

4 Вызванные потенциалы

Введение



Вызванный потенциал представляет собой реакцию мозга на внешний раздражитель или внутренне обусловленный нервный процесс.

Наиболее распространенными раздражителями являются видео-, аудио-сигналы, а также стимулы, связанные с процессами осязания. При регистрации вызванных потенциалов учитывают первичные и вторичные ответы. Первичный ответ характеризуется специфическими ритмами в корковых зонах соответствующих отделов мозга сразу после воздействия раздражителя (в первые 100 мс после стимула). Вторичный ответ возникает через некоторое время после действия раздражителя. Вызванные потенциалы имеют локальный характер. Их характеристиками являются:

- латентный период,
- форма,
- локализация
- чувствительность к различным воздействиям.

Отметим, что не всякий нервный процесс сопровождается вызванными потенциалами. Общее и необходимое условие для возникновения любого вида вызванных потенциалов состоит в том, чтобы местные возбуждения в синапсах и дендритах значительной популяции нейронов развивались достаточно синхронно.

Виды вызванных потенциалов

Наиболее распространенные виды вызванных потенциалов представлены в таблице 4.1. В связи с эволюционным усложнением структур головного мозга вызванные потенциалы претерпе-

вают закономерные изменения. Определенные этапы развития они проходят при возрастном формировании.

Вид вызванного ответа	Характеристики
Первичные проекционные положительно-отрицательные ответы (первичные ответы)	Возникают в зонах корковых отделов зрительного, слухового, кожного, двигательного анализаторов при естественных (световых, звуковых) или искусственных раздражениях нервов. Их латентный период составляет 10-15 мс, он состоит из положительной и отрицательной фазы колебаний. В большинстве случаев величина первичного ответа зависит от силы вызвавшего его раздражения. Значение первичного ответа уменьшается при чрезмерном усилении звуковых раздражений. Возникновение комплекса потенциалов первичного ответа, по-видимому, соответствует каким-то начальным звеньям сложного нервного акта восприятия и может быть проявлением автоматической регуляции уровня активности первичного сенсорного механизма.
Вторичные ранние отрицательные локальные ответы (ранняя отрицательная реакция)	Возникают в нервных элементах поверхностных слоев коры, по-видимому, в дендритных сплетениях. Для них характерна волновая форма отрицательной полярности (с амплитудой приблизительно 300-500 мкВ) с небольшим последующим отклонением в область положительных значений, которая возникает через 2-3 мс после начала первичного ответа. Изменение температуры (резкое увеличение или охлаждение) уменьшают эту реакцию.
Вторичные поздние отрицательные ответы (поздние отрицательные ответы)	Обнаружены при раздражении афферентных нервов в условиях наркоза в виде медленной волны отрицательной полярности, достигавшей амплитуды 150-200 мкВ. Латентный период их равен 50-100 мс.

Вид вызванного ответа	Характеристики
Вторичные ассоциативные таламокортикальные положительно-отрицательные локальные ответы	Имеют форму, сходную с обычными первичными ответами, но отличаются от них большей продолжительностью и величиной положительной фазы, более длительным латентным периодом. Такие ответы были обнаружены у кошек на световые раздражения внезрительных проекционных полей.
Вторичные ассоциативные кортико-кортикальные положительные локальные ответы	Возникают в ассоциативных областях коры с латентным периодом 15-40 мс и имеют форму колебаний большой амплитуды (до 500 мкВ). Часто им предшествует или сопутствует небольшое отрицательное отклонение.
Вторичные ассоциативные межполушарные положительно-отрицательные локальные ответы	Охватывают участок коры, не превышающий 4 мм ² . Латентный период составляет 0.5-1.0 мс. Их форма зависит от силы раздражения и является сходной с первичными ответами, но в начале имеется незначительный отрицательный “зубец”. Длительность составляет 50-100 мс.
Вторичные ретикулярно-таламические ответы	Обнаружены в отведениях любого участка поверхности коры при раздражении ядер таламуса. Латентный период составляет 20-30 мс. Имеют форму волны с отрицательной поверхностью. Связаны, вероятно, с функциональными явлениями механизмов коры при начале аналитической деятельности.
Реакция усвоения ритма	При ритмическом воздействии в корковых отделах соответствующих анализаторов выявляются постепенно нарастающие по амплитуде волны потенциалов (с частотой воздействия). При этом происходит навязывание или усвоение ритма. Реакция усвоения ритма при частотах светового раздражения, близких к фоновому альфа-ритму, состоит в преобразовании формы альфа-волн.

Вид вызванного ответа	Характеристики
Ответ на прямое раздражение коры (поверхностные отрицательные потенциалы)	При электрическом раздражении коры мозга кошки наблюдалось возникновение поверхностных отрицательных потенциалов с амплитудой, достигающей 1-1.5 мВ при длительности 10-40 мс. Сильное раздражение может вызвать вслед за отрицательной появлением положительной фазы.

Таблица 4.1. Различные виды вызванных потенциалов.

На рисунке 4.1 представлено типичное изменение электрической активности различных структур мозга кролика, соответствующее пищевому возбуждению. Отчетливо видны высокочастотные колебания большой амплитуды, которые предваряются тета-ритмом на включение условного раздражителя (звонка). Буквами А-Д на этом рисунке обозначены различные участки мозга. Вертикальными стрелками выделено время подачи пищи.

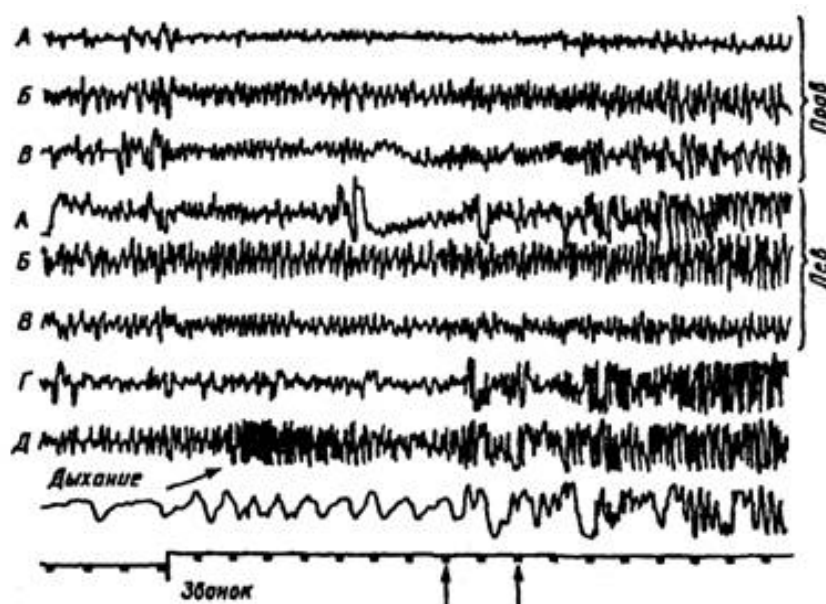


Рис. 4.1. Изменение электрической активности различных структур мозга кролика при пищевом возбуждении.

Во время различных форм мотивации (пищевой, оборонительной) у многих нейронов в самых разных структурах мозга ре-

гистрируется ритмическая активность в виде пачек спайков, регулярно следующих с интервалом около 150 мс. Пачечный тип активности с одним общим ритмом у многих нейронов рассматривается как механизм установления межцентральных связей. На рисунке 4.2 показаны изменения сигналов электрической активности в разных участках мозга кролика при оборонительной мотивации.



Рис. 4.2. Изменение сигналов электрической активности в разных участках мозга при оборонительной мотивации у кролика. Буквами обозначены различные участки мозга: А - сенсомоторная, Б - сенсомоторная-височная, В - височная, Г - затылочная кора, Д - гиппокамп, Е - гипоталамус, Ж - медиальный таламус, З - ретикулярная формация; нижняя кривая - отметка условного сигнала (звонка) оборонительного рефлекса и времени (по П.К. Анохину, 1963).

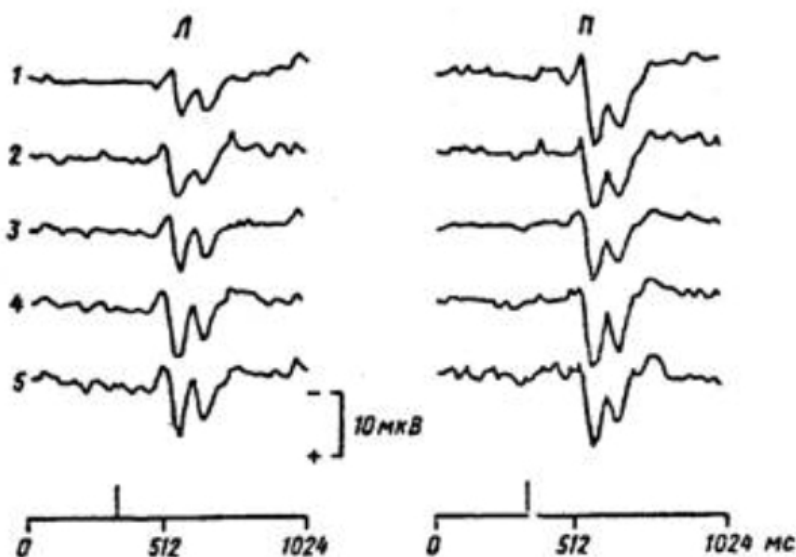


Рис. 4.3. Усредненные вызванные потенциалы на неосознаваемые стимулы. Цифрами 1-2 обозначены ассоциативные области левого и правого полушарий; 3-4 - затылочные области левого и правого полушарий; 5 - вертекс (по Э.А. Костандову, 1983); вертикальная черта - отметка стимула.

На рисунке 4.3 изображены усредненные вызванные потенциалы на неосознаваемые стимулы. В левое поле зрения испытуемого (Л) предъявляли слово “поле”, в правое поле зрения (П) - слово “море”. Хорошо заметны различия формы вызванных потенциалов, наиболее сильно выраженные в ассоциативной области левого полушария (цифра 1 на рис. 4.3).

Применение вызванных потенциалов

В 1935 году Дюруп и Фессар, исследуя реакцию депрессии альфа-ритма на свет у человека, отметили, что после нескольких опытов один только звук щелчка выключателя, предшествующий свету, стал вызывать эту реакцию.

С развитием методов электрофизиологии мозга традиционно применявшиеся для диагностики свойств нервной системы условнорефлекторные показатели были дополнены безусловно-рефлекторными реакциями. Это расширило возможности исследователей для определения наиболее устойчивых, врожденных характеристик высшей нервной деятельности. Для этих целей наиболее успешно применяется ЭЭГ (ее частотный спектр, реакция усвоения ритма мелькающего света на разных частотах, усредненный вызванный потенциал).

Метод вызванных потенциалов используют для того, чтобы создать функциональную нагрузку на нужный отдел мозга. Он получает все более широкое применение в случаях, когда возникает необходимость в непосредственном наблюдении за сложным течением центральных нервных процессов в головном мозге.

На основании данных, полученных с помощью метода вызванных потенциалов, строятся гипотезы относительно восприятия, внимания, интеллекта и функциональной асимметрии мозга. В частности, могут быть зафиксированы биоэлектрические колебания, связанные с активностью двигательной коры (моторный потенциал), с окончанием движения, с состоянием намерения произвести какое-либо действие, пропуска ожидаемого стимула. Форма, амплитуда и латентный период колебаний вызван-

ных потенциалов обусловлены местом локализации регистрирующего электрода, интенсивностью стимула, состоянием и индивидуальными особенностями испытуемого.

Вызванные потенциалы как в суммарных отведениях, так и при микроэлектродной активности отдельных нейронов используются в качестве электрических показателей осуществления условных рефлексов. С их помощью уточняются детали структурной организации нервного механизма условного рефлекса.

Регистрация и анализ с помощью комплекса MP100

Измерительный комплекс MP100 содержит модуль для регистрации вызванных потенциалов ERS100C. С его помощью можно осуществлять запись разных типов вызванных потенциалов (зрительные, слуховые, соматосенсорные). Регистрация предполагает выполнение следующей последовательности действий:

- 1) Подсоединить кабель MEC100C к модулю ERS100C, подключить электроды. Два контактных электрода (на кабеле MEC100C они отмечены “Shield”), прикладываются, например, к ушам. Третий электрод (“земля”) прикрепляется на лоб. В целях улучшения качества регистрации сигналов на контактную поверхность электродов можно нанести гель. Для крепления электродов используются липкие диски.
- 2) Задать на модуле ERS100C усиление (“Gain”) 5000 и следующие характеристики фильтров:
 - “100 Hz HPN” → “OFF”;
 - “Filter” → “OFF”;
 - “HP Filter” → “1.0 Hz”.
- 3) Запустить программу AcqKnowledge, выбрать папку Samples, тип файлов *GTL и затем открыть один из файлов (в зависимости от характера стимулов):
 - “Q02 Evoked Responses”;
 - “Q05 Auditory Evoked Response”;
 - “Q06 Visual Evoked Response”;

- “Q07 Somatosensory Evoked Response”.

Первый из этих файлов можно открывать для всех вариантов стимуляции, остальные содержат настройки для каждого конкретного вида стимулов.

- 4) Указать канал для записи аналогового сигнала, выбрав MP100 → Set Up Channels → Analog. В появившемся окне установить номер канала, например, A1 (нужно проверить, какой канал задан на модуле ERS100C, и именно его установить в программе). В этом же окне задается канал для записи внешнего воздействия. В частности, в случае зрительных вызванных потенциалов стимуляция осуществляется с помощью стробоскопа TSD122, который нужно подсоединить к свободному аналоговому каналу блока UIM100C (подключенному к MP100). Стробоскоп подсоединяется с помощью кабеля CBL100 и позволяет устанавливать различные значения частоты подачи световых импульсов. На панели стробоскопа в процессе стимуляции можно увеличивать или уменьшать частоту стимулов в 2 раза с помощью соответствующих кнопок. Сбоку расположен фиксатор, с помощью которого можно зафиксировать выбранную частоту стимуляции.
- 5) Задать длительность экспериментальной записи в MP100 → Set Up Acquisition. В появившемся окне также устанавливается частота дискретизации сигнала и варианты хранения данных (в оперативной памяти, запись в файл и т.д.). В отличие от предыдущих работ, в случае вызванных потенциалов важно записывать *усредненные* сигналы после окончания серии стимулов. Поэтому в Set Up Acquisition требуется установить опцию “Averaging” (рис. 4.4), зайти в Setup, и установить число усреднений и латентный период. Отметим, что судить о характерном отклике нужно не по одной волновой форме (одной реализации процесса), а по усредненной реакции на серию однотипных испытаний. С каждым испытанием уменьшается уровень фонового шума, что приводит к более гладкой волновой форме. На практике выбор числа усреднений зависит от

вида стимуляции и редко превышает 2000. Латентный период можно выбрать, например, равным 150 мс. В случае несоответствия установленных значений латентного периода и длительности записи, программа выведет сообщение о необходимости автоматической подстройки одного из этих параметров.

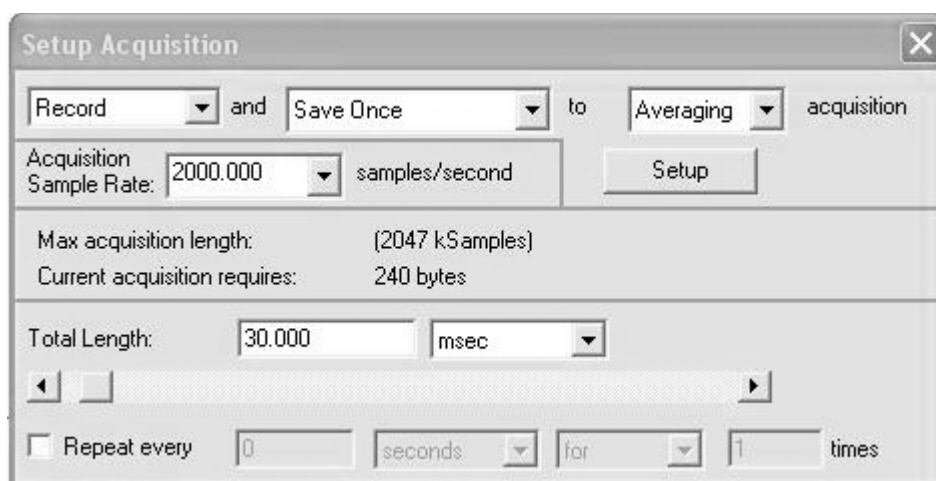


Рис. 4.4. Задание параметров для регистрации вызванных потенциалов.

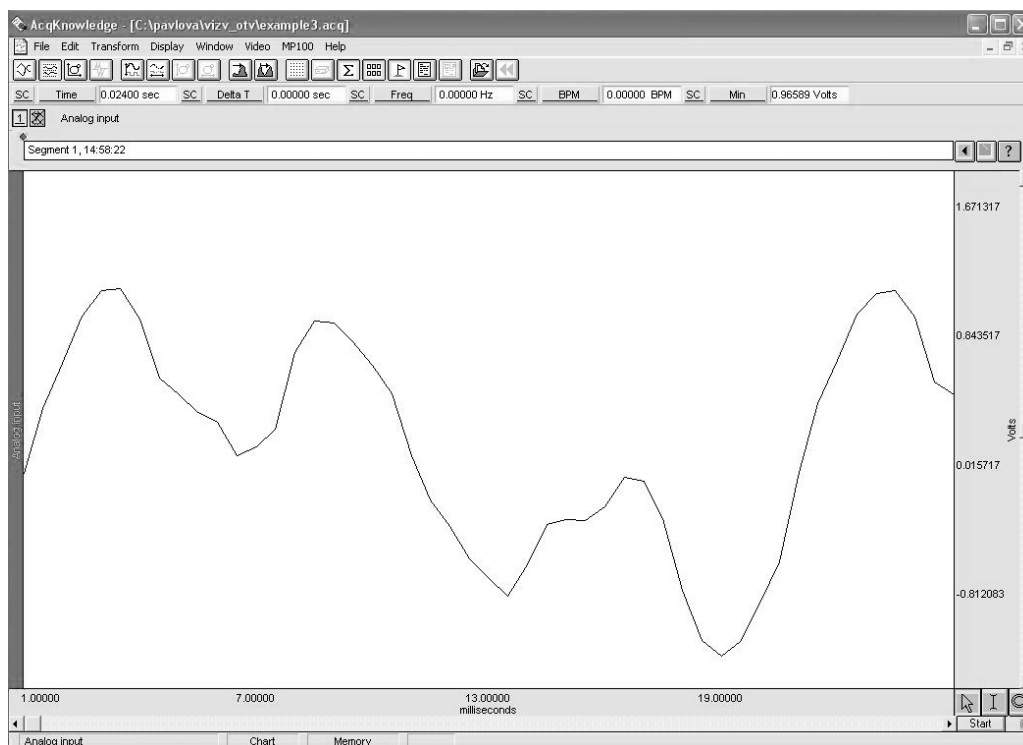


Рис. 4.5. Зрительный вызванный потенциал (реакция на периодическое включение лампы стробоскопа). Представлен результат, полученный после проведения 200 усреднений.

6) Нажать “Start” для начала записи данных. Пример полученной экспериментальной зрительного вызванного потенциала (реакция на включение лампы стробоскопа с частотой 2 Гц) представлен на рисунке 4.5. На рисунке 4.6 представлен пример слухового вызванного потенциала.

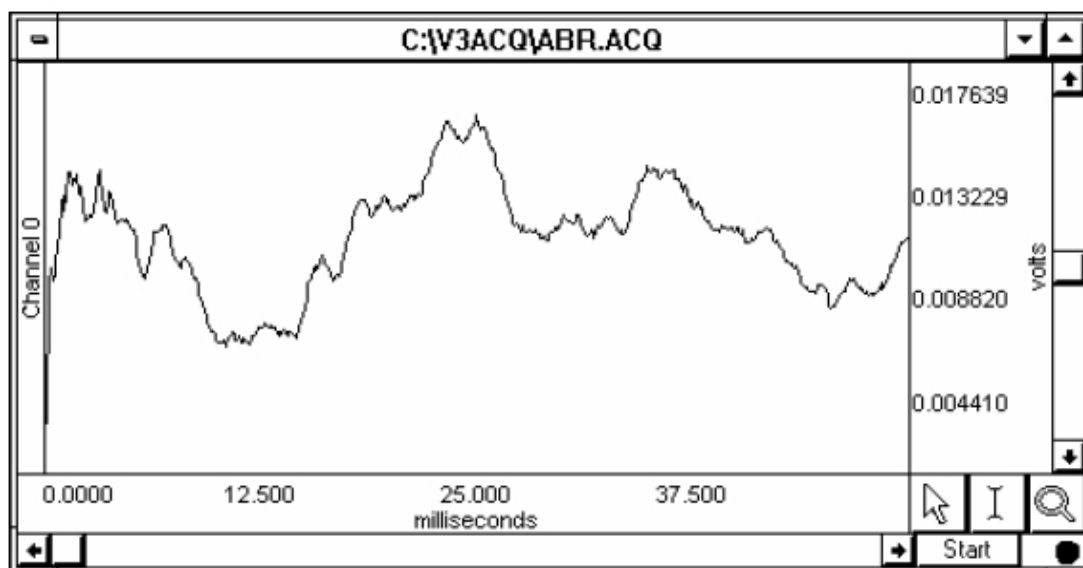


Рис. 4.6. Слуховой вызванный потенциал (реакция на периодический аудио-сигнал). Представлен результат, полученный после проведения 200 усреднений.

При проведении анализа вызванных потенциалов выделяют:

- быстрые ответы: 2–12 мс после стимуляции;
- ответы средней длительности: 12–50 мс после стимуляции;
- медленные ответы: 50–300 мс после стимуляции;
- поздние ответы: 250–600 мс после стимуляции.

Для обеспечения точного представления графических данных необходимо принять во внимание некоторые обстоятельства:

- 1) Программа AcqKnowledge не учитывает две первые выборки, которые подчас являются искаженными. Время первых 2 выборок нужно добавить к общей длительности экспериментальной записи.
- 2) Может возникать задержка самого прибора, которую необходимо учитывать, проводя анализ быстрых откликов. Например, при изучении слуховых вызванных потенциалов некоторые наушники (к которым относится, в частности,

ВІОРАС OUT101), задерживают выходной сигнал на 1 мс. Это приведет к тому, что первая миллисекунда будет «потеряна». Чтобы учесть данный эффект, нужно изменить начало отсчета времени на горизонтальной оси. Для этого выбирается “Display → Horizontal Axis” и используется формула для определения “first sample” (первой выборки): Первая выборка = – задержка (в мс), возникающая вследствие работы прибора + (2/частота дискретизации). Полученное число нужно записать в окне “Horizontal scaling” (рис. 4.7). Например, если частота дискретизации 20,000 Гц, и используются наушники OUT101, то первая выборка = – 1 + 0.1 = – 0.9 мс.

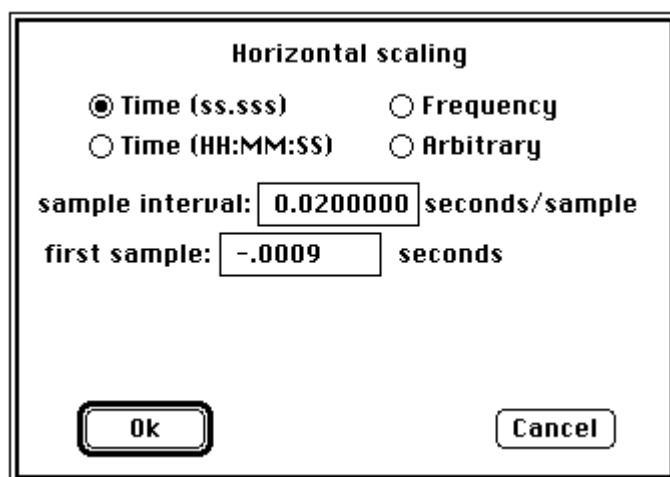


Рис. 4.7. Оценка времени первой выборки.

При анализе быстрых откликов нужно сконцентрировать внимание на сигналах малой длительности, имеющих, соответственно, большую частоту выборки. Выбор частоты дискретизации должен соответствовать рассматриваемому интервалу времени. Для откликов, возникающих в пределах 2-12 мс после стимуляции частота дискретизации должна выбираться не менее 2,000 Гц.

С помощью модуля ERS100C можно регистрировать не только слуховые и зрительные, но и соматосенсорные вызванные потенциалы. Соматосенсорные тесты используются для характеристики процессов осязания. Расположение электродов при этом остается тем же самым. Источником стимуляции при подобных

тестах являются электрические или механические импульсы, воздействующие на определенную область руки или ноги.

Модуль ERS100C также может использоваться для исследования скорости нервной проводимости. Данная скорость оценивается достаточно точно, и при этом не требуется проводить усреднения, как в случае исследований слухового или зрительного откликов.

Контрольные вопросы

- 1) Дайте характеристику вызванных потенциалов.
- 2) Какие бывают первичные и вторичные ответы?
- 3) С какой целью используют метод вызванных потенциалов?
- 4) От чего зависят фаза, амплитуда и латентный период колебаний вызванных потенциалов?
- 5) Как в программе AcqKnowledge установить частоту дискретизации сигнала, число усреднений, латентный период?
- 6) Какая длительность сигналов необходима для анализа быстрых откликов и почему?