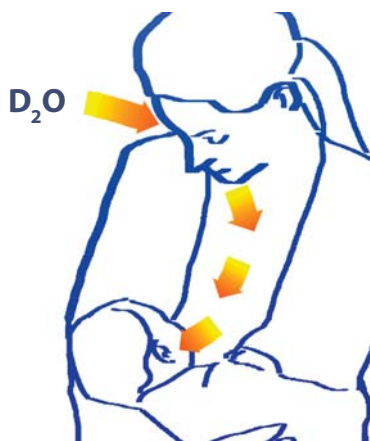


Рис. 2. Метод определения дозы, получаемой матерью

В организм матери поступает оксид дейтерия. Дейтерий смешивается с водой в ее организме и в том числе с молоком, которым она кормит ребенка. Слюна как матери, так и ребенка оказывается обогащенной дейтерием. Его можно измерить с помощью чувствительного оборудования.



Рис. 3. Обогащенность дейтерием воды в организме матери и ее ребенка

потребляемого ребенком грудного молока. Традиционные методы определения количества потребляемого ребенком молока связаны с большими затратами времени. Они могут также приводить к нарушению привычной процедуры кормления ребенка, поскольку эти методы требуют взвешивания ребенка до и после каждого кормления. Более точный и весьма информативный альтернативный метод известен как метод определения дозы оксида дейтерия, получаемой матерью. Он является единственным способом определения, кормят ли ребенка исключительно грудью или нет.

Кормящая мать выпивает определенную дозу оксида дейтерия, которая распределяется по ее организму и смешивается с ее молоком (Рис. 2). В течение 14 дней производится отбор проб слюны или мочи матери и ребенка, в которых фиксируются изменения концентрации изотопа. Это позволяет оценить потребление ребенком грудного молока и установить, потреблял ли ребенок воду из других источников, а также композиционный состав организма матери.

После того, как мать выпила дозу меченой воды, дейтерий постепенно исчезает из ее организма и появляется в организме ребенка (Рис. 3). Дейтерий поступает в организм ребенка только с молоком во время грудного вскармливания. По мере вывода дейтерия из организма матери обогащение в ее молоке снижается и поэтому обогащение в организме ребенка также падает. С помощью математической модели определяют, какая часть дейтерия, поступившего в организм матери, появляется в слюне ребенка. Она связана с количеством грудного молока, скормленного ребенку. Модель также позволяет оценить количество воды из других источников, кроме молока матери, и тем самым установить, кормят ли ребенка исключительно грудью или нет.

## Оценка суммарного расхода энергии

При определении количественной потребности человека в продуктах питания важно вначале установить, сколько энергии он расходует. Если вода, меченная водородом-2 (оксид дейтерия), смешивается с водой, меченной кислородом-18, то такую смесь называют водой с двойной меткой (ВДМ). Исследователи могут использовать ВДМ для оценки суммарного суточного расхода энергии (Рис. 4). Суммарный расход энергии также используется для определения уровня физической активности человека.

Тестируемый выпивает дозу ВДМ, которая смешивается с водой в его организме. При дыхании или физической нагрузке часть меченого кислорода и водорода выводится вместе с мочой, потом и выдыхаемым воздухом. Дейтерий выводится только с водой, тогда как кислород-18 выводится как с водой, так и с диоксидом углерода. Разность скорости выведения дейтерия и кислорода является мерой скорости образования диоксида углерода, на основе которой рассчитывается расход энергии



**Рис. 4: Метод воды с двойной меткой**

После поступления в организм порции ВДМ вода оказывается обогащенной по дейтерию и кислороду-18. По мере течения времени дейтерий (оранжевые точки) и кислород-18 (красные точки) выводятся из организма, и скорость их выведения пропорциональна расходу энергии.

(Рис. 5). Пробы мочи, отбор которых производится в течение 14-дневного периода, показывают снижение содержания введенных изотопов. Весьма медленное снижение отражает незначительный расход энергии, а более быстрое – ее повышенный расход. Метод ВДМ идеально подходит для измерения суммарного суточного расхода энергии в нормальных условиях повседневной жизни, и он используется МАГАТЭ в проектах по исследованию проблем детского ожирения и качества жизни пожилых людей.

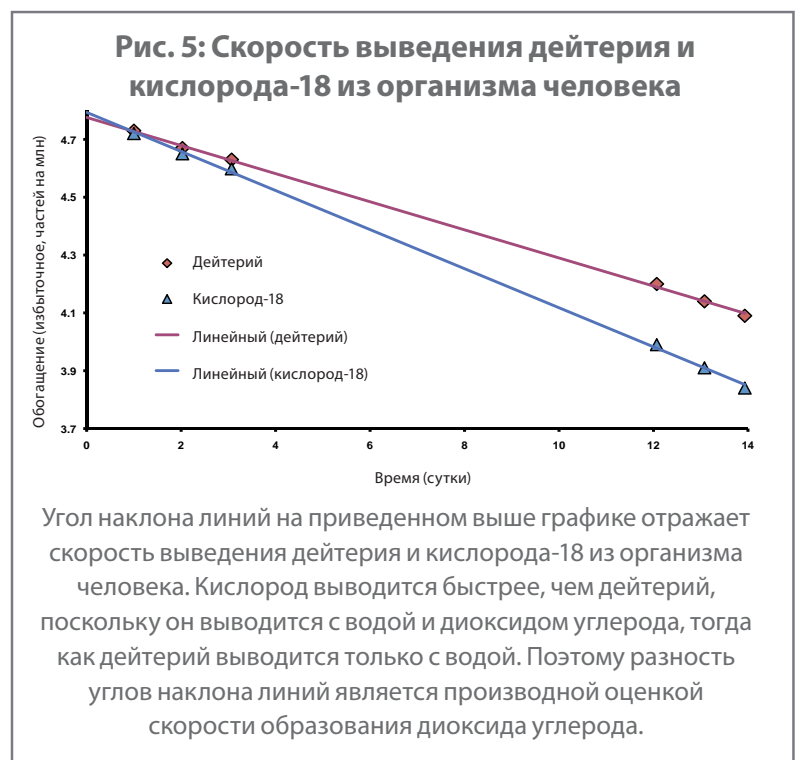
### Оценка обеспеченности организма человека витамином А

Метод изотопного разбавления с использованием стабильных изотопов используется в исследованиях по определению изменения обеспеченности организма человека витамином А в результате вмешательства (например, обогащения пищевых продуктов витамином А, его добавления в них или основанного на пищевых продуктах подхода, стимулирующего потребление самых разнообразных питательных пищевых продуктов). Методы стабильных изотопов (Рис. 6) – это единственный неинвазивный способ установления повышенных уровней витамина А. Они могут возникать в тех случаях, когда одновременно используются пищевые добавки, содержащие витамин А, и осуществляются программы по обогащению пищевых продуктов этим витамином.

Для мечения витамина А могут использоваться водород ( $^2\text{H}$ ) и углерод ( $^{13}\text{C}$ ).

### Оценка биодоступности железа и цинка

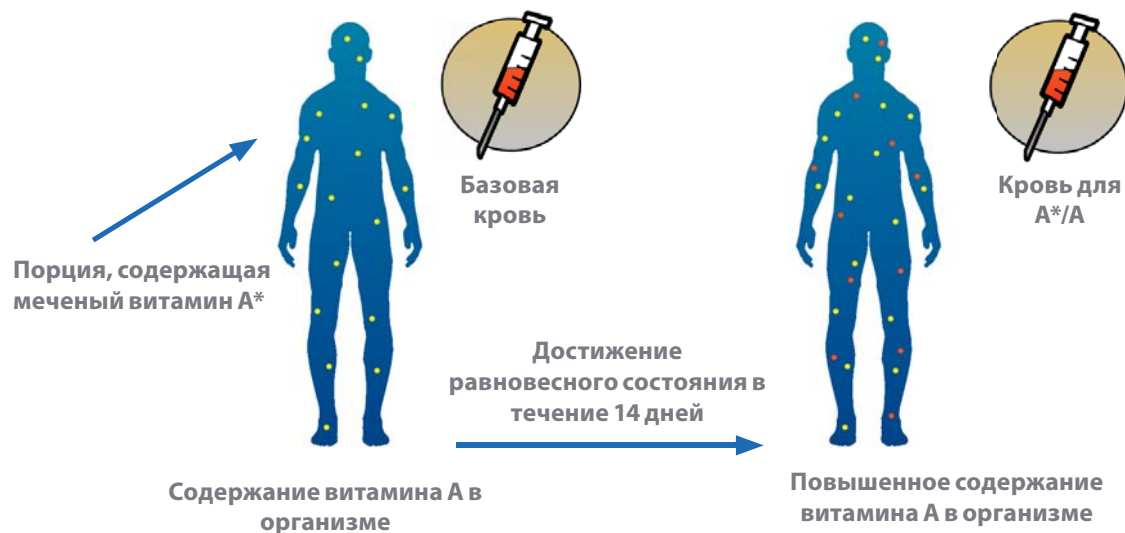
Оценка биодоступности (поглощения и использования) питательных веществ в пищевых продуктах представляется важной, поскольку люди обычно употребляют в пищу одновременно несколько видов пищевых продуктов, причем некоторые из них могут содержать усилители или ингибиторы поглощения. Исследования биодоступности железа и цинка в пищевых продуктах с использованием стабильных изотопов позволяют выявлять значительные различия в поглощении для различных сочетаний пищевых



продуктов. Стабильные изотопы железа и цинка используются для определения биодоступности минерала, содержащегося в тестируемом пищевом продукте, который был обогащен соответствующим образом или с использованием биодобавок, или же употребляется в пищу с едой, являющейся потенциальным ингибитором (например, фитиновая кислота в необработанных злаках, орехах, семенах и бобах) или усилителем (например, витамин С) поглощения минерала. Стабильные изотопы железа и цинка могут добавляться в тестируемый пищевой продукт.

На рис. 7 показана схема исследования по оценке инкорпорирования железа в красные кровяные тельца после употребления в пищу блюда на основе злаков и того же блюда с апельсином, который содержит витамин С – усилитель поглощения железа.

Производится отбор базовой пробы крови, а затем употребляется в пищу первое тестовое блюдо



**Рис. 6. Оценка обеспеченности организма человека витамином А**

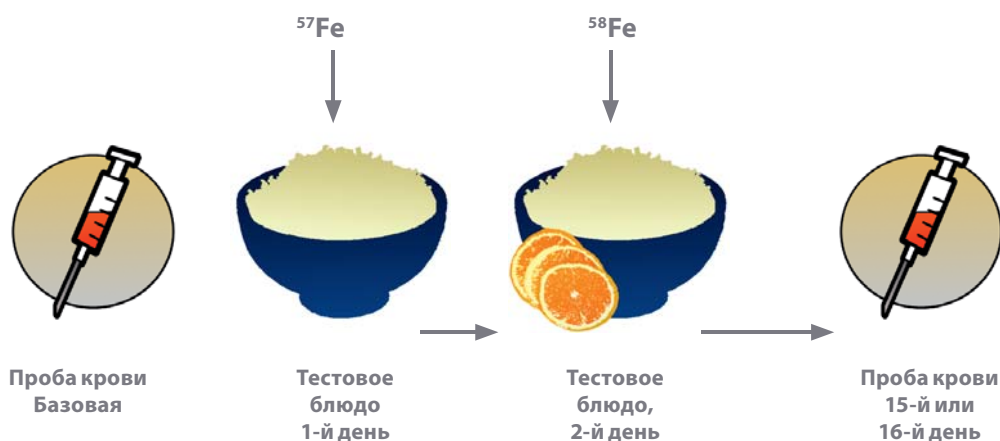
При оценке обеспеченности организма человека витамином А в организм вводится порция витамина А, меченого стабильным изотопом, причем перед этим производится отбор базовой пробы крови. Прежде, чем производить контрольный отбор пробы крови для анализа методом масс-спектрометрии, необходимо выждать определенное время для установления равновесия между введенной порцией и витамином А, содержащимся в организме. На основе разбавления точно измеренной дозы меченого изотопом витамина А можно рассчитать суммарное количество витамина А, участвующего в обмене веществ в организме. Это наиболее чувствительный способ неинвазивной оценки обеспеченности организма витамином А во всем диапазоне значений, от дефицита и до нормального и избыточного уровней.

(А), содержащее известное количество стабильного изотопа железа ( $^{57}\text{Fe}$ ). На следующий день употребляется в пищу тестовое блюдо (В), содержащее известное количество второго стабильного изотопа железа ( $^{58}\text{Fe}$ ) и потенциальный усилитель или ингибитор поглощения железа. Половина участников исследования получает тестовые блюда в обратном порядке.

Две недели спустя производится второй отбор проб крови. После обработки проб крови выполняется анализ изотопов железа с помощью соответствующего масс-

спектрометра. Изотопные отношения стабильных изотопов железа до и после употребления в пищу тестовых блюд используются для определения количеств железа, поглощенных из этих блюд и инкорпорированных в красные кровяные тельца, что позволяет выявить влияние усилителей или ингибиторов, присутствовавших в каждом блюде.

Михаэль Амди Мадсен, Бюро коммуникации и общественной информации МАГАТЭ



**Рис. 7. Оценка поглощения железа**