

ТЕМА 8 ОБРАБОТКА БИОСИГНАЛОВ. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для медицинской практики, независимо от специфики той или иной области интересов, диагностическая процедура всегда стоит на первом месте. Другими словами, сначала диагностика состояния организма – определение, что с чем связано и отчего это происходит, а затем некоторое действие, имеющее определенную цель, так называемое «направленное лечение» или профилактика. И, надо признать, что это правильное понимание места и роли диагностической процедуры складывалось на протяжении многих поколений исследователей.

В связи с тем, что диагностика состояния организма является определяющим шагом в списке последующих действий, ее роль очень высока. Сегодня для осуществления диагностических процедур различной направленности и сложности исполнения предлагается огромный перечень методических разработок и не менее обширный список аппаратов и технических систем для использования в области медицины.

Телеметрия (греч. *tēle* – вдалеке, далеко + *metreō* – мерить, измерять) – дистанционное исследование различных процессов, объектов или явлений путем измерения их параметров и передачи этих сведений на расстояние.

В медицине телеметрия используется для регистрации и передачи на расстояние сведений о состоянии пациента:

- больной, находящийся вне лечебного или консультативного центра;
- спортсмен в процессе тренировки;
- слежение за состоянием здоровья космонавтов, работающих на орбите;
- контроль физиологических функций организма больного, находящегося в барокамере, кардиологическом или реанимационном отделении и т.д.

Если в клинической диагностике основные действия с медицинской аппаратурой совершаются врачом и медико-техническим персоналом совместно, то при телеметрических процедурах, также составляющих основу диагностики, действия врача и инженера могут быть разделены.

Например, это ярко проявляется в задачах по обследованию состояния пилотов высокоскоростных летательных аппаратов. Закрепленные определенным образом датчики регистрации физиологических параметров организма на специальном костюме пилота позволяют вести непрерывное наблюдение за состоянием здоровья человека. Создание такой системы сбора медико-биологических данных и ее техническая эксплуатация представляются естественной частью общей задачи медицинской диагностики, которую решает научно-инженерный персонал. А вот анализ данных и их интерпретация уже будут составлять медицинскую часть этой же задачи. В таком понимании телеметрия выступает как типовое обследование организма человека в целях определения оценки функционального состояния одной из подсистем или всего организма в целом, но исполнение такого обследования проводится с помощью специальных датчиков, обеспечивающих регистрацию биологического сигнала, его передачу по телекоммуникационным каналам связи и анализ в удаленном медицинском центре. В этой процедуре только этап анализа данных в какой-то мере может быть доступен врачу.

Биоинженерия. В отличие от специалистов по моделированию многие инженеры-биомедики имеют дело непосредственно с биологическими тканями – мышцами, связками, сухожилиями – и даже клеточными мембранами. Чаще всего их работа связана с измерением физических параметров (таких, как прочность, жесткость, упругость) или функциональных показателей (электрической активности, количеств выделяемого вещества, осмотического давления в клетках и т.п.). Подобные измерения важны не только для фундаментальной науки, они создают основу для практически важных

разработок, одним из примеров которых служит искусственное сердце. Одной из интересных тем биоинженерии является имплантация или эндопротезирование.

Биологический сигнал. Практически во всех задачах телеметрического контроля датчику – **регистратору биологического сигнала** – уделяется много внимания. От технических характеристик такого датчика, его функциональных возможностей зависит выбор канала передачи данных. Так, если предполагается контролировать состояние биологического объекта на коротком расстоянии, скажем в пределах нескольких метров, то можно использовать как оптический, так и радиоканал передачи данных. Если же расстояние от датчика является величиной переменной и требуется вести контроль состояния объекта на большом от него расстоянии, то наиболее целесообразно использовать радиоканал.

Обобщенно, любое электрофизиологическое исследование представляется тремя последовательными этапами:

- 1) **съем;**
- 2) **регистрация**
- 3) **обработка сигналов биологической активности (биосигналов).**

Специфические особенности, присущие каждому этапу реализации, определяют комплекс требований и ограничений на возможную реализацию остальных.

Съем сигнала осуществляется посредством электродов.

Биологическим электродом называется устройство, используемое при съеме биоэлектрических потенциалов, имеющие токосъемную поверхность и выходные элементы.

Токосъемная поверхность – часть поверхности электрода, непосредственно или через контактное вещество контактирующая с биообъектом и обеспечивающая съем биопотенциалов.

В зависимости от участия в съеме биопотенциалов, различают следующие виды электродов:

- **Потенциальный электрод** – отводящий электрод, контактирующий с участком биообъекта, находящимся в электрическом поле исследуемого объекта.

- **Нулевой электрод** – отводящий электрод, контактирующий с участком биообъекта, в котором электрический потенциал стремится к нулю.

- **Нейтральный электрод** – электрод, не участвующий в съеме биоэлектрических потенциалов, подключенный к нейтральной клемме измерительного прибора.

При съеме и регистрации биосигналов проявляют себя **различные помехи**. Наибольшую погрешность в измерения вносят т.н. аддитивные помехи. Среди них выделяют следующие виды:

- **Артефакты** или случайные помехи. Их причинами может быть биоэлектрическая активность органов, не имеющая непосредственного отношения к работе исследуемых органов и тканей

- **Разностные и синфазные помехи** – образуются, в первую очередь, как наводки промышленной частоты 50 Гц от сети переменного тока и всегда имеются в помещениях, где производится регистрация.

- **Мультипликативные помехи** – изменяют параметры контура передачи сигнала, что приводит к случайной модуляции величины полезного сигнала. Связаны в основном с изменениями сопротивления «кожа-электрод», вызванными высыханием токопроводящих или физиологического раствора. Мультипликативные помехи носят инфранизкий характер и проявляются при длительных исследованиях.

Методы электрофизиологических исследований. В зависимости от вида органов, биоэлектрическая активность которых изучается, различают следующие основные методы электрофизиологических исследований:

- **Электрокардиография** – исследование электрической активности сердца;

- **Электроэнцефалография** – исследование электрической активности головного мозга;
- **Электромиография** – исследование электрической активности мышц;
- **Электроокулография** – исследование изменения потенциалов, обусловленных движением глазного яблока.

Приведенный перечень может быть существенно расширен, в том числе в направлении изучения групп и даже отдельных клеток живых тканей.

При измерении электрических параметров биообъектов их соединяют с измерительной схемой с помощью биоэлектрических электродов. При этом можно выделить:

- отведение, т.е. зону контакта биообъекта с электродом,
- электродное контактное вещество (паста, физ. раствор),
- электрод,
- отводящие провода.

Все используемые отведения можно разделить на:

- **униполярные,**
- **биполярные**
- **многоэлектродные.**

- **Униполярное отведение** позволяет регистрировать биоэлектрическую активность в точке наложения электрода.

- **Биполярное отведение** – оба электрода являются измерительными, и разность потенциалов регистрируется между двумя точками поверхности тела.

- **Многоэлектродное отведение** – в требуемых точках биообъекта накладываются две группы электродов, электроды каждой группы соединяются через суммирующие цепи и образуют две ветви отведения.

В настоящее время приоритетным направлением развития методологии электрофизических исследований является разработка методов автоматического анализа, оптимальных для решения каждой конкретной задачи. Достоверность выделения информативных признаков должна быть ограничена только принципиально неустранимой неопределенностью данных вследствие наличия комплекса помех. Необходимой теоретической основой для решения подобного рода задач является аппарат статистической теории.

Медицинские телеметрические системы могут сочетать в себе и другие функции, например контроль состояния технологического оборудования и состояние здоровья операторов. Разработка приборов и систем автоматического анализа биосигналов связана с созданием высокотехнологичного программного обеспечения, реализующего современные методы обработки сигналов, распознавания образов и искусственного интеллекта.

Понятие медицинского изображения. Одним из направлений применения компьютера в медицине является работа с графической информацией. Это направление изучается в специальном разделе медицинской информатики - анализе медицинских изображений.

Медицинское изображение предоставляет визуальную информацию о внутренних структурах и функциях человеческого тела. Оно может быть получено радиологическими или нерадиологическими методами.

Назначение **радиологических** методов – сделать доступным для визуального восприятия информацию, которая не воспринимается непосредственно зрением. Такую информацию получают с помощью излучения. Это излучение имеет, как правило, электромагнитную природу. Медицинские изображения органов, полученные средствами радиологической диагностики, являются главным источником информации в области здравоохранения.

Нерадиологическими методами получают изображения, снятые видеокамерой (эндоскопия) или сфотографированные (микроскопические изображения в гистологии, патологии, дерматологические изображения и т.д.). Эти типы изображений также могут быть переведены в цифровую форму и со временем обработаны.

В дальнейшем будем рассматривать преимущественно медицинские изображения, полученные радиологическими методами. Именно поэтому под понятием «медицинское изображение» будем понимать доступную зрительному восприятию картину пространственного распределения любого вида излучения, трансформированного в видимую часть оптического диапазона.

Медицинское изображение как объект медицинской информатики.

Все медицинские изображения, независимо от способов их получения, принадлежат к одной из двух групп: аналоговые и цифровые изображения.

К *аналоговым* изображениям относятся те, которые несут в себе информацию непрерывного характера. Например, изображения на рентгенограмме.

К *цифровым* относят изображения, полученные с помощью компьютера. Они имеют в своей основе матрицу, которая содержится в памяти ПК. Таким образом, цифровые изображения, в отличие от аналоговых, имеют дискретный характер. Поскольку в основе цифровых изображений лежит компьютерная технология, они становятся доступными для разнообразной обработки на ЭВМ.

Необходимо отметить, что аналоговые изображения могут быть преобразованы в цифровые и, наоборот. С этой целью применяют специальные устройства: аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Цифровое изображение формируется путем сканирования электронным лучом. Память дисплейного процессора организована в виде матрицы, каждому из элементов которой отвечает свой определенный участок дисплея. Подобная элементарная единица цифрового изображения, которой отвечает занумерованный участок памяти, получила название «пиксель». Таким образом, плоскость экрана представляет собой *матрицу* - совокупность пикселей. В лучевой диагностике площадь дисплея может формироваться в виде матриц 32x32, 64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024, 1024x1280 пикселей и выше. Чем на больше число пикселей разбита площадь дисплея, тем выше разрешающая способность системы отображения.

Все медицинские изображения в лучевой диагностике могут существовать *в виде твердых копий* - рентгенограмм, отражений на бумаге, фотобумаге; или *на магнитных носителях* - лентах, дисках; или *в нефиксированном виде* - на экране дисплея или рентгенодиагностического аппарата.

Объекты медицинского изображения можно разделить на твердые фрагменты (например, кости) и фрагменты, которые могут быть деформированы (например, структуры мягкой ткани); или на статические фрагменты (например, череп) и динамические (например, сердце).

Методы получения медицинских изображений. Для получения одно или двумерных медицинских изображений можно использовать:

- электромагнитное излучение;
- ультразвук.

Методами получения двумерных медицинских изображений являются:

- цифровая радиология;
- компьютерная томография;
- ядерный магнитный резонанс;
- 2D-ультразвук.

Методами и источниками трехмерных изображений являются:

- последовательность радиологических изображений или томографическое изображение динамического объекта;
- объемное томографическое изображение части статического объекта.

Коротко опишем указанные методики.

Рентгенология (обычная радиология) использует ионизирующее излучение из источника рентгеновских лучей. Это самый распространенный метод в отделениях радиологии. Изображение получается на рентгенографической пленке, чувствительной к рентгеновским лучам, и может быть впоследствии из этих пленок переведено в цифровую форму. Но можно получить цифровое изображение, минуя стадию рентгенографической пленки - в новых аппаратах, которые вместо пленок используют специальные матрицы.

Цифровая ангиография показывает сосуд, убирая из изображений нежелательные структуры (кости и внутренние органы). Исследования проводят в два этапа. Сначала получают изображение перед инъекцией контрастного вещества и переводят их в цифровую форму. Потом они используются для создания маски, которая будет удалена из изображений, полученных после инъекции.

Компьютерная томографии (КТ) также использует рентгеновские лучи, но вместо одного плоского изображения КТ-изображение восстанавливается компьютером из нескольких изображений, полученных в разных направлениях.

При ядерно-магнитном резонансе (ЯМР) компьютер восстанавливает изображение от полученных радиосигналов, интенсивность и продолжительность которых зависит от биологических характеристик ткани. Не используя ионизирующую радиацию, ЯМР предоставляет изображение, вид которого зависит от обмена веществ и характеристик тканей. **Ультразвуковое исследование** (УЗИ) базируется на акустическом исследовании. Зонд испускает ультразвуковые волны и получает отражение, которое с помощью пьезоэлектрических кристаллов превращается в электрические сигналы. Сигналы, которые получены от нескольких параллельных каналов, переводятся в цифровую форму и обрабатываются, в результате чего получается изображение.

Во время **сцинтиграфии** в организм вводится радиоактивная метка, обладающая тропизмом к определенному виду ткани. Испускаемое излучение фиксируется с помощью чувствительной к радиации камеры. Это изображения, захваченные видеокамерой (эндоскопия) или сфотографированные (микроскопические изображения в гистологии, патологии, дерматологические изображения и т. д.).

Все радиологические методики получения изображения могут быть представлены в виде следующей схемы (рис. 8.1).

Первый блок в этой схеме – источник излучения. Источник излучения может находиться вне пациента (например, при рентгенологическом и ультразвуковом исследовании) или может быть введенным в организм (например, при радионуклидных исследованиях).

Следующий блок – детектор излучения. Он непосредственно взаимодействует с объектом (пациентом). Его назначение – уловить электромагнитное излучение или упругие колебания и превратить их в диагностическую информацию. В зависимости от вида излучения детектором могут быть флуоресцентный экран, фото- или рентгеновская пленка, и др.

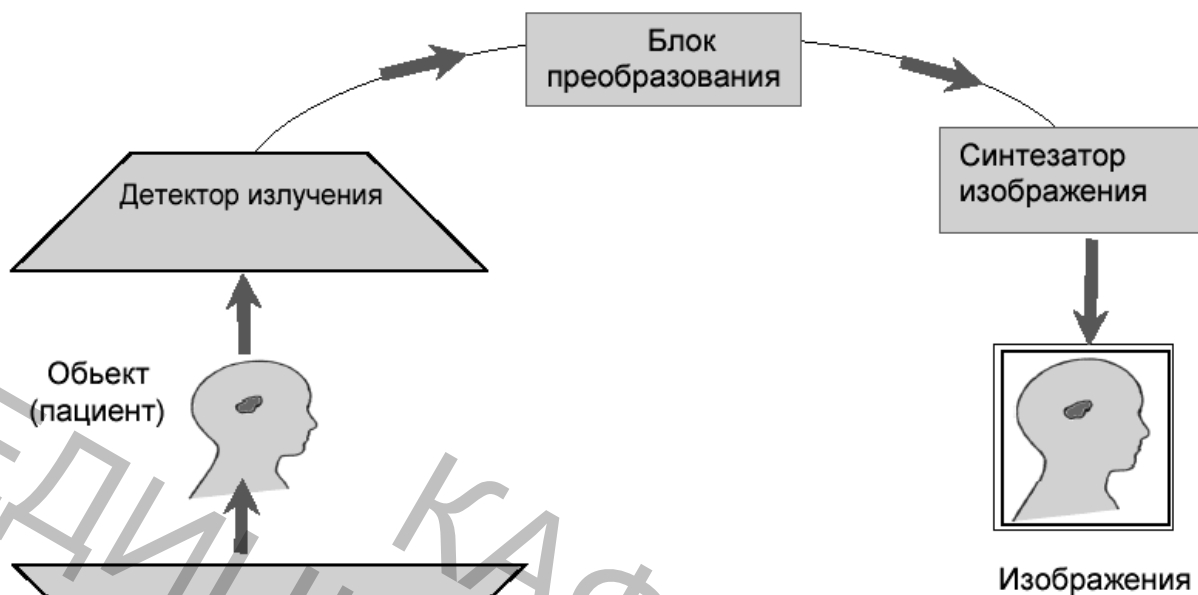


Рис. 8.1. Система образования изображения в радиологических методах диагностики

В некоторых системах информационные сигналы из детектора поступают в блок преобразования. Назначение этого блока - повысить информационную емкость сигнала, забрать препятствия («шум»), превратить его в удобный для дальнейшей передачи вид.

Потом преобразованные сигналы передаются в синтезатор изображения. Его назначение – создать изображение исследуемого объекта - органа, части тела, всего человека. Понятно, при использовании разных методик изображение будет разным.

Лучевые исследования планирует и выполняет врач-диагност. Это врач, получивший специальную подготовку в некоторой области лучевой диагностики. Его деятельность состоит из приема визуальной информации, ее обработки, интерпретации результатов и принятия диагностического решения.

Обработка медицинских изображений. В наше время на смену аналоговым приходят цифровые медицинские изображения. Переведение в цифровую форму облегчает обработку изображений, хранение и передачу медицинских визуальных данных.

Информационные технологии могут помочь на всех этапах получения и обработки медицинских изображений. Компьютеры непосредственно принимают участие в создании некоторых типов изображений, которые не могут быть получены другим способом: компьютерная томография, позитронная эмиссионная томография, ядерный магнитный резонанс.

Цифровая обработка изображения может использоваться с целью:

- улучшения качества изображения, компенсации дефектов регистрирующей системы и уменьшение шума;
- расчета клинически важных количественных параметров (расстояния, площади, объема, и т.д.);
- облегчение интерпретации (распознавание структуры, вычисление дозы для лучевой терапии).

Сжатие изображений уменьшает объем памяти для хранения данных и время для их передачи.

Хранение цифровых изображений на твердых электронных носителях упрощают организацию архивов и доступ к ним.

Передача изображений в цифровой форме между лечебными учреждениями позволяет нескольким экспертам быстро консультироваться для принятия диагностических или терапевтических решений, и улучшает контроль над лечением пациента.

Основные принципы обработки изображений. Обработка и анализ изображений состоит из следующих этапов.

1. Предварительная обработка. Фаза предварительной обработки отстраняет отклонения, связанные с системой генерации изображения, и уменьшает шумы. Цифровые данные обрабатываются с помощью специальных программ и таким образом улучшают видимость некоторых анатомических структур.

2. Изменение контрастности изображения. Расчет гистограммы изображения создает представление количества пикселей для каждого уровня серого цвета в изображении.

3. Сегментация. Эта фаза обработки изображения изолирует отдельные элементы изображения (органы, клетки и т.д.).

4. Расчет параметров. Расчет линейных и объемных параметров анатомических образований.

5. Интерпретация изображений. Автоматическая компьютерная интерпретация пока еще остается проблемой. Для ее качественного выполнения нужна база знаний из сравнительной и патологической анатомии. Полученные структуры и параметры должны быть сопоставимы с известными структурами и классифицированы.

Современные тенденции в обработке медицинских изображений включают двумерную и трехмерную обработку с помощью компьютера. Сегодня актуальным вопросом визуализации является создания баз данных медицинских изображений. Одна из таких баз – "visible human project" (http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html). Цель этого проекта – обеспечить наборы данных для использования при изучении анатомии, проведении исследований, для использования в образовательных и диагностических проектах.

Конструкция цифровых анатомических атласов и других наборов визуальных справочных данных требует усовершенствования лучевых методик исследования.

Обработка двумерных медицинских изображений. Рассмотрим в общих чертах наиболее типичные примеры использования вычислительных систем: компьютерную томографию, ультразвуковую диагностику и компьютерную фиброскопию.

Томографический метод находит все более широкое применение в медицинской практике в связи с тем, что в последние десятилетия появляются все новые и новые методы регистрации состояния внутренних тканей организма. Вероятно, что методы ядерного магнитного резонанса (ЯМР-томография), электрического парамагнитного резонанса (ЭПР-спектроскопия) постепенно будут все более вытеснять метод томографии, основанный на регистрации степени поглощения тканями рентгеновских лучей.

Принцип томографии (рис. 8.2) основан на послойной регистрации большого числа лучей, посланных излучателем (1) через исследуемый орган (3) в сторону регистратора излучения (2). На рисунке условно разделены две пары излучатель-регистратор, расположенные в горизонтальной (А) и вертикальной (В) плоскостях.

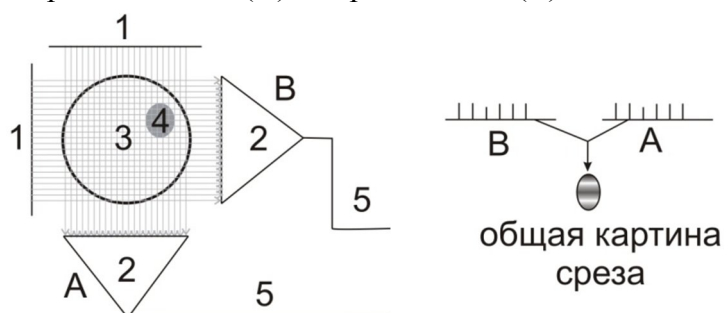


Рис. 8.2. Иллюстрация принципа съема сигнала при компьютерной томографии

При прохождении через ткань исследуемого органа лучи неравномерно поглощаются во всех его участках. Предположим, что внутри органа (3) имеется патологический очаг (4). Тогда профили интенсивности лучей, прошедших через орган, будут иметь вид, представленный на схеме справа. Низкая интенсивность соответствует расположению патологического очага. Наличие двух профилей позволяет точно указать расположение очага в структуре органа.

Этап обработки и графического синтеза осуществляется с помощью вычислительных систем, так как в этом случае обрабатываются огромные массивы цифровой информации.



Рис. 8.3. Преобразование сигналов при ультразвуковой диагностике (УЗИ)

Принцип работы установок для ультразвуковой диагностики (рис. 8.3) во многом аналогичен описанному выше, с той разницей, что речь идет, во-первых, о механических колебаниях ультразвукового диапазона, а во-вторых, этот сигнал не проходит через орган, а отражается от него.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «телеметрия»
2. Для чего используется телеметрия?
3. Какими этапами представляется электрофизиологическое исследование?
4. Дайте определение следующим понятиям: биологический электрод; токосъемная поверхность; потенциальный электрод; нулевой электрод; нейтральный электрод; артефакты; разностные и синфазные помехи; мультипликативные помехи; методы электрофизиологических исследований
5. Что такое медицинское изображение?
6. Какими методами может быть получено медицинское изображение?
7. Что относят к *аналоговым* изображениям?
8. Что относят к *цифровым* изображениям?
9. Перечислите методы получения двумерных медицинских изображений
10. Перечислите методы получения трехмерных изображений
11. Какие методы получения одномерных изображений вам известны?
12. С какой целью может использоваться цифровая обработка изображения в медицине?
13. Каковы основные принципы обработки изображений?

Задание для самоконтроля

Подготовьте мини-доклад об одном из методов электрофизиологических исследований:

- Электrokардиография;
- Электроэнцефалография;
- Электромиография;
- Электроокулография.

Список литературы

1. Медична інформатика і ти. – Режим доступа: <http://nmuinform.ucoz.ru/load/11>
2. Методика компьютерной диагностики. – Режим доступа: <http://oberon-aurum.ru/user-artical-50.php>
3. Исаков Р.В., Лукьянова Ю.А. «Моделирование биосигналов и систем» информационный портал по вопросам биомедицинской инженерии. – Режим доступа: <http://ilab.xmedtest.net>
4. Зозуля Е.П. Методы автоматического анализа биосигналов с хаотическими свойствами для медицинских компьютерных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17. - М, 2010.
5. Kaiser W, Findeis M. Artifact Processing During Exercise Testing // Journal of Electrocardiology. – 1999. – Vol 32, Supplement. – P. 212-219.

КАФЕДРА
МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ
И
ИНФОРМАТИКИ
КГМУ