

Группа 17. Требования к системам жизнеобеспечения в
экстремальных ситуациях и специальным системам

**РУКОВОДСТВО ПО ЙОДНОЙ ПРОФИЛАКТИКЕ В СЛУЧАЕ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ**

Методические рекомендации

Издание официальное

Москва
2010

Руководство по йодной профилактике в случае возникновения радиационной аварии: Методические рекомендации -М: Федеральное медико-биологическое агентство, 2010. – 44с.

1. Разработаны творческим коллективом в составе: Лягинская А.М., Ермалицкий А.П., Осипов В.А., Карелина Н.М., Грачев М.И., Петоян И.М., Шинкарев С.М., Фролов Г.П. (ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, г. Москва), Савкин М.Н. (ВНИИ железнодорожной гигиены, г. Москва), Балонов М.И., Звонова И.А. (НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева Роспотребнадзора, г. Санкт-Петербург), Аветисов Г.М. (ВЦМК «Защита», г. Москва), Степаненко В.Ф., Шахтарин В.В. (МРНЦ РАМН, г. Обнинск), Иванов Е.А. (ВНИИАЭС, г. Москва), Фадеев В.В., Абдулхабирова Ф.М. (ЭНЦ Росмедтехнологий, г. Москва), Столярова С.А. (ФГУЗ ДКБ № 38 – ЦЭП ФМБА России) под общим научным руководством академика РАМН Ильина Л.А.

2. Рекомендованы к утверждению Подкомиссией по специальному нормированию ФМБА России (протокол № 4/10 от 22 марта 2010г.)

3. Утверждены Руководителем Федерального медико-биологического агентства В.В. Уйба.

Регистрационный номер № 22-10 от 29 июня 2010г.

4. Введены в действие: с момента утверждения.

5. Вводятся взамен Рекомендаций по применению препаратов стабильного йода населением для защиты щитовидной железы и организма от радиоактивных изотопов йода, утвержденных Минздравом РФ 1993 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.....	7
2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	8
3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СИМВОЛЫ И СОКРАЩЕНИЯ..	
3.1. Основные понятия, термины, определения.....	11
3.2. Символы и сокращения	13
4. РАДИОАКТИВНЫЙ ЙОД В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ	13
4.1. Особенности формирования и распределения поглощенных доз в щитовидной железе.....	14
4.2. Биологические эффекты радиоактивных изотопов йода	17
4.3. Оценка риска раковых заболеваний щитовидной железы.....	19
4.4. Заключение	20
5. ЙОД И ГОРМОНЫ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	21
5.1. Йод, как необходимый микроэлемент для жизнедеятельности организма	21
5.2. Гормоны щитовидной железы и их роль в обеспечении функционирования организма.....	22
5.3. Заключение.....	24
6. УРОВНИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА	24
7. ЙОДНАЯ ПРОФИЛАКТИКА КАК МЕРА ЗАЩИТЫ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА.....	27
7.1. Механизм и принципы йодной профилактики	27
7.2. Возможные медицинские последствия от блокирующих дозировок йодида калия у разных групп населения.....	28
7.3. Обоснование оптимальных профилактических дозировок йодида калия для разных групп населения.....	32
7.4. Обоснование для назначения стабильного йода.....	33
7.5. Допустимая длительность проведения йодной профилактики.....	33
7.6. Таблетки йодида калия: форма, дозировки, условия хранения, противопоказания.....	34
7.7. Побочное действие препаратов стабильного йода.....	34
7.8. Альтернативные препараты йода.....	36
7.9. Основные выводы	38
8. ПЛАНИРОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЙОДНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ...39	
9. ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ ПО КОНТРОЛЬНЫМ УРОВНЯМ ВМЕШАТЕЛЬСТВА, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОЗИРОВКАМ И ДОПУСТИМОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМА ЙОДИДА КАЛИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ.....	40
Список использованных источников	42

ВВЕДЕНИЕ

Профилактика с помощью стабильного йода является защитным мероприятием и входит составной частью в план общего реагирования на радиационную аварию ядерного реактора, прежде всего на АЭС.

Основные принципы проведения йодной профилактики в нашей стране в случае возникновения радиационной аварии были сформулированы в середине 60-х годов прошлого века [1].

Впервые инструкция по йодной профилактике населения в случае аварии на ядерном реакторе была разработана Л.А. Ильиным с сотрудниками в 1966 г. и утверждена МЗ СССР 27 декабря 1967 г. [2]. В соответствии с инструкцией решение о начале профилактики определялось ожидаемой дозой в щитовидной железе за счет поступления радиоактивного ^{131}I в организм. Важнейшими положениями, с точки зрения возможного ущерба для здоровья, являлись следующие:

- применение стабильного йода направлено на предупреждение накопления радиоактивного ^{131}I в щитовидной железе;
- защитно-профилактическое применение стабильного йода от поступления радиоактивного ^{131}I направлено на снижение стохастических эффектов в щитовидной железе (рак, узлы) в реально возможном диапазоне доз излучения.

В зависимости от возраста и чувствительности щитовидной железы к стабильному йоду выделялись две группы лиц:

- дети до 2-х лет - получают йодид калия (KI) в дозе 40 мг;
- дети старше 2-х лет и взрослые - получают KI в дозе 250 мг;

Длительность проведения йодной профилактики планировалась на срок до прекращения угрозы поступления радиоактивного йода..

Авария на ЧАЭС показала, что условия развития, состав радиоактивных выбросов и характер их распространения, формирование доз облучения населения отличаются от принятого ранее сценария аварии. В реальных условиях аварии ядерного реактора в начальный период опасность, не только для персонала, но и для населения, могут представлять радиоактивные изотопы йода ($^{131-135}\text{I}$), поступающие ингаляционно и вносящие определенный вклад в суммарную дозу внутреннего облучения щитовидной железы [3-4].

После аварии на Чернобыльской АЭС появились данные о росте тиреоидной патологии в регионах радиоактивного загрязнения, в том числе рака щитовидной железы у детей Белоруссии, России и Украины. Была выявлена зависимость частоты развития рака от дозы излучения и возраста, в котором произошло облучение и установлено, что наиболее

чувствительными к индукции рака являются дети младшего возраста и что для защиты населения вмешательство необходимо при более низких дозах облучения для детей, чем для взрослых лиц. После аварии на Чернобыльской АЭС в международной системе радиационной защиты были пересмотрены организационные принципы проведения йодной профилактики и величины доз для принятия решения о ее начале с учетом ингаляционного поступления радиоизотопов йода [5-7].

В 1999 г. ВОЗ рекомендовала более дифференцированные величины йодида калия для детей разного возраста и для взрослого населения в зависимости от их функционального состояния (беременные и кормящие женщины, лица пожилого и старого возраста) [8].

В нашей стране после аварии на ЧАЭС рекомендации по йодной профилактике были скорректированы частично. В июне 1986 г. инструкция [2] была дополнена рекомендациями по защите беременных и плода; рекомендован прием сочетания двух препаратов: йодида калия в дозировке 0,250 г и перхлората калия в дозировке 0,750 г [9]. В 1991 г. в инструкцию внесены изменения о снижении дозировок KI для взрослых и детей старше 2 лет с 0,250 г до 0,125 г. В 1993 г. взамен «Инструкции по йодной профилактике» [2] были утверждены «Рекомендации по применению препаратов стабильного йода населению для защиты щитовидной железы и организма от радиоактивных изотопов йода» [10], в которые были включены для расширения арсенала средств защиты 5% йодная настойка и раствор Люголя. Были сформулированы противопоказания и возможные побочные токсические эффекты от приема больших дозировок защитных препаратов. В рекомендациях указывалось, что в ранний период аварии опасность представляет ингаляционное поступление радиоизотопов йода, но наибольшее практическое значение имеет алиментарное поступление. В 1999 г. в Нормах Радиационной безопасности (НРБ-99) устанавливаются критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии. Согласно уровня А йодная профилактика начинается при предотвращаемой дозе за первые 10 суток на щитовидную железу детей 100 мГр, а взрослых – 250 мГр [11].

Настоящее руководство по йодной профилактике содержит уточненные основные принципы организации и проведения защитных мероприятий, направленных на предупреждение накопления радиоактивного йода в щитовидной железе в случае возникновения радиационной аварии на ядерном реакторе с учетом опыта аварии на Чернобыльской АЭС и рекомендаций ВОЗ [].

Руководство определяет уровни вмешательства как меру защиты, не связанную с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, определяет время начала и продолжительности профилактических мероприятий, содержит современные оценки риска от поступления радиоактивных изотопов йода ($^{131-135}\text{I}$) в организм лиц разного возраста,

современные оценки польза-риск от профилактического приема таблеток йодида калия и альтернативных препаратов стабильного йода, содержит информацию о рекомендуемых дозировках и противопоказаниях при применении стабильного йода разным популяционным группам.

Назначение руководства – сделать доступной широкому кругу специалистов современной информации о йодной профилактике в системе радиационной защиты щитовидной железы, как составной части готовности к экстренному реагированию на ядерную аварию, широкому кругу специалистов. Данное Руководство предназначено для медицинских работников, специалистов по противо-аварийному планированию персонала аварийного управления службы МЧС и Всероссийской службы медицины катастроф.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Федерального
медико-биологического агентства

_____ В.В. Уйба

"_29"июня_____2010 г.

Регистрационный номер №22-10

Дата введения: с момента утверждения

Группа 17. Требования к системам жизнеобеспечения
в экстремальных ситуациях и специальным системам

РУКОВОДСТВО ПО ЙОДНОЙ ПРОФИЛАКТИКЕ В СЛУЧАЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Методические рекомендации

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Настоящие методические рекомендации определяют основные принципы организации и проведения йодной профилактики, или фармакологической защиты щитовидной железы от поступления радиоактивного йода в случае возникновения радиационной аварии, сопровождающейся выбросом радиоактивных изотопов йода ($^{131-135}\text{I}$), уровни вмешательства, время начала и продолжительность профилактических мероприятий, а также содержат современные оценки риска от поступления радиоактивного йода в организм лиц разного возраста, оценки возможных негативных последствий от профилактического приема стабильного йода (йодида калия), информацию о требуемых дозировках и противопоказаниях при назначении йодида калия разным популяционным группам.

1.2. Методические рекомендации предназначены для организаций, осуществляющих деятельность в области планирования противоаварийных мероприятий, служб отделений аварийного управления МЧС и Всероссийской службы медицины катастроф, органов и учреждений, осуществляющих деятельность в области государственного санитарно-эпидемиологического надзора и контроля, медицинских служб, ответственных за практическое проведение йодной профилактики в случае аварийного выброса содержащего радиоизотопы йода.

1.3. Руководство разработано на основании Федерального закона № 3-ФЗ от 9 января 1996 г. «О радиационной безопасности населения», Закона Российской Федерации № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и Федерального закона № 68-ФЗ от 21 декабря 1994 г. «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Профилактика с помощью препаратов стабильного йода является одной из мер индивидуальной защиты населения в случае радиационной аварии и имеет своей целью предотвращение или снижение поглощенной дозы в щитовидной железе, обусловленной поступлением радиоактивных изотопов йода в организм, и возможных радиологических последствий ее облучения.

Этот метод фармакологической защиты заключается в торможении или временном прекращении функции образования гормонов щитовидной железы (тиреоидных гормонов), которые определяют активность течения метаболических процессов в организме человека. В химическую структуру этих гормонов входит йод. После приема препарата стабильного йода возникает блокада щитовидной железы, которая препятствует накоплению в ней радиоактивных изотопов йода и их дальнейшему участию в синтезе тиреоидных гормонов.

2.2. Организация и проведение йодной профилактики обосновываются следующими принципами:

- предотвращение детерминированных эффектов и снижение стохастических эффектов облучения должно быть обеспечено для людей всех возрастов, но в первую очередь для детей и плода (радиологический принцип);
- достижение максимального снижения индивидуальной дозы в щитовидной железе при обоснованных минимальных дозировках йодида калия с учетом возраста (фармакологический принцип);
- достижение максимального снижения индивидуальных и коллективных доз в щитовидной железе у лиц, вовлеченных в радиационную аварию, с учетом социальных и экономических обстоятельств (социальный принцип);
- заблаговременная оптимизация формы, масштаба и оперативности проведения йодной профилактики в сочетании с другими превентивными и экстренными мероприятиями на этапе планирования мер радиационной защиты населения в случае радиационной аварии. Объем и содержание мероприятий по защите населения определяются, исходя из принципа

необходимой достаточности и максимально возможного использования имеющихся сил и средств (организационный принцип).

2.3. Радиоактивные изотопы йода могут поступать в организм человека через органы дыхания, пищеварения, раневые и ожоговые поверхности и, независимо от пути поступления, избирательно накапливаются в щитовидной железе. В ранней фазе развития аварии (первые часы – первые сутки) основным путем поступления радиоактивных изотопов йода населению является ингаляционный. Проведение йодной профилактики в этих условиях является эффективной защитной мерой. Вместе с тем пероральный путь поступления радиоизотопа ^{131}I с молоком и другими пищевыми продуктами при определенных условиях (сельская местность, летний сезон) может стать наиболее значимым в формировании суммарной поглощенной дозы в щитовидной железе. В этих условиях обоснованным и предпочтительным защитным мероприятием, направленным на предотвращение поступления в организм радиоактивного йода и других радионуклидов с пищей, является запрет или ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов. В исключительных случаях, когда обеспечить питание «чистыми» продуктами не представляется возможным, особенно молочными продуктами детей младших возрастов, допустимо применение йодной профилактики в короткий период времени (3-5 дней) до организации снабжения незагрязненными продуктами.

2.4. Максимальный эффект йодной профилактики достигается при заблаговременном (превентивном) приеме препарата за 6 и менее часов до поступления радиоизотопов йода. Прием препарата спустя 6 часов после ингаляционного поступления приводит к 2-кратному снижению дозы, а спустя 24 часа – практическому отсутствию защитного эффекта. Эти динамические характеристики эффективности йодной профилактики определяют требования к организации, материально-техническому обеспечению, информированию населения и графику проведения профилактики среди населения, проживающего вблизи радиационно-опасного объекта в зонах аварийного планирования.

Однократное применение стабильного йода обеспечивает защиту щитовидной железы от инкорпорации радионуклидов йода примерно на 24 часа. Эвакуация населения из зоны аварии является наиболее эффективным мероприятием для защиты людей от переоблучения. Если эвакуация, по каким-либо причинам, задерживается или невозможна, то многократное (повторное) применение стабильного йода должно проводиться не ранее 24 часов после первого приема препарата и только в условиях продолжающегося выхода радиоактивности во внешнюю среду. План защиты населения должен предусматривать возможность повторного применения стабильного йода для населения, находящегося в укрытиях.

2.5. Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии установлены в НРБ-99/2009 в форме предотвращаемой поглощенной дозы за первые 10 суток и равны для йодной профилактики 250 – 2500 мГр для взрослых и 100–1000 мГр для детей.

В настоящем Руководстве обосновываются: 1) дозовые уровни для начала йодной профилактики на основе ожидаемой дозы в щитовидной железе от поступления радиоактивных изотопов йода с учетом медико-биологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС; 2) дозировки защитного препарата в зависимости от возраста и допустимость повторного приема.

В качестве дозового уровня планирования йодной профилактики даются следующие значения ожидаемой дозы в щитовидной железе от ингаляционного поступления радиоактивных изотопов йода:

- 50 мГр для детей (введен 2-кратный запас на возможное поступление радиоактивного йода с материнским молоком);

- 250 мГр для взрослых до 45 лет;

- 2500 мГр - для взрослых старше 45 лет (для них йодная профилактика направлена на предотвращение возникновения детерминированных эффектов облучения). **Введены следующие возрастные группы и дозировки: дети до 1 года (новорожденные и дети, находящиеся на грудном вскармливании) – 16 мг, дети от 1 года до 3 лет – 32 мг, дети от 3 до 12 лет – 64 мг, подростки от 13 до 18 лет, взрослые до 45 лет, кормящие матери, взрослые старше 45 лет – 125 мг.**

2.6. Риск серьезных побочных эффектов для детей от однократного приема препарата стабильного йода (30 мг KI) оценивается величиной 10^{-7} (1 случай на 10 млн. детей), что на 2 порядка ниже вероятности индукции радиологического рака щитовидной железы при поглощенной дозе 50 мГр.

2.7. В случае возникновения на радиационно-опасном предприятии серьезных технических или технологических отклонений от нормальной эксплуатации, относящихся к перечню ситуаций (аварий), при развитии которых ожидается значительный выброс продуктов деления ядерного топлива содержащих аэрозоли, применяется превентивная йодная профилактика персонала и населения, т. е. до начала выброса, до оценки его параметров и прогнозов продолжительности. Для распознавания таких ситуаций (аварий) должны быть разработаны технологические признаки и ситуационные критерии аварии на действующих реакторах. С учётом характеристики промышленного объекта, территории а также демографических параметров вокруг объекта, где необходимо обеспечить комплекс мер по проведению йодной профилактики населению. Заблаговременно может быть

определена зона превентивной йодной профилактики. Размер такой зоны зависит от многих параметров, например от мощности и типа блока АЭС, климато-географических особенностей территории, наличия противорадиационных укрытий и др., и может составить 5-10 км от АЭС. Следует подчеркнуть, что готовность к проведению превентивной йодной профилактики среди населения может снизить дозы внешнего облучения. Превентивная йодная профилактика может быть только однократной, т. е. следующий прием возможен только при реальном выбросе радиоактивного йода и соответствующем прогнозе доз на щитовидную железу. Дальнейшее уточнение территорий и населенных пунктов, где должна быть проведена йодная профилактика проводится с учетом оперативных данных об источнике аварийного выброса, о радиационной обстановке и прогнозов ее развития.

3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СИМВОЛЫ И СОКРАЩЕНИЯ

3.1. Основные понятия, термины, определения

Активность – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени.

Аутоиммунный тиреоидит – хроническое воспалительное заболевание щитовидной железы, характеризующееся лимфоидной инфильтрацией ткани с постепенной деструкцией паренхимы щитовидной железы, с присутствием высокого уровня антитиреоидных аутоантител в крови. Часто приводит к гипотиреозу.

Вмешательство – деятельность, направленная на снижение вероятности, либо дозы, либо неприятных последствий облучения населения при радиационных авариях, при обнаружении радиоактивных загрязнений объектов окружающей среды или повышенных уровней природного облучения на территориях, в зданиях, в сооружениях.

Гипертиреоз – повышение функции щитовидной железы вследствие гиперпродукции тиреоидных гормонов.

Гипотиреоз – недостаточность функции щитовидной железы вследствие дефицита тиреоидных гормонов.

Доза поглощенная – усреднённая по органу (ткани) энергия ионизирующего излучения, переданная единичной массе вещества.

Доза прогнозируемая – доза, которая как ожидается, будет сформирована, если не будет предпринято никаких защитных мероприятий.

Дозировка – мера защитного препарата. Используется в данном Руководстве, чтобы избежать путаницы с дозой излучения.

Йодный дефицит – недостаток йода в воде, почве и продуктах питания.

Мощность дозы – доза излучения за единицу времени (секунду, минуту, час).

Население – все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Облучение – воздействие на человека ионизирующего излучения.

Облучение аварийное – облучение в результате радиационной аварии.

Противоаварийное планирование – планирование защитных мероприятий, которые должны быть осуществлены в случае возникновения радиационной аварии.

Радиационная авария – потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Дозовый уровень планирования йодной профилактики – уровень ожидаемой поглощенной дозы в щитовидной железе за счёт ингаляционного поступления радиоактивных изотопов йода, при превышении которого требуется проведение йодной профилактики.

Риск избыточный абсолютный – дополнительное число случаев, вызванных единичной дозой, в дополнение к спонтанному числу случаев. Обычно выражается как число случаев в год на 100 000 человек, получивших дозу 1 Зв.

Риск избыточный относительный – отношение дополнительного числа случаев, вызванных единичной дозой, к спонтанному числу случаев.

Риск радиационный – вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Уровень вмешательства – уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определённые защитные мероприятия. В контексте данного документа – для начала йодной профилактики (раздача таблеток KI).

Эффекты облучения детерминированные – клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых

предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше – тяжесть зависит от дозы.

Эффекты облучения стохастические – вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.

3.2. Символы и сокращения

KI – йодид калия, химическая форма стабильного йода, рекомендованная в качестве защиты щитовидной железы от облучения радиоактивным йодом.

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения (специализированное агентство Организации Объединенных Наций).

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии (специализированное агентство Организации Объединенных Наций).

МКРЗ – Международная комиссия по радиологической защите.

Свободный T₄ – метаболически активная форма тироксина, циркулирующая в крови, не связанная с белком.

T₄ – тироксин, гормон, вырабатываемый щитовидной железой.

ТТГ (TSH) – тиреотропный гормон гипофиза, стимулирующий синтез и секрецию гормонов щитовидной железы, регулирует функцию щитовидной железы по принципу отрицательной обратной связи. Повышенный уровень ТТГ в крови указывает на явную или скрытую недостаточность функции щитовидной железы.

4. РАДИОАКТИВНЫЙ ЙОД В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ

Радиоактивные изотопы йода занимают особое место среди радионуклидов, поступающих во внешнюю среду при аварии на ядерном реакторе. Они обладают высокой летучестью и, как правило, относительный вклад радиоактивных изотопов йода в общую активность аварийного выброса оказывается существенно выше, чем соответствующий вклад в суммарную активность всех радионуклидов в реакторе. Наибольшее практическое значение имеют радиоизотопы йода с массовыми числами 131-135.

Изотопы йода (¹³²⁻¹³⁵I) имеют короткий период полураспада (T_{1/2}): от нескольких минут до нескольких часов (табл. 1). Наибольший период полураспада из числа перечисленных выше изотопов йода имеет ¹³¹I - T_{1/2} = 8,04 суток. Радиоактивные изотопы йода, наряду с другими радионуклидами, присутствующими в радиоактивном облаке,

являются источниками внешнего облучения человека. Однако наиболее опасным является поступление радиоизотопов йода в организм: ингаляционно на начальном этапе аварии и с продуктами питания (прежде всего, с молоком местного производства) в более поздние сроки (на вторые-третьи сутки) [1]. Алиментарный путь поступления радиоактивного ^{131}I с молоком и другими пищевыми продуктами при определенных условиях (летний сезон, сельская местность, не информированность населения и отсутствие мер контроля) может стать наиболее значимым в формировании поглощенной дозы в щитовидной железе. Степень опасности для здоровья вследствие поступления радиоизотопов йода в организм различна для разных возрастных групп населения.

Авария на Чернобыльской АЭС показала, что поступление радиоактивных изотопов йода представляет опасность не только для населения, проживающего в зоне противоваарийного планирования, но и за ее пределами [12-14].

4.1. Особенности формирования и распределения поглощенных доз радиоактивных изотопов йода в щитовидной железе

Поступая в организм, радиоактивные изотопы йода также как и стабильный йод, избирательно накапливаются в щитовидной железе. Распределение радиоизотопов йода в щитовидной железе характеризуется определенной неравномерностью, обусловленной избирательным концентрированием в наиболее функционально активных фолликулах. Однако размеры фолликул и расстояния между ними (порядка 100 мкм) меньше пробега многих β -частиц, испускаемых при распаде $^{131-135}\text{I}$, и поэтому распределение дозы в тканях железы и, следовательно, её облучение оказывается относительно равномерным [15]. В условиях йодного дефицита неравномерность накопления радиоактивного йода и формирования поглощенных доз в отдельных участках щитовидной железы возрастает [16].

В щитовидной железе около 90% поглощенной дозы формируется β -излучением и 10% за счет γ -излучений радиоактивного йода.

При однократном поступлении короткоживущих изотопов йода $^{132-135}\text{I}$ дозы облучения формируются быстро (основная их часть реализуется в течение суток), а при поступлении ^{131}I формирование доз более растянуто во времени. К концу 1-й недели доза в щитовидной железе от ^{131}I формируется примерно на 50%, а к концу третьей недели – на 95% полной дозы. По сравнению с поглощенной дозой от ^{131}I , поглощенная доза, сформировавшаяся на единицу поступившей активности от короткоживущих изотопов йода ниже: для ^{132}I в 100 раз, для ^{133}I в 5 раз, для ^{135}I в 25 раз и для ^{132}Te в 6 раз (таблица 1) [17]. В условиях радиационной аварии вклад в дозу облучения щитовидной железы от

короткоживущих изотопов йода $^{132-135}\text{I}$ зависит от соотношения их активностей в выбросах. Например для аварии на ЧАЭС, с учетом отношений активностей короткоживущих изотопов йода $^{132-135}\text{I}$ к активности ^{131}I в активной зоне реактора к моменту взрыва на ЧАЭС, значения максимально возможных отношений дозы облучения от i -го радионуклида к дозе от ^{131}I находились в диапазоне 0,0011-0,29 (табл. 1), при этом наибольший вклад вносили ^{133}I и ^{132}I (^{132}Te). Поскольку выброс из аварийного ректора на ЧАЭС продолжался, по крайней мере в течение 10 суток, то реальный вклад в дозу облучения щитовидной железы от ингаляционного поступления в организм короткоживущих изотопов йода и ^{132}Te , выраженный в долях дозы от ^{131}I , был меньше значений, приведенных в табл. 1, вследствие более быстрого снижения активностей короткоживущих изотопов йода и ^{132}Te , по сравнению с ^{131}I , в течение периода выброса.

Таким образом, вклад в дозу облучения щитовидной железы короткоживущих изотопов йода и ^{132}Te значительно меньше вклада в дозу ^{131}I даже при ингаляционном поступлении радионуклидов в организм человека.

Таблица 1 – Характеристики радиоактивных изотопов йода и ^{132}Te и дозовые коэффициенты при ингаляционном поступлении быстрорастворимых аэрозолей (типа F) в организм взрослого человека [17]

Параметр	^{131}I	^{132}I	^{133}I	^{134}I	^{135}I	^{132}Te
Период полураспада	8,04 сут	2,3 ч	20,8 ч	53 мин	6,61 ч	3,26 сут
Дозовый коэффициент (поглощенная доза на 1 Бк поступившей в организм активности), $n \cdot 10^{-7}$ Гр/Бк	1,5•	$1,4 \cdot 10^{-2}$	0,28	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	0,25
Отношение дозовых коэффициентов i -го радионуклида к ^{131}I	1,0	$9,3 \cdot 10^{-3}$	0,19	$1,7 \cdot 10^{-3}$	0,038	0,17
Отношение активностей i -го радионуклида к ^{131}I в активной зоне реактора к моменту взрыва на ЧАЭС [UNSCEAR 2000]	1,0	1,31	1,50	0,64	0,91	1,31
Максимально возможное отношение дозы облучения ЩЖ от i -го радионуклида к дозе от ^{131}I для аварии на ЧАЭС	1,0	0,012	0,29	0,0011	0,034	0,22

[UNSCEAR 2000] United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly. Annex J. Exposures and effects from the Chernobyl accident. United Nations, New York, 2000.

При выбросе смеси радиоидов в окружающую среду относительно долгоживущий ^{131}I является наиболее радиобиологически значимым изотопом, поскольку может поступать в организм с пищевыми продуктами и, особенно, с молоком. Однако, как указывалось выше, на начальном этапе, в течение первых часов аварии ядерного реактора, определяющее значение имеет ингаляционное поступление всей смеси радиоидов [3-6] и особенно возрастает вклад в радиационную опасность ^{132}I , дочернего продукта более долгоживущего ^{132}Te [7].

На формирование поглощенных доз в щитовидной железе влияет ряд факторов физической и биологической природы.

Путь поступления. При ингаляционном поступлении радиоизотопов йода резорбция их в кровь происходит быстрее, чем при пероральном поступлении, что приводит к более быстрому накоплению и формированию поглощенных доз в щитовидной железе [18]. Это диктует необходимость более оперативного применения защитных мер против поступления радиоактивного йода в щитовидную железу именно на начальном этапе радиационной аварии.

Функциональное состояние щитовидной железы. В нормально функционирующей щитовидной железе взрослого человека в среднем накапливается около 30% от поступившего количества ^{131}I , при гиперфункции железы накопление протекает быстрее и радиоактивный йод депонируется в большем количестве (до 50%), при гипофункции накопление радиойода в щитовидной железе происходит медленнее и в меньших количествах (15-25%) [19, 20].

Возраст. Возрастной фактор имеет большое значение в радиотоксикологии йода. У детей вследствие малых размеров щитовидной железы при равном поступлении формируются поглощенные дозы в 1,5-9 раз более высокие, чем у взрослого человека при единичном поступлении активности (табл. 2).

Таблица 2 – Дозовые коэффициенты для ^{131}I при ингаляционном* и пероральном** поступлении в организм лиц разного возраста [17, 22]

Возраст, лет	Масса щитовидной железы, г	Поглощенная доза в ЩЖ на 1 Бк поступления, $n \cdot 10^{-7}$ Зв/Бк		Отношение поглощенных доз дети/взрослые
		Ингаляционно	Перорально	
Новорожденные	1,29	14	37	9,3
1	1,78	14	36	9,3
5	3,45	7,3	21	4,9
10	7,93	3,7	11	2,5
15	12,4	2,2	6,9	1,5
Взрослые	20,0	1,5	4,4	1,0

* В форме быстрорастворимых аэрозолей (типа F).

** В составе пищи или питьевой воды.

Беременные и плод. Поглощение радиоактивного йода в щитовидной железе беременной женщины выше, чем у небеременной – накапливается 35-50% от поступившей активности. Радиоактивный йод с высокой скоростью переходит из организма матери к плоду через плаценту. Накопление радиоактивного йода в щитовидной железе плода человека начинается с 12-13 недели беременности, когда начинает функционировать щитовидная железа. В щитовидной железе плода поглощается до 50-60% поступившего из организма матери радиоактивного йода. Критическим возрастом по накоплению радиоактивного йода является период непосредственно перед родами. В этом возрасте на единицу поступившей активности в щитовидной железе плода формируются более высокие (~ 10 раз) поглощенные дозы, чем у матери [6, 17, 21-23].

Новорожденные. На единицу поступившей активности максимальные дозы создаются в щитовидной железе новорожденных и у детей первого года жизни, которые на порядок величины выше, чем у взрослого человека [6, 17, 22, 24].

Лактация (вскармливание грудным женским молоком). Радиоактивный йод быстро, уже в первые часы, в значительных количествах переходит в молоко кормящей женщины. В течение 24 часов в молоко может поступить до 30% радионуклида, поступившего к матери. Вследствие этого доза в щитовидной железе младенца превышает дозу у матери в 2-3 раза [8, 25]. Лактация – один из значимых путей выведения радиоактивного йода из организма женщины и дополнительной опасности для ребенка [26, 27].

Йодный дефицит. В условиях йодного дефицита в пищевом рационе щитовидная железа обладает повышенной способностью накапливать радиоактивный йод. При 50% дефиците стабильного йода в рационе (75 мкг/сутки) уровень накопления возрастает в 1,5-3 раза, в тоже время при избыточном поступлении (свыше 300 мкг/сутки) накопление снижается в 1,5 раза [16, 28, 29].

4.2. Биологические эффекты радиоактивных изотопов йода

Основными последствиями облучения щитовидной железы могут быть детерминированные эффекты – гипотиреоз, острый тиреоидит и острый тиреотоксикоз, а также стохастические эффекты – рак щитовидной железы и доброкачественные опухоли [19, 29]. Радиочувствительность щитовидной железы к облучению зависит от возраста: относительно невелика у взрослых, минимальна у пожилых и высокая у детей младенческого возраста.

Детерминированные эффекты. Избирательное и быстрое накопление радиоизотопов йода в щитовидной железе способствует формированию относительно высоких доз

облучения, которые могут привести к нарушению функции и структуры органа. Было установлено, что гипотиреоз и другие острые поражения реально возможны при облучении щитовидной железы в дозах равных нескольким Гр.

Стохастические эффекты. Облучение щитовидной железы в дозах, которые не приводят к непосредственным изменениям ее функционального состояния, может обусловить возникновение рака, являющегося стохастическим эффектом.

Радиационно-индуцированный рак щитовидной железы не относится к абсолютно смертельному (смертность не выше 5%), но вызывает серьезные осложнения в организме, требующие длительного лечения.

Выявлена высокая чувствительность щитовидной железы детей к индукции рака, в 3-10 раз превышающая радиочувствительность щитовидной железы взрослых людей. У детей, подвергшихся облучению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, обнаружено достоверное повышение частоты рака щитовидной железы через 5-6 лет после облучения в дозах от 100 мГр и выше [31-35]. По данным исследований [32] половина (50%) всех выявленных случаев рака приходится на детей, которые в момент аварии находились в возрасте 0-3 года, 31,0% - в возрасте 4-6 лет и только 2,0% - в возрасте 11-14 лет.

Рак щитовидной железы у детей (папиллярная карцинома) имеет более агрессивное течение, чем у взрослых. Инвазивный характер роста опухоли (стадия T4) выявлен в 48-63% случаев, метастазирование в региональные лимфатические узлы (стадия N1) - в 59-88% случаев, отдаленные метастазы (стадия M1) – в 5-9% случаев [35, 36].

Повышенный риск индукции рака щитовидной железы у облученных лиц сохраняется в течение всей жизни.

Повышение частоты рака щитовидной железы подтверждено документально за пределами зоны планирования защитных мероприятий [31, 32, 34].

Влияние йодного дефицита (эндемии). В условиях йодного дефицита щитовидная железа характеризуется повышенной радиочувствительностью [16, 28, 37]. Опубликованы данные о модифицирующем влиянии йодного дефицита на риск развития пост-радиационного рака щитовидной железы. На основании популяционного исследования 276 случаев рака щитовидной железы у детей в пострадавших районах Белоруссии и России, а также 1300 человек из контрольных районов методом «случай-контроль», была выявлена в 3 раза более высокая частота рака в регионах с выраженным йодным дефицитом, чем в регионах с нормальной йодной обеспеченностью [38].

4.3. Оценка риска раковых заболеваний щитовидной железы

Спонтанные раки щитовидной железы встречается редко. По данным [30] частота спонтанного рака щитовидной железы составляет 0,19 случаев на 1 млн. населения в возрасте до 14 лет и 3,0 на 1 млн. населения в возрасте от 14 до 24 лет. Риск развития рака щитовидной железы у лиц в возрасте после 50 лет мал.

Риск развития радиогенных раков щитовидной железы у лиц, подвергшихся внешнему и внутреннему облучению радиоактивным йодом, оценен в различных эпидемиологических исследованиях. Установлено, что риск рака щитовидной железы при внешнем облучении выше, чем при внутреннем облучении от радиоактивного йода, риск рака щитовидной железы у детей выше, чем у взрослых [39-45]. На основании данных, полученных в Японии, для популяций, подвергшихся воздействию внешнего излучения вследствие атомной бомбардировки, избыточный абсолютный риск раковых заболеваний щитовидной железы оценен величиной $2,5 \cdot 10^{-4}$ (чел-лет)⁻¹ на 1 Гр для лиц, подвергшихся облучению в возрасте до 18 лет. Риск для взрослых принимается равным половине этой величины. Пожизненный риск для детей оценивается величиной $1,3 \cdot 10^{-4}$ на 1 Гр, а для взрослых – 1/4 риска для детей в связи с меньшим числом лет жизни в условиях риска [39-40]. Принимается, что риск развития рака щитовидной железы при облучении в детском возрасте может продолжаться в течение 40-50 лет после облучения. Другая, последняя оценка избыточного абсолютного риска рака щитовидной железы у детей до 15 лет от внешнего облучения с высокой мощностью дозы, сделанная E. Ron et al. (1995) на основании анализа данных по семи когортам, равна $4,4 \cdot 10^{-4}$ (чел-лет)⁻¹ на 1 Гр [41].

У детей до 15 лет, облученных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, по данным анализа доза-эффект для всех случаев рака щитовидной железы в Белоруссии, России и Украине, риск рака щитовидной железы оценен величиной $2,3 \cdot 10^{-4}$ (чел-лет)⁻¹ на 1 Гр [40, 43], что сравнимо с риском от внешнего γ -излучения.

Сделанные оценки абсолютного избыточного риска рака щитовидной железы у детей, подвергшихся инкорпорации радиоактивного йода в результате аварии на Чернобыльской АЭС означают, что примерно у 23 детей из 100 000 при облучении щитовидной железы в дозе 1 Гр возникает радиационно-индуцированный рак. Если доза будет 100 мГр, исходя из линейной зависимости «доза-эффект», радиационно-индуцированный рак может возникнуть у 2-3 детей из 100 000 облученных. Современные оценки избыточного абсолютного риска и избыточного относительного риска для детей, полученные в объединенном анализе семи исследований индукции рака ЩЖ при внешнем облучении, и по результатам четырех исследований по изучению риска рака ЩЖ после аварии на ЧАЭС, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сопоставление оценок избыточного абсолютного риска и избыточного относительного риска рака щитовидной железы детей, полученных в эпидемиологических исследованиях при внешнем и внутреннем облучении после аварии на ЧАЭС [Ron 2007].

Облучение после аварии на ЧАЭС	Исследование и ссылка	Избыточный абсолютный риск / 10^4 чел-лет Гр	Избыточный относительный риск
Внешнее	Объединенный анализ семи исследований* [38]	4,4 (1,9 – 10)	7,7 (2,1 – 29)
Внутреннее	Случай – контроль в Белоруссии и России* [36]	не определялся	4,5 (1,2 – 7,8)
	Когортное на Украине [@] [32]	не определялся	5,2 (1,7 – 27)
	Экологическое исследование на Украине** [45]	1,5 (1,2 – 1,9)	8,0 (4,6 – 15)
	Экологическое исследование в Белоруссии и на Украине** [40]	2,7 (2,2 – 3,1)	19 (11 – 27)

* - дети в возрасте до 15 лет на момент облучения

** - дети в возрасте до 18 лет на момент облучения

Уровни радиационного риска могут быть радикально снижены при назначении йодной профилактики самостоятельно или в комплексе с другими мерами защиты: эвакуация, укрытие, контроль продуктов питания.

4.4. Заключение

В начальный период радиационной аварии радиационную опасность представляют радиоактивные изотопы йода ($^{131-135}\text{I}$), поступающие ингаляционно и вносящие существенный вклад в суммарную дозу облучения щитовидной железы.

Реально достоверное повышение рака щитовидной железы у детей, подвергшихся облучению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, выявлено при дозах облучения щитовидной железы от 100 мГр и выше.

Наиболее радиочувствительны к индукции рака щитовидной железы плод и дети в возрасте 0-3 года.

Рак щитовидной железы у детей (папиллярная карцинома) имеет более агрессивное течение, чем у взрослых.

Избыточный абсолютный риск рака щитовидной железы у детей, подвергшихся воздействию радиоактивных изотопов йода ($^{131-135}\text{I}$) в результате аварии на Чернобыльской АЭС, сопоставим с риском рака щитовидной железы от внешнего γ -облучения: $2,3 \cdot 10^{-4}$ (чел-лет) $^{-1}$ на 1 Гр и $4,4 \cdot 10^{-4}$ (чел-лет) $^{-1}$ на 1 Гр, соответственно.

Повышенный риск рака щитовидной железы у облученных лиц сохраняется в течение всей жизни.

Есть основания полагать, что при радиоактивном загрязнении в результате аварии на ядерном реакторе риск развития радиационно-индуцированного рака щитовидной железы в регионах с выраженным дефицитом йода может быть выше, чем в регионах с нормальной обеспеченностью йодом пищевого рациона.

5. ЙОД И ГОРМОНЫ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

5.1. Йод, как необходимый микроэлемент для жизнедеятельности организма

Йод – важнейший биоэлемент, без которого невозможно нормальное функционирование организма: он входит в структуру гормонов щитовидной железы, которые определяют активность течения практически всех метаболических процессов в организме человека. Потребность организма в йоде удовлетворяется ежедневным поступлением его с продуктами питания и водой.

Ежедневная физиологическая потребность в йоде зависит от возраста и физиологического состояния человека и составляет в среднем для взрослого человека 150 мкг (табл. 4). Основным природным источником йода для человека являются продукты питания и вода.

Таблица 4 – Суточная потребность в йоде лиц разного возраста [46]

Возраст	Потребность в йоде, мкг/сут (среднее значение)
Дети 0-6 лет	90
Дети 6-12 лет	120
Подростки старше 12 лет	150
Взрослые	150
Беременные и кормящие женщины	200-250

Йодная обеспеченность значительной части населения России не соответствует нормальному уровню. Следует отметить, что согласно данным [46] фактическое среднее потребление в 2-3 раза ниже нормы, а профилактические мероприятия мало эффективны, поскольку не проводятся систематически и не охватывают всего населения. Вместе с тем следует отметить, что профилактика зубной эндемии является одним из важнейших мероприятий по снижению последствий радиационного воздействия на щитовидную железу.

С учётом сказанного выше, в условиях радиационной аварии профилактика (предотвращение) йодного дефицита приобретает особое значение.

5.2. Гормоны щитовидной железы и их роль в обеспечении нормального функционирования организма

Щитовидная железа синтезирует гормоны тироксин (Т4), содержащий 4 атома йода, и трийодтиронин (Т3). Синтез Т4 и Т3 находится под контролем гипофиза, вырабатывающего тиреотропный гормон (ТТГ).

Гормоны щитовидной железы необходимы для нормального развития и функционирования всех органов и систем: эндокринной, центральной и вегетативной нервной системы, репродуктивной, иммунной, сердечно-сосудистой, органов дыхания, а также функции обмена веществ.

В период внутриутробного развития ребенка тиреоидные гормоны оказывают регулирующее действие на дифференцировку тканей эмбриона. Тиреоидные гормоны особенно необходимы для развития центральной нервной системы (ЦНС) ребенка не только в период внутриутробного развития, но и в первые годы жизни.

Потребность в тиреоидных гормонах зависит от возраста и функционального состояния организма.

Дефицит тиреоидных гормонов (гипотиреоз) оказывает негативное воздействие как на отдельные органы и системы, так и на организм в целом.

Беременные и плод. Нормальная функция щитовидной железы матери и плода жизненно необходима для адекватного внутриутробного развития плода.

Снижение функции щитовидной железы у беременной женщины является фактором риска врожденных пороков, задержки или полного прекращения развития плода. Стойкий гипотиреоз может привести к необратимой задержке умственного и физического развития ребенка вплоть до развития кретинизма [46]. Стойкий гипотиреоз у беременной женщины перед родами является фактором риска ранней гибели новорожденного.

Новорожденные. Особое значение тиреоидных гормонов для новорожденного связано с тем, что из трех систем, обеспечивающих адаптацию к внеутробной жизни (нервной, иммунной и эндокринной), у новорожденного функционирует только эндокринная. Только тиреоидные гормоны обеспечивают адаптацию плода к внеутробной жизни. Для обеспечения адаптивных возможностей перед рождением щитовидная железа плода увеличивается в размере в 2-3 раза. Дефицит гормонов щитовидной железы может привести к нарушению процессов адаптации плода к внеутробной жизни и гибели новорожденного, задержке интеллектуального и физического развития ребенка. Новорожденные являются группой высокого риска к дефициту тиреоидных гормонов [46, 47].

Дети и подростки. Потребность детей в тиреоидных гормонах различна и зависит от возраста: максимальная потребность в тиреоидных гормонах у детей до 3-х лет, затем у детей 4-9 лет несколько снижается и повышается в период полового созревания (к 12 годам). В период полового созревания функция щитовидной железы претерпевает определенные изменения, связанные с адаптацией к быстрому темпу роста и развития ребенка. В более позднем возрасте потребность в тиреоидных гормонах у детей соответствует потребности взрослого человека [46].

При длительном снижении функции щитовидной железы у детей старше 3-х лет возможна временная (преходящая) задержка роста, физического и психического развития (без задержки умственного развития), которые исчезают при восстановлении нормальной функции железы.

Взрослые репродуктивного возраста (до 45 лет). У взрослого человека тиреоидные гормоны являются одними из ключевых регуляторов основных функций организма: обмена веществ, дыхания, пищеварения, мочевыделения, сердечно-сосудистой, репродукции.

Тиреоидные гормоны особенно важны для адекватного функционирования репродуктивной системы женщины. Снижение уровня тиреоидных гормонов может быть причиной позднего полового созревания, нарушения менструального цикла, невынашивания беременности.

Патология щитовидной железы наиболее часто встречается у женщин репродуктивного возраста.

Взрослые (старше 45 лет). Роль гормонов щитовидной железы у лиц пострепродуктивного возраста резко снижается, но именно в этом периоде увеличивается рост спонтанных заболеваний щитовидной железы, таких как гипотиреоз. В некоторых странах среди лиц старше 60-ти лет распространенность гипотиреоза достигает 9-16% [47].

Длительное выключение функции щитовидной железы может привести к утяжелению не только возрастных заболеваний самой щитовидной железы, но и утяжелению сопутствующей патологии ряда органов и систем. Поскольку уровень потребления йода определяет структуру тиреоидной патологии, в йоддефицитных регионах отмечается высокая распространенность диффузного эутиреоидного и узлового коллоидного зоба среди лиц молодого возраста и высокая частота дисфункции щитовидной железы у лиц старших возрастных групп. В связи с высоким риском возрастных йоддефицитных заболеваний щитовидной железы, пожилые и старые женщины относятся к группе высокого риска к дефициту тиреоидных гормонов.

5.3. Заключение

Гормоны щитовидной железы необходимы для нормальной жизнедеятельности организма. Действие ее гормонов осуществляется на всех уровнях организма: клеточном, тканевом, организменном.

Нормальное функционирование щитовидной железы обеспечивается поступлением в организм стабильного йода в количестве, необходимом для синтеза тиреоидного гормона в зависимости от возраста, пола и функционального состояния организма.

Дефицит йода приводит к развитию эндемического зоба.

Клеточная пролиферация и рост ткани щитовидной железы в йоддефицитных регионах являются факторами предрасполагающим к развитию рака щитовидной железы, особенно у детей.

6. УРОВНИ ВМЕШАТЕЛЬСТВА

В соответствии с основными принципами противорадиационной защиты вмешательство для защиты населения должно быть предпринято, если ожидаются детерминированные эффекты или велик риск стохастических эффектов. Защитные действия должны принести больше пользы, чем вреда, уменьшить риск стохастических эффектов и предотвратить детерминированные эффекты.

Общие требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии в нашей стране определяются нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [11]. В этом документе сформулированы основные принципы вмешательства, определены уровни, форма, масштаб и длительность вмешательства.

Принятие решения о начале защитных мероприятий определяется региональными планами мероприятий на случай радиационной аварии. Эти планы учитывают возможное количество радиоактивных выбросов, расстояние от реактора, определяет ответственность и полномочия относительно принятия решений о защитных действиях, устанавливает уровни вмешательства для принятия конкретных защитных действий: йодная профилактика, укрытие, эвакуация, контроль сельскохозяйственной продукции и т. д.

Установлены два уровня вмешательства: А и Б. Уровень А не требует выполнения мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территорий (эвакуация, отселение). Уровень Б предполагает необходимым выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территорий [48].

Йодная профилактика входит в комплекс противорадиационных мер защиты при радиационных авариях на атомных реакторах. Решение о начале профилактики в современной системе защиты определяется уровнем А, не зависимо от того, требуются или нет меры защиты, связанные с нарушением жизнедеятельности населения. Йодная профилактика не исключается при применении других мер защиты: укрытие, эвакуация, контроль за продуктами питания.

Следует принимать во внимание, что йодная профилактика защищает только от радиоактивного йода, тогда как другие контрмеры защищают от большинства радионуклидов и внешнего излучения.

Критерии для принятия неотложных решений о мерах защиты населения в начальном периоде радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территорий установлены в НРБ-99/09 в форме предотвращаемой поглощенной дозы за первые 10 суток и равны для йодной профилактики лучения щитовидной железы 250-2500 мГр для взрослых и 100-1000 мГр для детей [11].

Эвакуация – временное перемещение людей с территории, которая, согласно прогнозу будет подвержена воздействию радиоактивного выброса. Эвакуация наиболее эффективна, если проводится до прохождения радиоактивного облака. Заблаговременная эвакуация населения сделает ненужным прием таблеток йодида калия.

Укрытие – простая мера защиты в ранней фазе аварии, сводится к рекомендации оставаться внутри помещений. Ингаляционное поступление в организм радиоактивного йода может быть снижено нахождением в помещении с закрытыми окнами, но не исключается полностью. Йодная профилактика – дополнительная мера к планам укрытия.

Контроль продуктов питания – одно из важных мероприятий по защите щитовидной железы против накопления радиоактивного йода и он должен последовательно применяться в качестве основной защитной меры при возможном пероральном поступлении радиойода.

Фактические данные о развитии реальной радиационной аварии на ядерном реакторе показывают, что в момент начала аварии и в ближайшие часы имеются большие неопределенности в оценках уровней и характере радиационного воздействия на население, и, что основную опасность представляют радиоактивные изотопы йода, поступающие ингаляционным путем. Эти данные обуславливают необходимость уточнения основных принципов и критериев для принятия решения о начале йодной профилактики.

Основным критерием для начала йодной профилактики должна быть ожидаемая прогнозируемая доза в щитовидной железе за счёт ингаляционного поступления радиоактивных изотопов $^{131-135}\text{I}$.

В качестве дозового уровня планирования йодной профилактики даются следующие значения ожидаемой дозы в щитовидной железе от ингаляционного поступления радиоактивных изотопов йода:

- 50 мГр для детей (дается 2-х кратный запас на возможное поступление радиоактивного йода с материнским молоком);
- 250 мГр для взрослых до 45 лет;
- 2500 мГр для взрослых старше 45 лет (йодная профилактика направлена на предотвращение возникновения детерминированных эффектов) (табл. 5.)

Указанным референтным уровням соответствуют производные уровни для принятия решения в форме оперативно измеряемых параметров радиационной обстановки: мощности дозы гамма-излучения в радиоактивной струе (облаке, шлейфе) и/или на местности, объемной активности радиоактивных изотопов йода в приземном слое воздуха и/или их поверхностной активности в радиоактивных выпадениях. Производные уровни устанавливаются заблаговременно применительно к конкретному радиационному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии и сценариев развития аварийной ситуации.

Таблица 5 – Дозовые уровни планирования йодной профилактики

Популяционная группа	Рассматриваемые пути поступления	Ожидаемые уровни доз в щитовидной железе, мГр
Новорожденные и дети, находящиеся на грудном вскармливании	Ингаляционный, пероральный	50
Дети (0-12 лет) и подростки (13-18 лет)	Ингаляционный	50
Беременные женщины	Ингаляционный	50*
Кормящие матери	Ингаляционный	250**
Взрослые (до 45 лет)	Ингаляционный	250
Взрослые (старше 45 лет)	Ингаляционный	2500

Примечание: *- критерием является прогнозируемая доза облучения щитовидной железы плода;

** - при условии проведения профилактики младенцу.

На основании перечня постулированных серьезных технических или технологических отклонений от нормальной эксплуатации, которые могут привести к возникновению радиационной аварии, рекомендуется установление зоны превентивной йодной профилактики радиусом нескольких километров вкруговую или в выделенном секторе с подветренной стороны.

В зоне превентивных мер йодная профилактика начинается немедленно при угрозе загрязнения воздуха и территории выбросами радиоактивных продуктов, содержащих изотопы йода.

Общие выводы:

Йодная профилактика – мера защиты щитовидной железы от поступления радиоактивного йода.

Йодная профилактика не исключается при применении других мер защиты: укрытие, эвакуация, контроль продуктов питания.

При планировании йодной профилактики учитываются различные уровни радиационного риска для разных возрастных групп населения, больший для детей и значительно меньший для лиц пожилого возраста.

Йодная профилактика входит в комплекс противорадиационных мер защиты.

7. ЙОДНАЯ ПРОФИЛАКТИКА КАК МЕРА ЗАЩИТЫ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ОТ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА

7.1. Механизм и принципы йодной профилактики

Механизм йодной профилактики или фармакологической защиты щитовидной железы от накопления радиоактивного йода путем применения препаратов стабильного йода сводится к торможению или временному прекращению основной функции щитовидной железы – гормонообразования или процесса органификации йода, т.е. его включения в молекулу белка [1].

Основным официальным препаратом стабильного йода, используемым для защиты щитовидной железы от накопления радиоактивного йода, является таблетки йодида калия (KI).

Продолжительность блокады функции щитовидной железы зависит от дозировки йодида калия: чем больше вводимое количество KI, тем продолжительнее блокада и позднее наступает деблокада щитовидной железы. Многократное введение больших дозировок йодида калия увеличивает продолжительность блокады и удлиняет период деблокады.

Для лиц разного возраста, а также в зависимости от функционального состояния щитовидной железы, количества йодида, вызывающие блокаду различны. Чем меньше масса щитовидной железы, тем меньшие количества KI требуются для блокады.

Блокада после однократного введения больших дозировок йодида калия (100-150 мг) имеет временный характер и определяется скоростью выведения йода из организма и из щитовидной железы: у взрослого человека 90% йода выводится из циркуляции в крови в течение суток, биологический период полувыведения из щитовидной железы – 8,0 суток [6, 22]. Время полного восстановления функции щитовидной железы после однократного приема блокирующих доз KI составляет 5-8 дней. У детей в связи с более высокой

функциональной активностью щитовидной железы восстановление функции железы происходит несколько быстрее [1].

Эффективность защитного действия KI зависит от времени между приемом KI и поступлением радиоактивного йода. Наибольший уровень защитного эффекта отмечается при поступлении KI за 6-8 часов до поступления радиоактивного йода или их одновременном поступлении [1].

Введение KI после поступления радиоактивного йода снижает эффект защиты. Однако поглощение йода блокируется на 50-30% даже после задержки начала профилактики на 6-12 часов (таблица 6).

В результате йодной профилактики в Польше в связи с аварией на Чернобыльской АЭС, проведенной однократно раствором Люголя на 4-7 сутки после начала аварии в половинных дозировках от рекомендованных на то время МАГАТЭ – 100 мг (по йоду) для взрослых и 50 мг для детей (1/2 дозировки составляла 50 мг и 30 мг соответственно), накопление йода было предотвращено на 40, 25 и 12% соответственно у детей, подростков и взрослых [49].

Учитывая возможные неблагоприятные последствия от блокады щитовидной железы, основным принципом йодной профилактики является достижение максимального эффекта при минимальных дозировках йодида калия, прежде всего для детского населения.

Таблица 6 – Влияние фактора времени на эффективность защиты щитовидной железы взрослого человека приемом KI [1]

Время между приемом KI и поступлением радиоактивного йода, часы	Степень защиты щитовидной железы, %
-24	70
-8	95
0	97
+2	70-80
+8	40
+24	2

7.2. Возможные медицинские последствия от блокирующих дозировок йодида калия у разных групп населения

Группы населения, подвергшиеся воздействию радиоактивного йода, значительно различаются по риску радиационно-индуцированных заболеваний щитовидной железы. Возможный риск неблагоприятных медицинских последствий от блокирующих щитовидную железу дозировок защитного препарата также неодинаков для разных групп населения. Однако, он не сопоставимо меньше, чем риск от облучения щитовидной железы.

В целом положительный эффект йодной профилактики будет больше для детей и подростков потому, что будет предотвращено формирование более высоких доз облучения и, следовательно, будет более эффективно предотвращаться развитие радиационно-индуцированной патологии щитовидной железы, чувствительность которой у детей выше, чем у взрослых. Это особенно касается индукции злокачественных опухолей, поскольку у молодых латентный период развития рака короче, а продолжительность жизни, в течение которой может проявиться повышенный риск рака, больше [8].

Беременные и плод. В период беременности, начиная с первого триместра, функциональная активность щитовидной железы у женщины повышается, увеличиваются уровни поглощения радиоактивного йода по сравнению с небеременными и, следовательно, величины поглощенных доз. Учитывая важную роль щитовидной железы в сохранении беременности [46, 47], защита щитовидной железы беременной женщины и плода относится к категории первоочередных задач при проведении защитных противоаварийных мероприятий.

Вместе с тем существует определенный риск негативных последствий для плода от блокирования щитовидной железы при длительном приеме защитного препарата матерью. Нормальная функция щитовидной железы матери и плода абсолютно необходима для адекватного внутриутробного развития плода и соответствующей перестройки материнского организма.

Снижение функции щитовидной железы у беременной женщины до начала функционирования щитовидной железы плода (на 12-13-й неделе беременности) является фактором риска возможной задержки или полного прекращения развития плода. Выключение функции щитовидной железы у беременной после начала функционирования щитовидной железы плода повышает риск развития гипотиреоза у рожденного ребенка [46]. В условиях снижения или выключения функции щитовидной железы у беременной перед родами нарушаются адаптивные возможности плода.

Количество приемов йодида калия во время беременности должно быть минимально необходимым для обеспечения защиты, особенно в местности с дефицитом йода в пищевом рационе, поскольку возрастает риск от блокады функции щитовидной железы матери для плода. В этих условиях предпочтительно ограничиться однократным назначением таблеток йодида калия, а при угрозе продолжающегося выброса радионуклидов должны использоваться другие меры защиты (например вывоз беременных из зоны аварии), а также контроль продуктов питания.

При назначении беременным стабильного йода в поздние сроки беременности (последний триместр) обязательным является контроль функции щитовидной железы у новорожденного (ТТГ и Т₄).

Кормящие матери. Йод активно переходит в грудное молоко. Блокада функции щитовидной железы матери стабильным йодом увеличит переход радиойода в молоко. Проведение профилактики щитовидной железы матери при ингаляционном поступлении радиоактивного йода практически не защитит щитовидную железу ребенка. Поэтому ребенок должен индивидуально получать защитный препарат в соответствующей дозе (1/8 часть таблетки для взрослых). Грудное кормление целесообразно в первые 36 часов заменить искусственным вскармливанием. Длительный прием стабильного йода исключается. При угрозе продолжающегося поступления радиоактивного йода следует применять другие меры защиты, о которых говорилось выше.

Новорожденные. Особого внимания при назначении профилактики с помощью стабильного йода требуют новорожденные. После рождения физиологическая активность щитовидной железы у ребенка резко увеличивается, причем только на несколько дней. Доля поступившего радиоактивного йода, накопленная щитовидной железой за этот критический период, может быть в четыре раза больше, чем для всех остальных возрастных групп. В этот период щитовидная железа новорожденного особенно чувствительна к функциональному блокированию стабильным йодом. Критический период развития блокады щитовидной железы продолжается 5-6 дней. Даже временный гипотиреоз во время критического периода развития головного мозга может сказаться на умственном развитии ребенка. Однако отрицательный эффект на умственное развитие не был выявлен в исследованиях, проведенных в Польше в связи с аварией на Чернобыльской АЭС [49]. При возникновении угрозы загрязнения радиоактивными изотопами йода стабильный йод должен назначаться новорожденным незамедлительно. Дозировки йодида калия должны быть однократными, минимальными. Контроль функции щитовидной железы обязателен (ТТГ и Т₄). Нельзя превышать однократное назначение в минимальной дозировке.

Дети. Внутри детской популяции дозы облучения щитовидной железы и последствия йодной профилактики также будут различаться. Дети от 1 месяца до 3 лет представляют особую группу. У детей этой группы при ингаляционном поступлении радиоактивного йода в организм формируемая доза может до 2 раз превосходить дозу взрослого человека в связи с меньшей массой щитовидной железы [17]. Риск от блокирующих дозировок йодида калия относительно невысок. У этой же группы детей доза от перорального поступления радионуклида так же может быть в несколько раз выше, чем у взрослых из-за большего потребления молока и относительно малой массы щитовидной железы.

Этой группе детей йодная профилактика назначается незамедлительно после принятия решения. При продолжающейся угрозе поступления радиоактивного йода и неизбежности поступления его с молоком, стабильный йод можно дать повторно. Контроль функции щитовидной железы (Т₄ и ТТГ) обязателен.

У детей от 3 до 12 лет и подростков (13-18 лет) последствия даже от длительной блокады функции щитовидной железы стабильным йодом относительно невелики и могут проявиться, главным образом, в виде преходящей задержки развития, которая прекращается с восстановлением функции щитовидной железы. Профилактика начинается после принятия решения и может продолжаться при сохранении угрозы радиоактивного загрязнения [46].

В целом, основной контрмерой против перорального поступления радиоактивного йода детям должен быть контроль пищевых продуктов. И только в исключительных случаях, когда невозможно исключить из рациона питания загрязненное молоко, допустима профилактика стабильным йодом в течение нескольких дней.

Взрослые репродуктивного возраста (моложе 45 лет). Риск радиационных тяжелых поражений щитовидной железы (гипотиреоз, рак) у этой категории населения незначителен. Стабильный йод этой группе населения может быть дан, если принято решение о вмешательстве.

Повторные назначения таблеток стабильного йода для защиты от перорального поступления радиоактивного йода этой группе не показаны, поскольку увеличивается риск негативных побочных эффектов. Целесообразно полностью исключить из потребления молоко на период возможного загрязнения. При продолжающейся ингаляции применяются другие меры защиты.

Взрослые (старше 45 лет). Риск радиационно-индуцированного рака для этой категории населения мал. Риск последствий блокады щитовидной железы от проведения йодной профилактики увеличивается с возрастом, так как растет частота возрастной заболеваемости щитовидной железы [47]. Для этой группы населения йодная профилактика показана только при угрозе поступления очень высоких уровней радиоактивного йода, способных индуцировать острый гипотиреоз (~ 2,5 Гр). Авария на Чернобыльской АЭС показала, что облучение щитовидной железы в таких дозах маловероятно, и такие радиационные дозы не могут встречаться далеко от места аварии.

7.3. Обоснование оптимальных профилактических дозировок йодида калия для разных групп населения

Полнота и длительность блокады функции щитовидной железы зависят от дозировки препаратов стабильного йода, а необходимая для блокады дозировка препарата, в свою очередь, определяется размером и функциональной активностью щитовидной железы: чем меньше масса, тем меньшая требуется дозировка КИ, чем выше функциональная активность, тем большая дозировка КИ необходима для блокады.

В настоящее время на основании экспериментальных данных и исследований на человеке (добровольцах) [1] в нашей стране установлена разовая дозировка КИ для блокады щитовидной железы взрослого человека, равная 125 мг или 100 мг по содержанию йода¹. Тогда пропорционально массе щитовидной железы дозировка КИ составит для новорожденных 15,6 мг; для детей 1-3 лет – 21,8 мг; для детей 3-7 лет – 31,3 мг; для детей 7-12 лет – 78,1 мг; для детей старшего возраста и подростков – 112,5 мг. В таблице 7 приведены значения массы щитовидной железы в зависимости от возраста и соответствующие дозировки КИ для ее блокады. Для практического использования в таблице 8 приведены рекомендуемые дозировки препарата КИ в соответствии с возрастными группами.

Таблица 7 – Масса щитовидной железы в зависимости от возраста [50] и соответствующая дозировка КИ для ее блокады [1]

Возраст	Масса щитовидной железы, г		Дозировки КИ, мг
	Мужчины	Женщины	
Плод перед рождением	1,5-2,0		12,5
Новорожденный ребенок	1,5-2,5	1,5-2,0	15,6
1 год	1,8±0,3	2,1±0,6	13,1
3 года	2,6±0,9	2,5±0,6	21,9
7 лет	4,6±1,5	4,9±0,5	37,5
10 лет	10,2±2,5	11,2±0,5	78,5
12 лет	14,0±3,0	14,4±4,7	120
Взрослые (до 45 лет)	20,0±6,7	18,0±6,3	125
Взрослые (46-54 лет)	18,5±6,7	15,8±6,1	125
Взрослые (55-70 лет)	14,3±6,2	15,5±7,4	125

¹ ВОЗ и ряд других стран приняли дозировку КИ 130 мг.

7.4. Основание для назначения стабильного йода

Профилактика с помощью стабильного йода является одной из мер индивидуальной защиты населения в случае радиационной аварии на ядерных реакторах.

Критерием для принятия решения о начале йодной профилактики является ожидаемая доза в щитовидной железе от ингаляционного поступления радиоизотопов йода: 50 мГр для детей, 250 мГр для взрослых до 45 лет и 2500 мГр для лиц старше 45 лет (кроме случаев превентивной йодной профилактики см. п. 4.2).

В зоне превентивных мер (5-10 км) йодная профилактика начинается сразу при возникновении угрозы аварии, без установления величины ожидаемых доз облучения щитовидной железы. За пределами зоны превентивных мер йодная профилактика проводится с учетом оперативных данных об источнике аварийного выброса и о радиационной обстановке, прогнозе аварии.

При риске поступления радиоактивного йода с продуктами питания (молоком) необходимо введение ограничительных мер на потребление сельскохозяйственной продукции с проведением соответствующих мероприятий санитарно-эпидемиологического контроля.

7.5. Допустимая длительность проведения йодной профилактики

Для защиты щитовидной железы человека от радиоактивного йода, поступающего ингаляционным путем, достаточно однократного приема таблеток йодида калия, поскольку это дает адекватную защиту в течение суток (24 часа).

В случае продолжающихся выбросов активности из аварийного реактора допускается повторное в течение нескольких дней применение стабильного йода дифференцированно для разных групп населения и не ранее 24 часов после первого приема препарата (табл. 8).

В настоящее время нет клинических данных о последствиях длительной блокады щитовидной железы у беременных женщин, детей и лиц старшего возраста. Имеющиеся данные о йодной профилактике в Польше в связи с аварией на Чернобыльской АЭС [49] выявили, что однократный приём йодсодержащего препарата в дозировке 30 мг только у небольшого числа новорожденных (0,37%) вызвал временные изменения в гормональном статусе щитовидной железы.

Таблица 8 – Допустимая продолжительность приема таблеток стабильного йода с целью профилактики накопления радиоактивного йода в щитовидной железе

Группы населения, возраст	Рассматриваемый путь поступления радиоактивного йода	Продолжительность приема
Дети до 1 года (новорожденные и грудного вскармливания)	Ингаляционный, пероральный	Однократно
Дети от 1 года до 3 лет	Ингаляционный, пероральный	Допускается повторный прием (через 24 часа)
Дети 3-12 лет	Ингаляционный	Допускается повторный и многократный прием (1 раз в сутки в течение 5 дней)
Подростки 13-18 лет	Ингаляционный	Допускается повторный и многократный прием (1 раз в сутки в течение 5 дней)
Взрослые (до 45 лет)	Ингаляционный	Допускается повторный и многократный прием (1 раз в сутки в течение 5 дней)
Взрослые (старше 45 лет)	Ингаляционный	Допускается повторный прием (через 24 часа)
Беременные	Ингаляционный	Однократно
Кормящие	Ингаляционный	Однократно

Примечание: При обязательном исключении потребления продуктов содержащих радиоактивные вещества выше допустимых уровней предусмотренных НРБ-99.

Риск серьезных побочных эффектов для детей от однократного приема 30 мг стабильного йода по данным [8] оценивается 1 случай на 10 млн. детей, что на два порядка ниже вероятности индукции радиологического риска щитовидной железы при поглощенной дозе 50 мГр [41].

Несмотря на относительно небольшие побочные явления от блокирующих дозировок защитного препарата, стабильный йод следует принимать только *при реальной угрозе радиационного воздействия с вероятным выбросом радиоактивных изотопов йода и только по решению компетентных органов.*

7.6. Таблетки йодида калия:

форма, дозировки, условия хранения, противопоказания

В настоящее время для целей йодной профилактики применяются стабилизированные таблетки йодистого калия в дозировках 125 мг для взрослых и 40 мг для детей [2]. Учитывая возможность существующего в стране производства таблеток йодида калия и принимая во внимание обоснованные величины оптимальных дозировок для защиты щитовидной железы у разных групп населения, практически может быть приемлемым использование существующих форм таблеток в следующих дозировках (табл. 9).

Таблица 9 – Оптимальные дозировки йодида калия для защиты щитовидной железы от накопления радиоактивного йода и возможное использование существующих форм таблеток KI для взрослых и детей

Группа населения, возраст	Рекомендуемые дозировки KI, мг	Существующие таблетки KI	
		для взрослых 125 мг	для детей 40 мг
Новорожденные	16	(1/8)	1/2
Дети от 1 месяца до 3 лет	32	(1/4)	1
Дети 3-12 лет	64	1/2	-
Подростки	125	1	-
Беременные	125	1	-
Кормящие женщины	125	1	-
Взрослые	125	1	-

В настоящее время калия йодид выпускается в таблетках без риски. Учитывая отсутствие риски на выпускаемых таблетках йодида калия и, следовательно, сложности при их делении, допустимо использование деления на половину таблетки для взрослого (125 мг) и для детей (40 мг).

Условия и сроки хранения. Таблетки необходимо хранить в защищенном от воздействия тепла, света и влаги месте в герметичной упаковке. Таблетки, герметично упакованные, при соблюдении правил хранения полностью сохраняют содержание йода в течение 4 лет.

Необходимый запас и места хранения, доступность. Для осуществления своевременной защиты населения от радиоактивных изотопов йода запас йодида калия должен создаваться во всех лечебных учреждениях, детских дошкольных учреждениях, школах, интернатах, больницах, родильных домах, аптеках, а также, в тех местах, где они могут быть оперативно применены (пожарных частях, складах гражданской обороны), в соответствии с рекомендуемыми дозировками и допустимой продолжительностью приема таблеток KI для разных групп населения на территориях по возможности больших, чем зона противоаварийного планирования.

Для профессиональных работников и персонала предприятий ЯТЦ препараты стабильного йода (KI) находятся на рабочем месте постоянного пребывания или в аптечках, в защитных сооружениях.

7.7. Побочное действие препаратов стабильного йода

При применении больших доз йодида калия помимо негативных эффектов, связанных с блокадой функции щитовидной железы, возможно побочное действие йодида калия токсического характера. Выделяются два типа реакций: *интритиреоидные эффекты*, проявляющиеся в самой щитовидной железе (йод-индуцированный гипотиреоз, йод-индуцированный тиреотоксикоз, йод-индуцированный зоб), и *экстратиреоидные эффекты*, проявляющиеся реакциями со стороны желудочно-кишечного тракта (рвота, боли в области желудка, диарея), кожных покровов (сыпь), аллергических реакций, головная боль, одышка и др. Проявления этих реакций наиболее вероятно в регионах йодного дефицита [46].

В результате проведенной в Польше йодной профилактики в связи с аварией а Чернобыльской АЭС у 4% детей и взрослых были отмечены побочные эффекты со стороны желудочно-кишечного тракта (рвота, боли в желудке, диарея), кожных покровов (сыпь), головная боль, одышка. Побочные эффекты, как правило, не требовали медицинской помощи. Среди имевших место осложнений лишь в одном из пяти случаев зарегистрировано обращение за консультацией к врачу. Госпитализация по поводу обострения бронхолегочной обструкции потребовалась только двоим из пяти тысяч опрошенных (0,04%) [49].

Нет сомнений в том, что преимущества профилактики радиационного поражения щитовидной железы путем назначения фармакологических доз калия йодида многократно превышают риск его побочных действий. Тем не менее требуется мониторинг лечения, особенно у детей до 3-х лет, путем контроля ТТГ и Т4, а также назначения гормональной терапии в случае развития гипотиреоза.

Для населения в целом (взрослые и дети) частота негативных реакций от однократного приема йодида калия в дозировках для взрослых 65 мг, для детей 32 мг (по данным проведения йодной профилактики в Польше) оценивается величиной 4,5%.

После приема стабильного йода кормящей женщиной, в целях избежания передозировки у ребенка (ребенок самостоятельно получает йодид калия) и риска негативных побочных эффектов целесообразно прервать кормление грудью на 36 часов.

7.8. Альтернативные препараты йода

В чрезвычайных ситуациях, в случаях отсутствия таблеток йодида калия, в качестве вынужденной меры можно использовать другие препараты, содержащие йод, такие как спиртовая настойка йода и раствор Люголя. Применение этих альтернативных препаратов проводится исключительно медицинским персоналом.

Применение для йодной профилактики раствора Люголя и, особенно, спиртовой настойки йода должно рассматриваться как исключительная, а не равноценная таблеткам KI мера, в связи с более высокой токсичностью атомарного йода, входящего в состав настойки йода и раствора Люголя, по сравнению с таблетированной формой йодида калия. Необходима четкая и точная дозировка указанных растворов (табл. 10). Растворы йода доступны для приобретения, они относительно стабильны, из них легко приготовить необходимые растворы, однако они имеют неприятный запах и вкус.

Таблица 10 – Дозы альтернативных препаратов, содержащих йод, для перорального приема

Форма препарата	Возрастная группа		
	Взрослые, включая беременных и кормящих женщин, и подростки (старше 12 лет)	Дети 0-12 лет	Пожилые и старые (старше 45 лет)
5% спиртовая настойка йода	1 мл или ~44 капли в 1/2 стакане молока или воды	Не рекомендуется	Не рекомендуется
Раствор Люголя	1 мл или ~22 капли в 1/2 стакане молока или воды	Не рекомендуется	Не рекомендуется

Спиртовой раствор йода: 5% раствор йода, продаваемый в аптеках, содержит 5 г йода в 100 мл раствора (95° спирт + вода поровну)². 100 мг йода содержится в 2 мл раствора. 1 мл 5% раствора йода примерно равен объему 48-и капель. Следовательно, для получения 100 мг йода взрослому человеку необходимо принять около 96 капель раствора. Принимая во внимание более быстрое и полное всасывание атомарного йода при пероральном поступлении в организм, чем связанного йода (в виде таблетки KI), защитный эффект его выше и наступает быстрее, чем после поступления йода в таблетированной форме [1]. Поэтому, для защиты щитовидной железы достаточно меньшей дозировки йода в виде раствора по сравнению с таблетированной формой. Взрослому человеку для 70-80% защиты достаточно принять 1 мл или 44 капли 5% спиртовой настойки йода. Спиртовой раствор йода – 5% спиртовая настойка – рекомендуется для применения взрослым и подросткам старше 12 лет.

Раствор Люголя (крепкий): 5% водный раствор йода – 100 мг йода содержится в 2 мл раствора. 1 мл раствора примерно равен объему 22 капель. Для получения 100 мг йода необходимо принять 44 капли раствора Люголя. Для 70-80% защиты щитовидной железы

² Во Франции для целей йодной профилактики рекомендуется 1% раствор йода: для взрослых по 80 капель (или 2 чайные ложки - 10 мл); для детей от 18 месяцев до 12 лет – по 40 капель (1 чайная ложка); для детей до 18 месяцев – по 20 капель [51].

взрослому человеку достаточно принять 1 мл или 22 капли. Раствор Люголя рекомендуется для применения взрослым и подросткам старше 12 лет.

Спиртовой раствор йода и водный раствор Люголя принимают внутрь после еды в 1/2 или 1/4 стакана молока или воды.

Учитывая высокую чувствительность детского организма, для детей до 12 лет применение растворов Люголя и спиртовой настойки йода для приема внутрь не рекомендуется. Эти препараты не рекомендуются для приема внутрь и лицам пожилого и старшего возраста (старше 45 лет) в связи с высоким риском возрастных изменений в органах пищеварения, в сердце и в щитовидной железе.

7.9. Основные выводы

Йодная профилактика направлена на защиту щитовидной железы от негативного воздействия радиоактивных изотопов йода – предотвращения детерминированных эффектов и снижения стохастических эффектов.

Наиболее уязвимой группой по последствиям облучения щитовидной железы являются плод, новорожденные и дети до трех лет.

Основным средством профилактики является стабильный йод в виде таблеток йодида калия. Дозировки назначаются в зависимости от возраста.

Возможны неблагоприятные последствия от передозировок защитного препарата, связанные с блокадой щитовидной железы при длительном его приеме и последствия токсического характера от приема больших доз йодида калия.

При угрозе ингаляционного поступления радиоактивных изотопов йода эффективен однократный прием йодида калия (защита в течении 1 суток). При угрозе повторного ингаляционного поступления радиоактивного йода допустим повторный прием защитного препарата детям и подросткам. Для остальных групп населения рекомендуются другие меры защиты.

Для защиты щитовидной железы при угрозе перорального поступления целесообразны другие меры защиты (укрытие, эвакуация, контроль пищевых продуктов).

Применение больших доз йодида калия может вызывать токсические и аллергические проявления со стороны желудочно-кишечного тракта, кожных покровов. Появление подобных реакций наиболее вероятно в регионах йодного дефицита.

В чрезвычайных ситуациях, при отсутствии таблеток йодида калия, допускается использование других йодсодержащих препаратов – 5% спиртовой настойки йода и раствора Люголя.

8. ПЛАНИРОВАНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЙОДНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ

Основной целью планирования и эффективного проведения йодной профилактики является обеспечение доступности (в кратчайшие сроки) препаратами стабильного йода для всех групп и, особенно, детского населения.

Планирование йодной профилактики должно осуществляться в рамках общей системы защитных мер, которые в соответствии с действующими нормативными требованиями закрепляются в планах мероприятий по защите населения в случае радиационной аварии. План защиты населения разрабатывается постоянно действующими органами управления единой системы регионального уровня - главными управлениями МЧС России по субъекту Российской Федерации, подведомственная территория (или часть подведомственной территории) которых попадает в зону планирования защитных мероприятий. Размеры зоны устанавливаются в зависимости от мощности ядерного реактора. Так, для ядерных реакторов, мощностью выше 1000 МВт(эл), расстояние до внешней границы зоны составляет, как правило, 100 км.

В планах защиты населения необходимо учитывать конкретные особенности инфраструктуры территории и местные условия для обеспечения раздачи препаратов стабильного йода. В первую очередь, необходимо планировать создание запасов в лечебных учреждениях (для персонала и больных), детских дошкольных учреждениях, школах, воинских частях и гарнизонах, исправительно-трудовых учреждениях и других местах, в которых человек не в полной мере способен принимать индивидуальные решения и действия.

Способы организации раздачи препаратов стабильного йода могут быть различны. Важно, что бы они были закреплены в противоаварийном плане каждого населенного пункта, находящегося на территории зоны планирования защитных мероприятий. Это может быть постоянное хранение дома и получение через аптечную сеть, раздача специальными бригадами (группами). Разрабатываемые схемы раздачи должны отрабатываться путем проведения на регулярной основе практических занятий и тренировок.

При планировании создания запасов и резервов препаратов стабильного йода необходимо отдавать главное преимущество таблетированным формам, дифференцированным для взрослого населения и детей. Должно быть осуществлено количественное обоснование необходимых запасов (с учетом постоянного обновления), требуемого объема финансирования всей технологической цепи от производства препаратов до аптеки и склада, а также решен механизм выделения денежных средств.

В случае масштабной радиационной аварии, в первую очередь, потребность в проведении йодной профилактики возникает в отношении населения, проживающего в городах (поселках) предприятий атомной энергетики и промышленности, а также сельских населенных пунктах, расположенных в, так называемых, зонах наблюдения этих объектов.

Решение о начале йодной профилактики населения принимается в соответствии с порядком, установленным в противоаварийных планах, согласно регламентам оповещения и объявления чрезвычайной (аварийной) ситуации. В случае возникновения аварии, имеющей высокую вероятность выброса радиоактивного йода, необходимо проводить превентивную (до начала выброса) йодную профилактику населения.

Эффективность проведения йодной профилактики определяется своевременным оповещением населения. Население, в отношении которого предусматривается проведение защитных мероприятий, должно быть незамедлительно проинформировано. При этом характер информации должен быть заблаговременно отработан с тем, что бы избежать состояния стресса и паники и одновременно дать необходимые конкретные инструкции по действиям, в том числе по профилактическому применению препаратов стабильного йода. Информирование населения должно осуществляться с привлечением соответствующих специалистов – медицинских работников, психологов, журналистов и др.

В соответствии с МУ 2.6.1.2396-08 «Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии» [52] устанавливаются значения параметров радиационной обстановки, свидетельствующие о возникновении аварийной ситуации и являющиеся критериями для принятия решений о введении защитных мер и ограничении жизнедеятельности населения на начальном периоде радиационной аварии.

9. ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ ПО КОНТРОЛЬНЫМ УРОВНЯМ ВМЕШАТЕЛЬСТВА, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОЗИРОВКАМ И ДОПУСТИМОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМА ЙОДИДА КАЛИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Несмотря на сложные защитные системы на современных ядерных реакторах, сохраняется опасность аварийной ситуации, при которой может произойти выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду, в том числе и радиоактивных изотопов йода. Среди радиоактивных материалов, поступающих во внешнюю среду во время аварии, особую опасность представляют радиоактивные изотопы йода ($^{131-135}\text{I}$), поступающие в организм человека на начальном этапе ингаляционно, а затем и перорально с продуктами питания и молоком.

Йодная профилактика направлена на предотвращение детерминированных эффектов (острый тиреоидит, гипотиреоз), обусловленных возможными высокими дозами облучения щитовидной железы радиоактивными изотопами йода, и уменьшение риска стохастических эффектов, наиболее тяжелым из которых является рак щитовидной железы, вследствие воздействия излучения.

Основными принципами йодной профилактики являются следующие:

- основным профилактическим средством являются таблетки йодида калия (KI);
- йодная профилактика направлена на защиту щитовидной железы от накопления радиоактивных изотопов йода ($^{131-135}\text{I}$), на начальной фазе аварии поступающих ингаляционным путем. При угрозе поступления радиоактивных изотопов йода с продуктами питания (молоком) в качестве предпочтительных рекомендуются другие меры защиты (эвакуация, контроль продуктов питания) и мероприятия, ограничивающие потребление загрязненных продуктов;
- йодная профилактика назначается детям, подросткам и беременным женщинам при ингаляционном поступлении радиоактивных изотопов йода и прогнозируемых дозах на щитовидную железу 50 мГр, взрослым – 250 мГр;
- для взрослых старше 45 лет йодную профилактику рекомендуется проводить только в том случае, если доза на щитовидную железу, вследствие ингаляционного поступления, превышает уровни доз, угрожающие ее нормальной деятельности (2,5 Гр). Это обусловлено тем, что риск рака щитовидной железы, вызванный ее облучением, относительно мал для этой возрастной группы, в то время как риск побочных явлений от приема йодистого калия с возрастом растет;
- для защиты щитовидной железы прием йодида калия ограничивается, как правило, однократным приемом таблеток KI. При продолжающейся угрозе поступления радиоизотопов йода допускается повторный и многократный прием таблеток KI отдельным группам населения (дети 3-12 лет) и подростки (13-18 лет);
- в зоне превентивных мер (5-10 км) йодную профилактику рекомендуется начинать немедленно при угрозе ингаляционного поступления радиоизотопов йода, без установления возможных доз облучения.

Список использованных источников

1. Радиоактивный йод в проблеме радиационной безопасности. Под ред. проф. Л.А. Ильина. М.: Атомиздат, 1972. – 270 с.
2. Инструкция по проведению йодной профилактики в случае аварии ядерного реактора. Л.А. Ильин, Г.В. Архангельская, И.А. Лихтарев. Утверждена МЗ СССР 27 декабря 1967 г.
3. Израэль Ю.А. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
4. Buzulukov Yu.P., Dobrynin Yu.L. Release of radionuclides during the Chernobyl accident. Chernobyl papers, v.1. Doses to the Soviet population and early health effects studies. Washington. RGPS, 1993. P 3-22.
5. International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. ICRP Publication 56, Part 1. Annals of the ICRP 20(2). Pergamon Press, Oxford, 1989.
6. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите. 1990, (МКРЗ). Публ. 60, ч. 2. М.; Энергоиздат, 1994.
7. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1996.
8. Руководство по йодной профилактике после ядерных аварий. Пересмотрены в 1999 г. Перевод ГНЦ-ИБФ, 17 с. (Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents. Update 1999. World Health Organization. Vienna, 1999).
9. Инструкция по применению йодида калия. М., Минздрав СССР, 1987.
10. Рекомендации по применению препаратов стабильного йода население для защиты щитовидной железы и организма от радиоактивных изотопов йода. Утверждены Минздравом РФ в 1993 г.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
12. Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека. Под ред. акад. АМН СССР Л.А. Ильина. М., Энергоиздат, 1988, 48 с.
13. Хрущ В.Т., Гаврилин Ю.И., Константинов Ю.О. и др. Характеристики ингаляционного поступления радионуклидов. В кн. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской атомной станции. Киев, 1988, С. 76-87.
14. Much K., Prohl Y., Likhtarev I., Kovgen L., Golikov V., Zeger I. Reconstruction of the inhalation dose in the 30-km zone after the Chernobyl accident. Health Phys., 2002, v. 82, N 2. – P. 157-172.
15. Johnson, J.R. and Myers, D.K. Is ^{131}I less efficient than external radiation at producing thyroid cancers? In: Biological Effects of Low-level Radiation, IAEA-SM-266, IAEA, Vienna, pp 289-301 (1983).
16. Маленченко А.Ф. О некоторых эпидемиологических факторах генеза радиационной патологии щитовидной железы. Здоровоохранение Белоруссии, 1992, № 2. – С. 47.
17. International Commission on Radiological Protection. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. Annals ICRP. Oxford: Pergamon Press; Publication 88 (2002).
18. Королев Г.К. Обмен ^{131}I в организме в зависимости от пути поступления и токсическое действие при попадании в органы дыхания. В сб.: Распределение, кинетика обмена и биологическое действие радиоактивных изотопов йода. М.: Медицина, 1970. – С. 36-44.

19. Василенко И.Я. Радиационная опасность радиоизотопов йода. Атомная энергия, 1987, т. 63., вып. 4. – С. 244-248.
20. Лягинская А.М., Осипов В.А. Короткоживущие изотопы йода (131-135) в условиях радиационной аварии: особенности формирования и распределения поглощённых доз в щитовидной железе, биологические эффекты. Мед. радиология и радиационная безопасность. 2005. т.50, №2. С. 18-26.
21. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radionuclide exposure of the embryo/fetus. Bethesda: NCRP; Report No. 128 (1998).
22. International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. ICRP Publication 56, Part 1. Annals of the ICRP 20(2). Pergamon Press, Oxford, 1989.
23. International Commission on Radiological Protection. Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother. ICRP Publication 88. Annals of the ICRP 31(1-3). Pergamon Press, Oxford, 2001.
24. International Commission on Radiological Protection. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. Annals ICRP. Oxford: Pergamon Press; Publication 89 (2003).
25. International Commission on Radiological Protection. Doses to Infants from Ingestion of Radionuclides in Mother's Milk. ICRP Publication 95. Annals of the ICRP 34(3-4). Pergamon Press, Oxford, 2004.
26. Овчаренко Е.П. Поступление радионуклидов к потомству с молоком матери. Медицинская радиология, 1982, № 1. – С. 71-78.
27. Simon SL, Luckyanov N, Bouville A, VanMiddlesworth L, Weinstock RM. Transfer of 131I into human breast milk and transfer coefficients for radiological dose assessments. Health Phys 82(6): 796-806; 2002.
28. Василенко И.Я. Радиоактивный йод в продуктах питания. Вопросы питания, 1987, № 6. – С. 3-8.
29. Zvonova, I.A. Dietary intake of stable I and some aspects of radioiodine dosimetry. Health Phys. 57(3): 471-475 (1989).
30. Демидчик Е.П., Цыб А.Ф., Лушников Е.Ф. Рак щитовидной железы у детей. М.: Медицина, 1996. – С. 33-41.
31. Щитовидная железа у детей: последствия Чернобыля. Под ред. Л.Н. Астаховой. Минск, 1996. – 216 с.
32. Tronko N. et al. Thyroid cancer in children and adolescents in Ukraine after the Chernobyl accident (1986-1995). In: Karaoglou A. et al. The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proceedings of the first international conference. Minsk, Belarus, 18-22 March 1996. Brussels/Luxembourg, ECSC-EC-EAEC, 1996. – P. 683-690.
33. Tsyb A.F. et al. Thyroid cancer in children and adolescents of Bryansk and Kaluga regions. In: Karaoglou A. et al. The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proceedings of the first international conference. Minsk, Belarus, 18-22 March 1996. Brussels/Luxembourg, ECSC-EC-EAEC, 1996. – P. 691-697.
34. Likhtarev I.A. et al. Thyroid cancer in Ukraine. Nature, 1995, 375. – P. 365.
35. Williams E.D., Tronko N.D. Molecular cellular biological characterization of childhood thyroid cancer. Brussels: European Commission, 1996.
36. Furmanchuc A.W., Avercin J.I., Egloff B., Ruchti C., Abelin T., Schappi W., Korotkevich E.A. Pathomorphological findings in the Republic of Belarus: a study of 86 cases occurring between 1986 («post Chernobyl») and 1991. Histopathology, 1992, 21. – P. 401-408.
37. Лягинская А.М., Василенко И.Я. Актуальные проблемы сочетанного действия на щитовидную железу радиации и эндемии. Медицинская радиология, 1966, т. 41, № 60. – С. 57-63.

38. Cardis E. et al. Risk of thyroid cancer after exposure to ^{131}I in Chernobyl. J. of the National Cancer Institute, 2005, N 10. – P. 724-732.
39. Parker L., Belsky J.L., Yamamoto T. et al. Thyroid carcinoma after exposure to atomic radiation. Ann. Intern. Med. 1974, V. 80, P. 600-604.
40. Iacob P. et al. Thyroid cancer risk to children calculated. Nature, 1998, 392. – P. 31-32.
41. Ron E. et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. Radiation research, 1995, 141. – P. 259-277.
42. National Council on Radiation Protection and Measurements. Induction of thyroid cancer by ionizing radiation. Bethesda, NCRP publication, 1985 (NCRP Report N 80).
43. Jacob, P., T.I. Bogdanova, E. Buglova et al. Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. Radiat. Res. 165(1): 1-8 (2006).
44. Ivanov, V.K., A.I. Gorski, A.F. Tsyb et al. Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence among children and adolescents in the Bryansk oblast of Russia after the Chernobyl accident (1991-2001 follow-up period). Radiat. Environ. Biophys. 45(1): 9-16 (2006).
45. Likhtarov, I., L. Kovgan, S. Vavilov et al. Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 2: risk analysis. Radiat. Res. 166(2): 375-386 (2006).
46. Дедов И.И., Дедов В.И. Чернобыль: радиоактивный йод – щитовидная железа. М., 1996. – 235 с.
47. Станбури Д.Б., Эрманс А.Е., Бурдокс Р. и др. Индуцированный йодом гипертиреоз: распространенность и эпидемиология. Мат. Симпозиума по индуцированному йодом гипертиреозу. США, Бруклин, Массачусетс. Март 1996. – 300 с.
48. Организация санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях. Руководство. Под ред. Л.А. Ильина. М.: ВЦМК «Защита». 2000. - 242 с.
49. Piotrzak-Fils Z., Krajewski P., Radwan I., Muramatsu Y. Retrospective evaluation of ^{131}I deposition density and thyroid dose in Poland after the Chernobyl accident/ Health Phys., 2003, v. 84, N 6. – P. 698-708.
50. Человек. Медико-биологические данные. Доклад рабочей группы Комитета II МКРЗ по условному человеку. М.: Медицина, 1977. – С. 198-202.
51. Французский подход к распределению таблеток йода вблизи атомных электростанций. Б-ка ГНЦ-ИБФ. Отдел научно-технической информации. Перевод № 265, 2004.
52. Методические указания 2.6.1.2396-08 «Мониторинг радиоактивного йода в случае масштабной радиационной аварии». М.: 2008; Радиационная гигиена, Т.2 №3, 2008. С.67-86