

# **Характеристика биологических систем как объектов исследования**

Аристов Александр Александрович ,  
доцент каф. Промышленной и  
медицинской электроники ТПУ

2016

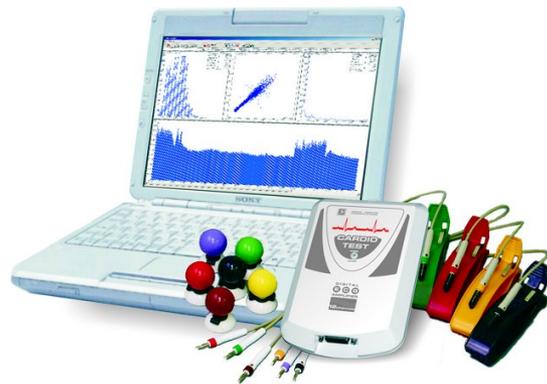
# Медицинские приборы (диагностика) можно разделить на:

- **воздействующие диагностические приборы**
- **воспринимающие диагностические приборы**

- **Воздействующие диагностические приборы** дают необходимую информацию **по реакции** пациента на определенное воздействие (например, диагностические электро-стимуляторы), либо по внесенному телом пациента **возмущению** в поток энергии (рентгеновское просвечивание, ультразвуковая эхография и т.п.).



- **Воспринимающие диагностические приборы** дают информацию о различных процессах в организме - генерируемых тканями и органами биопотенциалах, звуковых тонах сердца, температуре тела и др.
- **Воспринимающие диагностические приборы** должны оказывать минимальное влияние на исследуемый процесс и передавать информацию с наименьшими искажениями.



# Виды диагностики

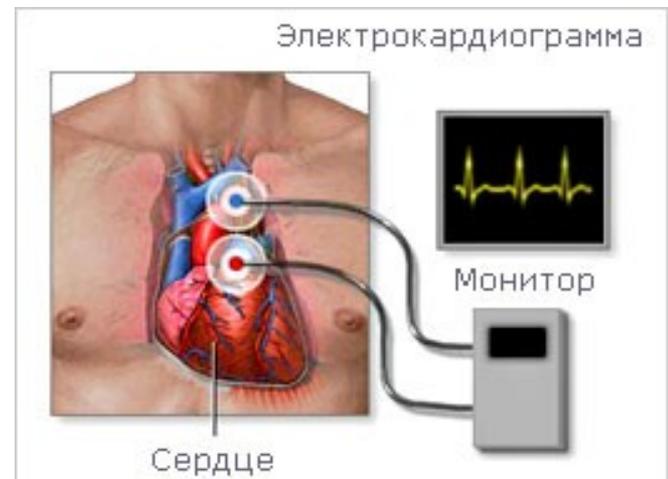
- средства структурной диагностики

методы, которые изучают «как это устроено» (рентгеновское исследование, томография, УЗИ и пр.)



- средства функциональной диагностики

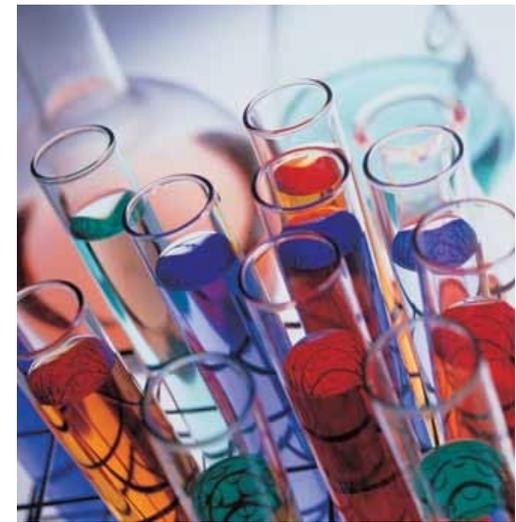
методы, которые изучают «как это работает» (средства визуализации электромагнитного, теплового излучений, механических, гидро и газодинамических и пр. проявлений жизнедеятельности)



# ***Виды диагностики***

- **средства лабораторной диагностики**  
(аналитические методы и приборы)

Приборы, которые используют для изучения свойств и состава биопроб взятых из организма (исследование **in vitro**)



По **функциональному** признаку, т.е. в зависимости от целей, для которых она используется, электромедицинская аппаратура разделена на:

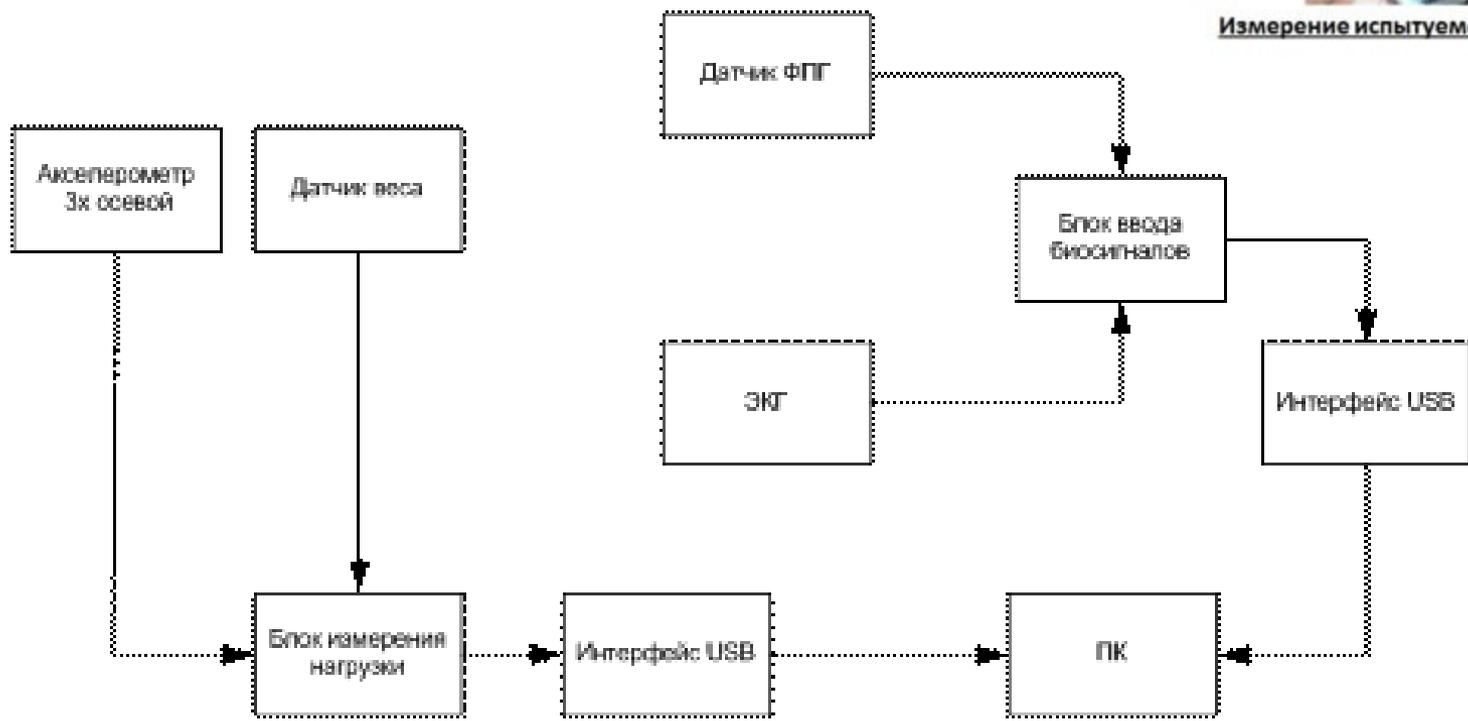
1. **терапевтическую**
2. **диагностическую.**

Изделия терапевтической аппаратуры принято называть аппаратами,

Изделия диагностической аппаратуры – приборами .

- **Терапевтические аппараты** воздействуют на пациента с целью вызвать желаемые сдвиги в его организме – перестройку патологического процесса в сторону нормализации.
- **Хирургические аппараты**, являющиеся частью терапевтических, предназначены для осуществления радикальных изменений в структуре органов и тканей.

# Аппаратно-программный комплекс регистрации нагрузки для функциональной диагностики



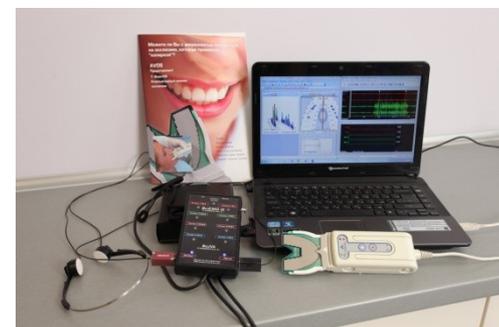
# аппаратно-программные комплексы

по конструктивному исполнению

- стационарные (привязаны к стационарному ПК)

- мобильные  
(использование портативного компьютера)

- автономные (не используется ПК)



*Автономные системы* компактны за счёт того, что управляющая и вычислительная программа в них реализуется на встроенных микропроцессорах в рамках целостного однокорпусного прибора. Однако это ограничивает их функциональные возможности и позволяет встраивать исполнение минимума функций и методик.

Обычно в виде автономных приборов выпускаются кардиографы, реографы и спирографы.



Одной из основных областей развития аппаратно-программных систем, является **функциональная диагностика**.

Принципиальная особенность этой области состоит в том, что основным объектом анализа являются не точечные и статические измерения состояния организма, а *динамические* характеристики процессов жизнедеятельности с их изменением во времени.



В процессе функционирования **аппаратуры** **она** оказывается определенным образом **связанной с пациентом.**

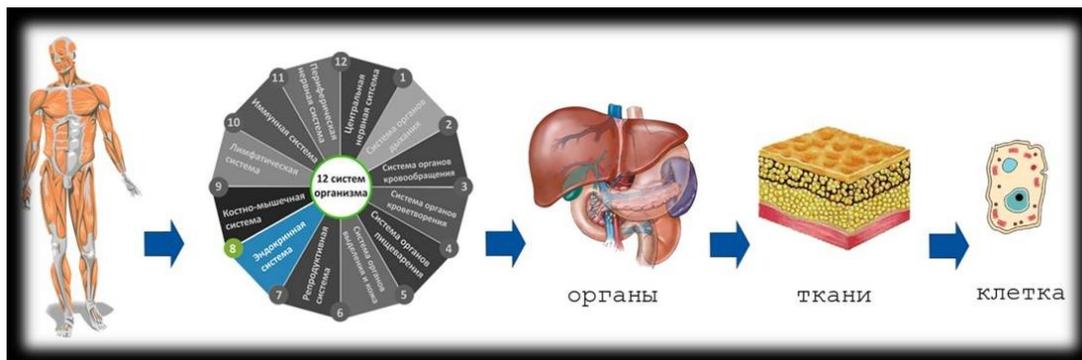
В системе аппарататура-пациент устанавливается движение энергии от аппаратуры к пациенту или наоборот.

**Поэтому важно согласовать эти объекты.**

# Определение организма, как биологической системы

- Наиболее распространенной точкой зрения на биологический организм является представление о нем, как о биохимической машине с кибернетическим управлением
- Организм представляет собой сложно организованную и непрерывно изменяющуюся систему, характеризующуюся множеством своих специфических особенностей
- Совокупность этих особенностей характеризуется понятием здоровье, под которым понимают гармоническое единство всевозможных процессов, проявляющееся в относительно устойчивой жизнедеятельности органов и систем организма.

# Состав организма

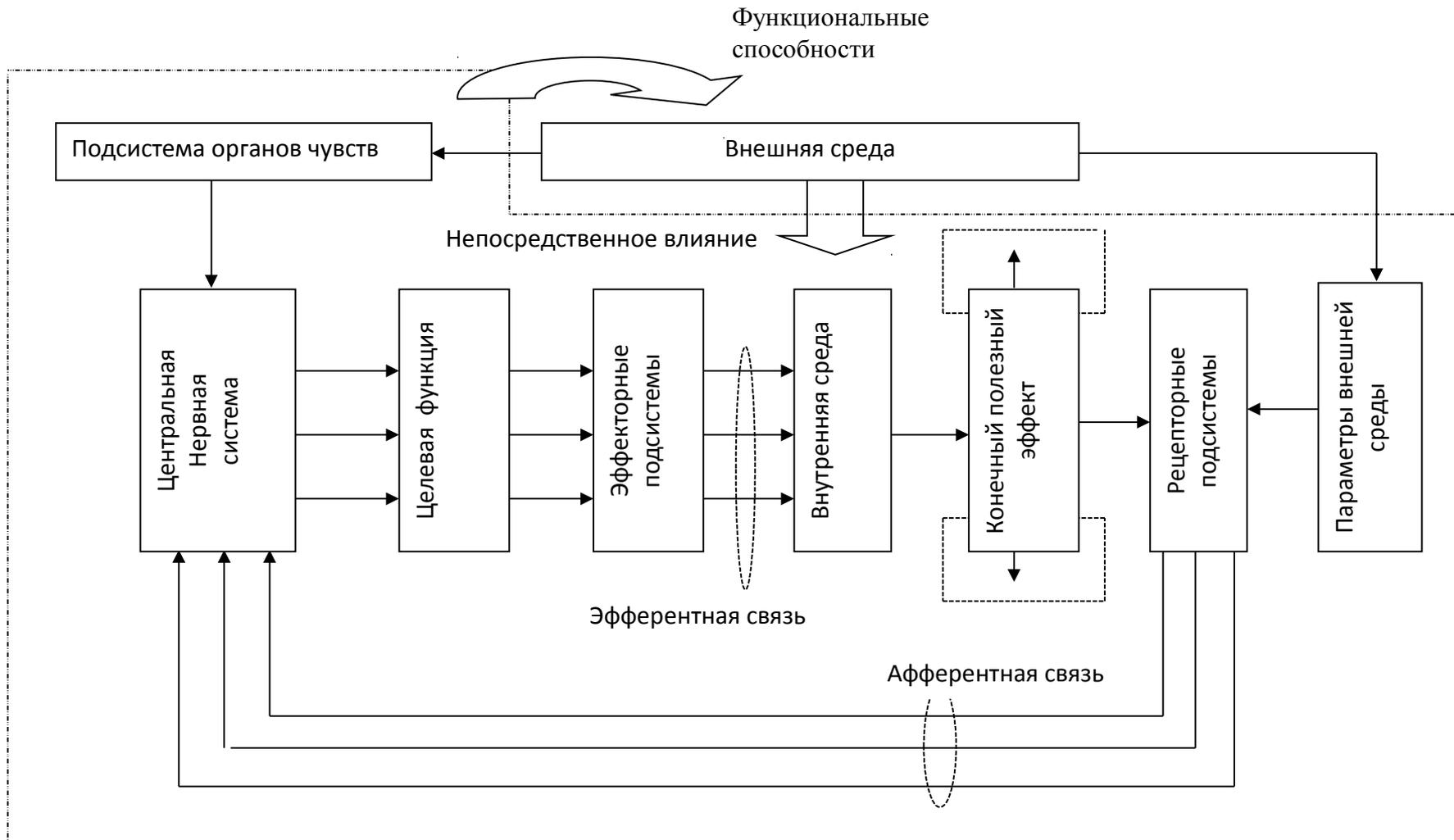


- Организм состоит из клеток - элементарных частиц живого,
- Ассоциации клеток образуют биологические ткани - мышечную, соединительную, нервную и т.д.,
- Органы - морфологические образования, представляющие собой совокупность нескольких видов биологических тканей, которые при своей жизнедеятельности выполняют определенные функции.
- Органы, связанные функционально, т.е. объединенные для выполнения (достижения) некоторых функций, образуют функциональные системы.
- Функциональные системы тесно взаимодействуют в составе единого органического целого.

# Управление подсистемами организма

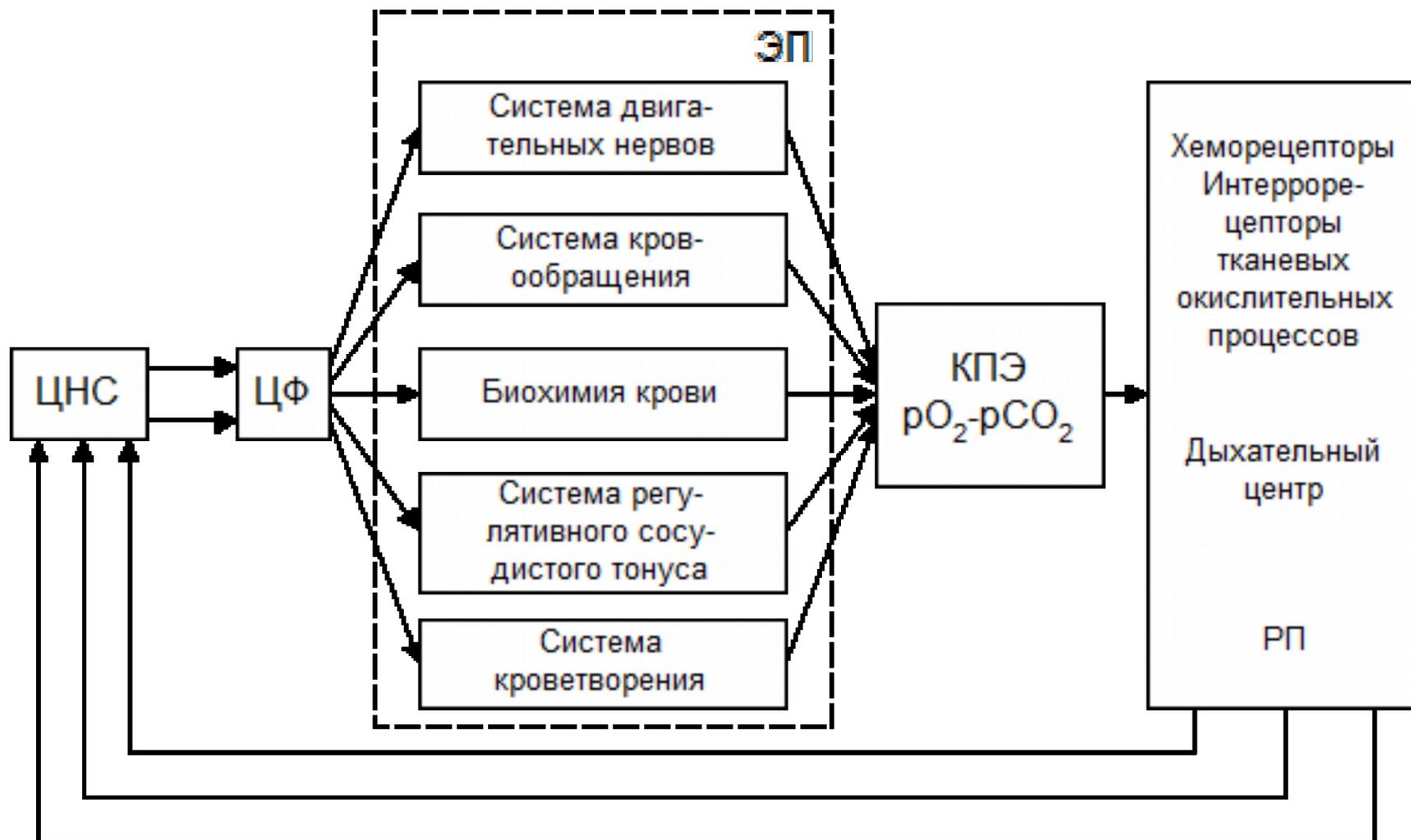
- Все функциональные системы управляются с помощью разнообразных подсистем управления, благодаря работе которых обеспечивается выживание в условиях изменяющейся внешней среды.
- Принято считать, что они имеют иерархическую организацию.
- Руководящая роль отводится центральной нервной системе, которая состоит из головного и спинного мозга.
- Основным механизмом нервной деятельности - прием сигналов из внутренней и внешней сред, их преобразование и передача информации в нервные центры головного мозга. В нем они анализируются, и вырабатывается управляющее воздействие, под влиянием которого "исполнительные" органы создают ответную реакцию.

# Схема функциональной системы по П.К.Анохину

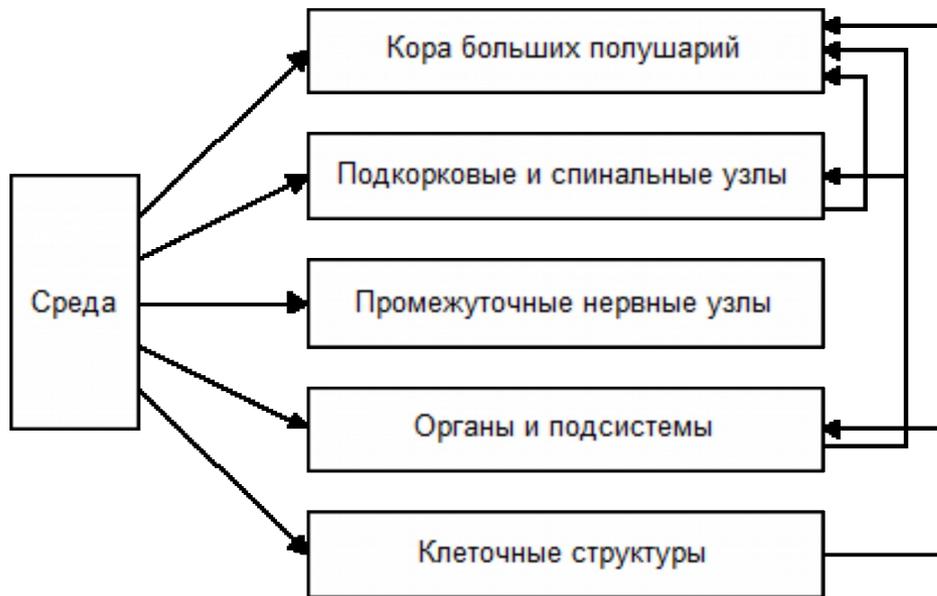


# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

## Система внешнего дыхания



## Принципы организации управления, действующие в биологических системах.



- 1. Иерархическая организация органов и подсистем управления.
- 2. Органы и подсистемы организма, управляемые нервными центрами, решают отдельные частные задачи регулирования в соответствии со своей сложно организованной внутренней структурой.

- 3. Иерархичность структуры организма приводит к тому, что взаимодействие нервной системы с органами и подсистемами строится на принципе последовательности уровней.
- 4. Для нормального функционирования всего организма необходим обмен информацией между уровнями как с верха вниз, так и снизу вверх.

## Зависимость функционального уровня организма от режима воздействия

**Совокупность существенных переменных, описывающих физико-химические свойства внутренней среды организма и физические характеристики определяют функциональный уровень организма.**

- В состоянии режима покоя, или слабых воздействий каждая подсистема организма работает по принципу наименьшего взаимодействия.
- При сильных внешних воздействиях на организм принцип наименьшего взаимодействия нарушается, возникают эффекты непосредственного возмущающего воздействия одних подсистем на другие - эффекты иерархических влияний, доминирования, конкурентных отношений.
- Попадая в экстремальные условия организм стремится поддержать постоянство наиболее важных показателей в ущерб менее ответственным, т.е. действует принцип поддержания постоянства внутренней среды.

# Показатели функционального уровня организма

- Любой организм характеризуется совокупностью показателей, с помощью которых оцениваются физико-химические свойства внутренней среды:
  - концентрации различных веществ
  - рН
  - рО<sub>2</sub> и т.д,
- а также своими физическими характеристиками
  - ударный объем сердца
  - частота сердечных сокращений
  - артериальное давление
  - скорость кровотока
  - сопротивление периферических сосудов
  - частота и минутный объем дыхания и т.д.
- **Совокупность этих показателей характеризует функциональный уровень организма, который поддерживается в результате действий функциональных систем.**

## ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ❑ 1. Любая биологическая система необычайно сложна, включает множество разнообразных подсистем с многообразными и подвижными связями и функциями, что приводит к большому количеству возможных состояний.
- ❑ 2. При изучении биологической системы приходится считаться с непрерывно изменяющимся комплексом множества факторов, активно воздействующих на систему или на подсистему.
- ❑ 3. Состояния биологической системы описывается набором физиологических процессов и большим количеством разнородных медико-биологических показателей, число которых окончательно не установлено. При этом процессы и показатели неоднозначно определяют состояние системы.
- ❑ 4. Для биосистем характера качественная неоднородность, проявляющаяся в том, что в рамках одной и той же функциональной системы совместно и слажено работают разнородные подсистемы с разными постоянными времени, с качественно различными управляющими сигналами (химическими, физическими, информационными).

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- ❑ 5. Большое число параметров, описывающих биологическую систему, затрудняет, а иногда и исключает возможность их одновременного фиксирования для получения представления о мгновенном состоянии системы.
- ❑ 6. Отсутствие количественных характеристик состояния и функций биологической системы приводит к тому, что результат внешних управляющих воздействий на нее не может быть предсказан однозначно.
- ❑ 7. Неоднозначность реакции на один и тот же набор сигналов внешней среды или смежных иерархических уровней указывает так же на нестационарность самих биосистем.
- ❑ 8. Изменчивость и индивидуальность параметров приводит к широкому использованию в медицине и биологии методов математической статистики (биометрии)
- ❑ 9. Большие трудности возникают при измерении параметров внутренней среды биологических систем без нарушения их целостности, без внесения искажений в измеряемый параметр из-за физиологичности эксперимента.
- ❑ 10. Сложность измерений связана так же со сравнительно малыми абсолютными значениями измеряемых величин при больших уровнях шумов.

# ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

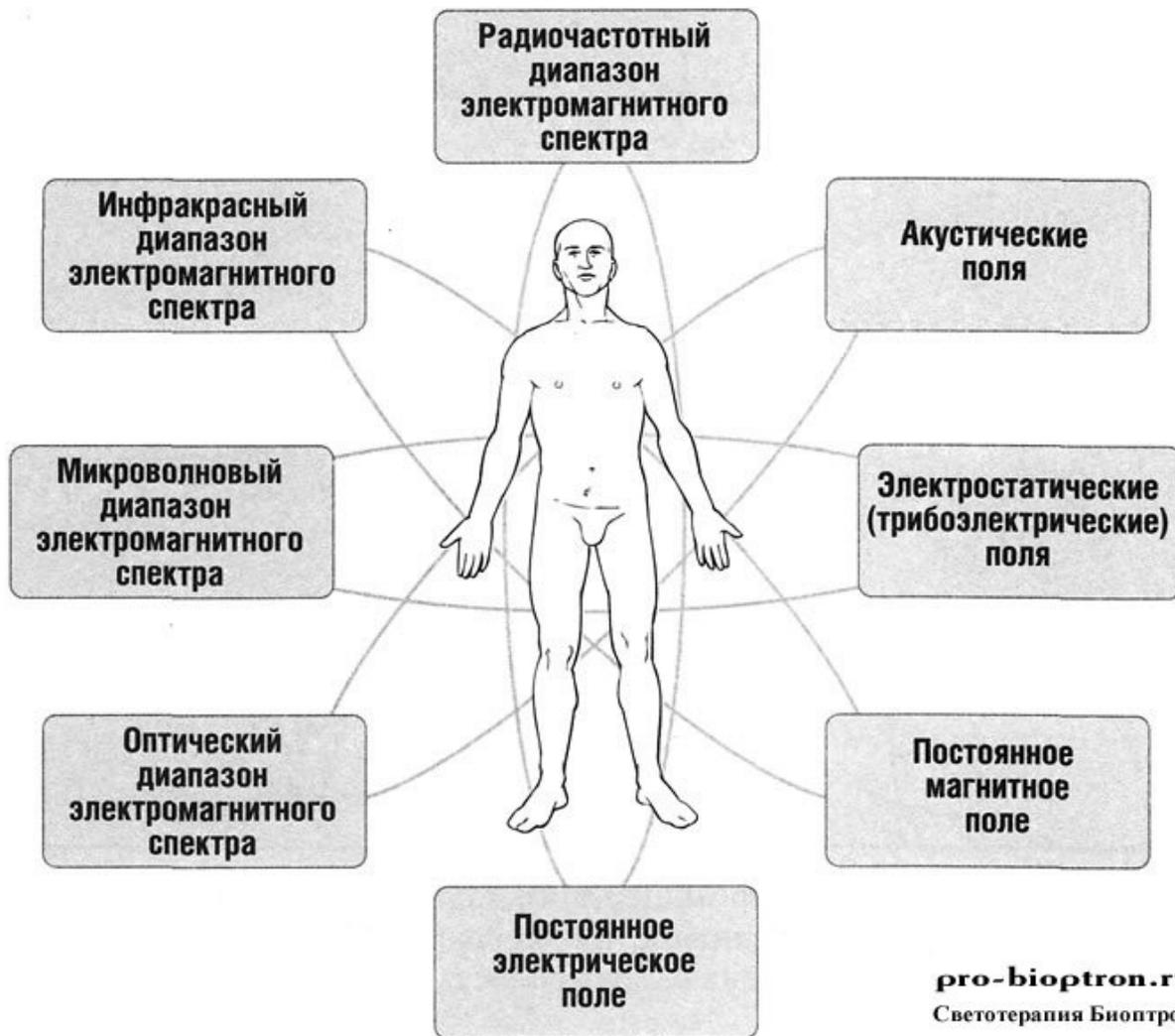
## Основные принципы сопряжения технических и биологических элементов

1. Принцип адекватности, требующий согласования основных конструктивных параметров и "управленческих характеристик" биологических и технических элементов БТС.
2. Принцип единства информационной среды, требующий согласования свойств информационных потоков, циркулирующих между техническими и биологическими элементами как в афферентных, так и в эффекторных цепях БТС.

# Общая характеристика физических параметров биологического организма

- Вокруг и внутри биологического объекта при его жизнедеятельности всегда имеются физические поля, которые недостаточно изучены. Их распределение в пространстве и изменение во времени несут важную информацию о состоянии биологического организма.
- Биологический объект как любое физическое тело является источником равновесного электромагнитного излучения. Для тела с температурой 300 К тепловое излучение наиболее интенсивно в инфракрасном диапазоне длин волн.
- Радиоизлучение человеческого тела зарегистрировано в сантиметровом и дециметровом диапазоне длин волн. Излучение в этой области частот позволяет оценить температуру глубинных структур биологического организма, так как оно приходит из этих слоев.

# Схема физических полей в организме человека



# Параметры физических полей вокруг человека

Параметры	Значения
Напряженность электростатического поля	до 80 В/м ( $15 \pm 2,0$ В/м)
Поверхностная плотность электрических зарядов	$10^{-5} - 10^{-8}$ Кл/см <sup>2</sup>
Потенциал электростатического поля относительно Земли на расстоянии 10 см от поверхности тела	от 2 – 3 В до 300 мВ
Трибоэлектрические заряды на поверхности тела	до 13 кВ
Магнитное постоянное и переменное поле с частотой	от 0,1 Гц до 400 Гц
Магнитное поле сердца	0,05 – 0,07 мТл ( $10^{-6}$ Тл)
Магнитное поле мозга	0,1 – 0,07 нТл ( $10^{-9}$ Тл)
Разность потенциалов для электромагнитного поля сердца на расстоянии 1 м от грудной клетки	6 мВ
Электромагнитное поле отдельных органов: амплитуда частота	1 – 5 мВ от 0,001 до 400 Гц
Компоненты электромагнитного поля вокруг тела человека	радиоволновой, микроволновой, оптический (ИК-УФ)

# Электрические поля

- Для биологического организма характерно **наличие** сравнительно **низкочастотных электрических полей**. Они, как правило, характеризуют функционирование отдельных органов и функциональных систем.
- **Низкочастотные электрические поля** в значительной степени **экранируются** высокопроводящими **тканями** биологического объекта с неоднородным распределением электрической проводимости. Причем обычно можно выделить квазистатический электрический заряд, имеющийся на определенном участке поверхности, и заряды, изменяющиеся синхронно с изменением свойств определенного органа или системы при его функционировании.
- **Спектр** переменных **сигналов**, характеризующих функционирование органов и систем, **лежит в полосе частот от инфранизких до 1-2 кГц**. Они регистрируются при проведении электрокардиографии, электроэнцефалографии и пр.
- Основная часть приборов для функциональной диагностики основана на измерении разности переменных потенциалов, имеющих между участками на кожном покрове

# Акустические волны

- Человеческий организм хорошо прозрачен для акустических волн с частотами до нескольких десятков МГц. Поэтому информацию о состоянии объекта несут акустические сигналы, выходящие из глубины организма.
- Прослушивание организма в инфразвуковом диапазоне даст важную информацию о механическом функционировании внутренних органов, мышц и т.д.
- Высокочастотные акустические сигналы создаются источниками, которые могут функционировать даже на клеточном или молекулярном уровнях.
- При акустических исследованиях возможно получение хорошего пространственного разрешения, так как длина акустической волны намного меньше, чем электромагнитной волны той же частоты.

# Магнитные поля

- Вокруг биологического организма имеются магнитные поля. Они вызваны следующими факторами:
  - ионными токами, протекающими в клетках и организме в целом;
  - мельчайшими ферромагнитными частицами, попавшими или специально введенными в организм;
  - неоднородностью магнитной восприимчивости, имеющейся у различных органов, что приводит к искажениям наложенного внешнего поля.

# Динамика картины измерений

- Параметры излучения модулированы "процессами", происходящими в диагностируемом организме. Поэтому физические поля изучают при тесной их привязке к быстро меняющимся параметрам, характеризующим психофизиологическое состояние и работу подсистем регулирования, обеспечивающих гомеостаз.
- Дополнительную сложность вызывает то, что биологический объект представляет собой систему с существенно неоднородными, нестационарными распределенными параметрами.
- Поэтому картина физических электромагнитных полей вокруг и внутри них непрерывно меняется.

# Примеры измеряемых параметров биологических тканей

- пассивные электрические свойства тканей: электропроводность; электрическое сопротивление; импеданс; электрическую емкость; комплексную диэлектрическую проницаемость и ее составляющие;
- активные электромагнитные характеристики органов, тканей клеток: биоэлектрические потенциалы; электрические токи и их плотность; электрические заряды; параметры электрического и магнитного полей; параметры и характеристики излучений в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях спектра;
- пассивные оптические свойства тканей: коэффициенты поглощения и их спектральные значения; оптические плотности; коэффициенты отражения; коэффициенты пропускания и их спектральные значения;
- пассивные магнитные свойства биологических тканей
- механические свойства тканей: плотность (объемная масса); удельный вес; вязкость; механическое напряжение; относительные деформации; модуль и коэффициент объемного сжатия; модуль продольной упругости; твердость;
- параметры, характеризующие подвижность органов и частей тела;
- пассивные акустические свойства и акустические излучения организма: скорость продольных и поперечных волн; акустическое сопротивление и др.;
- пассивные теплофизические свойства: теплоемкость; коэффициент теплопроводности и его температурная зависимость;
- - биофизические параметры дыхания: парциальное давление; растворимость и коэффициент растворимости; минутный объем дыхания и др.

# Сложность измерения показателей организма

- Измерения параметров биообъектов достаточно сложны. Это обусловлено:
  - малыми абсолютными значениями измеряемых величин;
  - большими значениями внутренних шумов, обусловленных одновременной работой многих подсистем;
  - большими значениями внешних помех и наводок;
  - сложностями с надежной фиксацией измерительных преобразователей и определением их точного местоположения;
  - нестабильностью и нестационарностью результатов, получаемых с помощью измерительных преобразователей;
  - недостаточно хорошей воспроизводимостью результатов, получаемых с помощью одной и той же аппаратуры.
- Из-за вышеперечисленных обстоятельств чисто технократический подход, при котором плохо учитываются свойства объекта измерений, не всегда приемлем для решения задачи создания технических средств для проведения диагностических исследований.

# Сложность измерения показателей организма

Для биологических организмов характерна изменчивость и индивидуальность параметров и показателей и, даже на групповом уровне, их зависимость от национальных, возрастных, генетических и климатических особенностей.

- Поэтому, приходится всегда описывать свойства группы, в которой проводятся исследования одних и тех же проявлений.
- Для установления каких-либо закономерностей в медицине широко применяются методы математической статистики. Это обусловлено тем, что из-за субъективности и многофакторности получаемых результатов установить объективные закономерности можно только после математической обработки достаточно большого массива статистического материала.

# Сложность анализа показателей организма

**Измеренные и зарегистрированные параметры и показатели определяют состояние системы существенно неоднозначно.**

- Это есть следствие того, что состояние равновесия системы (индивидуальная норма) может обеспечиваться при разных величинах определяющих параметров, которые взаимосвязаны между собой.
- На сегодняшний день не разработаны эффективные математические модели, позволяющие адекватно характеризовать состояние организма по значениям отдельных физических параметров.
- Интерпретация полученных результатов затруднена в связи с тем, что патологические явления, возникающие или проявляющиеся в тех или иных подсистемах, могут влиять через высшие уровни управления на всю систему, изменяя характер процессов в ней.

# Сложность моделирования управляющих воздействий

**Из-за отсутствия количественных характеристик состояния и функций биологической системы, затруднительно предсказать результаты внешних воздействий, которые для организма являются факторами, возмущающими его гомеостаз.**

Это относится и к тем случаям, когда воздействия претендуют на роль управляющих и должны вызвать определенную реакцию организма.

Неоднозначность реакции на один и тот же набор физических воздействий, а также воздействий, осуществляемых на разные уровни иерархии, указывает на то, что биосистемы по своей сущности нестационарны.

- **Из-за нестационарности** системы и наличия множества подсистем управления, взаимосвязанных между собой, для получения достоверной информации **требуется значительное время наблюдения** (время эксперимента).

# Рекомендации по измерению показателей организма

- Исследования состояния биологических систем целесообразно проводить в условиях их реального существования.
- Для установления влияния отдельных факторов на жизнедеятельность организма, исследования иногда выполняются в условиях, существенно отличающихся от встречающихся в обычной жизни (в условиях невесомости, ограниченности подвижности, наличия повышенной или пониженной температуры окружающей среды, влажности, ионизирующих или электромагнитных излучений, освещенности и т.д.).
- Для получения информации о многообразных процессах в организме приходится проводить комплексные исследования. При формировании программ их проведения используются разнообразные по длительности и природе процедуры, применяются разнородные по принципу действия измерительные преобразователи, разнообразные методы тестовых воздействий на организм и выявления реакций на них биологических организмов.

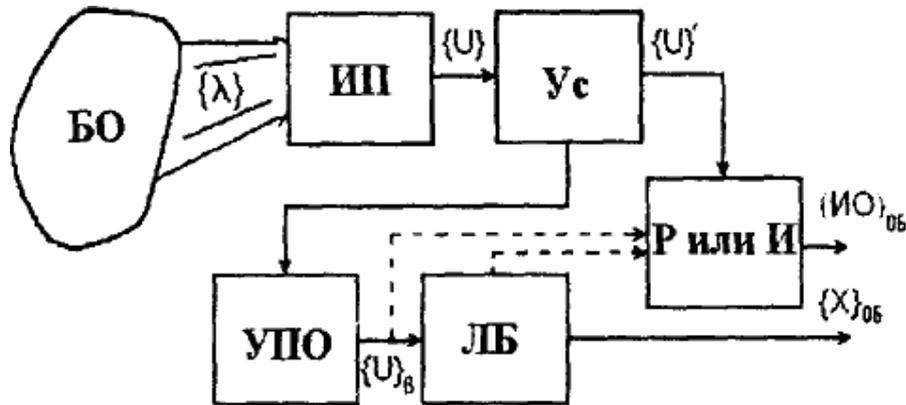
# Взаимодействие организма и измерительной аппаратуры

- Как правило, при инвазивных и неинвазивных методах не удастся полностью избежать взаимодействия биологического организма и измерительного преобразователя.  
В ответ на "подключение" измерительного преобразователя в организме возникают ответные реакции, которые "изменяют" его состояние.
- Поэтому все измеряемые параметры характеризуют не только состояние организма, но и его реакцию на внешнее возмущение, созданное измерительным преобразователем. Взаимодействие присутствует всегда, и степень его влияния для разных преобразователей различается только уровнями вносимых внешних возмущений.
- При любых измерительных операциях невозможно определить те параметры и показатели, которые характерны в данный момент времени для биологического организма. Все получаемые результаты зависят от состояния организма и его взаимодействия с измерительными преобразователями, с помощью которых получают измерительную информацию.

# Рекомендации разработчикам измерительной аппаратуры

- Из этого следует важный для разработчиков медицинской аппаратуры вывод: если при выполнении операций получения информации о свойствах биологического объекта невозможно избежать взаимодействия между биообъектом и измерительным преобразователем, то **для обеспечения однозначности и воспроизводимости получаемых результатов**, а также для установления "видовой нормы" на измеряемый параметр, аппаратуру необходимо выполнять так, чтобы **уровень вносимого внешнего возмущения не зависел бы от индивидуальных свойств конкретного организма**.
- Только при неизменном значении возмущающего воздействия, вносимого измерительным преобразователем, можно надеяться на воспроизводимость получаемых результатов. Поэтому данные о количественных значениях тех или иных параметров, без сведений о том, с помощью какой аппаратуры они получены, не являются достаточно информативными и не подтверждаются при измерениях с помощью другой аппаратуры.

# СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ БИОБЪЕКТА И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИССЛЕДОВАНИЯ



БО – объект исследования  
ИП – измерительный преобразователь  
Ус – блок усилителя  
УПО – устройство первичной обработки  
ЛБ – логический блок  
Р – регистратор  
И – индикатор

На ИП с БО поступает порождающее поле некоторой физической природы  $\{\lambda\}$ , а после ИП формируется множество сигналов  $\{U\}$ , которые затем поступают на усилительную часть (Ус) (сигналы на выходе  $\{U\}$ ). Дальнейшие преобразования с сигналами выполняются в УПО (сигналы  $\{U\}_B$ ), ЛБ и других, структура которых определяется алгоритмом обработки сигналов. С блоков ЛБ и Ус сигналы поступают на устройства отображения информации (Р или И), формирующие информационную модель объекта исследования  $(ИМ)_{OB}$ . Кроме того, с блока ЛБ показатели состояния объекта  $\{X\}_{OB}$  могут быть переданы во внешние устройства обработки или накопления исследовательской информации.

**Информационное качество** сигнала описывающего состояние объекта зависит не только от методической схемы; на него оказывают влияние **подготовка объекта** исследования к эксперименту и **алгоритм обработки** сигналов измерительного преобразователя. При этом следует принять во внимание четыре обстоятельства:

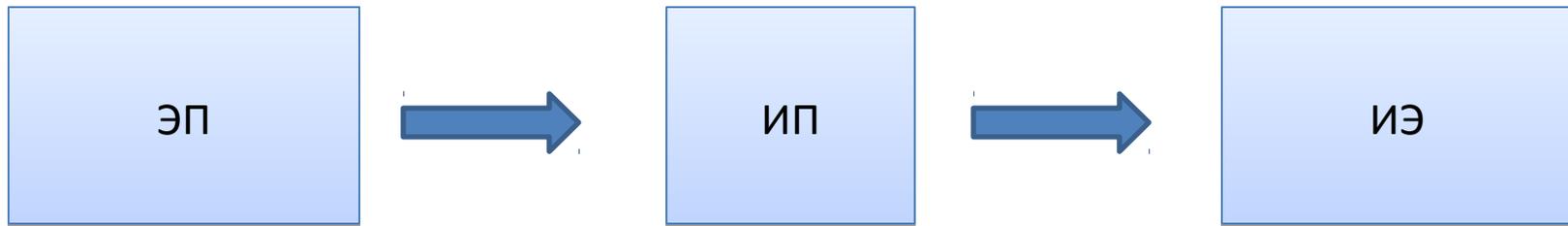
**1.** порождающие поля поступают от объекта исследования и, следовательно, исходным носителем информации является *сам объект*, а порождающие поля служат лишь *переносчиком информации до измерительного преобразователя*;

**2.** параметры порождающего поля *содержат не только* интересующую исследователя так называемую «релевантную» *информацию*, но и *помехи*, уровень которых *зависит от подготовленности объекта к эксперименту*;

**3.** параметры порождающего поля преобразуются в ИП в электрический сигнал, и, следовательно, он уже становится носителем информации;

**4.** алгоритм обработки электрического сигнала *должен быть приспособлен к тому из его параметров, который содержит эту релевантную информацию*.

# Этапы технологической схемы исследований



- ЭП – этап подготовки
- ИП – измерительный преобразователь
- ИЭ – измерительный этап

Операции, включаемые в технологические схемы каждого этапа, должны обеспечивать получение исследовательской информации с минимальными потерями. Для первого этапа – **«этапа подготовки»** (ЭП), характерны операции, связанные с подготовкой объекта исследования к подключению измерительного преобразователя, а для второго – **«измерительного этапа»** (ИЭ) - операции по обработке сигналов для получения оценки исследуемого свойства объекта. Оба этапа связаны через измерительный преобразователь (ИП), в котором происходит изменение типа носителя информации.

# ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**На первом этапе** - этапе ЭП - исходно носителем информации является сам объект исследования (определим его как материальный носитель); **на втором** - носителем выступает сигнал - энергетический носитель.

Операции на этапе подготовки объекта исследования реализуют различные **методические эффекты** — приемы обработки объекта исследования, позволяющие вносить в него изменения, которые способствуют более надежному выделению релевантной составляющей. Операции на измерительном этапе реализуют различные **измерительные эффекты**, позволяющие преобразовать параметры порождающих полей в числовые значения медико-биологических показателей или в графические записи физиологических процессов.

# Группы ошибок

- Первая группа связана с ошибками, основным источником которых является **сам биологический объект**.
- Причиной возникновения ошибок и погрешностей, объединяемых во вторую группу - группу **источников взаимодействия**, является *процедура выполнения медико-биологического исследования до момента получения электрического сигнала на выходе ИП*. Это участок схемы от блока ФП и П до блока ЭС.
- В третью группу целесообразно свести все источники ошибок и погрешностей, связанные с **первичной обработкой сигналов** ИП - с алгоритмами обработки сигналов, измерения их параметров, в которых заложена диагностическая информация, и т. п.
- Четвертая группа объединяет источники **ошибок формирования симптомокомплексов и логической постановки диагноза**. Уменьшение влияния этой группы на конечный результат связан с совершенствованием представлений о биологическом объекте, более глубоким пониманием происходящих в нем процессов и, следовательно, более полным представлением связи характеристик организма с его состоянием.

# Шумы при измерении

- При проведении измерительных операций на получаемый информационный сигнал всегда накладываются сигналы наводок (помех) и шумов.
- Шумы характерны как для измерительной аппаратуры, так и для объекта измерений.
- Под шумами будем понимать те сигналы, которые появляются на выходе вследствие особенностей функционирования и параметров измерительной аппаратуры, а также вследствие работы других подсистем и наличия процессов в организме, в результате которых возникают сигналы, не имеющих прямого отношения к определяемым показателям или характеристикам.
- Очень часто трудно различить между собой шумы объекта и сигналы, появившиеся вследствие взаимодействия с ним чувствительного элемента измерительного преобразователя. Вследствие этого, даже располагая аппаратурой с гарантированными метрологическими характеристиками, нельзя с полной уверенностью утверждать, что погрешность результатов измерений не превышает значений, нормированных для технического измерительного средства.