

---

---

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЯ

«То, что есть, — невероятно,  
ибо все отчуждено, ненужно и грозит рассудку»  
[Зе Краггаш. О неумолимости правдоподобного]

Опубликовано в Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. — 640 с.: ил.

В первой главе дается общий обзор рассматриваемого научного направления и его реализации.

### 1.1. Определения

В науках о человеке имеется ряд областей, близких как по предметам исследования, так и по используемым методам: нейрофизиология, электрофизиология, физиология высшей нервной деятельности (ВНД), психофизиология, сомнология, неврология, кардиология, функциональная диагностика и др. Все они преимущественно изучают физиологические процессы, регистрируемые методом электрического измерения.

*Компьютерная электрофизиология* — это развившееся в последнее тридцатилетие междисциплинарное научное направление, связанное с созданием и внедрением в практику современных измерительно-вычислительных средств, методов и методик, позволяющих комплексно автоматизировать все этапы исследования, а именно:

- 1) планирование порядка проведения и режимов исследования;
- 2) конструирование и компоновка необходимой аппаратуры и окружающей (экспериментальной) среды;
- 3) собственно проведение исследования в так называемом режиме реального времени, включающее регистрацию биопоказателей, стимуляцию, биорегуляцию, выполнение функциональных проб, различные виды деятельности, решение задач и др.;
- 4) визуальный анализ и редактирование полученных записей;
- 5) вычислительный анализ записей;
- 6) документирование исследования с представлением результатов в адекватных цифровых, текстовых и графических формах.

При своем целостном воплощении оно избавляет физиолога от необходимости привлечения внешних специалистов и интенсифицирует научные и клинические исследования в сотни раз по сравнению с докомпьютерным уровнем.

*Особенности научной области.* Фактически это направление является собой новую методологию автоматизированных электрофизиологических исследований, о деталях которой поговорим немного позже. Здесь же подчеркнем, что область электрофизиологии в рассматриваемом плане имеет три принципиальные отличительные особенности:

- 1) возможность комплексной (сквозной, единой) компьютерной автоматизации на всех этапах исследований, влекущая многократную их интенсификацию на принципиально новом организационно–методологическом уровне;
- 2) возможность проведения всех этапов исследования одним физиологом от начала до конца;
- 3) возможность выполнения всего исследования на одном аппаратно–программном комплексе.

Перечисленные особенности свойственны лишь очень небольшому числу областей знания, неразрывно связанных с проведением активных экспериментов. Поэтому в аналогичном смысле некорректно было бы говорить о «компьютерной астрономии», «компьютерной геологии», «компьютерной ботанике», «компьютерной зоологии», «компьютерной цитологии» и т. п.

*Расширение определения электрофизиологии.* Далее необходимо учесть, что измерительная техника со времен Гальвани существенно прогрессирует, что требует соответствующего расширения классического понимания электрофизиологии. Как известно, Гальвани определил электрофизиологию как область «изучения электрических потенциалов живой ткани». В середине XX в. к этому было добавлено «изучение действия электричества на живые процессы и физические свойства живой ткани, как проводника электричества» [22]. Современное же развитие техники измерений требует расширения понятия электрофизиологии не только применительно к источникам биоэлектрической энергии, но и с распространением на все физиологические процессы, доступные косвенному или преобразованному электрическому измерению: импеданс–, тензо–, аэро–, гидро–, динамо– метрия и т. п.

Вторым немаловажным основанием для этого является широкое применение в современных исследованиях совместной регистрации и анализа различных физиологических показателей (полиграфия).

И наконец, третьим весомым основанием является использование для анализа разных показателей одинаковых математических методов и форм

представления результатов, при этом доступных в одном и том же интегрированном программном пакете.

*Пограничные научные направления.* Компьютерная электрофизиология является показательным примером современного наукоемкого направления, в котором неразрывно переплетается множество отраслей знания: вычислительная математика, прикладная статистика, частотный анализ, измерительная и вычислительная инженерия, схемотехника, автоматическое управление, системный анализ, программирование, эргономика, психология, дидактика и др., совокупный вклад которых нередко соизмерим собственно с базисной физиологической составляющей.

Значимость этого системно–аналитического направления в последнее время признана на самом высшем научном уровне, а именно: на уровне ВАК при расширении номенклатуры научных специальностей и детализации их паспортов введена отдельная многоплановая специальность 05.13.01 — системный анализ, управление и обработка информации (по различным отраслям, включая биологию и медицину). Но более того, в паспорте самой специальности 03.00.13 (физиология) было введено отдельное самостоятельное направление исследований: 10. Разработка новых методов исследования функций человека и животных. И по этим новым специальностям и направления уже защищены многие десятки диссертаций.

*Уровни научной деятельности.* Здесь следует сказать о нескольких уровнях научной деятельности. В 80–х годах они определялись достаточно четко, а к настоящему времени это подзабылось. Итак, при работе на кандидатском уровне соискатель должен всего лишь продемонстрировать способность квалифицированно решать научные задачи, поставленные его руководителем. При работе на докторском уровне соискатель должен продемонстрировать способность ставить новые научные задачи и обобщать полученные результаты на уровне модельных представлений. То есть он должен овладеть способностью не только учиться, сколько и учить. Раньше в этом плане требовалось создание нового научного направления. Сейчас новые направления стали редкостью, поэтому требуется: новое крупное научное достижение, либо решение крупной научной проблемы, либо значительный вклад результатов работы в развитие экономики страны. В этом плане полезным будет напомнить формулировки из современного Положения ВАК:

- «диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно–квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки, имеющие существенное

значение для экономики или обеспечения обороноспособности страны»;

- «диссертация на соискание ученой степени доктора наук должна быть научно–квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, либо решена крупная научная проблема, имеющая важное социально–культурное или хозяйственное значение, либо изложены научно обоснованные технические, экономические или технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности».

*Уровень модельных обобщений.* Представляется очевидным, что главным результатом любой научной деятельности является обобщение исходных данных с построением модели изучаемого объекта или явления.

Напомним энциклопедическое определение: модель (в широком смысле) — любой образ, аналог (мыслимый или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т. п.) к.–л. объекта, процесса или явления («оригинала» данной М).

Этот результат характеризуется двумя компонентами: а) выделением основных составляющих элементов; б) определением связей (взаимодействия) между элементами. Важнейшим следствием построения модели является появление осязаемого предмета для научного обсуждения и планирования дальнейших исследований для подтверждения или коррекции модели, ее элементов и взаимосвязей между ними. До построения модели предмета для обсуждения нет.

Человек в любой своей деятельности (не только научной) всегда оперирует с моделями. Рисунок биологической клетки есть модель, до построения которой нет оснований рассуждать о строении и функционировании составляющих клетку элементов. Грамматика языка есть модель, без которой невозможно написание книг, и т. д.

С другой стороны, построение моделей возможно только с определенного уровня рассмотрения. Невозможно построение биологических или космологических моделей с уровня элементарных частиц. Там мы будем наблюдать только мизерные изменения концентрации точечных сгустков энергии, разделенных огромными пространствами пустоты. Невозможно построения психологических моделей с уровня биохимических процессов. С галактических масштабов невозможно обнаружить феномен биологической жизни, и т. д.

## Методология компьютерной электрофизиологии

Энциклопедические словари трактуют методологию как «учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности». В нашем же контексте методология понимается не статично, а динамично — как научный процесс, поэтому требует соответствующего уточнения. В таком уточнении этот процесс включает три взаимосвязанных составных компонента или этапа (рис. 1.1, частный иллюстрационный пример системного анализа приведен в разд. 10.1).

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>И</u>зучение конкретной научной деятельности</li> <li>2. Созидание на этой основе новых форм, способов организации, методов и средств деятельности (автоматизация)</li> <li>3. <u>Н</u>аучение этим новым формам деятельности</li> </ol> |
|---|

Рис. 1.1. Основные методологические этапы

С понятием методологии тесно связан еще ряд науковедческих понятий: метод, методика, инструмент, энциклопедические определения, которые здесь будет полезно рассмотреть, поскольку из-за сравнительно редкого употребления они сейчас достаточно позабылись.

- Метод (от греч. *methodos* — путь исследования, теория, учение) — способ достижения какой-либо цели, решения конкретной задачи, совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения (познания) действительности.
- Методика – совокупность методов обучения чему-либо, а также наука о методах обучения.

Последнее определение можно найти в словаре Ожегова. На первый взгляд в биологии, химии и медицине методика трактуется иначе. Однако к немалому удивлению, этот термин отсутствует в специальных словарях и энциклопедиях?! Лишь в русско-английском биологическом словаре методике как эквивалент сопоставлено *technique*.

По здравому смыслу методика есть нечто уменьшительное от метода. Можно сформулировать так: методика — это последовательность применения некоторых методов для достижения в конкретной области частного научного результата с конкретизацией используемых средств (в отличие от метода, который применим во многих областях с различными результатами и абстрагирован от средств, допуская различные свои реализации). Аналогом методике в производственной сфере может являться понятие технология, конечный результат которой — получение конкретной продукции.

После этого становится видна связь с определением из словаря Ожегова. Действительно, конечной целью формулировки методики является обучение других порядку и процедуре достижения конкретного результата.

- Инструмент – орудие человеческого труда или исполнительный механизм машины.

Отметим, что без наличия методологии инструмент остается никому не нужной, спокойно лежащей железякой. Так, для одухотворения пишущей машинки нужен целый комплекс методологий: работа с клавиатурой и другой механикой, грамматика и орфография, деловая и литературная стилистика и многое другое. Только после этого на машинке можно писать романы и письма.

**Предметы, методы и результаты исследования.** Формулируя новое научное направление, следует, прежде всего, высветить его основные отличия от других направлений. Такие отличия могут состоять в трех основных элементах: а) в предметах исследования; б) в используемых методах; в) в целевых установках. В этом плане рассматриваемое направление, будучи субстанциально междисциплинарным и наукоемким (как и многие другие подобные современные направления), объединяет не только несколько традиционных областей знания, но и имеет некую иерархию предметов своего исследования, используемых методов и конечных результатов на двух взаимосвязанных уровнях (рис. 1.2): первый уровень можно назвать методологическим, а второй уровень — физиологическим.

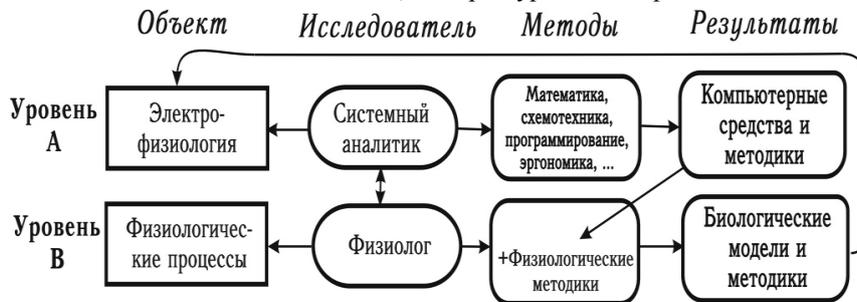


Рис. 1.2. Обобщенная модель компьютерной электрофизиологии

**Уровень А.** На своем верхнем отправном уровне (или метауровне) предметом исследования является собственно электрофизиология, потенциально со всеми используемыми в ней постановками задач, экспериментальными схемами, методами и методиками (выступающими в качестве исходных данных), а также с деятельностью в ней электрофизиолога, как существа, подверженного действию биологических, физиологических, психологических, методических, инструментальных и т. п. ограничений.

Основной метод изучения деятельности — системный анализ<sup>1</sup>, который также следует уточнить во временной развертке, как процесс:

- 1) сбор и накопление исходных данных;
- 2) их классификация и систематизация;
- 3) обобщение с формированием модельных представлений, т. е. выделением и анализом основных и вспомогательных компонентов и связей между ними.

Специалисты, работающие на этом уровне, вынуждены привлекать целый комплекс профессиональных знаний: математика, системная аналитика, программирование, электронная схемотехника, эргономика, физиология, психология, дидактика и др. **Цель работы** — создать компьютерные и методические средства, наиболее полные и адекватные для решения электрофизиологом–исследователем своих профессиональных задач. Поэтому эффективность работы и полученных результатов здесь определяет конечную результативность и качество физиологических исследований, включая потребные для их выполнения интеллектуальные, финансовые и временные ресурсы.

**Уровень В.** Второй базисный уровень имеет свой традиционный предмет исследования — физиологические процессы, измеряемые электрически. Работают на этом уровне собственно профессиональные физиологи, которые на основе созданных на уровне А компьютерных средств и методов конструируют уже реальные электрофизиологические методики исследования, и на их основе получают конкретные научные результаты в своей предметной области. Созданные здесь новые методики и постановки задач придают дополнительный импульс для совершенствования компьютерных средств и методов, тем самым возобновляя глобальный цикл исследований.

Следует подчеркнуть, что указанные две категории специалистов для оптимизации результатов своей деятельности обязаны длительно и теснейшим образом взаимодействовать между собой, делясь опытом, обсуждая проблемы, постановки задач, методики и средства. При этом имеется множество примеров исследователей, эффективно работающих в той или иной степени на обоих выделенных уровнях.

**Специфика предметной области.** Область науко–ориентированных компьютерных приложений, к которой принадлежит и электрофизиоло-

---

<sup>1</sup> Системный анализ — направление методологического научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем, ориентирует исследователя на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину (модель). Техническая основа С.А. — вычислительные машины и информационные системы [СЭС, 1987].

гия, кардинально отличается от многих других целым рядом характеристик:

- ведущей ролью человеческого фактора, в связи с этим применяемые методики и технологии должны быть ориентированы именно на этот фактор, а не на главные ценности различных сфер производства и бизнеса (продвижение на рынке, максимизация оборота и прибыли, всепроникающая реклама и т. п.);
- высоким интеллектуальным уровнем пользователей, предполагающим не рутинное, а творческое, разностороннее, а порой и неожиданное применение предлагаемых средств и методов;
- невозможностью использования обычных технологий групповой разработки по следующим основным причинам: а) практически полное отсутствие начального финансирования проекта; б) крайняя узость круга потенциальных потребителей, определяющая малую окупаемость затрат при внедрении; в) необходимость многолетнего изучения предметной области и автоматизируемой деятельности.

Более развернуто методологические аспекты компьютерной электрофизиологии рассмотрены в 4-ом издании данного учебного пособия.

### **1.3. Архитектура функционального исследования**

В данном разделе мы рассмотрим общие положения по организации и проведению функционального исследования с использованием интегрированных аппаратно–программных комплексов. Совокупность таких базисных структурно–методических положений в системной аналитике обозначается термином архитектура.

#### *Этапы выполнения исследования*

В 1997 были сформированы модельные представления об организации и содержании профессиональной деятельности электрофизиолога (рис. 1.4), включающие семь последовательных этапов:

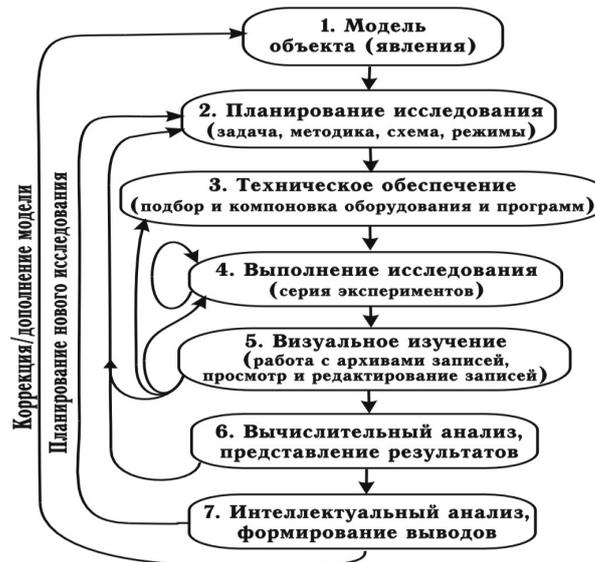


Рис. 1.4. Модель деятельности электрофизиолога

1. **Модель объекта.** На верхнем уровне формулируются теоретические модельные представления об организации и движущих механизмах исследуемого биологического объекта, процесса или явления. Обычно эти представления исходно заданы, будучи сформированы результатами работ предыдущих поколений исследователей и стоит задача их частичного дополнения или уточнения. Создание принципиально новой модели или кардинальная реконструкция существующей является редким и выдающимся научным событием.
2. **Планирование.** С целью верификации или уточнения отдельных модельных представлений формулируются задачи конкретного исследования, выбирается одна из существующих или конструируется новая методика исследования и на ее основе разрабатывается схема эксперимента, т. е. последовательность действий и событий, имеющих место и время происходить в эксперименте.
3. **Техническое обеспечение.** Для реализации схемы эксперимента конструируется экспериментальная среда или установка. Она комплектуется соответствующей аппаратурой и оборудованием, производится настройка и организуется его целостное функционирование. Создается специальное программное обеспечение для управления аппаратурой и анализа полученных результатов. В докомпьютерную эру этот этап мог растягиваться на многие месяцы, и даже годы.
4. **Выполнение исследования.** На экспериментальной установке над испытуемым (животным или биологическим объектом) проводятся серии

пробных, контрольных и тестовых экспериментов с регистрацией и записью биосигналов, со стимуляцией, выполнением физиологических проб и т. п. Циклическое повторение экспериментов для накопления представительной статистики в рассматриваемой схеме может занимать достаточно длительное время. Нередко выявленные на этом этапе недостатки вынуждают возвращаться к этапу технического обеспечения для корректировки экспериментальной установки или к частично-перепланированию.

Этот этап является определяющим для всего последующего исследования, поскольку именно здесь может и должна быть произведена регистрация биосигналов требуемого качества и структуры, сохраняемая на магнитном носителе в виде архивных файлов. Каждый такой файл может включать одну запись или же несколько записей фиксированного или переменного размера, выполненных по заданному числу каналов с минимальными или же длительными временными интервалами между собой. Для удобства обработки или просмотра каждая запись может быть впоследствии логически разбита на эпохи выбранного размера с межэпоховыми интервалами или с перекрытиями.

5. Визуальное изучение. Производится поиск требуемой записи в архиве и извлечение ее для изучения и анализа. Выполняется просмотр полученных записей биосигналов, их редактирование с целью удаления артефактов и выбора участков для дальнейшего вычислительного анализа с выполнением специальных преобразований, а также других вспомогательных операций. Достаточно часто визуальный анализ является и одним из наиболее действенных способов формирования как предварительных, так и окончательных выводов, а последующий вычислительный анализ играет сугубо вспомогательную роль. Нередко также выявленные на этом этапе недостатки вынуждают повторить эксперименты или даже вернуться к их перепланированию.
6. Вычислительный анализ. В зависимости от типа биопоказателя применяется тот или иной метод вычислительного анализ, результаты которого представляются в цифровой, словесной или графической форме. Здесь же производится документирование исследования, состоящее в выводе на печать числовых и графических результатов, показательных фрагментов записей, а также формирование предварительного словесного описания и заключения.
7. Интеллектуальный анализ. Этот этап предполагает творческое осмысление результатов исследования и формулировку выводов. Он может обладать как короткой, так и очень длительной временной протяженностью, связанной с корректировкой модельных представлений, дискуссионными обсуждениями, написанием статей, монографий, подготовкой диссертаций, переходом к другой проблематике и т. п.

Как видно, в этой схеме, наряду с глобальным циклом, существуют и несколько локальных циклов значительно большей интенсивности. Выполнение этих внутренних рабочих циклов в докомпьютерную эпоху поглощало львиную долю сил и времени исследователя, поэтому на прохождение полного цикла исследований 1—7 уходило нередко многие годы.

Деятельность исследователя на оконечных этапах 1 и 7, а также на этапе 2 (в отношении постановки задачи исследования, а частично — и в подборе или создании его методики) носит сугубо неформальный, творческий характер. Однако большинство компонентов внутренних этапов 2—6 в значительной степени поддается формализации и, тем самым, они должны являться основными объектами компьютерной автоматизации<sup>1</sup>.

Рассмотренная модель деятельности с определенными коррективами приложима не только к электрофизиологии, но и ко многим другим областям научных экспериментальных исследований. Фактически ее большой цикл реализует очередной шаг уменьшения нашего незнания окружающего мира или же, другими словами, шаг исправления нашего неправильного понимания мира. И частота прохождения большого цикла определяется динамическими свойствами экспериментальной среды, фигурально говоря, — ее «вязкостью» или же «податливостью» к введению изменений, снижению которой в решающей степени способствует наличие адекватных средств компьютерной автоматизации.

### *Электрофизиологические показатели*

Исходным материалом для функциональной диагностики являются электрофизиологические показатели, характеризующие состояние человека и работу его отдельных органов и систем жизнедеятельности. Эти показатели по способу своего измерения (в соответствии с расширенным определением электрофизиологии в разд. 1.1) могут быть разбиты на три категории (рис. 1.5):

---

<sup>1</sup> Здесь есть важное отличие от экспериментальной среды системного аналитика (программа в компьютере), которая отличается практически нулевой «вязкостью» или «инерционностью». Поэтому полный цикл исследования в этой среде с целью достижения знания от незнания (постановка задачи, серия экспериментов, анализ результатов, выводы) составляет считанные минуты, а не месяцы или годы. Благодаря этому многие аналитики с годами вырабатывают способность к мгновенной глубокой концентрации на задаче, перебору всех мыслимых и немыслимых гипотез и принятию моментального решения на полунтуитивном (невербализуемом) уровне (подробнее см. в: А.П. Кулаичев. Некоторые психологические особенности работы программиста. В сб.: Психология и ЭВМ. М.: МГУ, 1985).

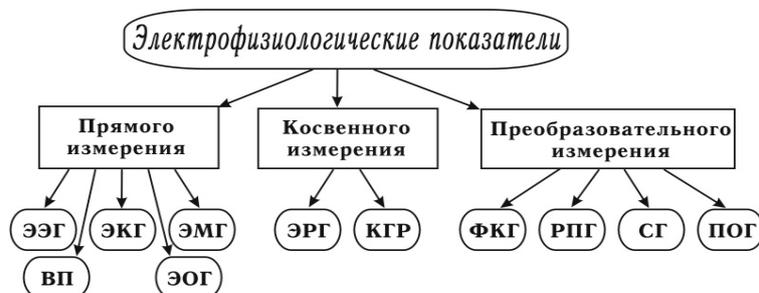


Рис. 1.5. Классификация электрофизиологических показателей по способу измерения

- 1) биоэлектрические показатели прямого измерения представляют собой изменяющиеся электрические потенциалы, генерируемые различными образованиями в центральной и периферической нервной системе:
  - электроэнцефалограмма (ЭЭГ), отражающая изменение биопотенциалов головного мозга;
  - вызванные потенциалы (ВП) головного мозга или реакции глубоких нейронных структур на внешние раздражители, проявляющиеся как фоновые изменения среднего уровня ЭЭГ;
  - электрокардиограмма (ЭКГ), отражающая электрическую активность сердца, вызывающую сокращения сердечных мышц;
  - электромиограмма (ЭМГ), отражающая электрическую активность, связанную с сокращением скелетных мышц;
  - электроокулограмма (ЭОГ), отражающая движения глазного яблока как диполя, образованного разностью потенциалов между сетчаткой и роговицей;
  - электрическая активность отдельных нейронов;
- 2) показатели косвенного электроизмерения выражаются в изменении электрического сопротивления участков кожи и тела человека, для измерения которого необходимо дополнительное пропускание тока через исследуемый орган:
  - реограмма (РГ) или изменение объемного сопротивления участков тела и органов, вызванное движением крови по сосудам (изменение кровенаполнения);
  - кожно-гальваническая реакция (КГР) или изменение сопротивления кожи, определенное преимущественно реакциями эмоционального характера, отражающимися на деятельности потовых желез;
- 3) показатели преобразовательного измерения отражают различные процессы механического, биохимического или биофизического происхождения и требуют предварительного преобразования в изменение электрического тока или напряжения посредством специализированных датчиков:

- фонокардиограмма (ФКГ), представляющая акустические измерения шумов сердца;
- фотоплетизмограмма (ФПГ), представляющая пульсовые волны, измеряемые оптическим датчиком, наложенным на кровеносные сосуды;
- спирограмма (СГ), отражающая динамику изменения скорости воздушного потока из легких при вдохе и выдохе;
- динамика дыхательного ритма и амплитуда дыхания обычно измеряется по растяжению/сжатию нагрудных эластичных ремней с тензодатчиками;
- пульсоксиграммa (ПОГ) фиксирует изменения насыщения крови кислородом по отраженному свету с использованием фотодатчиков.

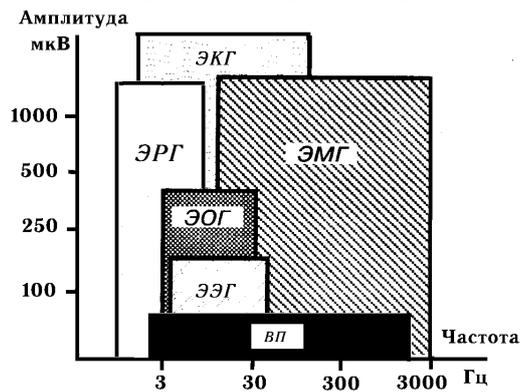


Рис. 1.6. Сравнительные характеристики биосигналов по амплитуде и частоте

Перечисленные показатели существенно отличаются друг от друга как по способам измерения, так и по методам анализа. Эти различия существенно проявляются уже в их электрических характеристиках: как видно на рис. 1.6, физиологические показатели прямого измерения различаются между собой как по амплитуде (электрической мощности), так и по частотному диапазону своих

колебаний в 1000 и более раз. Это необходимо учитывать еще на самом первом этапе подготовки исследования посредством соответствующей настройки измерительной аппаратуры (по коэффициенту усиления, полосе пропускания и частоте измерений).

**Артефактами** называются различные искажения биосигналов, вызванные внешними или внутренними причинами.

**Внешние артефакты.** Основным и наиболее частым из внешних артефактов является сетевая наводка с частотой около 50 Гц, амплитуда которой может полностью подавлять биосигнал. Борьба с сетевой наводкой состоит в использовании режекторного фильтра биоусилителя, в правильном наложении электродов и качественном заземлении компьютера через отдельную землю, изолированную от электрической сети. Во многих лечебных заведениях проводка такого земляного провода осуществлена во все кабинеты еще на этапе строительства. Самостоятельно такая проводка может быть осуществлена от массивного железного стержня или трубы,

закопанного в землю на 1,5—2 метра совместно с засыпкой 1—2 кг поваренной соли.

Нередко некачественные мониторы и блоки питания компьютера также создают значительные помехи на частотах 60 и 100 Гц. В этом случае пациента следует удалить от монитора на 2—3 метра. Сильные помехи могут создаваться и мощным промышленным оборудованием, работающим в соседних помещениях и даже в соседних зданиях.

Частой причиной сильного искажения или отсутствия биосигналов является нарушение контактов в соединяющих штекерах и разъемах, их следует пошевелить, прижать, поплотнее закрутить, промыть спиртом или полностью заменить.

И, наконец, заметное искажение в съеме биосигналов может быть вызвано неправильной установкой коэффициентов усиления и фильтров. Подробнее о внешних помехах и борьбе с ними см. в разд. 1.4.

Внутренние артефакты. Из внутренних артефактов наиболее часто проявляется низкоамплитудная миографическая наводка от мышечного тремора с частотой 10—30 Гц, а также медленноволновые помехи от дыхания и движений, проявляющиеся в колебаниях нулевой линии. Для устранения этих помех запись следует проводить у пациента, находящегося в расслабленном и спокойном состоянии, в удобном сидячем или лежащем положении.

На энцефалограмме иногда проявляется окулографическая наводка от движения глаз (особенно в лобных отведениях) и электрокардиографическая наводка (особенно в затылочных отведениях), что может проявляться достаточно выражено для отдельных пациентов. Обычно устранение таких наводок требует параллельной регистрации показателя-индуктора с использованием специальных методов пострегистрационной коррекции (см. разд. 3.3).

### *Методы анализа*

Хотя методы и средства вычислительного анализа, используемые для функциональной диагностики, существенно различаются в зависимости от области исследования, среди них можно выделить четыре основные группы в порядке нисходящей сложности вычислений, для обозначения которых используем следующие термины: спектрально-аналитические, структурно-аналитические, структурно-вычислительные и структурно-классифицирующие. В результате этого вырисовывается классификация разделов компьютерной электрофизиологии, приведенная на рис. 1.7, в которой выделяются (в порядке уменьшающейся аналитической сложности) четыре области исследований: исследования мозга, сердечно-сосудистой системы, легких и прочих органов и систем организма.

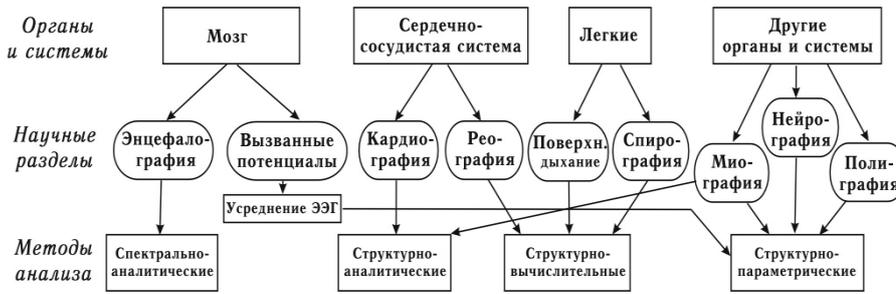


Рис. 1.7. Классификация разделов вычислительной электрофизиологии по методам вычислительного анализа

Спектрально–аналитические методы включают наиболее сложные в вычислительном и концептуальном плане средства, применяемые, в основном, в энцефалографии (см. разд. 4.4, 4.5) и базирующиеся на разнообразных процедурах частотного и численного анализа с последующим расчетом различных локальных и интегральных показателей и с использованием разнообразных специальных форм временного и пространственного представления результатов. Примерами таких специальных форм являются: топографическое картирование, основанное на алгоритмах двумерного сглаживания ЭЭГ–потенциалов, и трехмерное изображение дипольных источников ЭЭГ–сигналов, получаемое численным (итерационным) решением обратной задачи по измеренным на скальпе ЭЭГ–потенциалам.

Три группы методов, в названии которых присутствует слово структурные, применяются к процессам с характерной волновой и периодически повторяющейся структурой. В связи с этим они имеют общий вычислительный компонент, связанный с выделением в таких повторяющихся компонентах многообразных характерных структурных составляющих (пиков, площадок, точек перегиба), с измерением их амплитудных и интервальных показателей (ручным или автоматическим способом), дополняемым нередко последующим вычислением на этой основе простейших производных и статистических показателей и сравнением их с нормативами. Дополнительные определяющие термины параметрические, вычислительные, аналитические указывают на последовательно возрастающую сложность используемых вычислений, где каждая последующая группа методов включает возможности предыдущей и дополняет их новыми.

Структурно–параметрические методы, применяемые при анализе ЭМГ–ответов на электрический раздражитель, ВП, КГР, ЭОГ и т. п., обычно ограничиваются вышеуказанными средствами структурного анализа. Исследования ВП отличаются только наличием первичного преобразования ЭЭГ–сигнала, состоящего в усреднении нативных ЭЭГ–записей относительно выбранной базы (обычно — относительно стимула). При исследованиях активности отдельных нейронов, их групп и КГР–реакций

выделенные структурные компоненты нередко далее классифицируются по форме или же по модальности стимула с поиском сходства по образцам, с подсчетом представителей каждого класса и расчетом простейших статистических внутриклассовых показателей. Тем самым, методы данной группы предусматривают сравнительно простые и немногочисленные вычислительные процедуры и формы представления результатов.

Структурно-вычислительные методы отличаются расчетом более сложных и многочисленных производных и статистических показателей, а также присутствием дополнительных вычислительных преобразований сигналов и использованием более развитых форм графического представления результатов. В реографии, например, такие преобразования состоят в вычислении первой и второй производных с последующим анализом их элементов структурными методами. В спирографии имеет место начальное преобразование, когда в ходе интегрирования изменения во времени скорости воздушного потока сначала рассчитывается изменение объема вдыхаемого или выдыхаемого воздуха, из которого уже получается безвременная зависимость объем-поток с измерением по ней значений структурных и производных показателей. В исследованиях ЭКГ, ЭРГ и поверхностного дыхания одним из общих компонентов является построение амплитудно-временных зависимостей и интервалограмм, которые затем анализируются визуально, ручными измерениями с вычислением описательной статистики.

Структурно-аналитические методы, применяемые при анализе ЭКГ и поверхностной ЭМГ (см. в разд. 6.4, 8.3), являют дальнейшее расширение структурно-вычислительных методов в отношении комплексности и многочисленности производных показателей, разнообразия алгоритмов и форм представления результатов. Здесь имеет место использование не только массы статистических оценок и характеристик, но и комплексных показателей, характеризующих работу различных функциональных систем организма (показатели Р.М. Баевского и его последователей), а также конструирование критериальных оценок соотношений между производными показателями, применимых для первичной синдромальной диагностики. Более широко и разнообразно здесь применяются и методы периодометрического и частотного анализа (исследования поздних потенциалов и вариабельности сердечного ритма), а также классификационные средства с поиском сходства по образцам (например, экстрасистолия в холтеровском мониторинге). При анализе фоновой поверхностной ЭМГ средняя мощность сигнала и его частота оцениваются ручными измерениями или же полуавтоматическими усреднениями на избранных временных интервалах, а также и вычислением амплитудного спектра по частотным диапазонам и эпохам.