

17 РЕЗЮМЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей монографии, посвященной медицинским критериям окружающей среды (МКОС), рассматриваются возможное влияние на здоровье воздействия электрического и магнитного полей сверхнизкой частоты (СНЧ). В монографии рассматриваются физические характеристики полей СНЧ, а также источники излучения и измерения. Однако главная цель состоит в обзоре научной литературы, касающейся биологических эффектов воздействия полей СНЧ для того, чтобы оценить риск для здоровья, возникающий в связи с воздействием этого поля, и использовать эту оценку риска для здоровья для составления рекомендаций, предназначенных для национальных органов, занимающихся программами защиты здоровья.

Рассматриваемые частоты находятся в диапазоне от 0 Гц до 100 кГц. Значительное большинство исследований проводилось в отношении магнитных полей промышленной частоты (50 или 60 Гц) и лишь немногие исследования касались электрических полей промышленной частоты. Кроме того, было проведено несколько исследований, касающихся полей очень низких частот (ОНЧ, 3–30 кГц), магнитных полей переменного градиента, применяющихся в магнитно-резонансной томографии, и более слабых полей ОНЧ, создаваемых видеодисплейными терминалами и телевизорами.

В данной главе обобщаются основные выводы и рекомендации по каждому разделу, а также общие выводы в отношении процесса оценки риска для здоровья. В монографии для выражения убедительности данных по отношению к определенному медицинскому результату используются следующие термины. Данные именуется «ограниченными», когда они являются результатом лишь одного исследования или когда имеются нерешенные вопросы, касающиеся постановки, проведения или интерпретации ряда исследований. Термин «неадекватные» данные используется в тех случаях, когда исследования нельзя истолковать таким образом, чтобы показать наличие либо отсутствие какого-либо эффекта вследствие существенных качественных или количественных ограничений или в тех случаях, когда данные отсутствуют.

Были также выявлены основные пробелы в информации и исследования, которые необходимо провести для ликвидации этих пробелов, они были обобщены в разделе, озаглавленном «Рекомендации в отношении научных исследований».

17.1 Резюме

17.1.1 Источники, измерения и воздействия на организм человека

Электрические и магнитные поля существуют повсюду, где генерируется, транспортируется или распределяется электроэнергия по

линиям или кабелям электропередачи или используется в электрических приборах. Поскольку использование электричества является неотъемлемой частью нашего современного образа жизни, эти поля повсеместно существуют в нашем окружении.

Напряженность электрического поля измеряется в вольтах на метр (В/м) или в киловольтах на метр (кВ/м), а в отношении магнитных полей индукция изменяется в теслах (Тл) или чаще в миллитеслах (мТл) или в микротеслах (мкТл).

Воздействие магнитных полей промышленной частоты в местах проживания людей в различных странах мира отличается незначительно. Среднее геометрическое значение интенсивности магнитного поля в домашних условиях колеблется от 0,025 и 0,07 мкТл в Европе и 0,055 и 0,11 мкТл в США. Среднее значение напряженности электрического поля в домашних условиях находится в пределах нескольких десятков вольт на метр. В непосредственной близости от некоторых приборов мгновенные значения магнитной индукции могут составлять несколько сотен микротесла. Вблизи линий электропередачи магнитные поля достигают приблизительно 20 мкТл, а напряженность электрических полей может составлять несколько тысяч вольт на метр.

Лишь незначительное количество детей подвержены воздействию магнитных полей частотой 50 или 60 Гц в домашних условиях, с уровнями, усредненными по времени воздействия, превышающими уровни, которые обуславливают повышенную заболеваемость детей лейкемией (см. Раздел 17.1.10). Приблизительно 1%-4% подвергаются воздействию магнитной индукции, превышающей 0,3 мкТл и лишь 1%-2% подвергаются усредненному воздействию, превышающему 0,4 мкТл.

Производственное воздействие, хотя и обусловленное, главным образом, полями промышленной частоты, может также включать в себя воздействие других частот. Средняя экспозиция к магнитному полю на рабочем месте оказалась выше у работников «электрических профессий», нежели у лиц с другими занятиями, такими как работа в офисе, и составляла от 0,4–0,6 мкТл для электриков и электроинженеров до приблизительно 1,0 мкТл для рабочих, обслуживающих линии электропередачи, при наиболее высоких уровнях воздействия для таких профессий, как сварщики, водители электровозов и операторы швейных машин (свыше 3 мкТл). Максимальная интенсивность магнитного поля на рабочем месте может достигать приблизительно 10 мТл, и это неизменно связано с высокими значениями пропускаемого в проводах электротока. В секторе электроснабжения работающие могут подвергаться воздействию электрических полей, значение которых составляет до 30 кВ/м.

17.1.2 Электрические и магнитные поля в организме

При воздействии внешних электрических и магнитных полей сверхнизких частот в организме наводятся электрические поля и токи. При помощи измерений выявлена взаимосвязь между внешними полями и наведенным электрическим полем и плотностью тока в организме или другими параметрами, обусловленными воздействием этих полей. Локально индуцированное электрическое поле и плотность тока представляют особый интерес, поскольку они могут стимулировать возбудимые ткани, такие как нервные и мышечные волокна.

Организм человека и животных в значительной степени видоизменяет пространственное распределение электрического поля СНЧ. На низких частотах тело является хорошим проводником, и искаженные линии поля вне организма практически перпендикулярны поверхности тела. На поверхности подвергающегося воздействию организма возникают колеблющиеся заряды, которые индуцируют токи внутри организма. Основные результаты дозиметрии, касающиеся воздействия электрических полей СНЧ на организм человека, выглядят следующим образом:

- Электрическое поле, имеющееся внутри организма, обычно обладает напряженностью на пять или шесть порядков меньшей, чем внешнее электрическое поле.
- При действии на организм поля преимущественно вертикальной направленности, преобладающая направленность наведенных полей также вертикальна.
- При данном внешнем электрическом поле наиболее сильные поля наводятся в теле человека, ноги которого плотно контактируют с землей (электрически заземлены), и наиболее слабые поля наводятся в теле, изолированном от земли (в “свободном пространстве”).
- Общий ток, протекающий в теле, находящемся в тесном контакте с землей, определяется преимущественно габаритами и формой тела (включая позу), а не проводимостью тканей.
- Распределение наведенных токов по различным органам и тканям определяется проводимостью этих тканей.
- Распределение наведенного электрического поля также обусловлено проводимостью, однако в меньшей степени, нежели наведенный ток.
- Имеет место также явление, состоящее в том, что в теле возникает ток при наличии контакта с проводящим предметом, находящимся в электрическом поле.

Что касается магнитных полей, то для них проницаемость тканей та же, что и проницаемость воздуха, поэтому магнитное поле в тканях такое же, как и внешнее поле. Организмы человека и животных не вносят существенного возмущения в поле. Основным результатом воздействия магнитных полей является индукция электрических полей, открытая Фарадеем и обусловленная плотностью тока в проводящих тканях. Основные результаты измерения воздействия магнитных полей СНЧ на организм человека состоят в следующем:

- Наведенное электрическое поле и ток зависят от ориентации внешнего поля. Наведенные поля в организме в целом достигают наибольшего значения в тех случаях, когда линии поля идут в направлении от фронтальной к задней части тела, однако в отношении отдельных органов наивысшие значения достигаются в тех случаях, когда линии поля имеют боковую направленность (от края до края).
- Наиболее слабые электрические поля индуцируются магнитным полем, ориентированным вдоль вертикальной оси тела.
- При определенной напряженности и ориентации магнитного поля более сильные электрические поля наводятся в более массивном теле.
- Распределение наведенного электрического поля обусловлено проводимостью различных органов и тканей. Они оказывают ограниченное влияние на распределение плотности наведенного тока.

17.1.3 Биофизические механизмы

Различные предлагаемые механизмы прямого и косвенного взаимодействия электрических и магнитных полей СНЧ изучаются на предмет обоснованности, в частности, в какой степени “сигнал”, индуцированный в биологическом процессе в результате воздействия какого-либо поля, может быть выделен из флуктуационного шума, и противоречит ли этот механизм научным принципам и нынешним научным знаниям. Действие многих механизмов становится очевидным лишь при значениях поля, превышающих определенный уровень. Тем не менее, отсутствие выявленных очевидных механизмов не исключает возможности воздействия на здоровье даже при весьма низких уровнях поля при условии того, что это не противоречит основным научным принципам.

Из многочисленных предлагаемых механизмов прямого взаимодействия полей с организмом человека выделяются три механизма в качестве вероятно действующих при более низких интенсивностях поля, нежели другие: индуцированные электрические поля в нейронных сетях радикальные пары и магнетиты.

Электрические поля, наведенные в тканях электрическими или магнитными полями СНЧ, непосредственно стимулируют одиночные миелиновые нервные волокна биофизически понятным образом в тех случаях, когда напряженность внутреннего поля превышает несколько вольт на метр. В отличие от отдельных клеток значительно более слабые поля могут оказывать влияние на синаптическую передачу в нейронных сетях. Подобная обработка сигналов нервными системами обычно используется многоклеточными организмами для выявления слабых сигналов окружающей среды. Было высказано предположение, что нижним пределом интенсивности сигнала, различаемого нейронной сетью, является 1 мВ/м, однако, учитывая современные данные, более вероятными представляются пороговые значения в диапазоне 10–100 мВ/м.

Механизм действия радикальных пар является общепринятым пониманием того, каким образом магнитные поля могут оказывать влияние на специфические типы химических реакций, обычно путем увеличения концентрации реактивных свободных радикалов в слабых полях и снижения концентраций в сильных полях. Эти увеличения проявились в магнитных полях с индукцией менее 1 мТл. Имеются определенные данные, увязывающие этот механизм со способностью перелетных птиц определять направление перелета. Также, исходя из теоретических предпосылок, и в силу того, что изменения, вызываемые СНЧ и постоянными магнитными полями сходны, предполагается, что поля промышленной частоты с интенсивностью значительно меньшей, чем геомагнитное поле с индукцией около 50 мкТл, вряд ли могут иметь существенное биологическое значение.

Магнетитовые кристаллы, мелкие ферромагнитные кристаллы оксидов железа различной формы, присутствуют в тканях животных и человека, хотя и в незначительных количествах. Подобно свободным радикалам их присутствие связывают со способностью мигрирующих животных к ориентированию и навигации, хотя присутствие чрезвычайно малых количеств магнетита в мозге человека не наделяет его способностью выявлять наличие слабого геомагнитного поля. Расчеты, основанные на крайних предположениях, позволяют сделать вывод о том, что нижний предел эффектов воздействия полей СНЧ на магнетитовые кристаллы составляет 5 мкТл.

Другие виды прямого биофизического воздействия полей, такие как нарушение химических связей, воздействие на заряженные частицы и различные механизмы узкополосного “резонанса” не рассматриваются, что продиктовано желанием дать достоверное объяснение воздействию полей, которое имеет место в повседневной жизни и

Что касается непрямых эффектов, поверхностные электрические заряды, индуцируемые электрическими полями могут ощущаться, они могут приводить к болезненным микроударам при соприкосновении с проводящим предметом. Контактные токи могут

возникать, когда, например, дети касаются водопроводного крана в ванной. При этом возникают незначительные электрические поля в костном мозге, значение которых, возможно, превышает фоновый уровень. Однако, представляет ли это риск для здоровья, неизвестно.

Высоковольтные линии электропередач продуцируют большое количество электрически заряженных ионов при коронном разряде. Предполагается, что они способствуют отложению переносимых воздухом загрязняющих веществ на коже и в дыхательных путях, что, возможно, отрицательно сказывается на здоровье. Однако представляется маловероятным, чтобы ионы, появляющиеся в результате коронного разряда, обладали более чем незначительным или вообще каким-либо влиянием на долгосрочный риск для здоровья даже у тех лиц, которые экспонированы в наибольшей степени.

Ни один из трех прямых механизмов не представляет собой достоверную причину увеличения заболеваемости при тех уровнях воздействия, которым обычно подвергаются люди. Фактически они становятся достоверными при более значительных уровнях, а косвенные механизмы изучены в недостаточной степени. Подобное отсутствие установленного достоверного механизма не исключает возможности неблагоприятного влияния на здоровье, но порождает необходимость располагать более прочными фактическими данными из области биологии и эпидемиологии.

17.1.4 Нейроповедение

Воздействие электрических полей промышленной частоты вызывает вполне определенные биологические реакции - от ощущения раздражения вплоть до поверхностных электрических разрядов. Эти реакции зависят от напряженности поля, условий окружающей среды и индивидуальной чувствительности. Порог непосредственного восприятия у 10% добровольцев находился в пределах от 2 до 20 кВ/м, в то время как у 5% было выявлено раздражающее действие, при напряженности поля 15–20 кВ/м. Искровые разряды от человека к земле воспринимали как болезненные 7% добровольцев, находившихся в поле с напряженностью в 5 кВ/м. Пороговое значение для разряда от заряженного предмета через заземленного человека зависит от габаритов этого предмета и поэтому требует конкретной оценки.

Поле высокой напряженности, быстро пульсирующие магнитные поля могут стимулировать ткани периферической или центральной нервной системы. Подобные явления могут возникать во время проведения магниторезонансной томографии и используются при транскраниальной магнитной стимуляции. Пороговое значение наведенного электрического поля для прямой стимуляции нерва может находиться на уровне всего лишь нескольких вольт на метр. Это пороговое значение, по-видимому, является постоянным в диапазоне частот от нескольких герц до нескольких килогерц. Лица, страдающие эпилепсией или предрасположенные к ней, по-видимому, являются

более чувствительными к индуцированным СНЧ электрическим полям в центральной нервной системе (ЦНС). Кроме того, чувствительность к электростимуляции ЦНС, по-видимому, обусловлена наличием в семье людей, страдающих эпилептическими припадками, а также использованием трициклических антидепрессантов, нейролептиков и других лекарств, понижающих эпилептический порог.

На функцию сетчатки, являющейся частью ЦНС, могут оказать влияние гораздо более слабые СНЧ магнитные поля, нежели те, которые вызывают прямую нервную стимуляцию. Ощущения вспышек света, именуемые «магнитными фосфенами» или «магнитофосфенами», возникают в результате взаимодействия индуцированного электрического поля с электрически возбудимыми клетками сетчатки. Пороговая напряженность наведенного электрического поля в окологлобальной жидкости сетчатки, согласно подсчетам, составляет от 10 до 100 мВ/м на частоте 20 Гц. Однако этим значениям присуща значительная неопределенность.

Менее ясными представляются данные в отношении других нейрорепродуктивных результатов, полученных в ходе исследований с участием добровольцев, такие как влияние на электрическую активность мозга, когнитивные функции, сон, сверхчувствительность и настроение. В целом подобные исследования проводились при уровнях воздействия ниже тех, которые необходимы для того, чтобы индуцировать вышеописанные явления. В результате были получены данные, в лучшем случае свидетельствующие о слабых и преходящих последствиях. Условия, необходимые для того, чтобы уяснить подобные реакции, в настоящее время определены недостаточно четко. Имеются данные, позволяющие предположить наличие обуславливаемого полем влияния на время реакции и снижение тщательности выполнения некоторых когнитивных задач, что подтверждается результатами исследований в отношении общей электрической активности мозга. Исследования в отношении того, оказывают ли магнитные поля влияние на качество сна, дают неоднородные результаты. Возможно, эта неоднородность частично объясняется различиями в постановке исследований.

Некоторые люди заявляют о своей повышенной чувствительности к электромагнитным полям в целом. Однако данные двойных слепых провокационных исследований позволяют предположить, что заявляемые симптомы не связаны с воздействием электромагнитных полей.

Имеются лишь разнородные и неубедительные данные о том, что воздействие электрических и магнитных полей СНЧ вызывает депрессивные симптомы или суициды. В силу этого данные считаются недостаточными.

Что касается животных, то возможность того, что воздействие полей СНЧ может влиять на нейрорепродуктивные функции, изучалась в

ряде различных направлений при различных условиях воздействия. Неопровержимых результатов получено было немного. Имеются убедительные свидетельства того, что электрические поля промышленной частоты могут ощущаться животными скорее всего путем ощущения поверхностного заряда и могут вызывать кратковременное возбуждение или легкий стресс. Крысы чувствуют наличие поля в диапазоне интенсивностей от 3 до 13 кВ/м. Было обнаружено, что грызуны не переносят напряженность поля, превышающую 50 кВ/м. Другие возможные последствия, обусловленные воздействием поля, определены в значительно меньшей степени; лабораторные исследования свидетельствуют лишь о незначительных и кратковременных эффектах. Имеются данные о том, что воздействие магнитных полей может изменить действие опиоида и холинергических нейромедиаторных систем мозга. Это подтверждается результатами исследований, в которых изучалось воздействие полей на обезболивание, а также на пространственное запоминание и выполнение пространственных задач.

17.1.5 *Нейроэндокринная система*

Результаты исследований, проведенных с участием добровольцев, а также эпидемиологических исследований в местах проживания и в условиях производственных воздействий, позволяют предположить, что на нейроэндокринную систему не оказывает неблагоприятного влияния воздействие электрических или магнитных полей промышленной частоты. Это относится в особенности к уровням циркуляции специфических гормонов в нейроэндокринной системе, в том числе мелатонина, выделяемого шишковидной железой, а также ряда гормонов, участвующих в управлении обменом веществ и физиологическими процессами, которые выделяются гипофизом. Незначительные отличия наблюдались в отношении времени выделения мелатонина, что было обусловлено некоторыми особенностями воздействия, однако эти результаты не проявляются последовательно. Весьма трудно устранить возможное вмешательство различных экологических факторов и факторов образа жизни, которые могут также отражаться в уровнях гормонов. В большинстве лабораторных исследований по изучению эффектов воздействия полей СНЧ на уровни мелатонина у добровольцев в ночное время, после того, как были приняты меры, исключающие влияние мешающих факторов, никакого эффекта обнаружено не было.

Было проведено большое количество исследований на животных с целью изучения результатов воздействия электрических и магнитных полей промышленной частоты на уровни мелатонина в шишковидной железе и в сыворотке у крыс. В некоторых исследованиях отмечалось, что воздействие полей приводило к супрессии мелатонина в ночное время. Изменения в уровнях мелатонина, впервые наблюдавшиеся в ранних исследованиях при воздействии электрического поля до 100 кВ/м, повторно получать не

удалось. Результаты ряда более недавних исследований, в которых показывалось, что циркулярно поляризованные магнитные поля понижают уровень мелатонина в ночное время, слабо выглядят на фоне неподходящих сравнений с результатами, полученными для данных животных и более ранними результатами. Данные, полученные в результате других экспериментов с грызунами, в которых уровни интенсивности магнитного поля изменялись в диапазоне от нескольких микротесла до 5 мТл, носили двойственный характер в связи с тем, что в некоторых опытах происходило подавление мелатонина, а в других не отмечалось никаких изменений. У животных с сезонным циклом размножения результаты воздействия полей промышленной частоты на уровень мелатонина и обуславливаемый мелатонином репродуктивный статус, главным образом, отрицательные. Никаких убедительных свидетельств в отношении уровней мелатонина не было обнаружено в исследовании на человекообразных обезьянах, хронически подвергаемых воздействию полей промышленной частоты, хотя в более раннем исследовании с использованием двух животных отмечалась супрессия секреции мелатонина в результате нерегулярного и интермиттирующего воздействия полей.

Результаты воздействия СНЧ полей на продукцию и выделение мелатонина в изолированной шишковидной железе различались, хотя исследований *in vitro* проводилось немного. Данные о том, что воздействие полей СНЧ вмешивается в воздействие мелатонина на раковые клетки молочной железы, вызывают интерес. Однако недостатком этого является тот факт, что в клеточных линиях нередко наблюдается генотипическая и фенотипическая изменчивость в культуре, которая может препятствовать воспроизведению эксперимента в других лабораториях.

Никаких устойчивых результатов обнаружено не было в отношении обуславливающих стресс гормонов гипофизарно-адреналиновой оси у различных видов млекопитающих при одном возможном исключении возникновения кратковременного стрессового состояния, возникающего в связи с воздействием электрического поля СНЧ на достаточно заметном уровне. Аналогичным образом, несмотря на то, что было проведено небольшое количество исследований, наблюдались большей частью отрицательные или противоречивые результаты в отношении уровней гормона роста и гормонов, участвующих в регулировании метаболизма или связанных с контролем репродуктивного и сексуального развития.

В целом, эти данные не указывают на то, что электрические и/или магнитные поля СНЧ оказывают влияние на нейроэндокринную систему таким образом, чтобы это производило неблагоприятное воздействие на здоровье человека, и поэтому эти данные считаются недостаточными.

17.1.6 Нейродегенеративные расстройства

Высказывалось предположение, что воздействие полей СНЧ обуславливает ряд нейродегенеративных заболеваний. В отношении болезни Паркинсона и множественного склероза количество исследований было незначительным, и доказательства взаимосвязи с этими заболеваниями отсутствуют. Что касается болезни Альцгеймера и бокового амиотрофического склероза, было опубликовано больше исследований. В ряде этих сообщений высказывается предположение, что лица, работающие в электроустановках, имеют больший риск бокового амиотрофического склероза. До сих пор не установлено никакого биологического механизма, который мог бы объяснить эту взаимосвязь, хотя это явление могло иметь место вследствие наличия неучтенных факторов, связанных с электрическими профессиями, как, например, удары электротоком. В целом, данные о взаимосвязи между воздействием полей СНЧ и боковым амиотрофическим склерозом считаются недостаточными.

Результаты нескольких исследований взаимосвязи между воздействием полей СНЧ и болезнью Альцгеймера противоречивы. Однако более качественные научные исследования, в которых основное внимание уделяется не смертности, а заболеваемости болезнью Альцгеймера, не указывают на какую-либо взаимосвязь. В целом, данные о взаимосвязи между воздействием полей СНЧ и болезнью Альцгеймера недостаточны.

17.1.7 Сердечно-сосудистые расстройства

Экспериментальные исследования как кратковременного, так и длительного воздействия указывают на то, что хотя электрошок является явной опасностью для здоровья, другие опасные последствия сердечно-сосудистого характера, связанные с полями СНЧ вряд ли могут возникнуть при уровнях воздействия, которые обычно имеют место в производственной и окружающей среде. Хотя в литературе сообщалось о различных сердечно-сосудистых изменениях, большинство последствий незначительны, и результаты, как в рамках самих исследований, так и при сравнении с другими исследованиями, противоречивы. За одним исключением: ни в одном из исследований по поводу заболеваемости и смертности, обусловленных сердечно-сосудистыми заболеваниями, не показана взаимосвязь с воздействием электрических или магнитных полей. Вопрос о том, существует ли взаимосвязь между воздействием полей и нарушением автономного контроля сердца, остается предметом догадок. В целом, данные не свидетельствуют о связи между воздействием полей СНЧ и сердечно-сосудистыми заболеваниями.

17.1.8 Иммунология и гематология

Данные о воздействии электрических или магнитных полей СНЧ на компоненты иммунной системы обычно противоречивы. На многие клеточные популяции и функциональные маркеры поля не

оказывают никакого влияния. Однако в некоторых исследованиях с участием человека и с использованием полей от 10 мкТл до 2 мТл наблюдались изменения в естественных клетках-киллерах, число которых как уменьшалось, так и увеличивалось, а также в клетках белой крови, число которых оставалось без изменений или уменьшалось. В исследованиях на животных у самок мышей отмечалось уменьшение активности естественных клеток-киллеров, однако этого не наблюдалось у самцов мышей или у крыс обоего пола. Подсчет числа клеток белой крови также был противоречивым. В различных исследованиях сообщалось об уменьшении их числа или об отсутствии каких-либо изменений. В опытах на животных использовался еще более широкий диапазон - от 2 мкТл до 30 мТл. Трудность толкования потенциального влияния на здоровье при указанных данных объясняется значительными колебаниями в условиях воздействия полей и окружающих условий, сравнительно небольшим числом тестируемых субъектов и широким разнообразием конечных результатов.

Было проведено несколько исследований в отношении воздействия магнитных полей СНЧ на гематологическую систему. В ходе экспериментов по оценке дифференциации количества клеток красной крови дозы воздействия изменялись в диапазоне от 2 мкТл до 2 мТл. Никаких последовательных результатов острого воздействия магнитных полей СНЧ или сочетанного электрического и магнитного поля СНЧ не было обнаружено при проведении исследований с участием человека или животных.

В силу этого, в целом, данные в отношении последствий воздействия электрических или магнитных полей СНЧ на иммунную и гематологическую систему считаются недостаточными.

17.1.9 *Воспроизводство и развитие*

В целом, эпидемиологические исследования не указывают на какую-либо взаимосвязь нарушений репродуктивной функции человека в связи с воздействием полей СНЧ на мать или отца. Имеются некоторые данные об увеличении риска выкидыша, связанного с воздействием магнитного поля на будущую мать, однако эти данные являются недостаточными.

Воздействие электрических полей СНЧ с уровнями вплоть до 150 кВ/м изучалось на нескольких видах млекопитающих. Сюда относятся изучение крупных популяций и воздействие полей на протяжении нескольких поколений. Результаты исследований устойчиво указывают на отсутствие каких-либо отрицательных последствий для развития.

Воздействие магнитных полей СНЧ с уровнями до 20 мТл на млекопитающих не приводит к значительным нарушениям формирования внешних признаков, внутренних органов или скелета. В некоторых исследованиях указывается на увеличение частоты

незначительных скелетных аномалий у крыс и мышей. Скелетные изменения являются сравнительно распространенным результатом тератологических исследований и нередко считаются биологически незначимыми. Однако нельзя исключать трудноуловимые влияния магнитных полей на развитие скелета. Исследований, в которых рассматриваются репродуктивные последствия, было опубликовано очень мало, и из них нельзя делать каких-либо выводов.

В нескольких исследованиях на экспериментальных моделях, не относящихся к классу млекопитающих (куриные эмбрионы, рыбы, морские ежи и насекомые), сообщается о результатах, которые указывают на то, что магнитные поля СНЧ в пределах микротеслы могут вносить нарушения в ранние этапы развития. Однако результаты изучения экспериментальных моделей, не относящихся к млекопитающим, имеют меньшую ценность при общей оценке токсичности в отношении развития, нежели исследования в этой области, касающиеся млекопитающих.

В целом, данные о последствиях для развития и репродуктивной системы являются недостаточными.

17.1.10 Онкологические заболевания

Классификация МАИР, относящая магнитные поля СНЧ к “возможно канцерогенным для человека” (IARC, 2002) основана на всех имеющихся данных до 2001 года включительно. Обзор литературы в данной монографии посвящен главным образом исследованиям, появившимся после обзора МАИР.

Эпидемиология

Классификация МАИР в значительной мере опирается на взаимосвязи, выявленные в ходе эпидемиологических исследований лейкозов у детей. Классификационная характеристика этих данных в качестве имеющих ограниченный характер не изменяется в связи с добавлением двух дополнительных исследований в области лейкозов у детей, опубликованных после 2002 года. Со времени публикации монографии МАИР данные в отношении других онкологических заболеваний у детей остаются недостаточными.

После публикации монографии МАИР появился ряд сообщений, касающихся риска рака молочной железы у взрослых, обусловленного воздействием магнитного поля СНЧ. Эти исследования шире, чем предыдущие и более беспристрастные, и в целом они дают отрицательный ответ. С наличием этих исследований данные о взаимосвязи между воздействием магнитного поля СНЧ и риском рака молочной железы, значительно ослабили свою позицию и не свидетельствуют о взаимосвязи подобного рода.

По поводу рака головного мозга и лейкозов у взрослых, новые исследования, опубликованные после монографии МАИР, не меняют

вывод о том, что общий объем данных о взаимосвязи между магнитными полями СНЧ и риском этих заболеваний остается недостаточным.

Для всех других видов онкологических болезней, данные по-прежнему остаются недостаточными.

Лабораторные исследования на животных

В настоящее время подходящая животная модель для наиболее распространенной формы детского лейкоза, острого лимфобластного лейкоза, отсутствует. Три независимых крупномасштабных исследования, где были использованы крысы, не дали никаких данных в отношении взаимосвязи между воздействием магнитных полей СНЧ и заболеваемостью спонтанным раком молочной железы. В большинстве исследований сообщается об отсутствии связи воздействия магнитных полей СНЧ с лейкозом или лимфомой у грызунов. В нескольких крупномасштабных и продолжительных исследованиях с использованием грызунов не было выявлено какого-либо устойчивого увеличения заболеваемости каким-либо онкологическим заболеванием, в т.ч. заболеванием кроветворных органов, молочной железы, головного мозга и кожи.

В значительном числе исследований изучалось воздействие магнитных полей СНЧ на химически индуцированные опухоли молочной железы у крыс. Непоследовательность полученных результатов может объясняться в целом или частично различиями в проведении экспериментов, такими как использование специфических линий. Большинство исследований воздействия магнитного поля СНЧ на модели лейкоза/лимфомы, индуцированные химическим путем или радиацией, дают отрицательный ответ. В исследованиях повреждений печени, предшествующих новообразованиям, опухолей кожи, индуцированных химическим путем, и опухолей головного мозга сообщается главным образом об отрицательных результатах. В одном исследовании сообщается об активизации индуцированных ультрафиолетом опухолей кожи после воздействия магнитных полей СНЧ.

Две группы сообщают об увеличении числа разрывов цепочек ДНК в тканях головного мозга после воздействия *in vivo* магнитными полями СНЧ. Однако в других группах, использовавших различные модели генотоксичности у грызунов, данных о генотоксичности обнаружено не было. Результаты исследований, в которых изучалось не генотоксическое воздействие применительно к раку, неубедительны.

В целом, свидетельства о том, что воздействие магнитных полей СНЧ само по себе вызывает опухоли, отсутствуют. Данные о том, что воздействие магнитного поля СНЧ в сочетании с канцерогенами может активизировать развитие опухоли, недостаточны.

Исследования in vitro

Обычно в исследованиях воздействия поля СНЧ на клетки не выявляется генотоксичности при интенсивности поля менее 50 мТл. Заметным исключением являются данные недавнего исследования, в котором сообщается о повреждении ДНК при магнитной индукции всего лишь 35 мкТл. Однако эти исследования еще оцениваются, и, как мы понимаем, результаты являются неполными. Все больше появляется данных о том, что магнитные поля СНЧ могут взаимодействовать с агентами, наносящими повреждения ДНК.

Явные доказательства того, что активация при помощи магнитных полей СНЧ генов, участвующих в управлении клеточным циклом, отсутствуют. Однако систематические исследования с целью анализа реакции генома в целом еще необходимо провести.

Во многих других исследованиях на клеточном уровне, например в отношении клеточной пролиферации, апоптоза, кальциевой сигнализации и злокачественной трансформации, получены непоследовательные и неубедительные результаты.

Общий вывод

Опубликованные после монографии МАИР 2002 г. новые исследования на человеке, животных и *in vitro* не изменяют общую классификацию магнитных полей СНЧ как возможного канцерогена для человека.

17.1.11 Оценка риска для здоровья

В соответствии с Уставом ВОЗ здоровье является состоянием полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствием болезней и физических дефектов. Оценка риска представляет собой концептуальную схему структурированного изучения информации, имеющей отношение к медицинским или экологическим последствиям. Оценка риска для здоровья может использоваться в качестве вводного элемента процесса управления факторами риска, который охватывает все действия, которые необходимо произвести, чтобы решить, необходимо ли предпринимать какие-либо конкретные меры в отношении данной опасности, а также принятие этих мер.

При оценке риска для здоровья, достоверные данные в отношении здоровья человека, в тех случаях, когда они имеются, обычно более информативны, чем данные, полученные на животных. Исследования на животных и исследования *in vitro* могут подкреплять данные исследований о здоровье человека, заполнять пробелы в изучении здоровья человека или использоваться при принятии решений в опасных случаях, когда исследований с участием человека недостаточно или когда они отсутствуют.

Всякие исследования, имеющие как положительные, так и отрицательные результаты, необходимо подвергать оценке и обсуждать, исходя из их собственных достоинств, а затем рассматривать их все в совокупности, придерживаясь метода весомости доказательств. Важно определить, в какой степени какая-либо совокупность доказательств изменяет вероятность того, что определенное воздействие вызывает некий результат. Данные в отношении последствий обычно более убедительны, если результаты различных видов исследований (эпидемиологических и лабораторных) указывают на один и тот же вывод и/или когда многие исследования одного и того же типа приводят к одинаковому результату.

Острые эффекты

Острые биологические эффекты были установлены в связи с воздействием электрических и магнитных полей от крайне и сверхнизких до ОНЧ в диапазоне частот до 100 кГц. Это воздействие может иметь отрицательные последствия для здоровья. В силу этого необходимо устанавливать пределы воздействия. Существуют международные рекомендации по данному вопросу. Соблюдение этих рекомендаций обеспечивает надлежащую защиту от острых последствий.

Хронические эффекты

Научные данные, позволяющие предположить, что ежедневное хроническое низкоинтенсивное (более 0,3–0,4 мкТл) воздействие магнитного поля промышленной частоты представляет собой риск для здоровья, основаны на эпидемиологических исследованиях, свидетельствующих об устойчивой картине увеличения риска развития лейкоза у детей. Неопределенность оценки риска связана с тем, какое влияние может оказать неправильная классификация отклонений в контрольной и экспонированной выборках на наблюдаемую взаимосвязь между магнитными полями и лейкозами у детей. Кроме того, практически все лабораторные и механистические данные не свидетельствуют о взаимосвязи между слабыми магнитными полями СНЧ и нарушениями биологических функций или состоянием заболевания. Таким образом, в целом данные не являются достаточно убедительными, чтобы их можно было рассматривать в качестве причинных, однако они достаточно весомы, чтобы оставаться предметом озабоченности.

Несмотря на то, что причинная связь между воздействием магнитного поля и детскими лейкозами не установлена, возможное влияние его на здоровье населения должно было бы рассматриваться, допуская причинно-следственную связь, для того, чтобы включить это в политику как потенциально полезный элемент. Вместе с тем подобные расчеты в значительной степени зависят от распределения воздействия и других предположений и в силу этого являются неточными. Если

исходить из того, что взаимосвязь является причинной, то количество случаев лейкозов у детей во всем мире, которые могли бы быть обусловлены воздействием магнитного поля, согласно расчету может составить от 100 до 2400 случаев в год. Однако это составляет 0,2 – 4,9% от общего числа случаев лейкозов, которое во всем мире в 2000 г. составляло 49 000. Таким образом, в глобальном плане влияние на здоровье населения, если таковое имеется, будет ограниченным и неопределенным. Был изучен ряд других заболеваний на предмет возможной обусловленности воздействием магнитного поля СНЧ. К ним относятся онкологические заболевания детей и взрослых, депрессия, самоубийства, репродуктивные дисфункции, нарушение развития, иммунологические модификации и неврологические болезни. Научные данные, подтверждающие взаимосвязь между магнитными полями СНЧ и каким-либо из заболеваний, гораздо слабее, чем в отношении лейкозов у детей, а в некоторых случаях (например, в том, что касается сердечно-сосудистых заболеваний или рака молочной железы) данные достаточны для того, чтобы была уверенность в том, что магнитные поля не являются причиной заболевания.

17.1.12 Мероприятия по защите

Для защиты против выявленных негативных последствий воздействия электрических и магнитных полей СНЧ необходимо устанавливать предельные уровни их воздействия. Эти нормативы должны быть определены на основе тщательного изучения всех необходимых научных данных.

Определенным образом были выявлены лишь эффекты острых воздействий, и для защиты от них разработаны две международные рекомендации, касающиеся предельно допустимых уровней воздействия (ICNIRP, 1998a; IEEE, 2002).

Наряду с определенно выявленными эффектами острых воздействий существуют неопределенности о наличии эффектов хронических воздействий в силу ограниченности данных о взаимосвязи между воздействием магнитных полей СНЧ и лейкозами у детей. Поэтому необходимо проявлять осторожный подход. Однако во имя предосторожности не рекомендуется занижать до какого-либо произвольного уровня нормативы предельных уровней воздействия, определенные в рекомендациях. Это подрывает научные основы, на которых построены эти нормативы, и, возможно, окажется дорогостоящим и необязательно эффективным способом защиты.

Осуществление других приемлемых мер предосторожности по снижению воздействия поля обоснованно и необходимо. Однако электроэнергия приносит несомненную пользу в здравоохранении, социальной и экономической областях, и меры предосторожности не должны ставить под угрозу эти преимущества. Кроме того, учитывая недостаточность данных о взаимосвязи между воздействием полей СНЧ и детскими лейкозами, а также ограниченное влияние на здоровье

населения, если такая взаимосвязь имеется, преимущества мер по снижению воздействия полей на здоровье неясны. Таким образом, расходы на меры предосторожности должны быть весьма незначительными. Стоимость осуществления мер по снижению влияния полей в различных странах будет различна, что затрудняет разработку общей рекомендации в отношении уравнивания расходов с потенциальной угрозой полей СНЧ.

Ввиду вышеизложенного, рекомендуется нижеследующее.

- Разработчикам политики необходимо устанавливать нормативы воздействия полей СНЧ, как для населения в целом, так и для условий профессиональных воздействий. Наилучшим руководством для определения обоих уровней воздействия и принципов научного пересмотра их являются международные рекомендации.
- Разработчикам политики необходимо организовать программы защиты от электрических и магнитных полей СНЧ, предусматривающие измерения полей от всех источников, с тем чтобы предельно допустимые уровни воздействия не превышались ни для населения в целом, ни для работающих.
- При условии того, что медицинские, социальные и экономические блага, предоставляемые электроэнергией, не поставлены под угрозу, оправдано и необходимо осуществление как можно более дешевых мер предосторожности по снижению воздействия полей.
- Разработчикам политики, плановикам и производителям необходимо предусматривать соблюдение дешевых мер защиты при строительстве новых сооружений и проектировании нового оборудования, включая электроприборы.
- Следует предусматривать внесение изменений в инженерную практику, направленных на снижение воздействия полей СНЧ, создаваемых оборудованием или приборами при условии, что при этом сохраняются другие дополнительные преимущества, такие как большая безопасность и достигается это при незначительных или нулевых расходах.
- При переходе от одного типа оборудования к другому наряду с соображениями безопасности, надежности работы и экономичности необходимо учитывать проблему снижения интенсивности полей СНЧ, создаваемых этими приборами.
- Местным органам при строительстве новых установок или при замене старых, не упуская из внимания вопросы безопасности, необходимо регламентировать прокладку кабелей и проводов таким образом, чтобы это способствовало снижению произвольно возникающих токов в земле.

Активные меры по выявлению нарушений или существующих проблем в проложенных электрокабелях могут оказаться дорогостоящими и вряд ли будут оправданы.

- Национальным органам необходимо осуществлять эффективную и открытую стратегию коммуникаций, с тем чтобы все участники принимали информированные решения. Эта стратегия должна предусматривать информацию в отношении того, каким образом отдельные лица могут сами снизить воздействие полей.
- Местные органы должны улучшить планирование установок, являющихся источником СНЧ электромагнитных полей, предусматривая более активную консультацию с промышленностью, местным правительством и гражданами в процессе определения местоположения основных источников электромагнитных полей СНЧ.
- Правительство и промышленность должны содействовать проведению научно-исследовательских программ, направленных на понижение уровня неопределенности научных данных в отношении последствий воздействия полей СНЧ на человека.

17.2 Рекомендации для научных исследований

Выявление пробелов в знаниях, касающихся возможных последствий воздействия полей СНЧ для здоровья является главной составной частью оценки этого риска для здоровья. Нижеследующие рекомендации (обобщенные в Таблице 1) излагаются в отношении дальнейших научных исследований.

В качестве важнейшей необходимости требуется проведение дальнейших исследований в отношении промежуточных частот, под которыми обычно понимаются частоты от 300 Гц до 100 кГц, учитывая имеющийся пробел в этой области. Очень небольшой объем данных из необходимой базы знаний для оценки риска для здоровья был собран, и в большинстве существующих исследований результаты непоследовательны и нуждаются в дополнительном подтверждении. Общие требования формирования достаточной базы данных в отношении промежуточных частот с точки зрения оценки риска для здоровья состоят в оценке воздействия, эпидемиологических и лабораторных исследованиях с участием человека, а также в исследованиях на животных и на клеточном уровне (*in vitro*) (ICNIRP, 2003; ICNIRP, 2004; Litvak et al., 2002).

Для всех исследований с участием добровольцев настоятельно необходимо, чтобы исследования с участием человека проводились в полном согласии с этическими принципами, учитывая положения Хельсинской декларации (WMA, 2004).

Что касается лабораторных исследований, необходимо уделять приоритетное внимание опубликованным результатам, (i) в отношении которых имеются хотя бы скудные данные о воспроизведении или подтверждении, (ii) которые потенциально имеют отношение к канцерогенезу (например, генотоксичность), (iii) которые достаточно убедительны для использования механистического анализа и (iv) в которых присутствуют системы млекопитающих или человека.

17.2.1 Источники, измерения и воздействие на организм

Дальнейшая классификация жилья в различных странах, где имеет место высокий уровень воздействия полей СНЧ, с целью определения сравнительного воздействия внутренних и внешних источников полей, влияния порядка прокладки проводов и заземления, а также других характеристик жилья может помочь выявить соответствующие количественные характеристики воздействия, необходимые для эпидемиологической оценки. Важной частью этого является лучшее понимание воздействия полей СНЧ на плод в утробе матери и на детей, в особенности воздействие нагревательных электрокабелей в панелях пола жилых помещений и трансформаторов в многоквартирных зданиях.

Есть подозрение, что в некоторых случаях производственного воздействия СНЧ полей нынешние рекомендуемые нормативы экспозиции превышаются. Необходимо иметь больше информации в отношении воздействия полей (включая частоты, отличные от промышленной), связанных с условиями работы, например, работа по обслуживанию воздушных линий электропередачи под напряжением, работа внутри или вблизи створа магнита магнитно-резонансного томографа (и в силу этого воздействие полей СНЧ с переменным градиентом) и работа на транспортных системах. Аналогичным образом необходимо располагать дополнительными знаниями о подверженности воздействию населения, которое может оказаться близким к рекомендуемым нормативам, в том числе со стороны таких источников, как системы безопасности, библиотечные системы размагничивания, индукционное приготовление пищи и водонагревательные приборы.

Воздействие контактных токов предлагалось в качестве возможного объяснения взаимосвязи магнитных полей СНЧ с лейкозом у детей. Необходимы исследования в других странах, помимо США, для оценки возможности того, что порядок заземления электропроводки в жилых домах и прокладки водопроводов может способствовать возникновению контактных токов в жилье. Подобные исследования должны проводиться в приоритетном порядке в странах, в которых эпидемиологические данные в отношении полей СНЧ и лейкозов у детей вызывают озабоченность.

17.2.2 Дозиметрия

В прошлом большая часть лабораторных исследований основывалась на наведенных в организме электрических токах в качестве основного измеряемого параметра, и поэтому дозиметрические показатели определялись этим количественным фактором. Лишь недавно стали проводить работу по изучению взаимосвязи между воздействием внешнего поля и индуцированными электрическими полями. Чтобы лучше понимать биологические эффекты, необходимо иметь больше данных о внутренних электрических полях, возникающих при различных внешних воздействиях.

Необходимо произвести расчеты внутренних электрических полей, вызываемых совместным воздействием внешних электрических и магнитных полей в различных сочетаниях. Расчеты векторного сложения колебаний в различной фазе и воздействия электрических и магнитных полей в соответствии с их пространственным изменением необходимы для оценки основных вопросов, касающихся соблюдения нормативов.

До сих пор проводилось очень мало расчетов по перспективной модели беременной женщины и плода с учетом необходимого анатомического моделирования. Важное значение имеет расчет вероятного возрастания индукции электрических полей в плоде с точки зрения возможности возникновения лейкозов у детей. При этом большую роль играет производственное и внепроизводственное воздействие поля на материнский организм .

Имеется необходимость дополнительного усовершенствования микродозиметрических моделей, учитывающих клеточную архитектуру нейронных сетей и других сложных систем органов, которые более чувствительны к воздействию наведенных электрических полей. Этот процесс моделирования также должен принимать во внимание влияние на электрические потенциалы клеточной мембраны и на выделение нейромедиаторов.

17.2.3 Биофизические механизмы

Имеются три основных области, где довлеют очевидные ограничения для нынешнего понимания таких механизмов как механизма радикальных пар, магнитных частиц в организме и соотношений сигнал-шум в многоклеточных системах, таких как нейронные сети.

Механизм радикальных пар является одним из более вероятных механизмов низкоинтенсивного взаимодействия, однако еще надо доказать, что он способен вызывать значительные изменения в клеточном метаболизме и функциях. Особенно важно понять нижний предел воздействия, на котором он проявляется, с тем чтобы судить о том, может или не может этот механизм иметь отношение к

канцерогенезу. Учитывая недавние исследования, при которых в иммунных клетках, подвергавшихся воздействию полей СНЧ, происходило усиление активных форм кислорода, рекомендуется использовать в качестве клеточных моделей для изучения возможностей механизма радикальных пар клетки иммунной системы, которые генерируют реактивные формы кислорода.

Хотя наличие магнитных частиц (магнетитовые кристаллы) в головном мозге человека согласно нынешним данным, не свидетельствует о какой-либо чувствительности к магнитным полям СНЧ в окружающей среде, в дальнейших теоретических и экспериментальных работах необходимо изучить, может ли при определенных условиях подобная чувствительность существовать. Кроме того, следует продолжить изучение всех влияний, которые может оказывать наличие магнетитов на вышеупомянутый механизм радикальных пар.

Необходимо проводить дальнейшее изучение того, в какой степени функционируют в мозгу многоклеточные механизмы в плане улучшения соотношения сигнал-шум, с тем, чтобы разработать теоретические принципы количественного исчисления этого явления или определения его предельных значений. Методом *in vitro* необходимо проводить дальнейшее изучение порога и частотной реакции нейронных сетей в гиппокампе и других частях мозга.

17.2.4 Нейроповедение

Рекомендуется проводить лабораторные исследования с привлечением добровольцев по вопросу о возможном влиянии полей на сон и на выполнение задач, требующих умственного напряжения, придерживаясь согласованной методологии. Необходимо выявить зависимость реакции от интенсивности поля при более высоких значениях магнитной индукции, по сравнению с использовавшимися ранее, а также в широком диапазоне частот (т.е. в килогерцовом диапазоне).

Исследования с участием взрослых добровольцев и с использованием животных позволяют предположить, что при кратковременном воздействии интенсивных электрических или магнитных полей могут иметь место острые когнитивные последствия. Для разработки нормативов воздействия чрезвычайно важно представлять себе эти последствия, однако конкретные данные, касающиеся обусловленных полем результатов воздействия на организм детей, отсутствуют. Рекомендуется провести лабораторные исследования когнитивной функции и изменений в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) у лиц, подвергшихся воздействию полей СНЧ, в том числе взрослых, регулярно подвергающихся производственным воздействиям, а также у детей.

Поведенческие исследования с использованием детенышей животных могут дать ценные данные для изучения возможных

когнитивных последствий у детей. Следует изучить возможные последствия пре- и постнатального воздействия магнитных полей СНЧ на развитие нервной системы и когнитивные функции. Полезным дополнением к этим исследованиям может оказаться изучение последствий воздействия магнитных полей СНЧ и наведенных электрических полей на рост нервных клеток с использованием срезов головного мозга и нейронных культур.

Имеется необходимость дальнейшего изучения потенциальных последствий для здоровья, о которых позволяют предполагать экспериментальные данные об опиоидных и холинергических реакциях у животных. Следует расширить изучение модификации опиоидных и холинергических реакций у животных и определить параметры воздействия и биологическую основу подобных поведенческих реакций.

17.2.5 *Нейроэндокринная система*

Существующая база данных в отношении реакции нейроэндокринной системы не указывает на то, что воздействие полей СНЧ оказывает неблагоприятное влияние на здоровье человека. Поэтому в рекомендациях в отношении дополнительных исследований нет необходимости.

17.2.6 *Нейродегенеративные расстройства*

В ряде исследований наблюдалось увеличение риска бокового амиотрофического склероза у лиц, по роду занятий связанных с электричеством. Считается важным изучить эту взаимосвязь более подробно для того, чтобы выявить, участвуют ли магнитные поля СНЧ в возникновении этого редкого нейродегенеративного заболевания. Для этого требуется проведение крупномасштабных проспективных когортных исследований с информацией о воздействии магнитного поля СНЧ, о наличии ударов электрическим током, а также о воздействии других потенциальных факторов риска.

Остается сомнительным, являются ли магнитные поля СНЧ фактором риска в развитии болезни Альцгеймера. Имеющиеся в настоящее время данные недостаточны, и эту взаимосвязь необходимо изучить более подробно. Особое значение имеет использование данных о заболеваемости, а не о смертности.

17.2.7 *Сердечно-сосудистые нарушения*

Дополнительные исследования взаимосвязи между магнитными полями СНЧ и риском сердечно-сосудистых заболеваний приоритетными не считаются.

17.2.8 *Иммунология и гематология*

В изменениях, наблюдаемых в отношении иммунологических и гематологических параметров у взрослых, подвергшихся воздействию

магнитных полей СНЧ, обнаруживается непоследовательность, а также в основном отсутствуют данные исследований в отношении детей. Поэтому рекомендация состоит в том, чтобы проводить исследования о последствиях воздействия полей СНЧ на развитие иммунной и кроветворной систем у животных раннего возраста.

17.2.9 Репродуктивные аспекты и развитие

Имеются определенные данные об увеличении риска выкидыша, обусловленного воздействием магнитного поля СНЧ. Принимая во внимание потенциально значимое влияние подобной взаимосвязи на здоровье населения, рекомендуется проведение дополнительных эпидемиологических исследований.

17.2.10 Онкологические заболевания

Наиболее приоритетным вопросом в этой области является разрешение противоречий между эпидемиологическими данными (которые указывают на взаимосвязь между воздействием магнитного поля СНЧ и увеличением риска лейкозов у детей) и экспериментальными и механистическими данными (которые на эту взаимосвязь не указывают). По этому вопросу рекомендуется проведение совместной работы эпидемиологов и ученых экспериментаторов. Чтобы новые эпидемиологические исследования оказались информативными, они должны быть сосредоточены на новых аспектах воздействия поля, на потенциальном взаимодействии с другими факторами или на группах лиц, подвергшихся высокоинтенсивному воздействию, или иным образом быть новаторскими в этой области исследований. Кроме того, также рекомендуется обновить существующие сводные данные путем дополнения данными недавних исследований и путем нового понимания результатов анализа.

Исследования в области рака головного мозга у детей дают неоднозначные результаты. Также как и в случае лейкозов у детей, сводный анализ исследований рака мозга у детей должен быть весьма информативным, и в силу этого таковой рекомендуется. Сводный анализ подобного рода может при небольшой стоимости дать более глубокое и более совершенное понимание существующих данных, включая возможность селекции ошибок при отборе, и, в том случае, если исследования достаточно однородны, может содействовать получению наиболее точной оценки риска.

Что касается рака молочной железы у взрослых, в самых последних исследованиях убедительно показано, что нет никакой взаимосвязи с воздействием магнитных полей СНЧ. Поэтому дополнительным исследованиям этой взаимосвязи следует придавать второстепенное значение.

В отношении лейкозов у взрослых и рака головного мозга рекомендация состоит в том, чтобы обновить информацию по

существующим крупным когортам лиц, подвергающимся производственным воздействиям. Результаты исследований в области медицины труда, совокупных данных и мета-анализов по лейкозам и раку головного мозга неоднозначны и неубедительны. Однако недавно были опубликованы новые данные, и их следует использовать для обновления вышеуказанных результатов.

Первоочередные действия состоят в том, чтобы изучить эпидемиологические данные путем реализации моделей *in vitro* и с использованием животных по исследованию реакций на низкоинтенсивные магнитные поля СНЧ, которые могли бы применяться в условиях различных лабораторий.

Следует разработать трансгенные модели грызунов для изучения лейкозов у детей, с тем чтобы имелись необходимые экспериментальные животные модели для изучения последствий воздействия магнитного поля СНЧ. В противном случае, согласно имеющимся сегодня результатам исследований на животных, изолированно одни магнитные поля СНЧ не оказывают никакого канцерогенного действия. Поэтому приоритетный характер следует придавать исследованиям *in vitro* и на животных, в которых магнитные поля СНЧ были бы тщательно изучены в качестве сопутствующих канцерогенным факторам.

Что касается других исследований *in vitro*, то эксперименты, в которых сообщается о генотоксичных эффектах интермиттирующего воздействия магнитного поля СНЧ, должны быть повторены в других условиях.

17.2.11 Мероприятия по защите

Проведение исследований в области разработки политики охраны здоровья и осуществление этой политики в тех областях, где имеется научная неопределенность, рекомендуется, в особенности в отношении мер предосторожности, толкование мер предосторожности и оценки воздействия мер предосторожности с точки зрения магнитных полей СНЧ и других агентов, классифицируемых в качестве «возможных канцерогенов для человека». В тех случаях, когда имеется неуверенность в отношении потенциального риска для здоровья, создаваемого каким-либо агентом, для общества, должны быть обеспечены меры предосторожности, с тем чтобы создать необходимую защиту для населения и работающих. По данному вопросу, касающемуся воздействия магнитных полей СНЧ, было проведено лишь ограниченное число исследований, и в силу важности этого вопроса необходимо заниматься более активными исследованиями. Это может помочь странам сделать меры предосторожности частью своей политики в области охраны здоровья.

Рекомендуется проведение дополнительных исследований в отношении восприятия риска и коммуникации, которые конкретно затрагивают вопрос об электромагнитных полях. Психологические и

социологические факторы, которые влияют на восприятие риска в целом, были всесторонне изучены. Однако число исследований, направленных на анализ сравнительного значения этих факторов в случае электромагнитных полей или по выявлению других факторов, которые обусловлены электромагнитными полями, является ограниченным. Недавние исследования позволяют предположить, что меры предосторожности, некоторые несут в себе сообщения о риске, могут изменить восприятие риска, усиливая или сглаживая озабоченность этим вопросом. Поэтому необходимы более глубокие исследования в этой области.

Следует проводить исследования по разработке методов анализа издержки-преимущества/издержки-эффективность с точки зрения уменьшения воздействия магнитных полей СНЧ. Использование методов анализа издержки-преимущества и издержки-эффективность для оценки того, является ли данная политическая опция преимуществом для общества, было изучено во многих областях общественной политики. Необходима разработка схемы, которая установит параметры, необходимые для того, чтобы проводить такое изучение магнитных полей СНЧ. В силу неопределенности оценки необходимо предусматривать параметры, которые поддаются количественной оценке, и те, которые не поддаются такой оценке.

Таблица 1. Рекомендации для дальнейших исследований

Источники, измерения и воздействия	Приоритетность
Дальнейшая характеристика жилых помещений с высоким воздействием магнитного поля СНЧ в различных странах	Средняя
Выявление пробелов в знаниях относительно воздействия полей СНЧ на рабочих местах, как например при магниторезонансной томографии	Высокая
Изучение возможности возникновения контактных токов у детей в связи с особенностями электропроводки в жилых помещениях вне США	Средняя
Дозиметрия	
Дополнительные дозиметрические расчеты, увязывающие внешние электрические и магнитные поля с внутренними электрическими полями, в особенности в том, что касается совокупного воздействия электрических и магнитных полей различной ориентации	Средняя
Расчет индуцированных электрических полей и токов у беременных женщин и в плоде	Средняя
Дальнейшее уточнение микродозиметрических моделей, учитывающих клеточную архитектуру нейронных сетей и другие сложные системы подорганов	Средняя

Биофизические механизмы	
Дальнейшие исследования механизмов радикальных пар в иммунных клетках, которые генерируют активные формы кислорода в процессе своей фенотипической функции	Средняя
Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования возможной роли магнетитов в чувствительности к магнитному полю СНЧ	Низкая
Определение пороговых реакций на внутренние электрические поля, индуцированные полями СНЧ, в многоклеточных системах, таких как нейронные сети, с использованием теоретических методов и методов in vitro	Высокая
Нейроповедение	
Когнитивные исследования, изучение сна и электроэнцефалограмм у добровольцев, в том числе у детей и лиц, подверженных воздействию полей по роду работы с применением широкого диапазона частот СНЧ при высоких плотностях потока	Средняя
Исследование влияния пре- и постнатального воздействия полей на последующее развитие когнитивной функции у животных	Средняя
Дальнейшее изучение опиоидных и холинергических реакций у животных	Низкая
Нейродегенеративные расстройства	
Дополнительное изучение риска бокового амиотрофического склероза у «лиц электрических профессий» в связи с экспозицией к СНЧ магнитному полю, а также болезни Альцгеймера в связи с воздействием магнитного поля СНЧ	Высокая
Иммунология и гематология	
Изучение последствий воздействия магнитного поля СНЧ на развитие иммунной и кроветворной систем у животных раннего возраста	Низкая
Репродуктивные аспекты и развитие	
Дополнительные исследования возможной связи между выкидышем и воздействием магнитного поля СНЧ	Низкая
Онкологические заболевания	
Обновление новой информацией существующих сводных результатов в отношении лейкозов у детей	Высокая
Совокупный анализ существующих исследований возникновения опухолей мозга у детей	Высокая
Обновление существующих мета-анализов, касающихся лейкозов у взрослых и опухолей мозга, а также когорт лиц, подверженных профессиональному воздействию полей по роду своих занятий	Средняя

Создание моделей детского лейкоза на базе трансгенных грызунов для использования в изучении полей СНЧ	Высокая
Оценка совместного канцерогенного действия путем исследований in vitro и на животных	Высокая
Попытка воспроизводства исследований в области генотоксичности, проводимых in vitro	Средняя
Защитные меры	
Исследования по разработке политики в области охраны здоровья и осуществление мер в тех областях, где имеется научная неопределенность	Средняя
Дальнейшие исследования в области восприятия риска и коммуникаций в отношении электромагнитных полей	Средняя
Разработка методов анализа издержки-преимущества / издержки-эффективность для смягчения результатов воздействия полей СНЧ	Средняя