

ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

*«У меня есть тайное хранилище истинного oka Дхармы,
таинственные врата нирваны,
форма, не имеющая формы.
Все это я передаю тебе, Махакашьяпа»
[Гаутама Сиддхардтха]*

Первые два раздела настоящей главы посвящены конспективному обзору общих теоретических и методических вопросов. В последующих разделах рассмотрены средства регистрации и анализа ВП.

Дополнительная литература: [5, 26, 30].

5.1. Основы метода

Вызванными потенциалами (ВП) называют фоновые ответы различных нервных центров и участков головного мозга на различного рода внешние стимулы. Фоновость этих ответов определяется их проявлением в виде сравнительно малоамплитудных, но детерминированных изменений среднего уровня ЭЭГ.

В первой работе по выделению ВП (Dawson, 1947 г.) был использован остроумный прием — фотографирование отдельных ЭЭГ-ответов с экрана осциллографа с последующим наложением фотопленок. В поученной картине область наиболее плотного наложения ЭЭГ представляла усредненный ответ.

Как и в отношении ЭЭГ (Lykken, 1974 г.), в отношении ВП можно наблюдать определенное влияние генетических факторов (Rust, 1975 г.). У однояйцевых близнецов амплитуда конкретных ВП-пиков более близка, чем у разнородных, хотя в отношении латентностей пиков подобного сходства и различия не наблюдается.

Локальные характеристики ВП зависят от модальности стимула, его физических свойств, значимости, контекста предъявления, отведения от скальпа электрода, места проведения эксперимента и от индивидуальных особенностей человека. Например, у слуховых ВП пик P3 (латентность 170 мс) имеет наибольшую амплитуду в отведении Cz (вертекс). Но если этот ответ регистрировать в теменной зоне, в области центральной борозды или в задне-лобных отведениях, то амплитуда волны P3 будет вдвое меньше. В других участках этот пик будет иметь еще меньшую амплитуду. С другой стороны, компонент P3 для ответа на зрительный стимул (латентность 100 мс) будет наибольшим в затылочной коре.

Отчасти это противоречит представлению о локализации функций в коре, поскольку максимум слухового ответа следовало бы ожидать в височной коре. Однако изучение других пиков показывает, что к моменту появ-

ления РЗ стимул уже давно обнаружен слуховой корой и уже «передан» другим корковым отделам для последующего анализа.

Метод усреднения. Величина ВП-ответов обычно в 5–20 раз ниже амплитуды колебаний ЭЭГ (рис. 5.1а), однако пики ВП в отличие от колебаний ЭЭГ четко позиционированы во времени относительно стимула. Тем самым ЭЭГ по отношению к ВП играет роль высокоамплитудного случайного шума.

Как известно, в технических измерениях для выделения сигнала из шума используется метод когерентного усреднения сигнала, при этом амплитуда шума уменьшается как корень квадратный из N , где N — число усреднений. Тем самым, чтобы сравнить по величине сигнал и шум, различающиеся в 20 раз, надо выполнить не менее 400 усреднений. Поэтому для исследования ВП необходимо произвести достаточно большую последовательность записей нервной активности в ответ на предъявление стимула, а затем усреднить эти записи относительно момента подачи стимула (рис. 5.1а) или какого-либо другого знакового (сигнального) события.

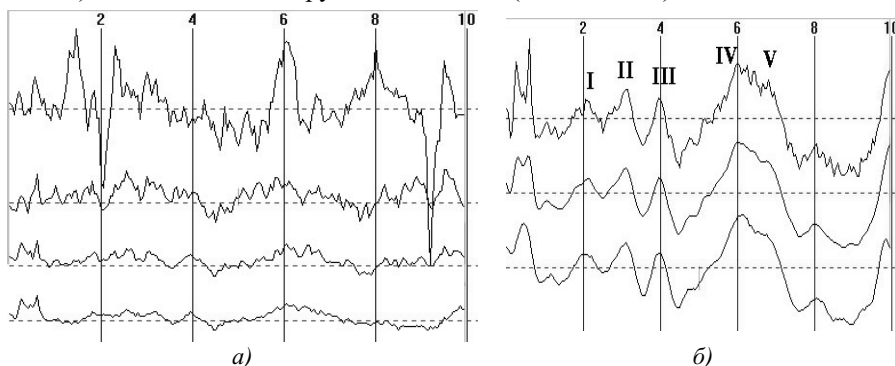


Рис. 5.1. Усреднение слуховых ВП ствола мозга:

а — сверху вниз: одиночная запись ВП на фоне ЭЭГ и результаты усреднения 50, 200, 500 записей; *б* — сверху вниз: результат усреднения 1000 записей, усиленный в 20 раз; то же после 5 сглаживаний; то же при фильтрации в диапазоне 2–20 кГц (римскими цифрами обозначены пики коротколатентных слуховых ВП)

Оценка уровня остаточного шума может производиться двумя способами: *а*) усреднением записей, выполненных при отсутствии стимуляции; *б*) усреднением по отдельности первой и второй половины записей и вычислением разности двух полученных результатов.

Фильтрация и сглаживание. Если заранее известна частота колебаний выделяемых ВП, тогда перед усреднением можно применить фильтрацию исходного ЭЭГ-сигнала в более высоком или низкочастотном диапазоне, уменьшающей амплитудный уровень шума. Тогда можно добиться надежного выделения ВП при меньшем числе усреднений (рис. 5.1б) и уменьшить шумовые составляющие в усредненном ВП. Однако этим сле-

дует пользоваться с осторожностью, поскольку большинство традиционных методов фильтрации (как показано в разд. 4.4) привносит в результат временной сдвиг и другие искажения, которые зависят от типа и порядка фильтра. А это может привести к существенным сдвигам в латентностях ВП–пиков. Для нивелирования остаточных шумов в результате усреднения часто используют его многократное сглаживание скользящим средним (рис. 5.1б).

Выделение одиночных ВП. Рассмотренный метод повторных предъявлений стимула не всегда реализуем. Так, многие стимулы по самой своей природе не могут быть предъявлены многократно, например: болевые, обонятельные, вкусовые, стрессовые. Во многих случаях не удается избавиться от всегда имеющего место эффекта привыкания. В таких ситуациях используют метод пространственного усреднения одиночного ответа от многих отведений. Предпосылками к такому усреднению являются: а) ВП–ответ в той или иной степени проявляется во всех отведениях; б) ЭЭГ в той или иной степени несинхронна в различных отведениях. Однако, поскольку эти предпосылки не всегда в должной степени выполняются, метод пространственного усреднения не всегда дает удовлетворительный результат.

Типы ВП. В зависимости от типа стимула и целевой установки обычно выделяют следующие категории ВП:

- экзогенные ВП:
 - зрительные (ЗВП) в ответ на световую стимуляцию;
 - слуховые (СВП) в ответ на звуковую стимуляцию;
 - соматосенсорные (ССВП) в ответ на электрическую стимуляцию;
- эндогенные ВП или когнитивные, связанные с содержательным анализом мозгом стимулов различной природы.

Другие типы раздражителей: тактильные, обонятельные, вкусовые, вестибулярные, кинестетические используются сравнительно редко. Следует также отметить, что несмотря на то, что через зрительный канал поступает до 85% информации, но и слуховой канал не менее важен. Так при его отключении, в частности, практически до нуля падает эффективность рекламы. Примечательно также, что во многих западных странах законодательно запрещено использование в рекламе басовых звуков и голосов, поскольку они оказывают на человека не только информационное, но и прямое соматическое воздействие.

Обозначения. Для исследования каждого типа ВП используется своя система отведений. В усредненной записи ВП выделяют несколько характерных пиков, которые обозначаются латинскими буквами: Р — позитивность, N — негативность; с индексами, обозначающими или порядковый номер пика или же его латентность (в мс).

5.1.1. Зрительные ВП

Психофизика зрения. Глаза видят, воспринимают свет. Главные характеристики света — его частота и интенсивность как электромагнитного колебания. *Частота* — главный фактор, определяющий окраску света. *Интенсивность* — главный фактор, определяющий яркость. Видимый свет — часть электромагнитного спектра, лежащая в диапазоне длин волн от 400 (воспринимается как фиолетовый) до 700 (воспринимается как красный) нанометров.

Диапазон интенсивностей света, которые воспринимает глаз, огромен (порядка 10^{10}). Наиболее интенсивный свет, еще не вызывающий болевых ощущений, примерно в миллион миллиардов раз более интенсивен, чем самый слабый видимый свет.

Строение глаза. Органом, воспринимающим свет и всю зрительную информацию, является глаз (рис. 5.2). Лучи света, которые идут от видимого объекта, проходят сквозь роговицу, защищающую глаз спереди, затем идут через зрачок, образованный радужной оболочкой, через хрусталик и, наконец, перед тем как достичь рецепторных клеток сетчатки, они проходят через сравнительно плотную среду — так называемое *стекловидное тело*.

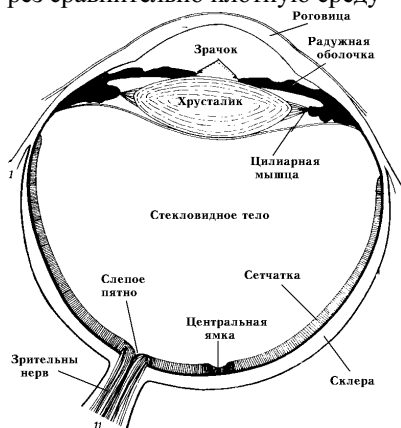


Рис. 5.2. Строение глаза

Проходя через различные преломляющие среды глаза, изображение переворачивается, его левая часть проецируется на правую сторону сетчатки, а верхняя на нижнюю. Хрусталик, находясь сразу за радужной оболочкой, удерживается в одном положении ресничным пояском (*zonula ciliaris*), который состоит из ресничных волокон. Зрачок определяет количество света, пропускаемого в глаз, его диаметр может изменяться от двух до восьми мм. Но это изменение происходит довольно медленно. Зрачок не регулирует интенсивность света, его основная функция состоит в том, чтобы пропустить лишь

тот свет, который падает на центральную часть хрусталика, где фокусировка наиболее точная. Сужение зрачка помогает сохранить большую глубину резкости — всегда наибольшую при данных условиях освещения. Кроме того, размеры зрачка отражают состояние нервной системы: при изменении эмоционального состояния, при умственном напряжении и решении задач диаметр зрачка меняется.

Если предмет сильно приблизить к глазам, то вы ясно ощутите напряжение глазных мышц. По мере приближения происходят два процесса: одна группа глазных мышц обеспечивает сведение обеих зрительных осей на объ-

ект (конвергенция), а другая — непрерывно увеличивает кривизну хрусталиков обоих глаз, из-за чего лучи света преломляются в каждом глазу все сильнее, и изображение на сетчатке остается четким при его приближении.

Строение сетчатки. Когда свет попадает на сетчатку, там происходит превращение световых волн в нервные коды. Сетчатка — это не сплошной слой светочувствительного материала. Она состоит из трех слоев нервных клеток (рис. 5.3), разделенных двумя слоями синапсов, образованных аксонами и дендритами этих клеток. У человека существуют светочувствительные элементы двух типов — *палочки* и *колбочки*, и они находятся в самом глубинном слое сетчатки, т. е. сетчатка как бы перевернута внутрь. В связи с этим встает законный вопрос: а что же реального можно увидеть в окружающем мире за четырьмя плотными слоями промежуточных клеток и нервных волокон? Может быть, неадекватное восприятие *Реальности*, называемое в клинике шизофренией, заложено у человека уже на анатомическом уровне? Но пойдем дальше.

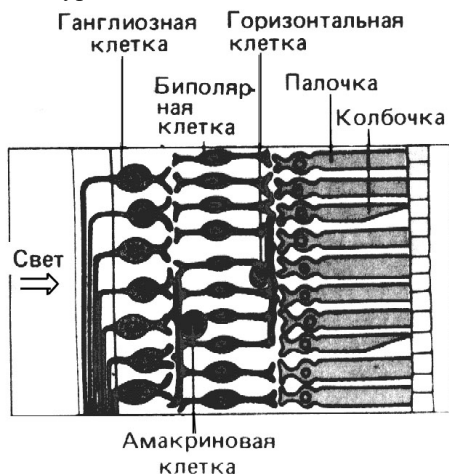


Рис. 5.3. Строение сетчатки

Помимо морфологических отличий, которые обусловили первоначальное деление фоторецепторов на два типа, палочки и колбочки отличаются функционально. В сущности, в глазу имеется две самостоятельные зрительные системы. Зрительный пурпур — родопсин (он обеспечивает начальную реакцию глаза на зрительный сигнал) — содержится только в палочках. А колбочки содержат несколько веществ, необходимых для цветного зрения. Палочка почти в 500 раз более чувствительна к свету, чем колбочка, но зато она не способна по-

разному реагировать на свет разной окраски. Нервные пути, по которым информация от палочек и колбочек передается в мозг, также различны.

У человека в глазу содержится примерно 6 миллионов колбочек и 120 миллионов палочек. Если вспомнить, что изображение на обычном телевизионном экране складывается всего из 250 тысяч независимых элементов, то станет ясно, что это очень большая плотность. В самом центре, где способность нашего зрения различать тонкие детали максимальна, имеются только колбочки. Эту лишенную палочек зону диаметром около полмиллиметра называют центральной ямкой (рис. 5.2), однако колбочки имеются по всей сетчатке. Как экспериментально доказали Вавилов и Черенков, часами сидя в темном подземном бункере, такая организация сетчатки позволяет человеку видеть даже отдельные кванты света.

В последующих слоях сетчатки происходит предварительная переработка зрительной информации. Выходных ганглиозных клеток всего лишь около миллиона. Каким же образом сохраняется детальная зрительная информация?¹

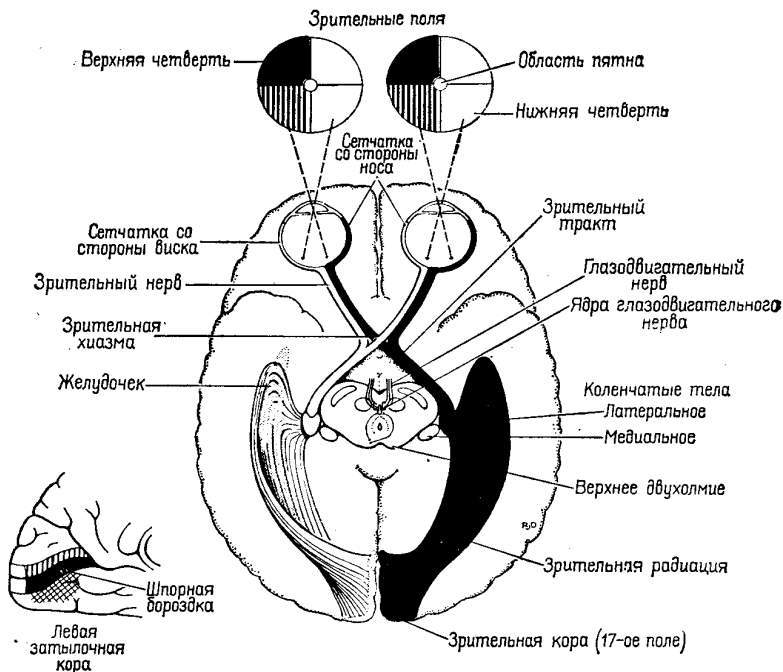


Рис. 5.4. Зрительные пути

Зрительный тракт. В передаче сигнала от рецептора к мозгу участвуют различные типы клеток. От сетчатки к мозгу идет зрительный тракт, толщина которого примерно равна толщине карандаша (рис. 5.4). Часть волокон зрительного тракта, идущих от каждого глаза, перекрещиваются, место перекреста называют *хиазмой* (по сходству с начертанием греческой буквы χ). Все волокна от левых половин сетчаток обоих глаз направляются в левое полушарие мозга, а все волокна от правых половин — в правое полушарие (вертикальная граница между обеими половинами поля зрения проходит через точку фиксации, об асимметрии мозга мы более подробно говорили в разд. 4.1). Следует также помнить, что хрусталик переворачивает изображение: левое становится правым, а верх — низом². Следующей

¹ По этим и многим другим интригующим вопросам можно порекомендовать: Д. Хьюбел. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир. 1990.

² Так и видит мир новорожденный ребенок. Однако мозг очень быстро научается переворачивать изображение. Но можно переучить мозг, если поносить специальные очки зеркального преобразования. Тогда при ответе у доски можно легко читать с

станцией переключения в зрительной системе после сетчатки служит латеральное коленчатое тело.

Зрительная кора. Зрительные сигналы поступают в первичную зрительную зону коры в затылочной доле (см. рис. 4.2) и распределяются, в основном, среди нейронов, расположенных в четвертом слое, где можно выделить по меньшей мере два типа нервных клеток (кора больших полушарий делится на поля по типу нервных клеток и по структуре их организации). Так называемые *простые* клетки реагируют на предъявление светлых линий на темном поле, а также на прямые линейные границы между светлыми и темными областями. Следовательно, эти клетки реагируют на линии и края. Клетки второй категории, названные *сложными* нейронами, также отвечают на предъявление линии или края, однако они продолжают давать разряды по мере того, как раздражитель движется по довольно большой области сетчатки.

Саккады. Глаза все время находятся в движении, последовательно переходя с одного участка поля зрения на другой. Движения глаз состоят из ряда скачков, или *саккад*, которые обычно происходят 4–5 раз в секунду. Саккадическое движение происходит за счет активности наружных мышц глаза (их шесть), которые обеспечивают быстрые изменения положения глазного яблока.

Глазные мышцы не могут удержать глазное яблоко в полном покое. Более того, для нормального восприятия они обеспечивают непрерывные микродвижения, тремор (или физиологический *нистагм*), при котором глаз подрагивает с частотой около 100 Гц. Таким образом, изображение в глазу непрерывно движется.

Зрительные эффекты.

Если пристально смотреть на черную точку в центре (рис. 5.5), стараясь совершенно не отводить от нее глаза, то спустя примерно полминуты черные и белые части изображения начнут колебаться. Если перевести после этого взгляд на белую точку, то можно увидеть набор белых квадратов на черном фоне (т. е. образ последействия), наложенный на настоящий рисунок. Этот последовательный образ будет все время смещаться по рисунку, как бы вы ни старались удержать его на месте. Это и есть эффект физиологического нистагма.

раскрытого учебника на первой парте. Мозг вообще приучается воспринимать окружающее стандартно. Давайте сделаем необычную оконную раму в виде горизонтально расположенной трапеции и придадим ей круговое вращение. Мозг не увидит этого вращения — он увидит только небольшое покачивание рамы из стороны в сторону — ведь мозгу давно известно, что все оконные рамы прямоугольные, да еще есть эффект перспективы. Попробуем обмануть мозг и прикрепим для определенности к одному краю рамы бантик или проденем в раму палку. Но и это не поможет — рама не явит вращения, зато бантик начнет прыгать с края на край, а вращающаяся палка будет свободно проходить сквозь поперечины.

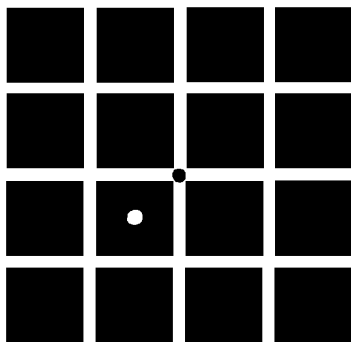


Рис. 5.5. Эффект последствия глаза

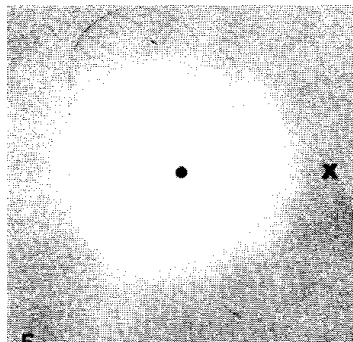


Рис. 5.6. Влияние резких изменений интенсивности

С помощью определенных технических ухищрений можно стабилизировать образ на сетчатке, но стабилизированный образ исчезает уже через несколько секунд. И исчезает весьма характерно, по частям, отдельными фрагментами, имеющими собственное значение. Образ сохраняется тем дольше, чем больше смысла в нем заложено. Та часть образа, на которой наблюдатель сознательно концентрирует внимание, исчезает последней.

Характер движения глаз отражает систематический отбор внешней информации, основанный на осмысленной интерпретации поступающих сенсорных данных. Нистагм наблюдается и во время сна, уже много лет эти движения считают главным показателем наличия сновидений.

Восприятие живописи. Если смотреть на рисунок с расплывчатыми краями (рис. 5.6), то через какое-то время фигура исчезает и не постепенно, а сразу большими кусками. Но если чуть сместить взгляд, то все появится вновь. Восприятие образа определяется активностью очень сложных нейронных детекторов признаков — нервных цепей, обнаруживающих линии, края, углы и, возможно, окружности. До тех пор пока от рецепторов сетчатки поступает достаточное количество информации, эти детекторы продолжают функционировать, и вы видите образ в целом. Когда изображение становится неподвижным относительно сетчатки, рецепторы перестают посылать сигналы в центр. Они перестают функционировать, и зрительный образ исчезает. Когда вы смотрите на рисунок, ваши глаза непроизвольно движутся, но эти незначительные по амплитуде движения приводят лишь к вибрации расплывчатых краев по рецепторам сетчатки. Переход от одного цвета к другому происходит так плавно, что движение расплывчатого края не способно вызвать достаточно резкого изменения стимуляции, которое было бы отмечено рецепторами.

Те размытые края, которые всегда присутствуют, например, в пейзажной живописи Китая, дают возможность зрителю наблюдать картину по частям, переходя от одного образа к другому. Здесь как бы смоделирована структура нашего восприятия. Интересно, зачем? Облачные цезуры, размытые края рек, деревьев, перерыв в горизонтальном свитке в виде леса,

деревьев, кустарника, реки... Получается, что картину невозможно охватить одним взглядом, как и при созерцании реального объекта, вы должны поворачивать голову, всматриваться в различные детали, и постепенно картина становится для рассматривающего ее не только объемной, но и реальной — в нее можно уйти, в ней можно жить!¹

Медитация на изображении.

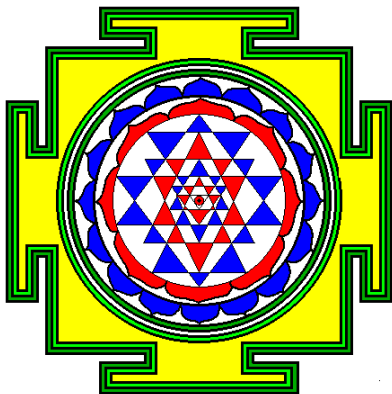


Рис. 5.7. Шри-янтра — древнеиндийская схема космогенеза и психоэнергетики человека

Противоположный способ построения изображений для созерцания и сосредоточения был изобретен в Древней Индии. Это — *янтры* или конструкты, построенные из простейших геометрических фигур (линии, треугольники, квадраты, круги и т. п.) с четко очерченными краями (рис. 5.7). Такое сочетание элементов задействует сразу большое число нейронных детекторов в зрительной коре. Этот эффект усиливает изменение размеров элементов от центра к периферии и чередование их расцветки в базовые цвета: красный, синий, желтый, зеленый. В результате перенасыщения восприятия зрительной

информацией происходит сдвиг сознания в альтернативное состояние с доминированием правополушарного, невербального, внелогического, непосредственного восприятия реальности. В частности, как показали эксперименты², особое сочетание геометрических и цветовых элементов Великой (Шри) янтры (рис. 5.7) позволяет отбирать индивидуумов с особой организацией нервной системы, наиболее способствующей продвижению в духовной восточной практике. С другой стороны, Шри-янтра связана с глубокими древними космогоническими и психоэнергетическими концепциями, многие из которых имеют прямые параллели в современном научном знании. И, наконец, эта уникальная композиция обладает сложнейшей

¹ Смерть в картине. Это иллюстрирует поразительный рассказ о смерти У Дао-цзы, самого знаменитого китайского художника. Когда Учитель понял, что его время пришло, он собрал своих учеников, друзей и родственников и объявил им, что уходит для жизни в другом мире. Сказав это, художник нарисовал на стене пейзаж и, попрощавшись с родными и близкими, отправился в нарисованную страну. Все собравшиеся могли наблюдать, как он перешел речку по мостику и пошел по тропинке в горы. Он долго поднимался к нарисованной пещере, а когда дошел до нее, еще раз приветствовал всех собравшихся, после чего вошел в пещеру. Там, в пещере он и исчез навсегда, а с ним исчезла и картина, написанная на стене дома.

² Kulaichev A.P., Ramendic D.M. Sri Yantra — the ancient instrument to control over psychophysiological state of man. Indian Journal of History of Science. 1989, (24)3:137-149.

геометрией, свойства которой не могут быть рассчитаны даже на мощнейших суперкомпьютерах в крайне отдаленной временной перспективе¹.

Спустимся теперь с метафизических высот к более современным, предметным и прозаическим вопросам, оставив детальное изучение потрясающих древних феноменов последующим исследователям.

Типы зрительных ВП. Зрительные ВП обычно различают по типу используемой стимуляции:

- зрительные ВП на вспышку света (ЗВПВ);
- зрительные ВП на реверсный шахматный паттерн (ЗВПШП) и другие конструкции из ритмически повторяющихся элементов.

Условия усреднения: эпоха анализа — 500 мс, число усреднений — 100–200.

Электроретинограмма. Ответы на зрительную стимуляцию регистрируют не только в затылочных отведениях, но и на уровне сетчатки. Такая запись называется электроретинограммой (ЭРГ) и выполняется после предварительной темновой адаптации при стимуляции вспышкой света средней и большой яркости и длительностью порядка 10 мс. Референтный электрод располагают либо на Fz, либо на ипсилатеральном (расположенном на той же стороне) мастоиде, активный электрод крепят на глазном яблоке вблизи радужки с помощью специальной контактной линзы или же на коже, как можно ближе к сетчатке. В первом случае ЭРГ–ответы можно отчетливо различить уже на единичных записях или при небольшом числе усреднений (до 10), при накожном же отведении требуется порядка сотни усреднений. Наиболее отчетливо на ЭРГ присутствуют два ответа: позитивная α –волна с амплитудой до 150 мкВ и латентностью около 10 мс (отражающая ответы колбочек и палочек) и негативная β –волна с амплитудой до 250 мкВ и латентностью 20–50 мс, генерируемая во внутреннем ядерном слое сетчатки. В клинической практике ЭРГ обеспечивает объективную и достаточно чувствительную оценку функции сетчатки.

Моргания. Моргания глаз проявляются на записях ВП в виде высокоамплитудных двухфазных колебаний (в 5–10 раз выше средней амплитуды ЭЭГ, рис. 3.12), уменьшающихся от лобных отведений к затылочным. Это может существенно исказить результаты усреднения зрительных ВП. Удаление этих артефактов производится в меню рис. 3.10.

Световые вспышки.

ЗВПВ подаются от стимулятора типа лампы–вспышки на закрытые глаза исследуемого с расстояния 30 см. Недостатками газоразрядной импульсной лампы являются наличие звукового щелчка, делающего стимуляцию не чисто световой, и трудность предъявления вспышки монокулярно. Поэтому

¹ Kulaichev A.P. Sri Yantra and its mathematical properties. Indian Journal of History of Science. 1984, (19)3:279-292.

в современной практике чаще используются специальные очки со вставленными матрицами светодиодов.

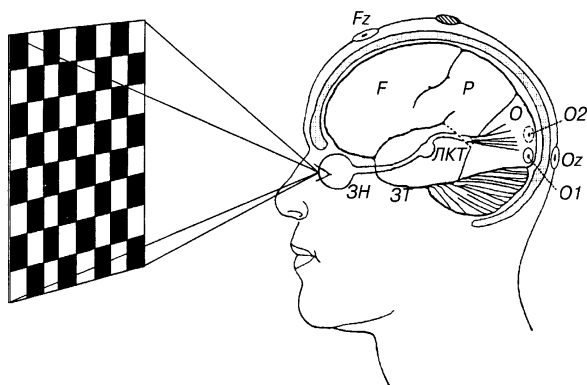


Рис. 5.8. Схема регистрации зрительных ВП (шахматный паттерн)

Электроды размещают на симметричных точках затылочной области (рис. 5.8), которые нередко дополняют (для оценки состояния неспецифической афферентации) теменными и центрально-затылочным отведениями. Для уменьшения влияния остаточного альфа-ритма на форму ЗВПВ применяется

неритмическая стимуляция со случайными промежуткам 1–2 с. В научных экспериментах используют различные варианты раздельной стимуляции левого и правого глаза, отдельных полей зрения и цветовую стимуляцию.

ЗВПВ в затылочном отведении существенно симметричны по своей форме, хотя амплитуды пиков в левом и правом полушарии могут немного различаться. Однако высокая амплитудная асимметрия, превышающая два стандартных отклонения, может рассматриваться как явная патология.

Компоненты ЗВПВ. ЗВПВ включает ряд последовательных колебаний потенциала, возрастающих по амплитуде с увеличением их латентности.

Общая форма ВП, как и количество пиков, может варьироваться в некоторых пределах, вместе с тем обычно можно выделить восемь основных позитивных и негативных пиков: P1, N1, P2, N2, P3, N3, P4, N4 (рис. 5.9, 5.10), за которыми следуют ряд достаточно монотонных колебаний в форме веретена, представляющего послеразряд.

Амплитуды и латентности пиков ЗВПВ могут существенно варьироваться в зависимости от характера стимуляции, методики исследования, возраста пациента и от способа анализа, что влечет необходимость периодического повторного накопления нормативной статистики даже в рамках конкретной исследовательской лаборатории. В качестве примера на рис. 5.9 приведены ЗВПВ испытуемых трех различных возрастов. Для детского возраста характерна большая амплитуда поздних компонентов (P3–N4). С возрастом эти амплитуды уменьшаются, а латентности пиков существенно варьируются. В преклонном возрасте может наблюдаться увеличение амплитуды ранних компонентов (P2, N2).

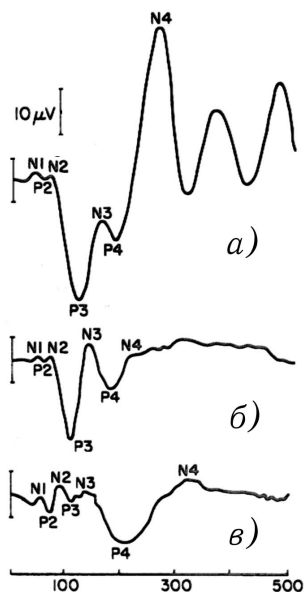


Рис. 5.9. Вариативность ЗВПВ в зависимости от возраста: а — 5 лет; б — 21 год; в — 67 лет

Компоненты P1 и N1 имеют относительно небольшую амплитуду и при малом числе усреднений, а также при большом амплитудном уровне фоновой ЭЭГ, могут быть слабо выражены в составе ЗВПВ, но в они норме достаточно стабильны и устойчиво наблюдаемы. Эти компоненты представляют собой ответы коры на поток афферентной иннервации по быстропроводящим волокнам зрительного тракта, переключающихся в таламических зрительных ядрах. Эти волокна проецируются преимущественно в область затылочной коры, но распространяются также и далее, захватывая височные, теменные, центральные и лобные области.

Компоненты P2 и N2 регистрируются в ЗВПВ достаточно регулярно и стабильно, поэтому считаются опорными в диагностическом отношении. Они также относятся к достаточно быстропроводящим афферентным системам, но проходят большее число переключений прежде, чем достигнут коры. Эти компоненты частично обусловлены афферентными нейронными потоками, проходящими через спе-

цифические и ассоциативные ядра таламуса и стриарного комплекса.

Компонент P3 является весьма нестабильным и может иметь вид хорошо выраженной высокоамплитудной волны, но иногда он существенно редуцирован и выглядит как незначительное дополнительное колебание потенциала на переднем фронте пика P4. В соответствии с этим изменяется и волна N3, являющаяся разделительной между P3 и P4. Заключительные компоненты P4 и N4 представляют собою пики, наиболее выраженные по амплитуде и постоянные.

Компоненты от P3 до N4 обусловлены ответом коры на афферентную иннервацию, идущую от неспецифических ядер лимбико-ретикулярного комплекса и отражают мультисинаптическую организацию неспецифических систем.

Вариативность ВП. Имеется много факторов, влияющих на параметры ЗВПВ: возраст, пол, размер ячейки, качество наложение электродов, фиксация взгляда, яркость, контраст и другие.

В табл. 5.1. приведены данные одной исследовательской группы о показателях пиков ЗВПВ (среднее и стандартное отклонение). Напомним, что в диапазон одного стандартного отклонения укладывается только около 68% испытуемых. Поэтому в реальной практике эти показатели могут еще более варьировать, а как видно из табл. 5.1, многие пики и по одному стандарт-

ному отклонению пересекаются во временной области. Все это затрудняет идентификацию компонентов. Фактически каждый исследователь в соответствии с конкретикой своих экспериментальных условий должен собирать собственную статистику и определять собственные границы нормы.

Таблица 5.1. Статистические оценки пиков ЗВПВ

Пи ки	Латентность, мс	Амплитуда мкВ
P1	43±7	—
N1	61±11	5.5±2.6
P2	73±16	6.6±5.1
N2	103±15	10.1±5.5
P3	128±22	9.2±5.8
N3	162±36	7.8±3.8

В качестве иллюстрации приведем пример трех испытуемых, у которых регистрировались ЗВПВ в один день, при равных условиях и с минимальным временным интервалом (рис. 5.10). Как нетрудно заметить, имеются существенные различия, как в амплитудах, так и в латентностях выделяемых пиков.

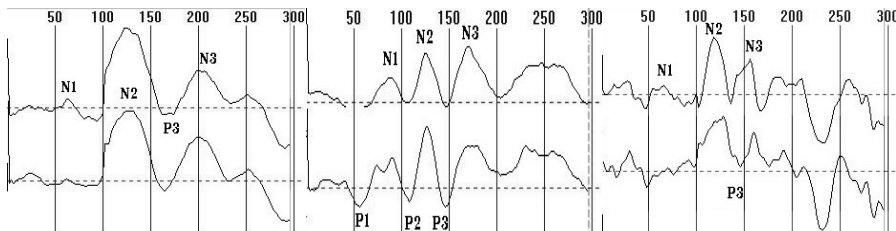


Рис. 5.10. Записи ЗВПВ трех испытуемых

Клиническое применение. Из-за большой межиндивидуальной вариабельности ЗВПВ наиболее надежными критериями клинической диагностики являются отсутствие ответа, значительное снижение амплитуды, удлинение латентностей и значительные различия при стимуляции левого и правого глаза.

Основным преимуществом применения ЗВПВ является возможность обследования больных с низкой остротой зрения и с пониженной способностью к фиксации взора. Основными областями клинического применения являются:

- оценка состояния зрительного нерва при травматическом повреждении;
- наследственные атрофии зрительного нерва;
- токсическая невропатия;
- оценка зрения при зрительных агнозиях и повреждениях зрительной коры;
- оценка зрительных функций у больных с нарушением сознания.

Латентность основного компонента Р2 может использоваться как индикатор созревания зрительных функций и неврологических нарушений в первые годы жизни ребенка.

Шахматные паттерны. В исследованиях используют шахматные паттерны с размером ячеек 15–60 угловых минут, с высоким контрастом (до 90%), с расположением экрана на расстоянии 1.5–2 м от пациента, в затемненном помещении с фиксацией взгляда на центре экрана (рис. 5.8). Мелкие ячейки избирательно стимулируют центральное зрение, поэтому получаемые ответы особенно чувствительны к расфокусировке и снижению остроты зрения. Использование крупных ячеек снижает чувствительность к этим показателям, поскольку вызывает большую стимуляцию периферического зрения. Частота обращения паттерна составляет 1–2 Гц. Активный электрод располагают в затылочной области (О1, О2) с референтом Fz.

В научных целях используют различные варианты раздельной стимуляции левого и правого глаза, отдельных полей зрения, цветовую стимуляцию, а также различного рода мозаики вместо традиционного шахматного паттерна.

ЗВПШП—ответы в гораздо большей степени, чем ЗВПВ связаны со специфическими зрительными функциями, поскольку они значительно стабильнее в своей конфигурации и более глубоко отражают такие функции зрительной системы, как острота зрения, рефрактерность и др. Действительно, при диффузной засветке зрительного поля с помощью лампы-вспышки в реакции участвуют, главным образом, те рецепторы сетчатки, которые реагируют на перепады освещенности. Диффузный поток импульсации, достигающий корковых нейронов, также приводит к их диффузной активации, при этом в реакции участвуют совместно как тормозные, так и возбуждающие нейроны, что приводит к исчезновению сложных временных паттернов ЗВП. В ответах на обращение шахматного паттерна принимают участие преимущественно только колбочки, т. е. рецепторы макулярной области, реагирующие не столько на перепады яркости, сколько на границы контуров, контраст, пространственные размеры и другие особенности зрительного стимула. Все это обеспечивает ЗВПШП роль ценного показателя состояния зрительной функции. Поскольку же макулярный пучок зрительного нерва и тракта, а также группа таламо-кортикальных волокон, соответствующая ему, относятся к быстропроводящим миелинизированным аксонам, то ЗВПШП может служить индикатором поражения зрительного нерва и тракта и показателем процессов демиелинизации.

В связи с тем, что ЗВПШП отражает в своих характеристиках параметры стимула, то (как и для ЗВПВ) нельзя определить какие-то его однозначные и универсальные параметры. В неврологических исследованиях обычно применяют такие найденные эмпирически параметры стимуляции, при которых ЗВПШП в норме оптимально выражен. При этом условии ЗВПШП, хотя и несколько варьирует в своих количественных характери-

стиках, но, вместе с этим, такие вариации ограничены достаточно узкими пределами и позволяют выделить достаточно типичную форму ВП ответа.

Компоненты ВП. В наиболее полном варианте в ЗВПШП выделяют (рис. 5.11) начальный позитивный пик P50 (латентность 50 мс), последующую негативность N65, основной позитивный пик P100, следующую за ним негативность N145 и позднюю позитивность P200.

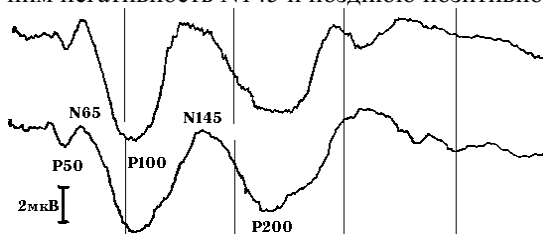


Рис. 5.11. ЗВПШП правой (вверху) и левой (внизу) затылочной области

Наиболее ранний позитивный компонент P50 регистрируется в 50–60% случаев, а более постоянной является волна N65 (N75), наблюдаемая у 75–80% исследуемых. Она является потенциалом ближнего поля (17-е поле) и генерируется конвекситальной

областью, выходящей на поверхность коры.

Наиболее выраженным и постоянным является пик P100, который встречается практически у всех людей с латентностью в норме от 90 до 130 мс, однако в большинстве случаев укладывающийся в достаточно узком диапазоне в области 100 мс. Он является результатом генерации в коре стриатума (17- и 18-е поля).

Возникновение пика P100 тесно связано с механизмом макулярного зрения, из-за чего смещение изображения из центра на периферию зрительного поля ведет к резкому уменьшению его амплитуды вплоть до полного исчезновения при нарушении макулярного зрения, при котором ЗВПВ может оставаться в пределах нормы.

Корковый источник P100 также более ограничен, чем источники ЗВПВ, и в гораздо большей степени он соответствует представлениям о топической проекции макулярного зрения. Исследования с применением биполярных отведений показали, что максимум позитивности этого компонента находится в области полюса затылочных долей, а в передних отделах он изменяет свою полярность на негативную соответственно представлению о правильном диполе.

Женщины имеют более укороченные латентности P100. Уменьшение контрастности и яркости приводит к увеличению латентности и уменьшению амплитуды N75 и P100. Влияние может оказывать и размер ячейки паттерна.

Компонент N145 имеет более широкую топографию по средней линии независимо от стимуляции левого или правого поля зрения. Это поддерживает гипотезу о генерации волны N145 ассоциативной областью зрительного анализатора (поля 18 и 19). Происхождение компонента P200 и более поздних достаточно дискуссионно. Они локализируются в лобно-центральной области и генерируются преимущественно неспецифиче-

скими системами таламуса и стволовых структур мозга. Эти компоненты имеют меньшее значение в оценке зрительных нарушений, но чувствительны к состоянию сознания и уровню комы.

Вариативность ВП. Ответы ЗВПШП более просты по форме и лучше воспроизводимы в сравнении с ответами на вспышку. У последних более выражены поздние составляющие, и они имеют более равномерную топографию на скальпе с максимумом в центральной области, в то время как ЗВПШП достаточно локализованы и наиболее выражены в затылочной области. При равных условиях латентности имеют большую стабильность, чем амплитудные показатели.

Таблица 5.2. Статистические оценки пиков ЗВПШП

Пики	Латентность, мс	Амплитуда, мкВ
Начало ответа	59.6±5.7	—
N75	75.0±2.6	1.38±0.75
P100	100.3±3.2	9.8±3.13
N145	150.6±6.6	8.4±4.22
P200	188.3±28.6	5.45±3.59

В табл. 5.2. приведены данные одной исследовательской группы о показателях пиков ЗВПШП (среднее и стандартное отклонение). Как можно заметить, по сравнению с табл. 5.1 ЗВПШП обладают сравнительно большей стабильностью, однако по их вариативности можно добавить все выше сказанное относительно ЗВПВ.

В качестве иллюстрации приведем пример одного испытуемого, у которого дважды регистрировались ЗВПШП в одинаковых условиях, в один день и с интервалом 4 часа (рис. 5.12). Нетрудно заметить большие различия в амплитудах пиков N75 и N145.

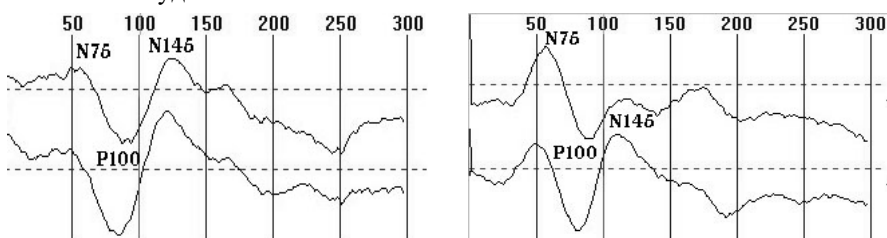


Рис. 5.12. Две записи ЗВПШП у одного испытуемого (сверху—вниз: левая и правая затылочные области)

Далее, на рис. 5.13 приведены записи ЗВПШП у трех других испытуемых, выполненные на той же аппаратуре, но в другом помещении, с другой степенью затемнения. Легко заметить существенные различия, как между самими испытуемыми, так и с испытуемым рис. 5.12. У испытуемого (рис. 5.13а) выделяется всего лишь один пик N145, этот же пик доминирует и у испытуемого рис. 5.13б, в то время как на рис. 5.13в все пики сильно зашумлены и с трудом поддаются идентификации.

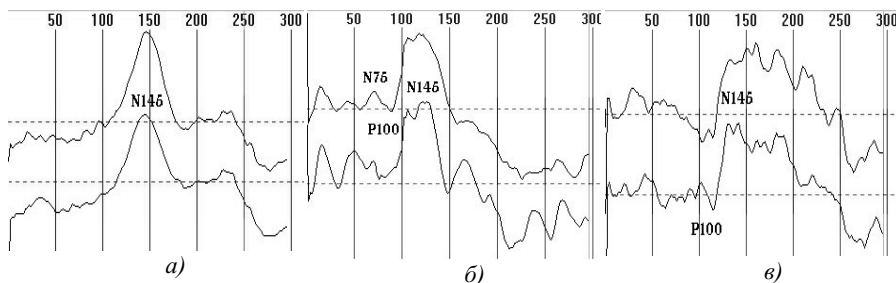


Рис. 5.13. Три записи ЗВПШП у трех испытуемых, выполненные на той же аппаратуре, но в другом помещении

Клиническое применение. Главным показателем для клинических заключений по ЗВПШП является пик P100 в отношении латентности, межочулярной разности латентностей, низкой амплитуды вплоть до полного отсутствия, межочулярной разности амплитуд. Основными направлениями клинического применения ЗВПШП являются:

- оценка состояния при патологии зрительного нерва;
- объективная оценка и дифференциация зрительных нарушений как функционального, так и органического характера;
- объективная оценка зрительных функций у маленьких детей;
- периметрия и нарушение полей зрения;
- дифференциальная диагностика поражений на пре- и постхиазмальном уровне.

5.1.2. Слуховые ВП

Психофизика слуха. Ухо человека имеет поразительно сложное устройство (рис. 5.14). Наружные части уха — ушная раковина, наружный слуховой проход, барабанная перепонка — имеют наименьшее значение для его успешного функционирования. Колебания барабанной перепонки в ответ на изменения давления воздуха — всего лишь начало длинной цепи действий, которые, в конечном счете, приводят к восприятию звука.

Звук — это изменение давления, которое распространяется через окружающую среду. Для измерения звука важны следующие его характеристики: с какой скоростью изменяется звуковая волна (*частота*), какой силы давление она вызывает (*амплитуда*) и когда она начинается (*фаза*). Чем больше амплитуда, тем громче звук; чем выше частота, тем выше звук (средний человек слышит звуки в частотном диапазоне 20–16 000 Гц).

Внутреннее ухо. После барабанной перепонки, которой заканчивается слуховой канал, звуковые колебания передаются посредством слуховых косточек среднего уха (их три — *стремечко*, *молоточек*, *наковаленка*, рис. 5.15) на структуры внутреннего уха. Внутреннее ухо состоит из *улитки* и *полукружных каналов*. Улитка представляет собой канал, образующий 2.5

витка, заполненный соевым раствором. Размеры улитки 0.5 см в длину и 1 см в ширину.

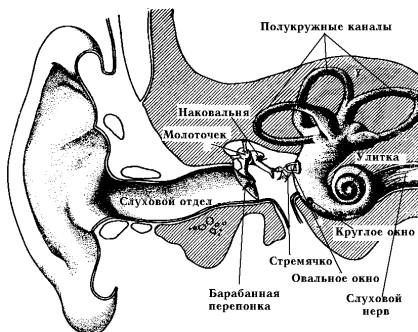


Рис. 5.14. Строение внутреннего уха

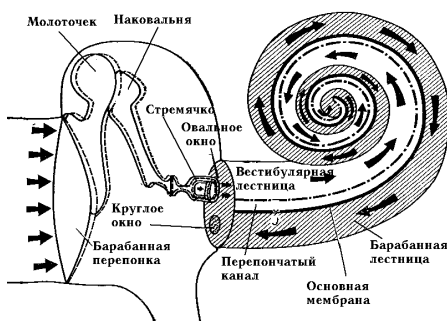


Рис. 5.15. Распределение давления в улитке

В костной капсуле улитки есть два отверстия. Одно из них называется *овальным окном* и прикрыто мембраной, которая соединяется с последней из слуховых косточек. Через эту мембрану колебания передаются от барабанной перепонки и косточек среднего уха в улитку. Для снижения давления, возникающего в области овального окна, служит маленькое круглое окно в задней части улитки.

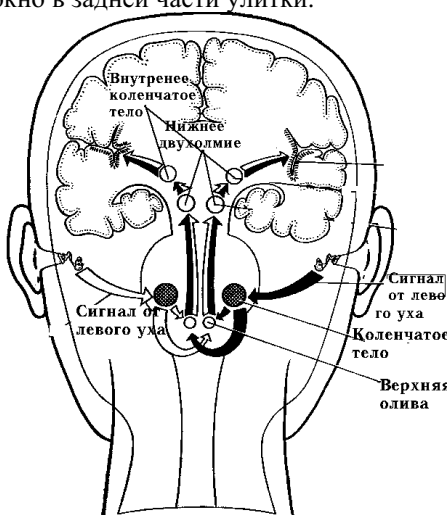


Рис. 5.16. Проводящие пути слухового анализатора

Две мембраны идут по всей длине улитки, делят ее на три узких хода, каждый из которых заполнен жидкостью. Основная мембрана тянется от начала улитки (основания), где косточки вызывают колебания овального окна, почти до самого ее конца (вершины). Основная мембрана покрыта волосковыми клетками, составляющими часть сложной структуры, которая называется *кортиева орган*. У человека приблизительно 25 000 таких волосковых клеток.

Так как волосковые клетки зажаты между двумя мембранами *кортиева органа*, любое движение основной мембраны заставляет их

волоски изгибаться. А так как основная мембрана закреплена, на наружные волосковые клетки будет оказано более сильное воздействие, чем на внутренние. Давление и напряжение, передаваемые на волосковидные клетки, вызывают активность в соединяющихся с ними нервных волокнах, генери-

руя электрические импульсы, которые распространяются по слуховому нерву.

Нервные пути. Рецепторные клетки улитки передают сигналы в дорсальное и вентральное кохлеарные ядра (рис. 5.16). Из этих ядер начинаются два проекционных канала, волокна которых идут через *трапецевидное тело*, находящееся в каудальной части покрышки моста, и следуют далее в восходящем направлении в составе *боковой и латеральной петли*. Волокна одного из этих каналов идут в верхнюю оливу и *ретикулярную формацию*. Волокна начинаются от клеток верхней оливы, заканчиваются в *медиальном коленчатом теле*, которое в свою очередь передает импульсы в слуховую кору поперечной височной извилины (см. рис. 4.2). От этой восходящей системы волокон отходят коллатерали к ядру латеральной петли, которое образует систему реципрокных связей с аналогичным ядром противоположной стороны. Восходящие волокна латеральной петли могут в небольшом числе оканчиваться также в *верхних бугорках*.

Компоненты слуховых ВП. В исследованиях слуховых ВП могут быть выделены ответы, относящиеся к разным уровням слухового анализатора (рис. 5.17а):

- коротколатентные ВП, отстоящие от стимула не более 10 мс;
- среднелатентные ВП, покрывающие диапазон от 10 до 50 мс;
- длиннелатентные ВП с латентностью более 50 мс.

Неврологический смысл основных компонентов СВВП был выяснен достаточно давно (Picton, 1974 г.).

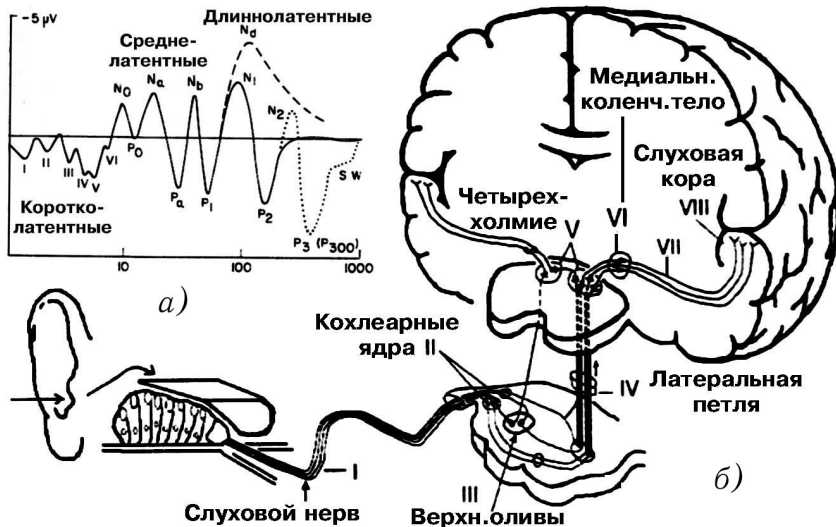


Рис. 5.17. Слуховые ВП: а — основные компоненты; б — анатомическая локализация источников коротколатентных ВП в слуховой системе

Ранние СВП. Самую раннюю часть СВП (первые 10 мс) представляют слуховые ВП мозгового ствола (СВПМС), которые выделяются при большом числе (от 1000 и более) усреднений, они обозначаются римскими цифрами от I до VII соответственно порядку следования позитивных пиков (рис. 5.17а). Они являются потенциалами дальнего поля, регистрируются за счет объемного проведения и отражают активацию слухового и кохлеарного ядер ствола. На рис. 5.1 приведены результаты усреднения различного числа записей СВПМС, в которых постепенно проявлены пики I–V дальнего поля.

При регистрации используется преимущественно моноауральная стимуляция в виде щелчков прямоугольной формы и небольшой длительности (0.1–1 мс) с частотой от 5 до 200 Гц. Интенсивность стимулов обычно варьирует в диапазоне 5–90 дБ над порогом чувствительности. Активный электрод обычно устанавливают на вертексе Cz, в качестве референтного используют ушной или мастоидный электроды, а заземление ставят на лоб Fpz. Однако, поскольку эти ВП являются потенциалами отдаленного поля, то они могут успешно регистрироваться от всех точек скальпа по системе отведений «10–20%».

При односторонней стимуляции на пассивное ухо рекомендуется подавать белый шум интенсивностью 60 дБ, чтобы устранить наведенные в нем реакции за счет костного проведения. Также для лучшей идентификации компонентов в этом случае полезно производить запись по двум каналам, используя в каждом отдельный референт–мастоид.

Поскольку СВПМС представляют собой очень быстро протекающие процессы, то на латентные периоды их компонент оказывают влияние факторы, не сказывающиеся заметно на более поздних слуховых ВП. К такого рода факторам в норме относится расстояние от источника звука до уха. Так, удаление источника всего на 1 м влечет увеличение латентного периода на 3 мс, что превышает значения латентных периодов I и II пиков ответа. На величину латентностей влияют также и индивидуальные особенности строения слухового рецепторного аппарата (включая и его кинематическую часть) протяженность слухового нерва и др. В связи с этим в клинической диагностике в качестве основных критериев используют межпиковые интервалы компонентов, которые в норме значительно стабильнее, чем абсолютные латентные периоды.

Наиболее стабильным компонентом СВПМС является V (рис. 5.17а); достаточно регулярно наблюдаются также I, III и VII компоненты. Другие компоненты регистрируются сравнительно реже. Наиболее высокой амплитудой обладает компонент V, несколько ниже амплитуда у компонентов III и IV, такие же или немного меньше амплитуды у компонентов I и VI.

Таблица 5.3. Статистические оценки латентностей пиков СВПМС

Пики	I	II	III	IV	V	VI
Латентности, мс	1.7± 0.15	2.8± 0.17	3.9± 0.19	5.1± 0.24	5.7± 0.25	7.3± 0.29

Слуховые ВП обладают значительно большей стабильностью по сравнению со зрительными ВП. Это проявляется как в латентностях (табл. 5.3) и амплитудах пиков, так и в соотношениях между ними и во влиянии возраста и других личностных показателей.

Среднелатентные СВП. В интервале 10–50 мс от стимула регистрируется реакция слуховой коры — простое «прослушивание» мозгом данного раздражителя. В это время достаточно часто появляются артефакты от мышц головы в ответ на звуковой толчок. Эти компоненты СВП остаются достаточно стабильными вне зависимости от состояния сознания испытуемого или же от степени внимания к раздражителю. Число усреднений 250–1000, наиболее выражен по амплитуде комплекс Na–Pa с латентностями в диапазоне 16–45 мс, большого значения в клинической практике ССВП не имеют.

Длиннолатентные СВП были впервые описаны в 1939 г. (Devis) и их называют медленными вертексными потенциалами, поскольку амплитуда ДСВП достигает максимума в вертексной области.

Компоненты ДСВП чувствительны к состоянию внимания и уровню бодрствования. Наиболее хорошо регистрируется V–образная волна с двумя позитивными и одним негативным пиком с латентностями от 50 до 200 мс (рис. 5.17а). Эти компоненты в определенной степени соответствуют базовым компонентам ЗВП или ССВП. Так компонент P1 идентичен пику VII СВПМС и интерпретируется как проявление активности таламокортикальных путей или как самая ранняя стадия коркового ответа. При регистрации используются щелчки и тоны длительностью до 50 мс. Интенсивность стимулов и расположение электродов аналогично СВПМС.

Эти более поздние компоненты СВП в большей степени отражают психологические моменты, и они наиболее выражены в лобной коре. Так, если предъявляются нормальные тоны и редкие тоны пониженной громкости и перед испытуемым поставлена задача подсчета слабых тонов, то компоненты N1 (90 мс) и P2 (170 мс) в ответах на такие стимулы будут усилены. И это происходит невзирая на то, что ранние компоненты для разных тонов были одинаковы. Отсюда следует, что в поздних компонентах находят отражение способности мозга обращать внимание на раздражитель.

Средне и длиннолатентные ВП выделяются при 100–500 усреднениях. Еще более поздние компоненты могут отражать более сложную переработку информации. Они рассмотрены ниже при обсуждении когнитивных ВП.

Клиническое применение. Исследование длиннолатентных СВП предусматривает решение двух основных задач:

- а) дифференцировка органической и функциональной природы изменений у пожилых людей и детей;
- б) объективная аудиометрия с оценкой слухового порога в широком диапазоне частот:
 - при обследовании больных с дезориентацией сознания или при ненадежности результатов субъективной аудиометрии;

- в судебной медицине при необходимости получить подтверждение об индивидуальных пороговых уровнях;
- при проверке симуляции, истерической или неорганической потерях слуха.

Коротколатентные СВП наиболее часто применяются по следующим направлениям:

- оценка нейросенсорной тугоухости;
- локализация патологии ствола мозга при опухолях, инфарктах и др.;
- диагностика демиелинизирующих заболеваний типа рассеянного склероза;
- диагностика невриномы слухового нерва;
- диагностика дислокации ствола мозга при инсультах, черепно-мозговых травмах и др.;
- оценка слуха у новорожденных.

При этом наиболее часто обнаруживаемыми изменениями СВП являются:

- отсутствие всех волн — нулевой ответ;
- регистрация только первой волны или увеличение I–III межпиковых интервалов;
- наличие только пиков I–III или увеличение III–V межпиковых интервалов.

Варьирование интенсивности звуковых стимулов позволяет определить пороги слуха и построить кривые зависимостей амплитуд ответов от интенсивности стимулов в децибелах от. Применение тонов разной частоты позволяет выявить, в каких областях имеются существенные нарушения слуховой функции. При этом соотношения амплитуд ответов с субъективными оценками громкости стимулов чрезвычайно широко межиндивидуально различаются, поэтому такой метод не позволяет полностью исключить субъективную аудиометрию. Вместе с тем, он обладает несомненным преимуществом благодаря объективности получаемых результатов.

В клинической неврологии исследования СВП широко применяются и для оценки целостности невральных структур, ответственных за проведение и восприятие слуховой информации, а также для уточнения возможного уровня их поражения. Задачи тонкой оценки характера нарушения слуха с помощью СВП в клинической неврологии имеют меньшее значение.

5.1.3. Соматосенсорные ВП

Соматосенсорные ВП (ССВП) — это электрические ответы ствольных нервов и центров на стимуляцию рецепторов соматической чувствительности или связанных с ними нервных волокон. Именно для выделения ССВП была впервые применена техника когерентного усреднения (Dawson, 1954 г.).

Анатомия соматосенсорного анализатора. Чувствительные сигналы от верхних конечностей (рис. 5.18) проходят преимущественно по сре-

динному нерву через плечевое сплетение и входят в задние рога спинного мозга в шейном отделе С6–С7, где и происходит первое переключение.

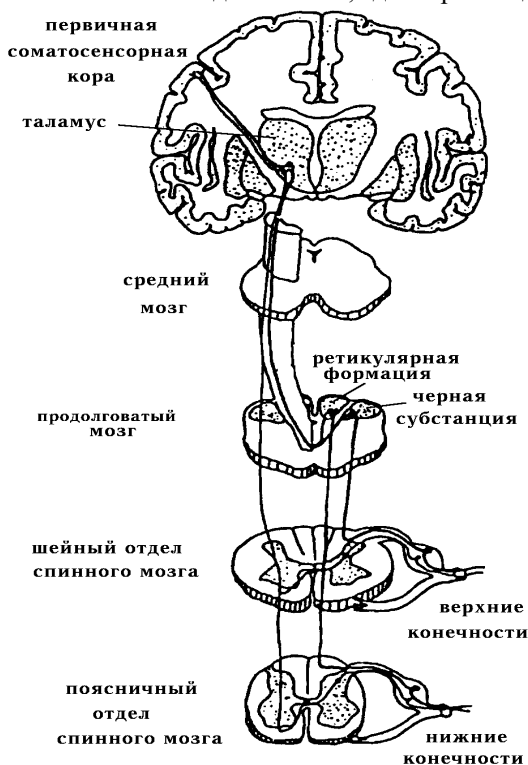


Рис. 5.18. Анатомия соматосенсорного анализатора

После второго переключения на уровне продолговатого мозга в ядрах клиновидного пучка чувствительная афферентация через спино–таламический тракт проходит в вентролатеральные ядра таламуса, откуда после переключения направляется в соматосенсорную кору (поле 1–2 по Бродману).

Чувствительные сигналы от нижних конечностей идут по большеберцовому нерву в задние рога спинного мозга в поясничном отделе, затем поднимаются до продолговатого мозга, где переключаются в ядра нежного пучка. Далее путь проходит через средний мозг, таламус, к зоне первичной проекции ноги ближе к медиальной поверхности коры.

Психофизика двига-

тельной системы. Каждый вид чувствительности имеет свое представительство в коре головного мозга (см. рис. 4.2). Все сигналы от рецепторов приходят в первичную проекционную зону сенсорного анализатора. Вокруг нее расположена вторичная зона анализатора, где сигнал подвергается предварительной обработке. И, наконец, еще дальше расположена зона, которую обычно называют ассоциативной зоной анализатора и которая контактирует с такими же зонами других анализаторов.

Осязание, т. е. кожное ощущение (*механорецепция*), в действительности складывается из трех компонентов:

- 1) осязание (тактильное чувство), которое в силу быстрой адаптации реагирует только на первые моменты соприкосновения;
- 2) чувство давления;
- 3) чувство перемещения.

Особое место среди всех проекционных систем мозга занимает двигательный анализатор, который стоит как бы на выходе интегрирующей и

координирующей деятельности коры. Первичные моторные зоны занимают пространство роstralнее (вперед) *Роландовой борозды* — переднюю центральную извилину (четвертое поле), еще более роstralно расположена премоторная область (поля 6, 8).

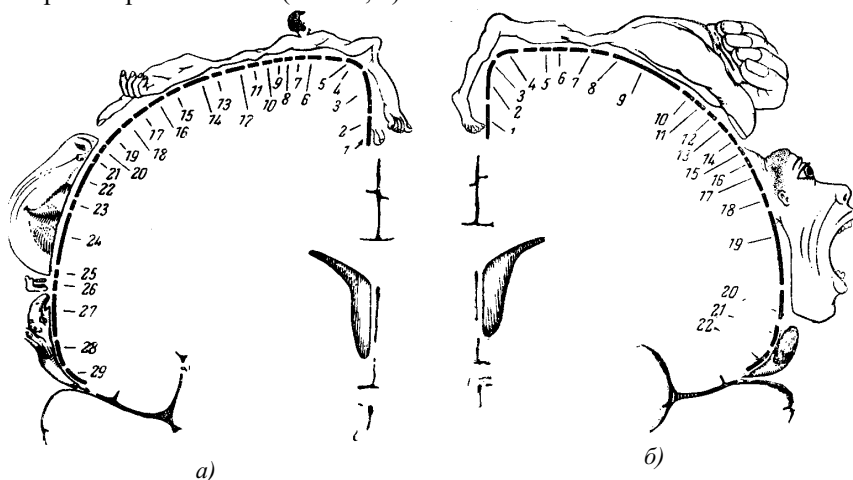


Рис. 5.19. Относительные размеры коры, соответствующие разным частям тела: а — чувствительной (сенсорной) коры; б — двигательной (моторной) коры

Двигательная кора. С двигательными областями коры в тесном функциональном единстве находятся расположенные в теменной области каудальнее (назад) от Роландовой борозды корковые воспринимающие области общей чувствительности — кожно-кинестетический анализатор (рис. 5.19а).

Мышцы разных частей тела у человека представлены в определенной последовательности впереди центральной борозды. Представительство гортани, рта и лица находятся наиболее латерально (сбоку). Затем следуют проекции руки, туловища и ноги. Мышцы самых нижних сегментов тела активируются из области коры, расположенной на медиальной (средней) поверхности полушария. Количество коры, относящейся к различным частям тела, не соответствует их размерам. Области, которые контролируют дистальные (удаленные) части конечностей, выполняющих тонкие дискретные движения, занимают площадь, во много раз превосходящую представление проксимальных частей конечностей и туловища.

В границах двигательной области коры имеется непрерывное представление всех скелетных мышц. Полное и детальное представление соматической мускулатуры, занимающее прецентрально-моторную область (поле 4), и есть двигательная кора в ее классическом описании. Морфологическими и электрофизиологическими исследованиями установлено, что эта область имеет сенсорные входы, независимые от входов в соматосенсорную кору. Поэтому прецентрально-моторное поле названо мотосенсорным. Так

области коры, которые играют наиболее важную роль в восприятии соматосенсорной чувствительности, являются одновременно и двигательными полями.

Таким образом, в коре есть четыре разные двигательные области. Все они направляют волокна в *пирамидный тракт* и к центрам *экстрапирамидной системы*. Кроме того, ряд корковых областей имеет специальное отношение к контролю мышц, связанных с некоторыми видами сенсорной чувствительности. Стимуляция определенной области в лобной коре приматов вызывает движения глаз, век и изменение размера зрачков. В ней различают пять частей, из которых получены различные двигательные эффекты: открывание, закрывание и поворачивание глаз, расширение зрачков, нистагм и др. В затылочной области находится еще одно двигательное поле, имеющее отношение к содружественным движениям глаз, к контрлатеральной стороне. Небольшая область, примыкающая к слуховому полю, связана с движениями ушной раковины.

Контроль движений. В контроле движений принимает участие большое число факторов, поэтому в двигательные центры непрерывно поступают многочисленные сигналы из внешней среды и из частей тела, выполняющих движение. Эта сенсорная обратная связь весьма важна для контроля движений.

В контроле произвольных движений ведущая роль принадлежит проприорецепции (ощущению). Выработанные программы движения тесно связаны и реализуются во взаимодействии с проприоцептивной афферентацией (нервные потоки от рецепторов в мозг), а отдельные рецепторные входы особенно важны для определенных характеристик движений. Так, например, суставная рецепция играет ведущую роль в осуществлении произвольных движений большой точности. Ее исключение необратимо снижает возможность выполнения такого рода движений. Мышечная рецепция особенно важна для осуществления двигательного обучения и воспроизведения выработанных программ, т. е. для координационных перестроек. Это свидетельствует о высокой степени специализации рецепторных каналов в системе контроля движений. Каждый из них выполняет свою специфическую роль.

Осуществление большинства видов движений зависит от сенсорного входа. Однако некоторые движения столь быстры, что обратная связь, включающая сенсорные звенья, не успевает оказать влияния на их выполнение. Примером могут служить быстрые движения пальцев профессиональных пианистов или машинисток, наши движения при письме и, конечно же, молниеносные удары кисти каллиграфа, выписывающего иероглиф.

Перейдем теперь к более предметным и прозаическим вопросам.

Стимуляция. В практической клинической диагностике обычно производят электрическую стимуляцию периферических нервных волокон с помощью накожных электродов, накладываемых над областью прохождения нерва. Для этого применяют биполярные стимулирующие электроды в виде

металлических дисков размером в 0.3–0.5 см, которые укрепятся на пластмассовой пластине с расстоянием между их центрами в 3–4 см. Электроды располагают вдоль нервного пучка, при этом катод находится проксимально, и крепят к конечностям с использованием резиновых полос или липкой ленты. При этом очень важно правильно установить электроды, поскольку изменение глубины их вдавления в мышечные ткани, небольшие боковые смещения буквально на несколько миллиметров, высыхание электролита под электродом в контакте с кожей приводят к изменению силы тока, протекающего через нервный пучок, а следовательно и к изменению силы стимула и амплитуды ВП ответа.

Контроль интенсивности стимулов осуществляется посредством визуальной оценки прямого двигательного ответа тех мышц, которые иннервируются двигательными волокнами стимулируемого нерва.

Интенсивность стимуляции устанавливают немного выше порога двигательного ответа (обычно 5 В или 0.1 мА). Однако, не смотря на стабильность силы тока возможно изменение силы раздражения нерва вследствие, например, смещения стимулирующих электродов. Важным средством контроля силы стимуляции является самоотчет пациента. Когда нужно исследовать проводимость отдельных участков нерва, используют стимуляцию рецепторов и концевых нервных разветвлениях и стимуляцию отдельных пальцев с наложением на них кольцевых электродов.

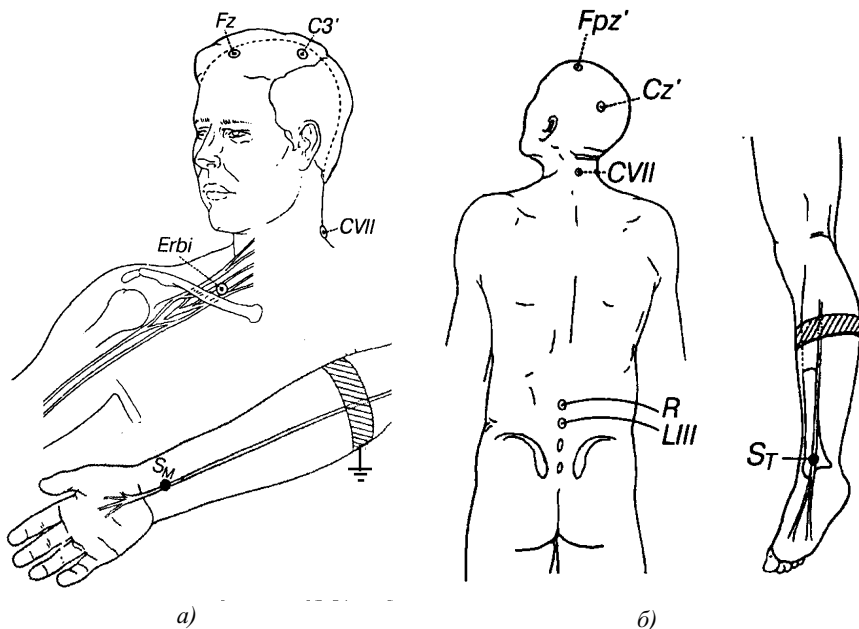


Рис. 5.20. Варианты расположения стимулирующих и регистрирующих электродов при исследовании ССВП от верхних (а) и нижних (б) конечностей

Типы соматосенсорных ВП. В зависимости от места стимуляции и расположения отведений обычно различают следующие типы ССВП:

- а) ССВП от спинного мозга;
- б) ССВП от интактных покровов головы:
 - дальнего поля (коротколатентные ВП);
 - ближнего поля (длиннолатентные ВП).

Эти типы ССВП различаются также в зависимости от места стимуляции: верхних или нижних конечностей (рис. 5.20).

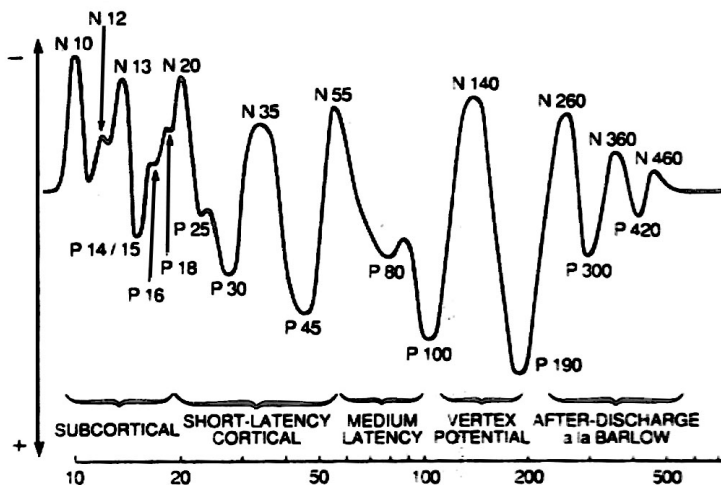


Рис. 5.21. Совмещенная временная схема ССВП

ССВП отражают проведение афферентной волны возбуждения по путям общей чувствительности, проходящих преимущественно в задних частях спинного мозга, через стволовые отделы и спино-таламический тракт в кору головного мозга. Поэтому их регистрация является адекватным методом исследования при диагностике поражений спинного и головного мозга.

На совмещенной схеме (рис. 5.21) приведены ССВП различного происхождения: регистрируемые в точке Эрби (N10), на затылке (N12, N13) и на скальпе (поздние волны). Дополнительные пики могут регистрироваться в других точках.

ССВП спинного мозга. Исследование ССВП спинного мозга проводится с использованием накожных отведений, что влечет дополнительные методические требования. Вследствие относительно малой мощности соматосенсорных потенциалов, обеспечиваемых проводящими путями и ядрами спинного мозга, глубокого их залегания и большим числом источников разнообразных артефактов, исследование ВП спинного мозга требует выполнения большого числа уреднений (обычно 1000–6000), что существенно увеличивает общую длительность исследования.

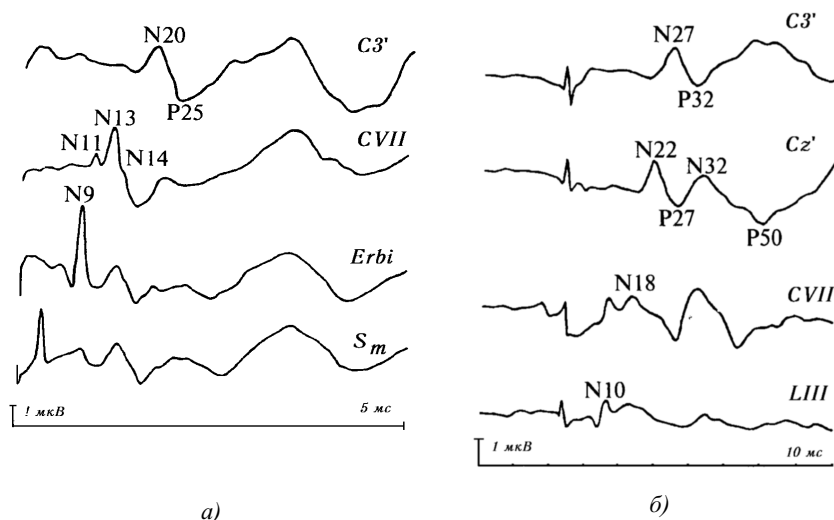


Рис. 5.22. Примеры ССВП, регистрируемых в различных отведениях:
 а — от верхних конечностей; б — от нижних конечностей

Референтный электрод рекомендуется помещать на колено нестимулируемой ноги, поскольку здесь минимально влияние потенциалов от стимулируемого нерва. Однако на это отведение оказывают влияние ЭКГ и электромиографические артефакты.

Низкая амплитуда ВП спинного мозга вызывает необходимость стимуляции наиболее массивных нервных пучков, поэтому обычно стимулируют нервы конечностей: срединный, локтевой, лучевой на руке и большеберцовый и малоберцовый на ноге. Отводящие электроды устанавливают на спине по средней линии на уровне поясничного или шейного позвонков.

Наличие многих источников артефактов, которые могут в десятки и сотни раз превосходить по амплитуде спинальные ВП, вынуждает при предварительном тщательном просмотре записей удалять артефакты или же задавать амплитудный уровень автоматического исключения таких записей из процесса усреднения. Из-за необходимости регистрации большого числа ответов на стимулы используется высокая частота частота стимуляции порядка 3–5 Гц.

Компоненты ВП. В спинальном ССВП на электрическую стимуляцию срединного нерва выделяют три основных негативных компонента (рис. 5.23): N9, N11, N13 (цифры соответствуют латентным периодам в мс). Компонент N9 связан преимущественно с активностью волокон в составе плечевого сплетения. Компонент N11 обусловлен прохождением афферентного потока по задним отделам спинного мозга на уровне шеи и в некоторой степени активностью в месте вхождения заднего корешка в спинной мозг в шейное сплетение. Природа компонента N13 частично обусловлена активностью постсинаптических нейронов в соответствующем спино-

мозговом сегменте и восходящих пучков спинного мозга, а также пассивно проводящейся электроактивностью волокон медиальной петли в зоне нижнего ствола.

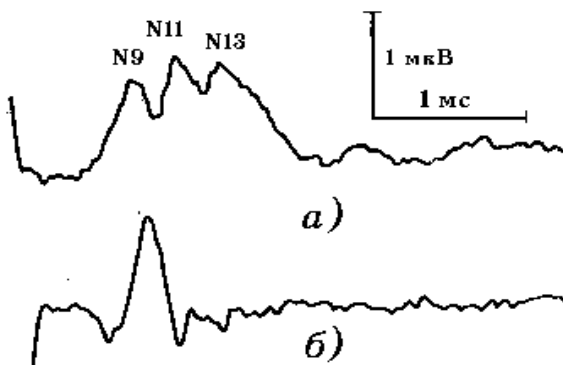


Рис. 5.23. Пример ССВП спинного мозга после 1000 усреднений: *а* — в шейном отведении; *б* — в точке Эрба (внизу)

При регистрации от электродов, расположенных в области верхнепоясничных и нижнегрудных позвонков, в ответ на стимуляцию большеберцового нерва на лодыжке регистрируются ВП, имеющие максимальную амплитуду между остистыми отростками позвонков T12–L2. Этот потенциал включает основную негативную вы-

сокоамплитудную фазу с латентностью порядка 23 мс, вероятно связанной с синаптической и постсинаптической сегментарной активностью. Этому компоненту непосредственно предшествует малоамплитудный позитивный пик, обусловленный активностью нейронов конского хвоста.

ССВП дальнего поля. Если активный электрод располагается непосредственно на голове пациента, то помимо электрических ответов, связанных с активностью ближайших корковых областей, регистрируется активность и от удаленных источников, в частности от экстрацефалических нервных образований. Они называются *потенциалами дальнего поля*, и среди них в наибольшей степени исследованы ответы с латентностями до 20 мс при стимуляции руки и с латентностями до 40 мс при стимуляции ноги. Характеристики этих компонент (их количество, амплитуда и полярность) определяются параметрами регистрации и расположением референтного электрода.

Электроды. Техника стимуляции и регистрации ССВПДП такая же, как и при регистрации спинальных ССВП. Активный электрод располагают обычно в зоне проекции стимулируемой конечности. Это позволяет исследовать как собственно церебральные ССВП, так и ССВПДП. Для получения ССВПДП в наиболее полной детализации референтный электрод располагают экстрацефально, обычно на нестимулируемой конечности над костным выступом (лопатка, локоть, колено). Регистрация ССВПДП сопряжена с теми же трудностями, что и методика исследования спинальных ССВП.

При стимуляции срединного, лучевого и локтевого нерва на запястье с использованием экстрацефалического референта в ССВП от скальпа выде-

ляют 3–4 позитивных компонента дальнего поля с последующим высокоамплитудным негативным пиком с латентностью около 20 мс.

Компоненты ВП. В усредненном ССВП можно выделить три достаточно регулярных компонента (рис. 5.24).

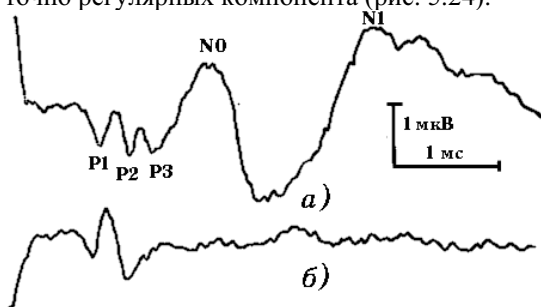


Рис. 5.24. Пример ССВП дальнего поля после 500 усреднений: *а* — от области проекции кисти; *б* — в точке Эрба

точки Эрба.

Компонент P2 регистрируется достаточно нерегулярно, примерно в 40–60% случаев, и варьируется по своей латентности в интервале от 10 до 12 мс. В генерации этого пика участвуют, вероятно, несколько источников. Часть его связана с афферентным проведением в шейных отделах спинного мозга. Немаловажное участие в генерации этого пика принимают каудальные ядра соматической чувствительности в продолговатом мозге.

Компонент P3 характеризуется средними латентностями от 11 до 16 мс. Объединение его в единый комплекс с P2 целесообразно с практической точки зрения, поскольку выделение их по отдельности достаточно нерегулярно, и даже тогда, когда удастся их зарегистрировать по отдельности, один из них выглядит как не самостоятельная, четко очерченная волна, а как небольшое дополнительное колебание на восходящей или нисходящей части другого. Пик P3 регистрируется в 80–100% случаев, и его обычно связывают с активизацией афферентных лемнисковых путей в стволе мозга, а его более поздний подкомпонент — с активностью таламуса.

При использовании референтных электродов на мочке уха, мастоиде,, подбородке пики P1 и P2 не детектируются в связи с тем, что их фаза и амплитуда на всей поверхности скальпа примерно одинаковы, и они взаимокompенсируются, если активный и референтный электроды расположены на поверхности головы. В таком случае регулярно регистрируемыми ВП остаются P3 и N20 (рис. 5.22а), причем последний рассматривается как пограничный между ВП дальнего поля и собственно корковыми ССВП.

ССВПДП регистрируются как реакции на стимуляцию нервов ноги. При стимуляции большеберцового нерва на лодыжке в парасагиттальных отведениях на скальпе регистрируются основные билатерально–симметричные компоненты P17, P24 и P31. Сопоставление с ССВП, регистрируемыми од-

Компонент P1, варьируется по своей средней латентности от 8 до 10 мс и регистрируется у 80–100% пациентов. Его природа определена проведением афферентного потока в области плечевого сплетения, что подтверждается совпадением его латентности с латентностью негативного пика, регистрируемого в отведении от

новременно от электродов, локализованных на позвоночнике и в ягодичной области над седалищным нервом, позволяет связать компонент P17 с афферентацией в дистальной зоне крестцового сплетения, P24 — с активизацией в конусе спинного мозга, а P31 — в стволе мозга. У некоторых пациентов обнаруживаются и менее выраженные позитивные компоненты P11, P21 и P27, которые связывают, соответственно, с активизацией большеберцового нерва в подколенной ямке, седалищного нерва в ягодичной области и спинного мозга.

Вариабельность. Соматосенсорные ВП обладают достаточной стабильностью в своих латентностях (табл. 5.4) и имеют устойчивые зависимости от возраста и роста.

Таблица 5.4. Статистические характеристики ССВП

Точка	Верхние конечности			Нижние конечности			
	Erbi	CVII	Cz	LIII	CVII	Cz	Cz
Пики	N9	N13	N20	N22	N30	P38	N46
Латентность	9.6 ±0.7	13.2 ±0.8	18.9 ±1.0	22.1 ±2.2	29.8 ±2.8	38.3 ±3.3	46.4 ±3.2

Клиническое применение. Исследования ССВП дальнего поля находят следующие клинические применения:

- рассеянный склероз, при котором латентности удлиняются, и амплитуда падает на 60% и более;
- поражения плечевого нервного узла или шейных отделов спинного мозга (при стимуляции верхних конечностей);
- травматические поражения спинного мозга (при стимуляции нижних конечностей);
- оценка нарушений сенсорной чувствительности у истерических больных;
- мониторинг состояния мозга и сенсорной коры;
- диагностика комы и смерти мозга.

Основными диагностическими признаками являются: отсутствие пиков, устойчиво регистрируемых у здоровых испытуемых, и удлинение межпиковых латентностей на более чем 2.5–3 стандартных отклонения по сравнению с нормальными величинами.

ССВП ближнего поля. При электрической стимуляции срединного нерва на запястье в корковой проекции кисти наблюдается последовательность колебаний, самое раннее из которых имеет латентность 20 мс. Хотя эти колебания и определены церебральными процессами, однако их связи с известными функциональными системами мозга не вполне очевидны. В значительной степени это определено тем, что потенциалы, регистрируемые от интактных покровов головы и выделяемые посредством усреднения, отражают как активность нейронов, расположенных непосредственно под электродом, так и деятельность глубинных источников. К тому же, генерация некоторых компонентов в коре может быть связана с афферент-

ными влияниями от нескольких подкорковых источников, поэтому разноплановость сведений о конкретных образованиях, активность которых находит отражение в конкретном компоненте, определяется действительным многообразием источников афферентной активности, находящих отражение в анализируемом компоненте.

Компоненты ВП. В типичном составе ССВП могут быть выделена следующая последовательность компонентов N0, P1, N1, P2, N2, P3, N3, P4, N4 (рис. 5.25). Коротколатентные компоненты в большинстве случаев представляют собой сравнительно короткие пики часто имеющие заостренную форму, а более поздние компоненты являются протяженными во времени, представляя собой высоко амплитудные медленные колебания.

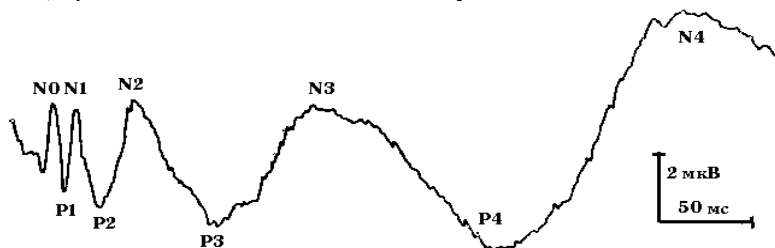


Рис. 5.25. Пример ССВП ближнего поля

Эти поздние компоненты часто включают дополнительные колебания, накладывающиеся на основную волну и нередко столь амплитудно выраженные, что это приводит к существенному усложнению формы и мультипликации компонентов ВП. При относительной стабильности латентных периодов ранних компонентов более поздние компоненты характеризуются значительным внутрииндивидуальным разбросом величин своих латентных периодов.

5.1.4. Когнитивные ВП

Считается, что вызванные потенциалы являются индикаторами электрических процессов работы мозга, связанных с механизмами восприятия информации и ее обработки первичного и рефлекторного характера. Менее определенным является то, в каких характеристиках ЭЭГ и как отражаются высшие корковые функции когнитивного характера, такие как распознавание стимулов, запоминание, а также мыслительные процессы, связанные с принятием решения.

В последние десятилетия ведутся работы по развитию инструментальных нейрофизиологических методов, в том числе и ВП, в оценке этих сложных процессов. Двумя наиболее известными находками такого рода, значительно продвинувших анализ и понимание когнитивных процессов, являются методики CNV и P300. Сущность этих методов анализа когнитивных процессов мозга заключается в том, что выделяются не просто реакции на тот или иной стимул, связанные с приходом афферентации, а ана-

лизируются эндогенные события, происходящие в мозгу, связанные с ожиданием, распознаванием и запоминанием стимула.

Все когнитивные ВП в отличие от более коротколатентных или глубоко нейрогенных ВП отчетливо проявляются на фоне нативной ЭЭГ, они видны даже на одиночных реализациях и выделяются при небольшом числе (20–50) усреднений.

Методика CNV. Феномен негативной волны ожидания (contingent negative variation или expectancy wave — Е-волна) был открыт известным нейрофизиологом Греем Уолтером в 1964 г. Появление этой волны связано с ответной реакцией на случайно появляющийся, но значимый и ожидаемый стимул. Исследование волны ожидания — одна из первых попыток изучить инструментальными методами сложные психические процессы, в частности, протекающие в лобных долях.

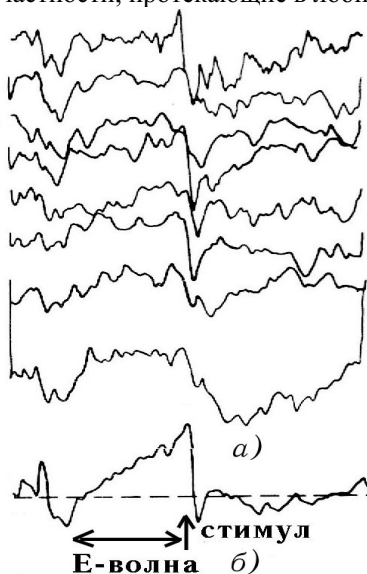


Рис. 5.26. Негативная волна ожидания: *а* — восемь одиночных ответов на стимул; *б* — результат усреднения

В классическом варианте эта реакция выделяется следующим образом: подается предупреждающий стимул — щелчок (или световая вспышка), затем через неопределенное, случайное время (1–3 с) следует другой стимул, пусковой — вспышка света (или звуковой стимул), который испытуемый прерывает нажатием кнопки (или каким-либо другим действием). На щелчок возникает ответ, и на вспышку света возникает ответ, но в ситуации предупреждающего и неопределенного пускового сигнала и его физического (и даже мысленного) прерывания между этими двумя событиями возникает дополнительная (около 20 мкВ) медленная негативная волна (рис. 5.26). Тем самым Е-волна также, как рассмотренные ниже *моторные ВП*, является частным случаем «потенциалов готовности».

Е-волна интенсивно исследовалась в различных модификациях (см., например, рис. 5.31б). Было установлено, что

амплитуда Е-волны возрастает, когда испытуемый находится в спокойном, сосредоточенном состоянии. Различные эмоциональные и отвлекающие факторы (смущение, тревога, неприятные новости) снижают амплитуду Е-волны. Повреждение одного из полушарий часто ведет к снижению амплитуды Е-волны, особенно на пораженной стороне. Восстановление функций после таких повреждений коррелирует с восстановлением амплитуды Е-волны. Различные изменения в Е-волнах наблюдаются и при некоторых психических заболеваниях (психопатия, навязчивые идеи).

Методика Р300 (Picton, Wiessenborn, 1988 г.) основывается на подаче в случайной последовательности двух стимулов, один из которых незначим, а другой является значимым и на него испытуемый или пациент должен реагировать. При обычном выделении ответов на эти отличающиеся (чаще всего слуховые) стимулы без условия их опознания, выделяются длиннолатентные слуховые ВП (V-волна), которые несколько отличаются друг от друга из-за физического различия стимулов (рис. 5.27а, б).

Однако ситуация меняется, если будет дана инструкция, что один из стимулов является значимым, и на него нужно обращать внимание, но он будет редко подаваться в ряду других стимулов, и его нужно опознать и подсчитать. При выделении и усреднении ответов на незначимые частые стимулы получается V-волна, сходная с выделенной в обычной неразличающейся последовательности (рис. 5.27в). При выделении же ответов на значимые редкие стимулы характер ответа будет резко отличаться от обычной серии появлением большой позитивной волны в области 300 мс (рис. 5.27г). Физические свойства предъявляемых стимулов не изменились, но к рефлекторному механизму добавились процессы распознавания, запоминания и подсчета значимых стимулов, следствием чего и явилось появление эндогенной пик-волны в области 300 мс.

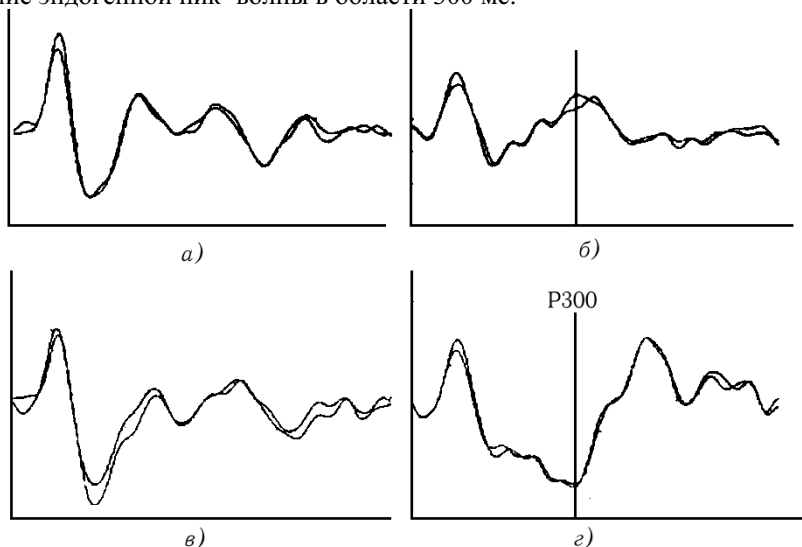


Рис. 5.27. Результаты выделения ВП по методике Р300: а, б — раздельное предъявление звуковых щелчков с тонами 1000 Гц (а) и 2000 Гц (б); в, г — совместное предъявление стимулов: ответы на незначимый стимул (в) и на случайный (вероятность появления 30%) значимый стимул (г)

Клиническое применение. Клинически значимыми отклонениями в методике Р300 являются: отсутствие или нестабильность пика Р300; удлинение латентности Р300 или снижение его амплитуды более чем на три

стандартных отклонения по сравнению с нормой [5]. Основными областями клинического применения данной методики являются: профотбор; оценка побочного действия лечебных препаратов; оценка начальных когнитивных расстройств в доклинической стадии; оценка динамики когнитивных нарушений в процессе лечения; оценка выраженности когнитивных нарушений у детей с отклонениями в поведении.

Другие методики. *Моторные ВП* связаны с инициацией движения, например, нажатием на кнопку. При усреднении назад во времени от момента нажатия за 600–800 мс появляется негативная волна, которая резко обрывается в момент нажатия. Это своеобразное отражение «мысли» мозга о выполнении действия. Максимум ответов наблюдается в соответствующем полушарии и области мозга (моторная кора при двигательных реакциях, область Брока при произнесении слов).

ВП на пропущенный стимул возникает, когда подается серия стимулов (например, звуковых тонов), следующих с одинаковыми интервалами. Иногда в этом ряду некоторые стимулы будут пропускаться. Усреднение ответов на такие события показывает, что «удивление» мозга проявляется в увеличении амплитуды позитивного пика с латентностью 450 мс (Picton, Hillard, 1974 г.).

В методике *выделения информации из шума* или «феномене вечеринки» испытуемый должен подсчитывать звуки, отличающиеся от остальных в левом или правом ухе. Отдельно усредняются ответы: 1) на правостороннюю и левостороннюю детекцию; 2) на обычные и необычные тоны. При концентрации внимания на определенную сторону детекции амплитуда пика N1 (90 мс) становится выше для ответов на все стимулы именно с этой стороны. Тем самым этот пик свидетельствует о первой ступени осуществляемый мозгом детекции с выяснением, какие стимулы стоят того, чтобы на них обращать внимание. Более латентный компонент P3 (P300) будет различным в соответствии со степенью значимости стимула в конкретном ухе. Таким образом этот пик свидетельствует о более высокой стадии перцептивного анализа, где принимается решение о том, является ли данный стимул обычным или же он отличается от нормы.

Относительно подобных выводов можно было бы возразить, что звуки, на которых нужно обращать или не обращать внимание, отличаются друг от друга и по своим физическим свойствам, например, по длительности или по высоте тона. Но вскоре было показано, что кажущиеся идентичными раздражители могут вызвать разные ВП в зависимости от окружающего их контекста, для чего были сконструированы следующие две комбинации стимулов (Johnson, Chesney, 1974 г.):

P B E и I7 B I2

Как нетрудно заметить, двусмысленный символ в центре с высокой достоверностью будет восприниматься как «13» в контексте окружающих его чисел или же как буква «В» в контексте окружающих букв. Результаты

контекстного усреднения показали, что поздние ВП (после 160 мс) в затылочной области были идентичными в обоих случаях, а лобные ВП зависели от контекста, в котором предъявлялась центральная фигура, т. е. по-разному реагировали на «смысл» раздражителя.

ERS/ERD. В последние 20 лет, кроме рассмотренных классических когнитивных ВП стали исследовать ВП *синхронизации* (ERS) и *десинхронизации* (ERD) с использованием особого метода усреднения записей ЭЭГ (подробнее см. в разд. 5.4).

5.2. Диагностические возможности

В сравнении с электроэнцефалографией, где используются достаточно стандартизованные методики исследования, применяемые в значительной степени вне зависимости от типа и характера заболевания, подобные стандартные методики в исследованиях ВП часто отсутствуют. Обусловлено это как сравнительной новизной метода, так и его уникальными особенностями. Действительно, ВП не является непрерывным во времени феноменом, имманентно присущим мозгу, как это несомненно по отношению электроэнцефалограммы, а он строго привязан к определенным механизмам сенсорной обработки информации и однозначно определяется местом приложения и характером стимула, его физическими свойствами и когнитивной значимостью. Поэтому выбор методики исследования ВП детерминирован конкретной диагностической задачей.

Поскольку ВП отражает, главным образом, функциональную работу нервной ткани, то его изменения определяются в значительной мере динамическими функциональными перестройками в структурах мозга, откуда дисфункция нервной ткани в определенной части мозга влечет не только изменения в напрямую связанных с деструкцией областях, но и в удаленных частях нервной системы. Более того, изменение функционирования нервной ткани вследствие нейромедиаторными, гуморальными и другими физиологическими влияниями могут дополнительно влиять на ВП, что может как усложнить диагностику нервных заболеваний с использованием ВП, но также и открыть дополнительные возможности применения метода исследования при начальных патологических изменениях, когда еще отсутствуют серьезные деструктивные нарушения в нервной системе.

Следует также подчеркнуть, что при использовании любых модальностей и типов ВП для эффективности диагностических процедур необходимо набрать собственную нормативную базу записей ВП, поскольку всегда возможно влияние некоторых скрытых факторов и индивидуальной лабораторной специфики, определенной аппаратными особенностями и другими подобными моментами.

Нарушения сенсорной функции. Исследование нарушений сенсорной функции является одной из приоритетных задач, которые можно решать методами исследования ВП. Особое значение метод ВП приобретает

при обследовании маленьких детей, поскольку в самом раннем возрасте позволяет обнаружить сенсорные дефекты, когда тестирование, требующее словесного отчета от ребенка, невозможно. Второе направление связано с выявлением отклонений в функционировании систем коммуникации у неврологических больных, страдающих нарушениями сознания, афазией, мутизмом. Третьей областью диагностики с использованием ВП является исследование пациентов, страдающих функциональными расстройствами чувствительности, таких как истерические анестезии и функциональная слепота. И, наконец, важное значение приобретает применение ВП для независимой объективизации клинических данных и заключений и в вопросах экспертизы.

Главным признаком органического поражения сенсорной функции считается отсутствие ВП ответа необходимой модальности или же его резкое отклонение от нормы. Поскольку ВП появляются с первых дней жизни новорожденного, их регистрация позволяет на самой ранней стадии выявить соответствующее поражение сенсорной функции и, предложив необходимую терапевтическую терапию, свести возможный последующий дефект к минимуму.

Исследование звуковых ВП у маленьких детей с патологиями сенсорной функции из-за органических поражений нервных путей позволяет следить за ходом процесса их восстановления. Изменения ВП, выражающиеся в увеличении числа регистрируемых компонентов, повышении их амплитуды и уменьшении латентных периодов является явным индикатором восстановительного процесса.

Исследование ВП при нарушениях зрительной и слуховой функций является предметом отдельного изучения в таких специальных областях медицины, как офтальмология и отоларингология. Поэтому здесь затрагиваются только те аспекты, которые имеют непосредственное отношение к неврологической диагностике.

Зрительная функция. Для дифференциации органической и функциональной слепоты важное значение имеет то, что при полной слепоте ЗВП отсутствуют. При синдроме истерической слепоты ЗВП практически не отличаются от нормы, однако при использовании специальных наборов изображений в качестве стимулов можно выявить различные формы ЗВП, связанные с определенными изображениями, что указывает на сохранность функции дифференциации зрительной информации, получаемой мозгом.

При органическом поражении зрения с сохранением светочувствительности ЗВП могут присутствовать, но они низкоамплитудны, не имеют ранних компонентов и характеризуются упрощенной формой медленной волны с двумя или тремя фазами. Такие же характеристики обычно имеют ЗВП при сохранности зрения на уровне 10%. У таких пациентов, как правило, нет различий ВП на предъявление стимулов путем засветки изображений. При использовании стимуляторов, обеспечивающих предъявление изображений без изменения яркости света, в частности, в виде реверсируе-

мого шахматного паттерна, ЗВП не регистрируются. Более тонкой оценки остроты зрения можно достигнуть при предъявлении шахматного паттерна с разными угловыми размерами его клеток, при этом изучая изменение амплитуды и латентностей структурных компонентов ЗВПШП. Обнаруженные отклонения от нормы будет говорить о нарушении на соответствующем уровне остроты зрения. Вместе с тем, до настоящего времени не выработано четких стандартизованных критериев диагностики остроты зрения по результатам регистрации ЗВП.

Исследование с помощью ЗВП имеет существенное диагностическое значение при поражении мозга. Оно представляет особый интерес тогда, когда опросные методы не позволяют точно оценить степень поражения поля зрения вследствие недостаточной коммуникабельности больного. Для этого были созданы средства компьютеризированной кампиметрии. Компьютерно управляемая стимуляционная установка включает в заданном порядке систему фотодиодных точечных стимулов в разных частях поля зрения, осуществляя тем самым стимуляцию сетчатки, а усреднение ЗВП производится в соответствии с этой программой стимуляции индивидуально для каждой точки поля зрения.

Для объективной кампиметрии основными требованиями выступают простота методики и интерпретации данных, разумная длительность процедуры и надежность результирующих данных. Относительно длительная процедура получения одного усредненного ЗВП (не менее 1.5–2 мин) вынуждает сокращать количество обследуемых точек полей зрения, а это, безусловно, не позволяет добиться детализированной кампиметрической информации. Однако объективность получаемых данных, а при отсутствии достаточной контактности со стороны больного и невозможность другим методом получить кампиметрическую картину делают этот альтернативный вариант важным вспомогательным средством диагностики.

Соматическая чувствительность. Исследования ССВП имеют важное значение для разделения органических и функциональных расстройств чувствительности. Гипестезии и анестезии разного типа являются весьма характерными симптомами истерии. Во многих случаях возникает потребность в объективном исследовании для исключения расстройств органического характера. В этом отношении исследования ССВП дают достаточно вескую диагностическую информацию. В случае расстройств чувствительности обнаружение нормальных ССВП может являться доказательством сохранности сенсорной функции. При подозрении на функциональный характер расстройств для полной убежденности следует провести выяснение зависимости изменения амплитуды ССВП от интенсивности стимула. Свидетельством нормального функционирования сенсорной системы будет обнаружение ее нормальных характеристик.

Следует подчеркнуть, что стабильность ВП и его нормальное изменение в ответ на изменение параметров стимуляции может свидетельствовать о сохранности физиологической функции восприятия при дифференциации

стимула и только. Это никоим образом не следует считать доказательством того, что пациент субъективно воспринимает и осознает стимул и быть может даже а некоторой степени симулирует расстройства чувствительности. Однако вполне правомерным будет признание функциональной обусловленности расстройства на основе таких данных.

Тем самым, ценную информацию относительно уровня поражения и его локализации могут дать исследование ССВП от разных отделов периферии и изучение изменений в отдельных компонентах ССВП.

Слуховая функция. Наиболее развитой областью клинической нейрофизиологии в настоящее время является диагностика нарушений слуха с помощью СВП, что носит название объективной аудиометрии. Исследование СВП не требует значительной коммуникабельности пациента, кроме способности сохранять продолжительное время относительно неподвижность в лежачем или сидячем положении. В случаях высокой двигательной активности можно проводить регистрацию ВП с использованием седативных средств, транквилизаторов, или же под наркозом (у маленьких детей). В большинстве случаев данные, достаточные для неврологического заключения, можно получить, используя широкополосовые щелчки разной интенсивности для регистрации СВП. Поскольку данные субъективной аудиометрии не сильно отличаются от данных объективной, то исследования СВП позволяют получить оценки в децибелах снижения уровня слуховой функции над уровнем нормального слухового порога. Использование звуков различной частоты позволяет более детально изучить слуховую функцию в зависимости от высоты воспринимаемых тонов.

Объективная аудиометрия может проводиться с использованием СВП ближнего поля (таламокортикальных), или же с регистрацией ВП дальнего поля (СВПМС). В последнем случае можно выявить не только наличие или отсутствие дефекта слуховой функции, но и степень поражения ЦНС.

Рассеянный склероз — наиболее распространенное заболевание, связанное с первичным нарушением миелиновой оболочки нерва и ухудшением различных чувствительных и двигательных функций. Зрительные, слуховые и соматосенсорные ВП показывают патологические признаки, соответствующие большему поражению той или иной системы, поэтому они являются полезным инструментом для оценки рассеянного склероза в следующих случаях:

- при начальной постановке диагноза заболевания;
- при оценке распространения заболевания на другие системы;
- при распространении патологического процесса;
- при мониторинговании динамики заболевания.

Наиболее чувствительным являются ССВП, особенно при стимуляции большеберцового нерва, затем идут ЗВП и СВПМС, патологии в которых отмечаются у 50% больных. Так наиболее частым проявлением изменений СВПМС является отсутствие или уменьшение IV–V пиков или увеличение межпиковой латентности, что происходит за счет поражения белого веще-

ства ствола мозга, происходящее и при других заболеваниях инфекционной и токсической природы.

Инсульты. Заболевания сосудов головного мозга являются одним из самых распространенных недугов, приводящих к инвалидизации больных. Наиболее частым осложнением является инсульт, связанный с началом неврологических дисфункций, особенно ишемический инсульт, приводящий к инфарктам мозга. В зависимости от пораженного сосуда могут быть различные нарушения в коре, подкорковых структурах, белом веществе и стволовых структурах.

Для оценки состояния коры при преходящих нарушениях мозгового кровообращения часто используются ССВП при стимуляции срединного и большеберцового нервов, а в случае наличия когнитивных расстройств, ухудшения памяти и других симптомов нарушения высших мозговых функций показано исследование когнитивных ВР типа Р300. Анализ ССВП, параллельно с исследованием выраженности очаговых изменений на ЭЭГ в виде динамики дельта-активности, может дать полезную информацию о степени нарушений, обширности очага и необратимости изменений соматосенсорной коры, а СВПСМ представляют определенную ценность для оценки и прогноза состояния стволовых структур после кровоизлияний в мозжечок и стволовые отделы мозга.

Смерть мозга определяется как необратимая потеря функций мозга, как целого, т. е. полушарий, ствола и мозжечка. В этом плане ВП (преимущественно стволовые) являются одним из дополнительных объективных методов для уточнения необратимости изменения соответствующих мозговых структур. Благодаря процессу усреднения и более детальному знанию о природе компонентов, оценки ВП менее субъективны, чем ЭЭГ.

Результаты исследований ЗВП на вспышку соответствуют данным ЭЭГ и часто регистрируются в коме, но при появлении изолинии на ЭЭГ также исчезают. СВПСМ при смерти мозга исчезают полностью или остаются I и II компоненты, как показатели сохранности только дистальной и парциальной частей слухового нерва. ССВП при смерти мозга характеризуются 100%-ной сохранностью периферических нервов и в 70% случаев — активностью в спинном мозге. В то же время, активность, начиная с компонента Р14 (соответствующего лемнисковым структурам), и все коротколатентные компоненты N20–P25, N30 полностью исчезают.

Другие приложения. Исследования ВП находят применение и во многих других областях клинической практики:

- локальные деструктивные поражения нервной системы: периферической нервной системы, спинного мозга, ствола мозга, полушарий мозга, таламуса, супраталамические поражения;
- нервные болезни: эпилепсия, опухоли ЦНС, цеберально-сосудистые нарушения, черепно-мозговая травма, деминции, метаболические нарушения, кома и вегетативные состояния, реанимационный мониторинг.

5.3. Методы и средства регистрации

Рассмотрим последовательно инструментальные методы и средства регистрации ВП в ответ на стимулы различной природы.

Компоненты записи ВП. В общем случае запись ВП включает три компонента:

- 1) предстимульный фон;
- 2) собственно запись ВП, начинающаяся с момента предъявления стимула, причем длительность записи может быть определена заданным интервалом времени или же ограничена справа моментом начала реакции;
- 3) постстимульный фон.

В конкретном исследовании указанные компоненты могут комбинироваться в различных сочетаниях, так записи фона могут отсутствовать, а реакции не регистрироваться. То есть в минимальном варианте присутствует только собственно запись ВП, ограниченная заданным интервалом времени.

Выбор реакции также зависит от конкретной задачи и в этом качестве, например, могут фигурировать осмысленные двигательные действия (нажатие на клавишу), вазомоторные реакции (движение глаз, мышечные сокращения) и т. п.

Регистрация ВП в реальном времени производится с использованием протокола (см. разд. 10.1).

При наличии специальной внешней аппаратуры стимуляции необходимо подключить ее к управляющим выходам платы контроллера АЦП (выходной порт с TTL-выходами) и включать/выключать эти выходы посредством протокола.

При отсутствии такой аппаратуры, можно использовать возможности самого компьютера для зрительной или звуковой стимуляции (см. разд. 10.4). Клавиатуру этого же компьютера можно использовать для регистрации двигательных реакций в форме нажатия на клавиши.

Типы ВП. В отношении установочных режимов регистрации ВП целесообразно подразделить на следующие три категории:

1. *Коротколатентные стволовые ВП* на звуковые щелчки и *соматосенсорные ВП* на импульсы тока. Регистрация производится с частотой 1–10 кГц на интервале наблюдения 10–100 мс, режекция артефактов — на уровне 10 мкВ, число повторений 100–1000.
2. *Средне и длиннолатентные ВП:*
 - а) зрительные на световые вспышки и шахматные паттерны;
 - б) слуховые на звуковые щелчки или тоны.

Регистрация производится с частотой 200–500 Гц на интервале наблюдения 100–500 мс, режекция артефактов — на уровне 100 мкВ, число повторений 20–100.

3. *Медленные ВП* (Slow Potentials). Регистрация производится с частотой 50–100 Гц на интервале наблюдения 1–5 с, режежка артефактов не производится, число повторений 10–50.

Планирование исследования. В меню планирования эксперимента (рис. 2.1) необходимо установить только число каналов (отведений) и частоту регистрации в соответствии с типом ВП. Интервал наблюдения и число повторений задаются в протоколе (см. примеры ниже).

Поскольку процесс ВП на фоне типичной ЭЭГ является сравнительно низкоамплитудным, то для повышения точности усреднения желательно максимально увеличить чувствительность посредством подбора соответствующего коэффициента усиления.

При записи ВП имеются два варианта: записывать все нативные ЭЭГ или же записывать окончательный результат усреднения. В первом случае усреднение ВП производится по окончании регистрации. Во втором случае необходимо установить режим экспресс-анализа *Усреднение ВП* и уровень автоматической режежки артефактов по заданному каналу (см. разд. 10.2).

Произведенные установки желательно запомнить в отдельном файле, чтобы их каждый раз не повторять.

После этого можно запускать регистрацию. При выборе режима мониторингирования (см. рис. 2.1) необходимо учесть, что непрерывное мониторирование ЭЭГ возможно лишь до частоты 1–2 кГц. При больших частотах следует использовать режим отложенного мониторирования, когда развертка сигналов на экране осуществляется по окончании очередного интервала их накопления.

Далее, в случае чистового эксперимента необходимо указать имя файла записи, после чего эксперимент будет выполняться автоматически согласно составленному протоколу.

Типовые методики

Рассматриваемые ниже методики иллюстрируют лишь небольшую часть возможностей протокола и предназначены для планирования и выполнения исследований по регистрации следующих семи типов ВП:

- соматосенсорные ранние ВП на токовые импульсы (ССВдп);
- соматосенсорные поздние ВП на токовые импульсы (ССВбп);
- слуховые ВП ствола мозга (СВПсм);
- зрительные ВП на шахматный паттерн (ЗВПшп);
- зрительные ВП на световые вспышки (ЗВПв);
- контингент-негативные отклонения (КНО).

Стимуляция производится посредством внешних стимуляторов, управляемыми соответствующими выходами контроллера АЦП.

1. Соматосенсорные ранние ВП на токовые импульсы

Параметры:

- число отведений = 4;
- (тактовая) частота оцифровки сигнала = 2 кГц;
- эпоха анализа = 100 мс;
- частота стимуляции = 4 стимула/с;
- число реализаций (предъявлений) = 500;
- управляющий выход АЦП = 1.

Число отведений (каналов) и частота оцифровки сигнала устанавливается в меню планирования эксперимента, другие параметры определяются нижеприведенным протоколом. Установлен отложенный режим мониторинга, поскольку при заданной тактовой частоте проблематичен одновременный съем сигналов и их визуализация. Это дополнительно сдвигает следующую стимуляцию на 10–20 мс. План эксперимента находится в файле SEP100.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=500			
2	Включить	Запись		Да
3	Включить	УпрСиг=1		Да
4	Выкл.	УпрСиг=1	Время=60	Да
5	Выкл.	Запись	Время=140	Да
6	Пауза		Время=300	Да
7	Повторить			

Комментарии:

1. В протоколе выполняется цикл на 500 повторений (события №1 и №7).
2. В начале каждого предъявления моментально включается запись сигналов на диск (№2) и стимулятор, управляемый по выходу 1 (№3).
3. Через 60 тактов (что при установленной тактовой частоте 2 кГц соответствует интервалу в 30 мс) стимулятор выключается (№4).
4. Запись выключается через 140 тактов от предыдущего события, что относительно момента включения записи составляет 200 тактов или 100 мс.
5. Выдерживается пауза в 300 тактов (№6), чтобы интервал между стимулами составлял 500 тактов или 250 мс (4 стимула в секунду).

Возможные изменения:

1. Для изменения числа реализаций необходимо изменить число циклов в событии №1.
2. Для изменения эпохи анализа необходимо скорректировать время в событии №5.
3. Для изменения частоты стимуляции необходимо скорректировать время в событии №6.
4. Для замены стимулятора необходимо изменить номер управляющего выхода в событиях №3 и №4.

5. При изменении тактовой частоты необходимо скорректировать временные условия событий №4–6.
6. Изменение числа каналов регистрации не влияет на другие параметры.
7. При необходимости записи на магнитный диск не нативных ЭЭГ, а только результата усреднения следует установить режим экспресс-анализа *Усреднение ВП* и ввести амплитудный порог автоматической режекции артефактов по заданному каналу.
8. При изменении любых из перечисленных параметров желательно скорректировать заголовок эксперимента и сохранить новые установки в отдельном плане эксперимента.

2. Соматосенсорные поздние ВП на токовые импульсы

Параметры:

- число отведений — 4;
 - частота оцифровки сигнала — 500 Гц;
 - эпоха анализа — 500 мс;
 - частота стимуляции — 0.5–1 стимул/с (случайно);
 - число реализаций — 50;
- управляющий выход АЦП — 1.

План эксперимента находится в файле SEP500.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=50			
2	Включить	Запись		Да
3	Включить	УпрСиг=1		Да
4	Выкл.	УпрСиг=1	Время=20	Да
5	Выкл.	Запись	Время=230	Да
6	Пауза		Время=250	Да
7	Пауза		СлучВр=500	Да
8	Повторить			

Комментарии:

1. Вставлена дополнительная случайная пауза (№7) в 500 тактов (1 с при установленной тактовой частоте 500 Гц), чтобы обеспечить плавающий временной интервал между стимулами в диапазоне 1–2 с.
2. Дополнительная информация во многом аналогична методике 1.

3. Слуховые ВП ствола мозга

Параметры:

- число отведений — 2;
- частота оцифровки сигнала — 5 кГц;
- эпоха анализа — 10 мс;
- частота стимуляции — 10 стимулов/с;
- число реализаций — 1000;

управляющий выход АЦП — 2.

План эксперимента находится в файле ВАЕР.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=1000			
2	Включить	Запись		Да
3	Включить	УпрСиг=1		Да
4	Выкл.	УпрСиг=1	Время=50	Да
5	Выкл.	Запись		Да
6	Пауза		Время=450	Да
7	Повторить			

Дополнительная информация во многом аналогична методикам 1 и 2 с поправкой на установленную тактовую частоту 5 кГц.

4. Зрительные ВП на шахматный паттерн

Параметры:

- число отведений — 14;
- частота оцифровки сигнала — 200 Гц;
- эпоха анализа — 500 мс;
- частота стимуляции — 0.5–1 стимул/с (случайно);
- число реализаций — 50;

управляющий выход АЦП — 5.

План эксперимента находится в файле VERchb.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=50			
2	Включить	Запись		Да
3	Включить	УпрСиг=5		Да
4	Выкл.	УпрСиг=5	Время=6	Да
5	Выкл.	Запись	Время=94	Да
6	Пауза		Время=100	Да
7	Пауза		СлучВр=200	Да
8	Повторить			

Дополнительная информация во многом аналогична методике 2 с поправкой на установленную тактовую частоту 200 Гц.

5. Зрительные ВП на световые вспышки

Параметры:

- число отведений — 14;
- частота оцифровки сигнала — 200 Гц;
- эпоха анализа — 500 мс;
- частота стимуляции — 0.5–1 стимул/с (случайно);
- число реализаций — 50;
- управляющий выход АЦП — 3.

План эксперимента находится в файле VERPf.

Протокол управления экспериментом аналогичен предыдущей методике за исключением использования управляющего выхода 3 вместо выхода 5.

6. Контингент—негативные отклонения

Параметры:

- число отведений: 2 — ЭЭГ, 1 — ВКСР, 1 — ЭМГ/ЭОГ;
- частота оцифровки сигнала — 100 Гц;
- эпоха анализа — 5 с;
- число реализаций — 40;
- звуковая стимуляция осуществляется вручную и включает два стимула:
 - предупредительный через 1 с после начала записи длительностью 0.1 с с частотой 1000 Гц;
 - императивный через 3 с после предупредительного с частотой 1000 Гц и длительностью до нажатия кнопки испытуемым, спустя 1 с после этого запись выключается;
- управляющий выход АЦП = 2, кнопка испытуемого подключена к входу 1 АЦП.

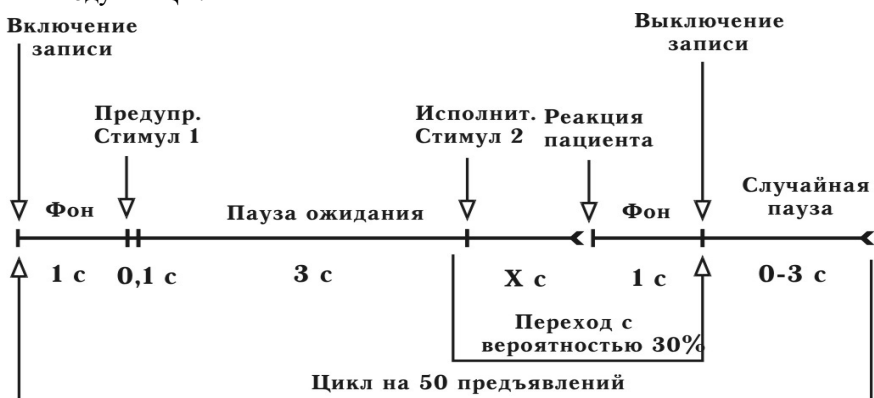


Рис. 5.28. Временная диаграмма событий одной из методик исследования когнитивных ВП

План эксперимента находится в файле CNV.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=40			
2	Включить	Запись	Клавиша=	Да
3	Включить	УпрСиг=2		Да
4	Выкл.	УпрСиг=2	Время=10	Да
5	Включить	УпрСиг=2	Время=290	Да
6	Выкл.	УпрСиг=2	Сигнал=1	Да
7	Выкл.	Запись	Время=100	Да
8	Повторить			

В заключении рассмотрим реализацию более сложной методики исследования когнитивных ВП, временная диаграмма событий которой приведена на рис. 5.28.

Такая последовательность событий с дискретизацией 100 Гц может быть описана следующим протоколом реального времени.

Протокол:

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=50			
2	Включить	Запись		Да
3	Пауза		Время=100	Да
4	Включить	УпрСиг=1		Да
5	Выкл.	УпрСиг=1	Время=100	Да
6	Пауза		Время=300	Да
7	Перейти	Строка=10	Вероятн.=30	Нет
8	Включить	УпрСиг=2		Да
9	Выкл.	УпрСиг=2	Сигнал=1	Да
10	Выкл.	Запись	Время=100	Да
11	Пауза		Случ.Вр=300	Да
12	Повторить			

Первым событием в данном протоколе является выполнение 40 циклов реализации последовательности событий, заканчивающейся событием *Повторить* (событие №12). С нулевым интервалом от начала цикла начинается запись ЭЭГ на диск (№2) и выдерживается пауза в течение 1 с (№3) для записи фоновой ЭЭГ (с целью последующего сравнения ее с реакцией на стимул). Затем включается *УправляющийСигнал-1* (№4), который зажигает предупреждающий стимул (коммутация сигналов и стимулов реализуется паяльником на разъеме дискретных выходов контроллера АЦП). Спустя 0.1 с *УправляющийСигнал-1* выключается и предупреждающий стимул гаснет (№5). Далее выдерживается пауза длительностью 3 секунды до включения исполнительного стимула подачей *УправляющегоСигнала-2* (№8). Однако для исключения эффекта рефлекторного привыкания с вероятностью 0.3 исполнительный стимул не включается, а производится переход (№7) к строке №10 на выключение записи. В ответ на появление исполнительного стимула пациент должен нажать на кнопку, подключенную к дискретному входу 1 контроллера АЦП (*Сигнал-1*). При этом исполнительный стимул выключается (№9), а спустя 1 с выключается (№10) и запись текущего фрагмента ЭЭГ (т. е. в течение 1 с записывается постреактивный фон). Перед завершением очередного цикла для исключения рефлекторного привыкания к фиксированному интервалу повторения данной цепочки событий выдерживается временная пауза длительностью, случайно выбираемой в диапазоне от 0 до 3 с (№11).

Другие примеры регистрации ВП см. по предметному указателю *протокол-примеры*.

7. Порядок штатного запуска исследования

1. Вызовите систему CONAN, вызовите меню исследования и считайте требуемый план.
2. В заголовке плана введите паспортные данные пациента.
3. Укажите имя файла записи и запустите регистрацию, которая будет выполняться автоматически согласно составленному протоколу. Досрочно прервать исследование можно клавишей `[Esc]`.
4. Перейдите в блок анализа и считайте файл выполненной записи. Если записаны нативные ЭЭГ, то просмотрите записи, удалите артефакты и произведите усреднение.
5. Дальнейший анализ усредненных ВП можно производить средствами спектрального анализа, картирования и локализации источников ВП.

5.4. Усреднение и анализ ВП

Перед усреднением ВП следует просмотреть нативные записи ЭЭГ и удалить артефактные, обычно состоящие в резком зашкаливании амплитуд сигнала.

Усреднение ВП

Постановка задачи. В исследованиях вызванных потенциалов существует огромное разнообразие методов выделения ВП, основанных на усреднении избранных участков ЭЭГ.

Так уже сами нативные записи ВП могут включать участки предстимульного и постреактивного фона, используемые для коррекции нулевой линии, а стимулы могут быть одиночными, серийными или ритмическими, предъявляемыми в случайной или детерминированной последовательности, а также иметь различную модальность: предупредительный, сигнальный, исполнительный, подтверждающий, отменяющий и др.

Сам же процесс усреднения может производиться безусловно или же с автоматической или ручной режекцией участков, испорченных артефактами, со случайным отбором записей или в зависимости от модальности стимула, его направленности (левый–правый, верхний–нижний и пр.), форме, цвету, тону, наличию, правильности и латентности реакции, ВП ожидания, ориентировочные или моторные и многие другие.

Решение. Очевидно, что такое разнообразие требовало структурирования, обобщения и создания некоторого универсального механизма усреднения. Такой механизм, реализованный в 1993 г., базируется на целом комплексе новых понятий и установок: опорная точка, эпоха и условие усреднения с определением множества их необходимых значений и обозначений, с использованием формульного ввода, предварительной фильтрации, усиления результата, режекции артефактов и др.

Бланк усреднения и анализа ВП (рис. 5.29) вызывается из пунктов *Анализ–ВП* верхней командной строки или из монитора нажатием быстрой клавиши [7]. Он содержит два раздела: *Усреднение* и *Пики*. Раздел усреднения содержит несколько позиций ввода определяющих параметров: опорная точка, эпоха, фильтрация, усиление, условие отбора записей и других.

Опорная точка представляет собой некоторое событие, от которого базируется усреднение. Она может быть задана выбором из выпадающего списка (с ручной заменой параметра i на его нужное значение) из следующего набора возможностей:

Ti — время от начала записи в секундах i , например: $T0.2 = 200$ миллисекунд;

Si — наличие входного дискретного сигнала по каналу $i=1-8$, или подача выходного дискретного сигнала по каналу $i=9-16$ (см. разд. 9.4.5), например: $S5$ — появление сигнала по пятому входному каналу; $S12$ — появление сигнала по четвертому выходному каналу;

Ii — наличие заданного шестнадцатеричного кода $i=1-FF$ на входных дискретных каналах;

Oi — наличие заданного шестнадцатеричного кода $i=1-FF$ на выходных дискретных каналах;

Mi — наличие метки исследователя по аналоговому каналу $i=1-32$ (метки ставятся из пункта *Вычисления* верхней командной строки или клавишей [F6]);

Ei — выделенный экстремум по аналоговому каналу номер $i=1-32$ (выделение экстремумов осуществляется в меню полиграфа, см. разд. 9.4.3);

Ci — коррелят по аналоговому каналу $i=1-32$, коррелят означает участок записи, аналогичный исходно заданному образцу, помеченному с двух сторон маркером и визиром;

Анализ ВП

Усреднение

Опорная точка = 180 [i=00-FF] ERD ☒ По шагам

Эпоха [сек]: нач = -1 кон = 1 Усилить Сглаз: 15 0

Артефакты: ампл [мкВ] = 50 длит[с] = 0.1

Условие отбора записей: ☒ Коррекция нуля lin(02)

Редактор ☒ Выполнить ☐ Отменить

Параметры пиков

Обозначен	+	t min	t max
N75		0.06	0.08
P100	+	0.09	0.12
N145		0.13	0.16
P200	+	0.185	0.25

☒ Выделить

Рис. 5.29. Бланк параметров анализа ВП

Эпоха усреднения или участок усредняемой записи базируется относительно опорной точки и задается в двух полях: начало и конец эпохи в секундах. Если какая-либо граница эпохи лежит влево от опорной точки, то она задается с отрицательным знаком. Длина эпохи не должна превосходить длины записей считанного файла. Щелчок мышью по полю конца эпохи приводит к установке эпохи, начинающейся с нуля и заканчивающейся на 5% ранее конца текущей записи.

Коэффициент усиления может принимать значения от 1 до 10, что часто бывает необходимо для поддержания требуемого уровня разрешения результата по амплитуде, поскольку при многократном усреднении амплитуда результата может значительно понизиться.

Фильтрация. В случае большой зашумленности записей бывает полезно до каждого усреднения производить Фурье–фильтрацию нативной записи для удаления шумов в заданном диапазоне частот, границы которого задаются в герцах в двух полях ввода. Это нередко позволяет достигнуть удовлетворительного результата при значительно меньшем числе усреднений и снизить уровень шумов в усредненном ВП.

Режекция артефактов. Для автоматического исключения из процесса усреднения записей, содержащих артефакты, следует установить значения двух определяющих параметров:

- минимальный уровень амплитуды артефакта;
- минимальный временной интервал артефакта.

Артефактная запись не будет использована для усреднения, если в ней присутствует всплеск, у которого на заданном интервале амплитудный уровень превосходит заданное значение.

Артефактные записи можно удалить и вручную: предварительно просмотреть их все в рабочем файле ЭЭГ (используя клавиши `[ ]` и `[ ]` для перехода к следующей или предыдущей записи) и удалить те записи (клавишей `[Del]`), в которых наблюдаются артефакты.

Условие отбора записей для усреднения задается в виде логической функции, определяющей, какие записи необходимо усреднять, а какие не включать в усреднение. Условие можно ввести непосредственно в поле ввода с клавиатуры или же сформировать средствами специального редактора формул (см. разд. 9.4.4) при нажатии на кнопку *Редактор* в бланке усреднения. В условии можно использовать следующие переменные, операции и функции (где параметр k — любое алгебраическое выражение, определяющее номер канала):

$- + * / ^ ()$ — алгебраические операции и скобки;

$ABS, INT, SQR, SGN, EXP, LN, LOG$ — алгебраические функции;

$\&, |$ — логические И, ИЛИ;

$<, >, <=, >=, =, <>$ — операции отношения;

$a \text{ MOD } b$ — модуль числа a по основанию b , т. е. остаток целочисленного деления a на b ;

$ABS(a)$ — абсолютное значение числа a ;

i — обозначение текущего канала;

$irec$ — порядковый номер записи;

$a(k,t)$ — значение амплитуды сигнала [мкВ] на канале номер k в момент времени t [с];

$te(k)$ — время [с] выделенного экстремума на канале номер k ;

$tm(k)$ — время [с] метки, проставленной на канале номер k ;

$ts(k)$ — время [с] дискретного сигнала с номером k (входные сигналы нумеруются от 1 до 8, а выходные сигналы от 9 до 16);

$tin(k)$ — время появления на дискретном входе кода k , где k может быть задано десятичным числом или же кодом вида $\$<16\text{-ричный код}>$;

$tout(k)$ — время появления на дискретном выходе кода k (аналогично);

$amax(k,t1,t2)$ — значение максимальной амплитуды сигнала [мкВ] на канале номер k в интервале времени $t1-t2$ [с];

$amin(k,t1,t2)$ — значение минимальной амплитуды сигнала [мкВ] на канале номер k в интервале времени $t1-t2$ [с];

Примеры:

1. Чтобы выбрать для усреднения каждую десятую запись, условие формулируется следующим образом: $irec \bmod 10 = 0$, т. е. остаток от деления номера записи на десять будет равен нулю (это выполняется для записей с номерами 10, 20, 30, ...).
2. $ts(4) - ts(1) < 0.5$ & $ts(2) = 0$ — усреднить записи, в которых интервал между стимулом (здесь сигнал 1) и правильной реакцией (сигнал 4) меньше 0.5 с и нет ошибочной реакции (сигнал 2).
3. $amax(4, tm(2), te(3)) > 25$ — максимальная амплитуда записи по каналу 4 в интервале от метки по каналу 2 до экстремума по каналу 3 больше 25 микровольт.

Другие элементы. В бланке усреднения (рис. 5.29) присутствуют также следующие элементы:

- фонарик *По шагам*: при его включенном состоянии усреднение будет производиться пошагово с визуальным представлением каждого результата усреднения и запросом продолжения, в противном случае процесс усреднения будет выполнен до конца с выдачей окончательных графиков результата;
- кнопка *Редактор* для ввода условия усреднения (см. разд. 9.4.4);
- кнопка *Чтение* для ввода из архива ранее сохраненных значений параметров усреднения (см. разд. 3.2);
- кнопка *Запись* для сохранения в архиве текущих значений параметров усреднения — таким образом в архиве можно образовать целый набор различных установок усреднения, исключив тем самым необходимость их каждоразового рутинного ручного ввода; однако, чтобы уверенно ориентироваться в таком архиве, перед каждой записью установок полезно снабдить их индивидуальным комментарием в бланке записи (см. разд. 3.2);

- кнопка *Утвердить* для запуска усреднения;
- кнопка *Отменить* для отмены усреднения;
- выкидной список выбора типа ВП: ERP/ERD/ERS.

ERP/ERD/ERS. Кроме рассмотренных выше классических когнитивных ВП (ERP — event related potential) в последние 20 лет стали изучаться ВП синхронизации (ERS) и десинхронизации (ERD)¹. Парадигма здесь следующая. Поскольку считается, что ЭЭГ является суммой постсинаптических потенциалов (ПСП), то амплитуда колебаний ЭЭГ увеличивается при большей синхронности изменения ПСП, что можно оценить вычислением усредненного по записям значения амплитуды ЭЭГ ($УсЗА$) на некотором интервале. При предъявлении значимого стимула $УсЗА$ может возрастать (ERS) или уменьшаться (ERD) относительно фона, причем эти изменения могут различаться в зависимости от частотного диапазона. Для выделения ERS/ERD усредняются абсолютные значения отфильтрованной в выбранном частотном диапазоне ЭЭГ. Амплитуды результата усреднения y_i нормируются относительно их среднего значения $Му_{\phi}$, вычисленного на интервале, заданном в качестве фона: $y_i\% = (y_i - Му_{\phi}) / Му_{\phi} * 100\%$. Положительные значения $y_i\%$ представляют ERS, отрицательные — ERD.

Если в бланке усреднения ВП (рис. 5.29) выбрано ERD/ERS, то в следующем бланке можно выбрать или изменить частотные границы фильтрации ЭЭГ, а также задать временной интервал фоновой ЭЭГ для вычисления $Му_{\phi}$.

Выполнение усреднения. Если установлен режим пошагового усреднения, то после усреднения очередной записи на экран выдается промежуточный результат усреднения и запрос на продолжение усреднения с указанием числа просмотренных и усредненных записей (рис. 5.30).

После усреднения число записей в файле устанавливается равным числу произведенных усреднений со знаком минус. Поэтому, если при чтении файла данных вы видите отрицательное число записей — это является признаком произведенных усреднений.

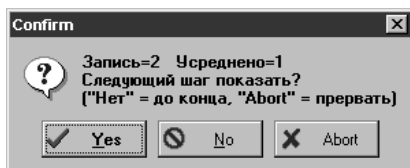


Рис. 5.30. Меню продолжения усреднения

Отдельные файлы усредненных ВП можно далее также усреднять между собой соответствующей операцией из меню *Преобразований* (см. разд. 9.4.2).

Для визуального сравнения различных ВП полезно создавать дополнительные окна (команды *Конструк-*

¹ G. Pfurtschellera, F.H. Lopes da Silva. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. Clinical Neurophysiology. (1999). 110:1842–1857.

Debora Brignani et al. Event-related power modulations of brain activity preceding visually guided saccades. Brain research. (2007) 1136:122–131.

тор—Создать_окно) и переносить туда результаты усреднения из монитора через буфер обмена.

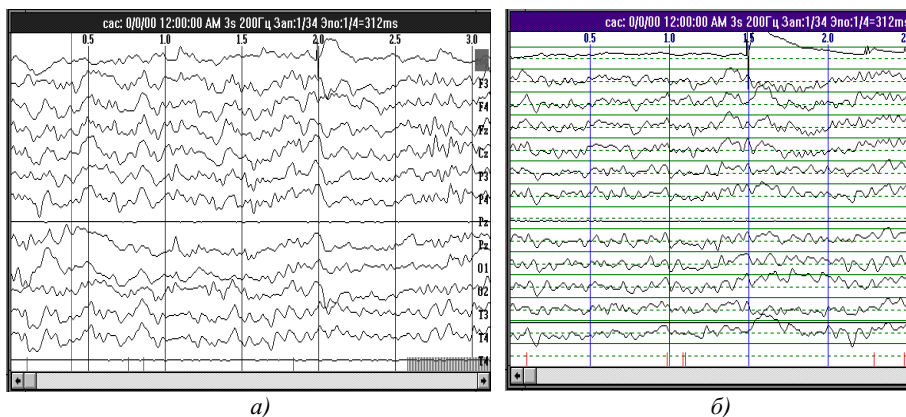


Рис. 5.31. Когнитивные ВП типа CNV на световые стимулы: *а* — запись ЭОГ и 12 каналов ЭЭГ; на канале 1 проставлена метка в начале движения глаз; внизу вертикальными штрихами отмечены моменты подачи предупредительного, сигнального и исполнительных (частые) стимулов; *б* — результат усреднения 34 записей относительно движения глаз, видны характерные медленные и быстрые «волны ожидания»

Предстимульный фон. Часто в каждой записи ВП присутствует начальный участок предстимульного фона, предназначенный для коррекции нуля записи ВП. При необходимости коррекции нуля результата усреднения установите в бланке усреднения расширенную эпоху, включающую и участок записи предстимульного фона, а после завершения усреднения выделите участок фона с двух сторон маркером и визиром и выполните операцию коррекции нуля из пункта *Установки* верхней командной строки.

Пример 1. Пусть для когнитивных ВП (рис. 5.31) усреднение необходимо базировать относительно начала движения глаз (ЭОГ записана по каналу 1), а эпоха усреднения простирается на 1.5 с до и на 1 секунду после этой опорной точки. Тогда предварительно надо вручную отметить начало каждого движения глаз редакторской меткой. После этого в бланке усреднения следует установить: опорная точка = M1, эпоха = -1.5, 1, усиление = 1.

В результате операции усреднения в первой записи файла данных будет образована усредненная запись ВП (рис. 5.31б), а число записей в файле изменится на отрицательное значение, равное числу выполненных усреднений.

Пример 2. Для слуховых коротколатентных ВП (рис. 5.1а) звуковой щелчок выполняется в начале записи. Учитывая длительность каждой записи 10 мс, в бланке усреднения следует установить: опорная точка = T0, эпоха = 0. 0.01, усиление = 5.

Анализ ВП

Последующий анализ усредненных ВП часто состоит в ручном измерении латентностей и амплитуд характерных пиков (см. разд. 3.1), нередко дополняемом их ЭЭГ–картированием (см. разд. 4.5) и трехмерной локализацией источников ВП (см. разд. 4.5).

Для ВП, достаточно стабильных по латентности, измерения могут быть выполнены автоматически. В нижней части меню анализа ВП (см. рис. 5.29) располагается таблица установок пиков ВП, включающая четыре позиции:

- обозначение пика;
- признак положительного пика (отмечается символом «плюс»);
- левая и правая временные границы расположения пика.

Ввод значений в бланк осуществляется вручную, как в обычную электронную таблицу.

Архив. Введенные в бланк параметры сохраняются от вызова к вызову и от сеанса к сеансу. Содержимое бланка может быть запомнено в дисковом архиве по нажатию кнопки с пиктограммой записи, после чего появляется стандартный бланк чтения–записи (см. разд. 3.2). Таким образом может быть сформирован целый архив различных установок для выделения пиков разных типов ВП. Вызов установок из архива в бланк параметров осуществляется нажатием кнопки с пиктограммой чтения, после чего появляется стандартный бланк чтения–записи (см. разд. 3.2).

Результаты. При нажатии на кнопку *Выполнить* производится поиск и выделение пиков согласно установленным параметрам, и в окно редактора результатов (см. разд. 3.4) выдаются амплитуды и латентности пиков в порядке отведений (рис. 5.32).

Результаты										
МГУ им. М. В. Ломоносова – каф. ВНД										
Дата: 0/0/00, время: 12:00:00 AM										
Пациент: г.р.:										
Группа: Сотрудник Проба: Закрытые глаза										
Диагноз: Здоров										
Пик	Fp1	Fp2	F72	F32	Fz2	F42	F82	T32	C32	
Амплитуды										
P1	6.986	10.01	36.98	51.98	47.97	18.95	5.96	69.96	66.98	
N1	22.03	61.02	38.01	1.026	10.01	27.02	47.04	25.01	18.03	
P2	8.989	11.04	56.96	56.96	47	40.99	38.98	77.97	81	
N2	24.04	56.03	65.02	40.01	62.04	31.02	50.02	66.05	83.05	
P3	3.957	1.954	11.04	47	32.98	18.95	10.01	4.006	1.026	
N3	100	100	100	100	90.47	100	787.9	662.3	100	
F4	100	100	100	100	1482	915.1	1345	938.4	95.65	
Латентности										
P1	0	0.0437	0.1	0.1	0.1	0.0437	0.0375	0.1	0.1	
N1	0.112	0.0812	0.0437	0.0312	0.0812	0.0812	0.0812	0.05	0.075	
P2	0.131	0.131	0.131	0.125	0.143	0.125	0.131	0.118	0.118	
N2	0.343	0.25	0.25	0.25	0.256	0.25	0.25	0.25	0.25	
P3	0.418	0.418	0.431	0.443	0.437	0.449	0.443	0.456	0.443	

Рис. 5.32. Окно выдачи параметров пиков ВП

5.5. Практикум

Учебные файлы выбираются из папки BASE\EP.

1. Считайте файл СЛВП регистрации ВП на звуковые щелчки. Посредством меню анализа ВП (команды *Анализ–ВП* или клавиша 7) произведите несколько усреднений (опорная точка: T0, эпоха от 0 до длины записи), варьируя коэффициент усиления. На начальном этапе производите усреднение по шагам, следя за динамикой подавления шумов и проявлением пиков ВП. Измерьте амплитуды пиков и латентности.
2. Считайте файл ØПÂÏ5 регистрации ВП на шахматный паттерн. Произведите обычное усреднение (опорная точка: T0, эпоха от 0 до длины записи) и усреднение с фильтрацией в альфа–диапазоне (8–14 Гц). Сравните результаты. Измерьте амплитуды пиков и латентности. Аналогичный анализ проведите с файлами ШПВП6, ШПВП7. Сравните результаты. Для визуального сравнения различных ВП полезно создавать дополнительные окна (команды *Конструктор–Создать_окно*) и переносить туда результаты усреднения из монитора через буфер обмена. Сравнить два ВП, записанных у одного испытуемого (файлы ШПВП1–1, ШПВП1–2) в разное время. Сделайте выводы об индивидуальной вариабельности ВП.
3. Аналогичный анализ проведите для зрительных ВП на световую вспышку (файлы ВСВП5, ВСВП7, ВСВП6–1, ВСВП6–2). Оцените различия между ВП на вспышку и ВП на ШП у испытуемых №5, 6, 7.
4. Считайте файл КНВГ регистрации когнитивных ВП на световые стимулы. Произведите усреднение относительно подачи предупредительного стимула (вых=04: опорная точка: O04, эпоха от 0 до 2 с), исполнительного стимула (вых=08: опорная точка: O08, эпоха от –1 с до 1 с), а также относительно момента саккадических движений глаз (редакторская метка по каналу №1 регистрации ЭОГ, опорная точка M1, эпоха от –1 с до 1 с). Оцените, в каком случае наиболее отчетливо проявляются ВП.

Эксперимент по регистрации зрительных ВП.

В качестве ЭЭГ–регистратора используется универсальный 4–канальный биоусилитель, экран компьютера используется в качестве стимулятора. Студенты разбиваются на группы по 2 человека. Каждая группа попеременно выступает в качестве испытуемых и в качестве экспериментаторов — исследователей.

Цель работы. Осваиваются приемы подготовки эксперимента: наложение электродов в области зрительной коры (затылочные отведения O1, O2), размещение испытуемых (на расстоянии 0.6 м от экрана в затемненном помещении) и подключение их к биоусилителю. Вводятся ФИО испытуемых в заголовок исследования.

Параметры плана исследований: ФВЧ = 0.5 Гц, ФНЧ = 80 Гц, интервал между стимулами 1 с, частота 500 Гц, регистрация на интервале 0.5 с от стимула с записью предстимульного фона 0.5 с, число предъявлений 100, усиление 60–80 тысяч. В пробном пуске (без протокола и файла записи) проверяется наличие ЭЭГ от испытуемых и подбираются коэффициенты усиления так, чтобы амплитудный диапазон ЭЭГ покрывал не менее 50% амплитудной шкалы и не было бы «зашкалов».

Задача 1. Стимуляция реверсивным шахматным паттерном с числом клеток 40 и с протоколом вида (файл плана ШП–1ПК):

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=100			
2	Включить	Запись		Да
3	Пауза		Время=250	Да
4	Включить	Стимул=1		Да
5	Выкл.	Запись	Время=250	Да
6	Повторить			

Задача 2. Стимуляция вспышкой (белый квадрат в 3/4 экрана на черном фоне) с протоколом вида (файл плана ВСП–1ПК):

№	Действие	Объект	Условие	Ждем
1	Цикл=100			
2	Включить	Запись	Да	
3	Пауза		Время=250	Да
4	Включить	Стимул=1		Да
5	Включить	Стимул=1	Время=50	Да
6	Выкл.	Запись	Время=200	Да
7	Повторить			

Обработка результатов. Производится усреднение ВП на ШП на интервале 0–1 с коэффициентом усиления 4. Производится коррекция нуля результата усреднения по отрезку 0–0.5 с. Определяются амплитуды и латентности основных ВП–ответов (относительно времени подачи стимула 0.5 с): N75, P100, N145, P200. Производится сравнение с границами нормы.

Производится усреднение ВП на вспышку на интервале 0–1 с коэффициентом усиления 4. Производится коррекция нуля результата усреднения по отрезку 0–0.5 с. Определяются амплитуды и латентности основных ВП–ответов (относительно времени подачи стимула 0.5 с): P80, N75, P100, N125, P160. Производится сравнение с границами нормы.

Оформление отчета. Отчет по каждой задаче должен включать разделы: постановка задачи, схема эксперимента, таблица результатов (амплитуды и латентности пиков), отклонения от нормы. Соответствующие разделы необходимо иллюстрировать графиками и копиями экрана.