**Ультразвуковое излучение и медицина**

Давно известно, что ультразвуковое излучение можно сделать узконаправленным. Французский физик Поль Ланжевен впервые заметил повреждающее действие ультразвукового излучения на живые организмы. Результаты его наблюдений, а также сведения о том, что ультразвуковые волны могут проникать сквозь мягкие ткани человеческого организма, привели к тому, что с начала 1930-х гг. возник большой интерес к проблеме применения ультразвука для терапии различных заболеваний. Этот интерес не ослабевал и в дальнейшем, причем развитие медицинских приложений шло по самым различным направлениям; особенно широко ультразвук стал применяться в физиотерапии. Тем не менее, лишь сравнительно недавно стал намечаться истинно научный подход к анализу явлений, возникающих при взаимодействии ультразвукового излучения с биологической средой.

С применением ультразвука в медицине связано множество разных аспектов. Однако, при этом физика явления должна включать следующие процессы: распространение ультразвука в «биологической среде», такой как тело человека, взаимодействие ультразвука с компонентами этой среды и измерения и регистрация акустического излучения, как падающего на объект, так и возникающего в результате взаимодействия с ними.

Проблема интерпретации взаимодействия акустического излучения с биологической средой существенно упрощается, если последнюю рассматривать не как твердое тело, а как жидкость. В такой среде нет сдвиговых волн, поэтому теория распространения волн проще, чем для твердого тела. В диапазоне ультразвуковых частот, применяемых в медицинской акустике, это предположение справедливо почти для всех тканей тела, хотя имеются и исключения, например кость. То, что взаимодействие ультразвука с тканью можно смоделировать его взаимодействием с жидкостями, - важный фактор, повышающий практическую ценность медицинской ультразвуковой диагностики.

**Прием и измерение ультразвука**

В медицинских или биологических приложениях необходимость в приеме и измерении ультразвука возникает в трех обширных областях. Это получение диагностической информации от пациента, измерение акустических полей, которыми могут облучаться живые клетки и ткани, в том числе и ткани пациентов.

Ультразвук по определению не воспринимается непосредствен-но органами чувств человека, и поэтому необходимо использовать какой-то физический эффект или последовате-льность таких эффектов, чтобы действие ультразвука могло проявиться, причем главным образом количественно. Таким образом, выбор метода для конкретной задачи производится сточки зрения удобства его применения, а также точности измерения интересующего параметра акустического поля.

**Эхо-имульсивные методы визуализации и измерений**

Методы ультразвуковой эхо-импульсной визуализации уже нашли широкое и разнообразное применение в медицине.

Основным элементом любой системы визуализации является электроакустический преобразователь, который служит для излучения зондирующего акустического импульса в объект и для приема акустических эхо-сигналов, переизлучаемых мишенью.

Приемник представляет собой своего рода систему сопряжения между преобразователем и дисплеем или системой записи, которые применяются для передачи наблюдателю информации, полученной с помощью ультразвука. В хороших системах эхо-сигналы на выходе преобразователя имеют большой динамический диапазон.

**Области применения эхо-импульсных методов**

Эхо-импульсные методы в настоящее время стали широко применятся во многих областях медицины.

АКУШЕРСТВО

Акушерство – та область медицины, где эхо-импульсивные ультразвуковые методы наиболее прочно укоренились как составная часть медицинской практики. Рассматриваемые здесь четыре основных задачи иллюстрируют ценность многих полезных свойств ультразвуковых методов.

Надежное определение положения плаценты – задача первостепенной важности в акушерской практике. С развитием техники, обеспечивающее высокое расширение по контрасту, эта процедура стала уже рутинной. Приборы, работающие в реальном времени, эргономически более выгодны, так как позволяют определять положения плаценты быстрее, чем статические сканеры.

Второй вид процедур, ставших уже привычными, - оценка развития плода по измерению одного или более его размеров, таких как диаметр головки, окружность головки, площадь грудной клетки или живота. Так как даже очень малые изменения этих размеров могут иметь диагностическое значение, эти методы требуют высокой точности самой аппаратуры и методик ее применения.

Третий вид процедур, появившийся не так давно и не столь еще укоренившийся в практике, - раннее обнаружение аномалий плода. Это приложение требует особенно хорошего пространственного разрешения и разрешения по контрасту, предпочтительно в сочетании с режимом реального времени и быстрым сканированием. Хорошие методики и качественная аппаратура позволяют обнаруживать такие дефекты, как недоразвитие (гибель) яйца, анэнцефалия (полное или почти полное отсутствие мозга), гидроцефалия (избыток жидкости в мозге, наблюдаемый в виде уширения желудочков), спинальные (позвоночные) дефекты, зачастую необнаружимые биохимическими методами, и дефекты желудочно-кишечного тракта. Вспомогательную, но очень важную роль играет ультразвук в процедуре амниоцентеза (пункции плодного пузыря) – взятии околоплодных вод для цитологических исследований и выявления возможных генетических нарушений. Ввод иглы при амниоцентезе под контролем ультразвуковой визуализации, обеспечивает значительно большую безопасность этой процедуры.

Наконец, необходимо отметить ультразвуковое исследование движения плода. Это явление лишь недавно стало предметом подробного исследования. Сейчас происходит накопление большого количества информации как по движению конечностей плода и псевдодыханию, так и по динамике сердца и сосудов. Здесь основной интерес представляет исследования физиологии и развития плода; до обнаружения аномалий плода пока еще далеко.

ОФТАЛЬМОЛОГИЯ

Может быть, из-за относительно малых размеров глаза офтальмология несколько выделилась из прочих областей применения ультразвука.

Ультразвук особенно удобен для точного определения размеров глаза, а также для исследования патологии и аномалий структур глаза в случае их непрозрачности и, следовательно, недоступности для обычного оптического исследования. Здесь также важна точность работы и калибровки аппаратуры, необходимо также уделить особое внимание эффектам, связанным с преломлением ультразвука в хрусталике и роговице.

Область позади глаза – орбита – доступна ультразвуковому обследованию через глаз, поэтому ультразвук вместе с компьютерной томографией стал одним из основных методов неинвазивного исследования патологий этой области. Структуры орбиты имеют малые размеры и требуют хорошего пространственного разрешения и разрешения по контрасту, что достижимо на высоких частотах. Практические сложности могут возникать, однако, если пытаться использовать аппаратуру, характеристики которой заимствованы из телевизионной техники, а полоса пропускания соответственно ограничена.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ

Под таким заголовком можно рассмотреть множество разнообразных задач, в основном связанных с исследованием брюшной полости, где ультразвук используется для обнаружения и распознавания аномалий анатомических структур и тканей. Зачастую задача такова: есть подозрение на злокачественное образование и необходимо отличить его от доброкачественных или инфекционных по своей природе образований.

При исследовании печени кроме важной задачи обнаружения вторичных злокачественных образований ультразвук полезен для решения других задач, включая обнаружение заболеваний и непроходимости желчных протоков, исследования желчного пузыря с целью обнаружения камней и других патологий, исследование цирроза и других доброкачественных диффузных заболеваний печени, а также паразитарных заболеваний, таких как шистосоматоз. Почки – еще один орган, в котором необходимо исследовать различные злокачественные и доброкачественные состояния (включая жизнеспособность после трансплантации) с помощью ультразвука. Гинекологические исследования, в том числе исследования матки и яичников, в течение долгого времени являются главным направлением успешного применения ультразвука. Здесь зачастую также необходима дифференциация злокачественных и доброкачественных образований, что обычно требует наилучшего пространственного и контрастного разрешения. Аналогичные заключения применимы и к исследованию многих других внутренних органов и областей. Возрастает интерес к применению ультразвуковых эндоскопических зондов. Эти устройства, которые можно вводить в естественные полости тела при обследовании или применять при хирургическом вмешательстве, позволяют улучшить качество изображения из-за более высокой рабочей частоты и/или отсутствия на пути ультразвука таких неблагоприятных акустических сред, как газ или кость.

ПРИПОВЕРХНОСНЫЕ И НАРУЖНЫЕ ОРГАНЫ

Щитовидная и молочная железы, хотя и легко доступны ультразвуковому обследованию, часто требуют использования водяного и ионного буфера, чтобы на изображение не повлияли аномалии ближней зоны поля. При исследовании щитовидной и паращитовидной железе основное применение ультразвука – различение кистозных и твердых образований, что возможно при хорошем подавлении шума и артефактов, вызванных реверберацией и боковыми лепестками излучения.

Захватывающая перспектива – скрининг для выявления самых разных признаков рака молочной железы при отсутствии выраженных симптомов, особенно у женщин с аномально высоким фактором риска. Технически здесь необходимо обнаружить аномалию размеров около 2мм в диаметре, когда эта аномалия относительно редко встречается в заданной группе, например, будет только у одной пациентке.

Методы визуализации молочной и щитовидной желез, часто использующие акустическую задержку распространения, применимы также к обследованию других приповерхностных тканей, например, при измерении толщины кожи, необходимо в радиационной терапии для облучения электронами, при обследовании приповерхностных кровеносных сосудов, таких как сонная артерия, а также при исследовании реакции опухолей на терапевтические воздействия.

КАРДИОЛОГИЯ

Ультразвуковые методы широко применяются при обследовании сердца и прилегающих магистральных сосудов. Это связано, в частности, с возможностью быстрого получения пространственной информации, а также возможностью ее объединения с томографической визуализацией. Так, для обнаружения и распознавания аномалий движения клапанов сердца, в частности митрального, очень широко используется М-режим. При этом важно регистрировать движение клапанов вплоть до частот порядка 50Гц и, следовательно, с частотой повторения около 100Гц. Эта цифра, оставаясь значительно ниже упомянутого выше придела для эхо-импульсных приборов (около 5кГц), в сущности, недостижима при любых других методах исследования.

НЕВРОЛОГИЯ

До появления рентгеновской компьютерной томографии мозг было особенно сложно исследовать. Начиная с 1951г., в Лондонском королевском онкологическом госпитале предпринимались значительные усилия для применения ультразвука к этой задаче. К сожалению, этому мешают физические свойства черепа взрослого человека, поскольку череп представляет собой сильно поглощающую трехслойною структуру переменной толщины. Хотя было сделано несколько интересных попыток преодолеть эти трудности, в том числе с использованием управляемых многоэлементных решеток, когда датчик прилегает к ограниченной области черепа, а также с частичной автоматической компенсацией фазовой задержки для учета изменений толщины черепа, такое применение не встретило одобрения диагностов. Однако еще не затвердевший череп плода или новорожденного в акустическом плане не представляет значительных преград, связанных с возникновением затухания или преломления, и поэтому ультразвуковое обследование здесь применяется все чаще.

**Применение ультразвука в терапии и хирургии**

Давно известно, что ультразвук, действуя на ткани, вызывает в них биологические изменения. Интерес к изучению этой проблемы обусловлен, с одной стороны, естественным опасением, связанным с возможным риском применения ультразвуковых диагностических систем для визуализации, а с другой – возможностью вызвать изменения в тканях для достижения терапевтического эффекта.

Терапевтический ультразвук может быть условно разделен на ультразвук низких и высоких интенсивностей. Основная задача применения ультразвука низких интенсивностей – не повреждающей нагрев или какие-либо нетепловые эффекты, а также стимуляция и ускорение нормальных физиологических реакций при лечении повреждений. При более высоких интенсивностях основная цель – вызвать управляемое избирательное разрушение в тканях.

Первое направление включает в себя большинство применений ультразвука в физиотерапии и некоторые виды терапии рака, второе – ультразвуковую хирургию.

НАГРЕВ

Распределение температуры в тканях млекопитающих при ультразвуковом нагреве, уже подробно обсуждались. Управляемый нагрев глубоко расположенных тканей может дать продолжительный терапевтический эффект в ряде случаев.

Высокий коэффициент поглощения ультразвука в тканях с большими молекулами обусловливает заметное нагревание коллагенсодержащих тканей, на которые чаще всего и воздействуют ультразвуком при физиотерапевтических процедурах.

Увеличение растяжимости коллагенсодержащих тканей

Основной фактор, который часто препятствует восстановлению мягкой ткани после ее повреждения, - это контрактура, возникающая в результате повреждения и ограничивающая нормальное движение. Слабое прогревание ткани может повысить ее эластичность . при дополнительном прогревании во время растягивающих упражнений улучшается гибкость коллагенсодержащих структур. Ультразвуковой нагрев приводит к увеличению растяжимости сухожилий. Рубцовая ткань также может стать более эластичной под воздействием ультразвука.

Повышение подвижности суставов

Амплитуда движений суставов в случае контрактуры может быть увеличена путем их нагрева. Для нагрева сустава, окруженного значительным слоем мягких тканей, ультразвуковой способ наиболее предпочтителен, поскольку ультразвук лучше других форм диатермической энергии проникает в мышечную ткань.

Болеутоляющее действие

Многие пациенты отмечают ослабление болей при тепловом воздействии на пораженные области. Обезболивающий эффект может быть как кратковременным, так и продолжительным. При некоторых заболеваниях применение ультразвука для уменьшения болей дает наилучшие результаты . Ультразвук ослабляет фантомные боли после ампутации конечностей, а также боли , вызванные образованием рубцов и невром. Механизмы болеутоляющего действия пока неясны; возможно, в них вносят вклад и нетепловые эффекты.

Изменения кровотока

При локальном нагреве ткани часто отмечаются сосудистые реакции, проявляющиеся даже на некотором расстоянии от места воздействия.

При нагреве ультразвуком или электромагнитном излучением наблюдаются сходные эффекты. При импульсном облучении (когда тепловые эффекты не велики) также изменяется кровоток. Эти изменения сохраняются около получаса после окончания процедуры.

Местное расширение сосудов увеличивает поступления кислорода в ткань и, следовательно, улучшает условия, в которых находятся клетки. Возможно, именно этим объясняется терапевтический эффект, а также нередко наблюдаемое усиление воспалительной реакции.

Уменьшение мышечного спазма

Прогревание может уменьшить мышечный спазм. По-видимому, это обусловлено седативным (успокаивающим) действием повышения температуры на периферические нервные окончания. Ультразвук также может быть использован для этой цели.

Степень физиологической реакции на прогревание зависит от большого числа факторов, включающих достигаемую температуру, время прогревания, размер прогреваемой зоны и скорость увеличения температуры. Ультразвук позволяет быстро нагреть строго определенную область. К анатомическим структурам, которые избирательно нагреваются ультразвуком, относятся богатые на коллаген поверхностные слои кости, надкостница, суставные мениски, синовиальная жидкость, суставные сумки, соединительные ткани, внутримышечные рубцы, мышечные волокна, оболочки сухожилий и главные нервные стволы.

В ряде случаев ультразвук может быть более эффективной формой диатермии, чем коротковолновые излучения, парафиновые аппликации и инфракрасное излучение.

**Оценка безопасности применения ультразвука в медицине**

Как научные, так и профессиональные интересы обязывают ученых выяснить, какую опасность для пациента и оператора представляет использование ультразвука.

В настоящее время невозможно выделить один или даже несколько физических параметров, которые служили бы в качестве адекватных количественных характеристик, позволяющих предсказать конечный биологический эффект.

В отсутствии адекватной информации, на основе которой должны быть установлены максимально допустимые дозы при применении ультразвука в медицине, было бы полезным выдвинуть некоторые критерии для правильного применения ультразвука. Ряд таких критериев может быть обобщен следующим образом:

Оператор должен использовать минимальные интенсивности и экспозиции, позволяющие получить у пациента желаемый клинический эффект;

Обслуживающий персонал не должен облучатся без необходимости;

Все процедуры должны выполнятся хорошо обученным персоналом или под его руководством.

Если следовать этим рекомендациям, то ультразвук можно эффективно использовать в медицине с большой уверенностью в его безопасности.

**Список литературы**

Хилл К. – «Применение ультразвука в медицине» - 1989г.

Ремизов А.Н. – «Медицинская и биологическая физика» – 1987г

Крылов Н.П. и Рокитянский В.И. – «Ультразвук и его применение» - 1958г