

Семинар НУГ когнитивной психофизиологии  
октябрь 2012

**Применение вызванных  
потенциалов в когнитивных  
исследованиях**

**Б.В.Чернышев**

## **Книги** (ссылки для скачивания):

[Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы в клинической практике. Таганрог: ГРУ, 1997](#)

Р.Наатанен. 1998. Внимание и функции мозга. М: Издательство МГУ, 1998 (есть на кафедре)

[S.Luck 2005 An Introduction to the Event-Related Potential Technique \(Chapter 1\)](#)

[Handbook of psychophysiology. Eds. John T. Cacioppo, Louis G. Tassinary, Gary G. Berntson. Cambridge University Press, 2007](#) (см. раздел на стр. 85-119).

## **Википедия:**

[http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked_potential)

[http://en.wikipedia.org/wiki/N100\\_\(neuroscience\)](http://en.wikipedia.org/wiki/N100_(neuroscience))

<http://en.wikipedia.org/wiki/P200>

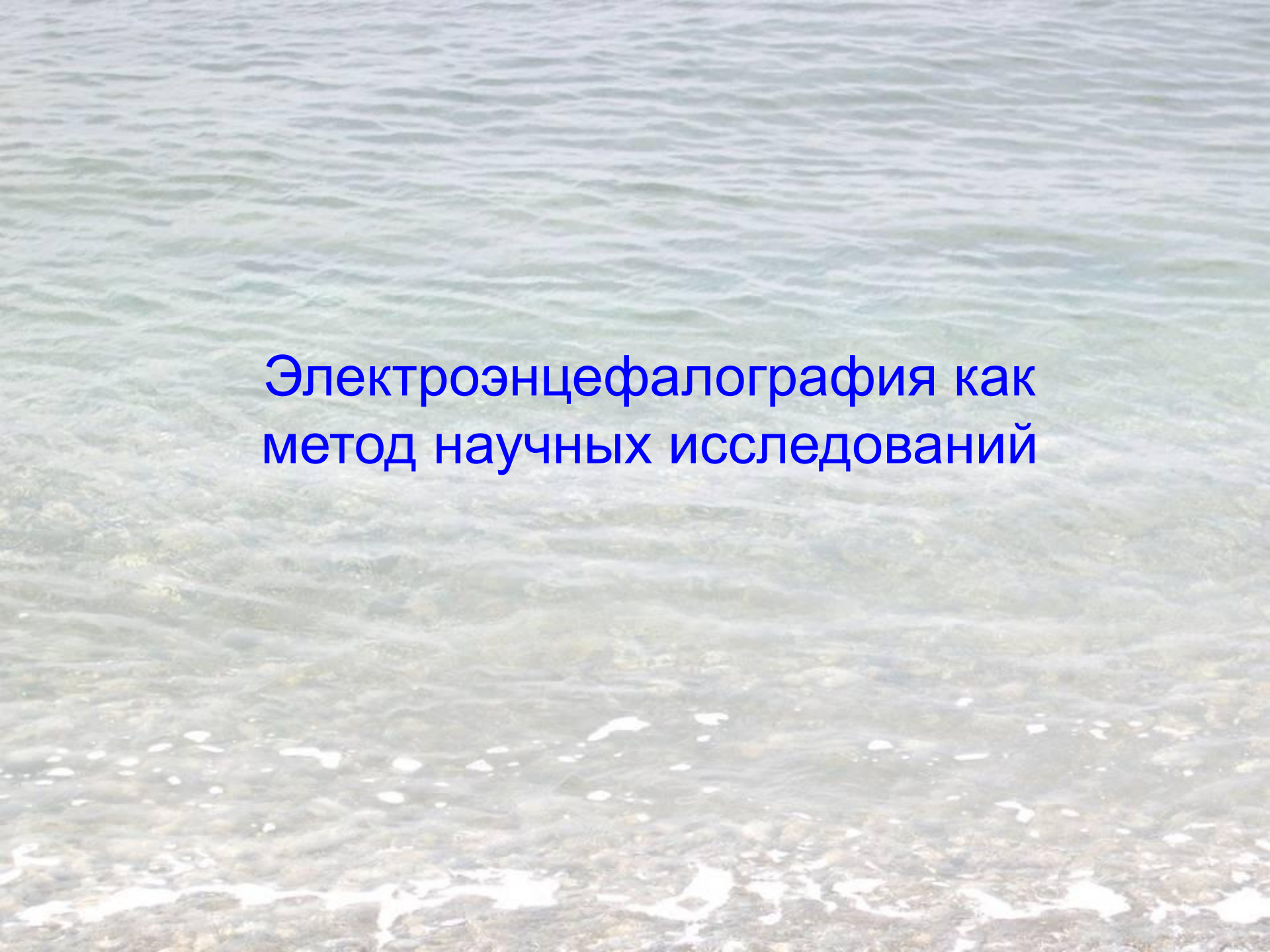
[http://en.wikipedia.org/wiki/N200\\_\(neuroscience\)](http://en.wikipedia.org/wiki/N200_(neuroscience))

[http://en.wikipedia.org/wiki/P300\\_\(neuroscience\)](http://en.wikipedia.org/wiki/P300_(neuroscience))

[http://en.wikipedia.org/wiki/Mismatch\\_negativity](http://en.wikipedia.org/wiki/Mismatch_negativity)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Error-related\\_negativity](http://en.wikipedia.org/wiki/Error-related_negativity)





# Электроэнцефалография как метод научных исследований

## Электроэнцефалография (ЭЭГ):

Метод основан на регистрации электрических потенциалов от кожи головы человека, возникающих как результат электрической активности нейронов мозга, совершенно безвреден, относительно не дорог, дает очень хорошее временное разрешение (порядка миллисекунд), однако не всегда позволяет однозначно связать наблюдаемые явления с анатомическими образованиями мозга.

Существует также **магнитоэнцефалография (МЭГ)**, основанная на регистрации магнитного поля, возникающего как следствие переменных электрических токов в мозге; череп и кожа головы вносят меньшие искажения в МЭГ, чем ЭЭГ, поэтому МЭГ позволяет более точно локализовать источники активности в мозге. В остальном МЭГ аналогична ЭЭГ.

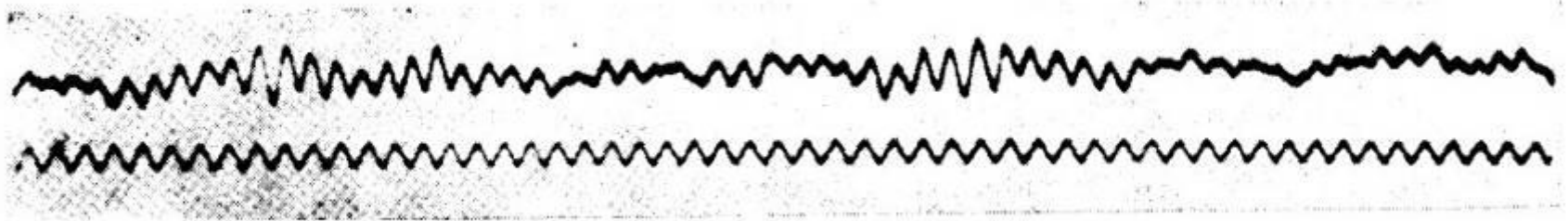
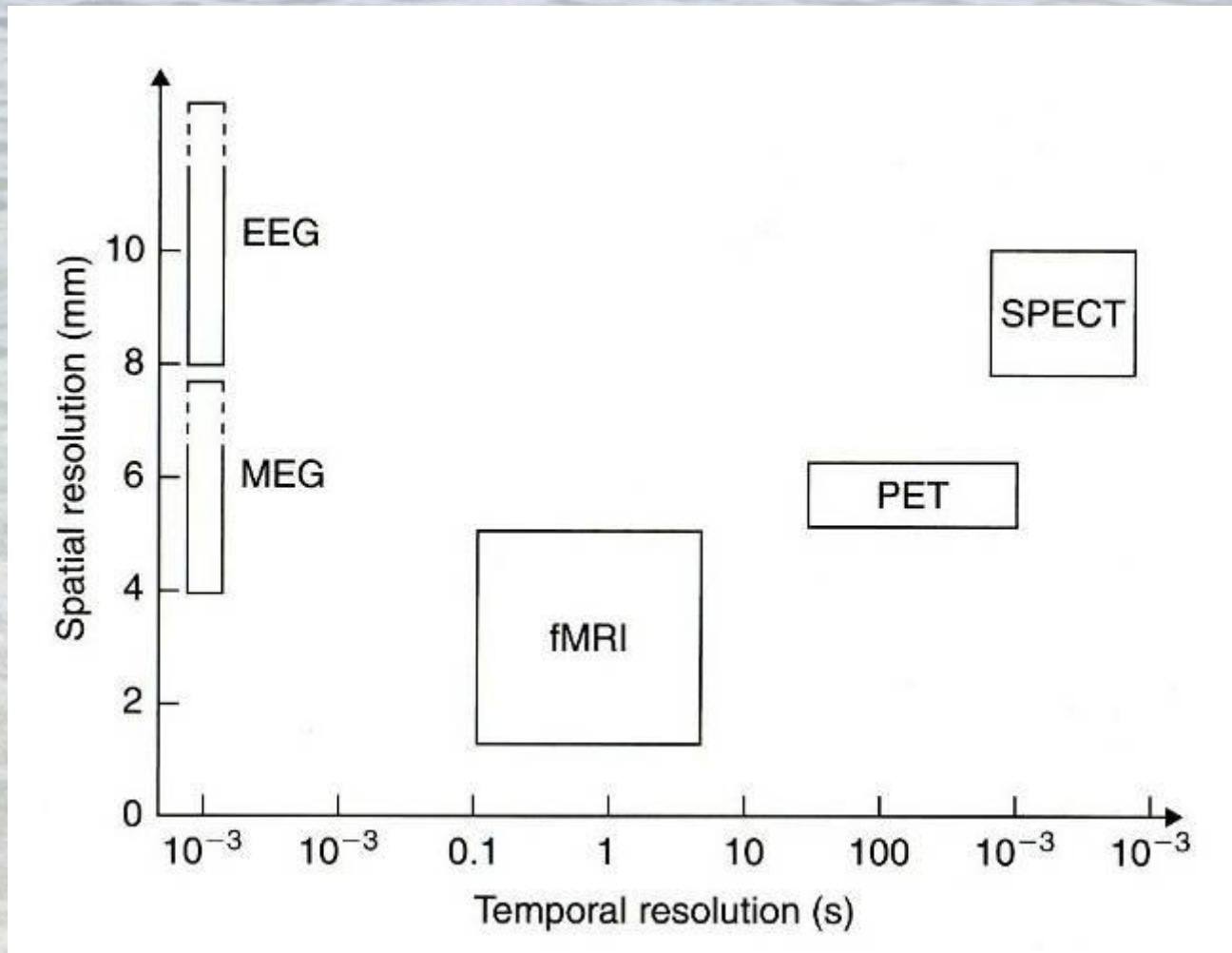
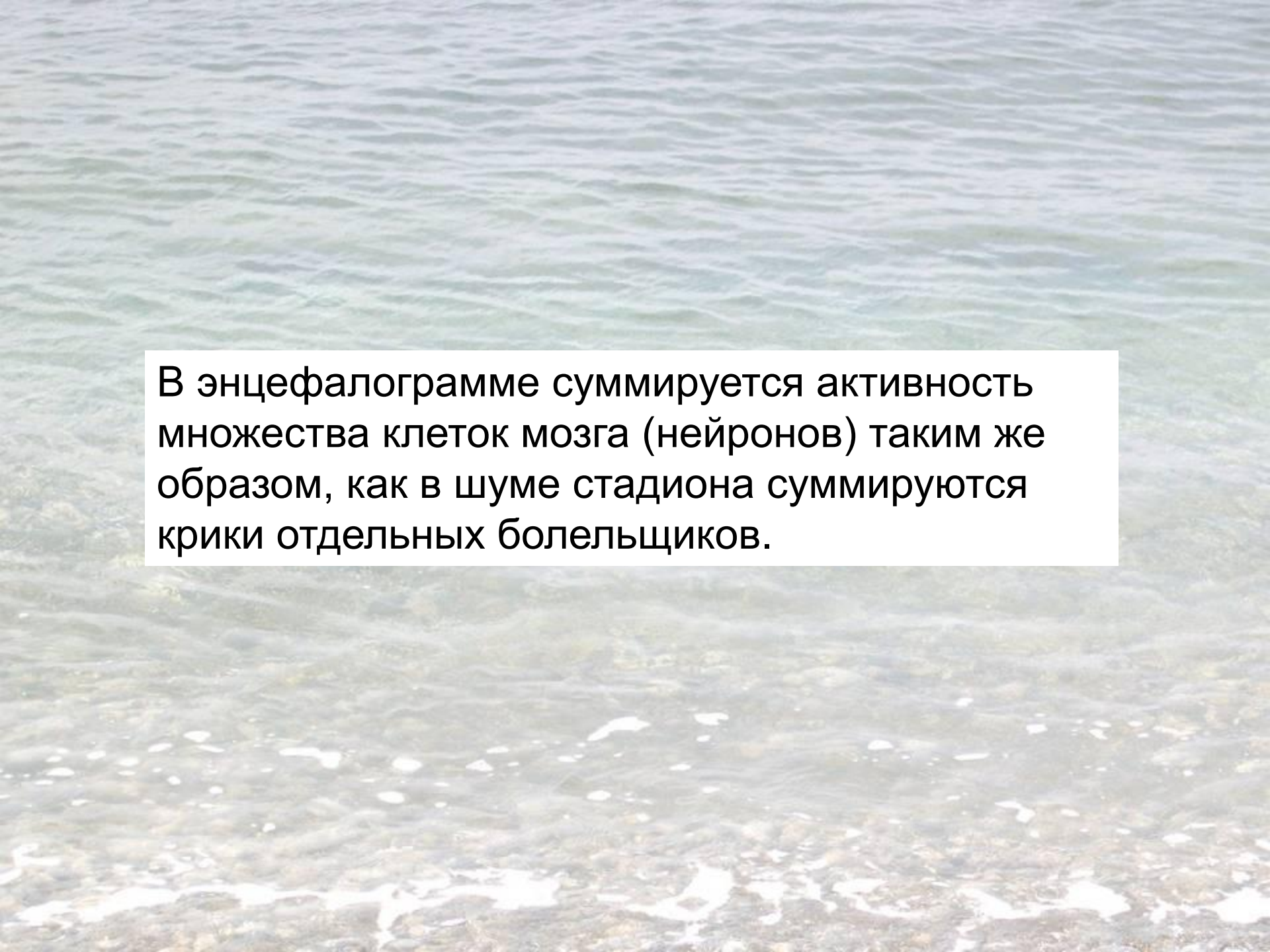


Иллюстрация из первой статьи Бергера «Об электроэнцефалограмме человека» (Berger, 1929). Верхняя линия представляет собой запись ЭЭГ от обритой кожи головы его сына Клауса - от электродов, приложенных к лбу и затылку. В следующей своей статье Бергер (Berger, 1930) описал эти колебания как «альфа»-волны. Нижняя линия – отметки времени 1/10 сек.





Соотношение пространственного и временного разрешения для основных методов изучения активности человеческого мозга.

The background of the slide is a photograph of water, likely a lake or sea, with gentle ripples and a light blue-green hue. In the lower portion of the image, the water meets a rocky shore, with white foam from small waves visible. A white rectangular text box is centered in the middle of the image, containing the main text.

В энцефалограмме суммируется активность множества клеток мозга (нейронов) таким же образом, как в шуме стадиона суммируются крики отдельных болельщиков.

ЭЭГ сравнивают с «**дымом от паровоза**» или «**шумом от автомобиля**».

Существует мнение, что ЭЭГ является «эпифеноменом» (вторичным, побочным явлением, сопутствующим и параллельным основному явлению, но не обязательно связанным с ним прямыми причинно-следственными связями).

Означает ли это, что закономерности ЭЭГ не могут являться предметом научного исследования?



*Мне часто коллеги говорят: «Электроэнцефалография — это просто шум от паровоза». Да, это лишь следы, отголоски реальных сигналов, которыми обмениваются нейроны. Но ведь хороший механик по шуму автомобиля может определить, что там не в порядке, отличить стук клапана от шума компрессора.*

*Энцефалографисты тоже кое-чему научились. Очень долго они изучали, что означает тот или иной элемент этого шума. И теперь мы довольно много знаем о том, какие шумы с работой каких частей мозга и с какими процессами связаны.*

**А.Я.Каплан**

Интервью журналу Русский репортер, 21 октября 2010, №41 (169).







Магнитоэнцефалография  
(МЭГ)



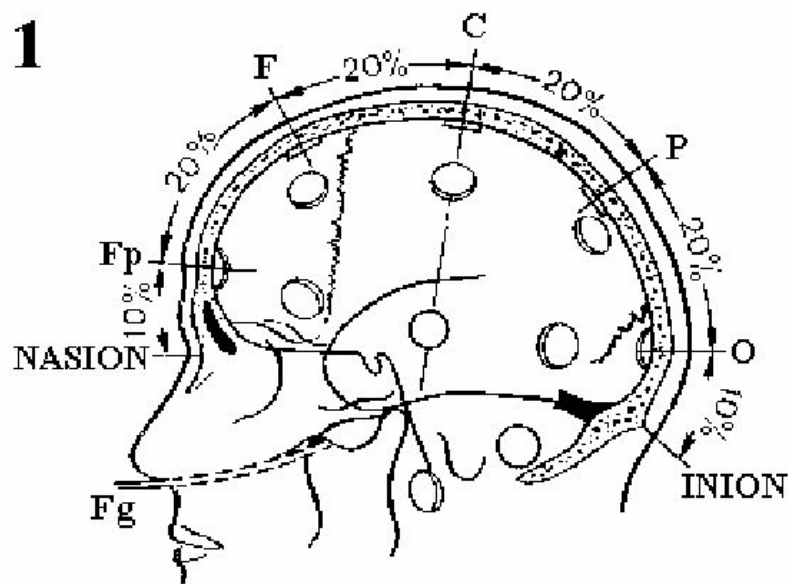
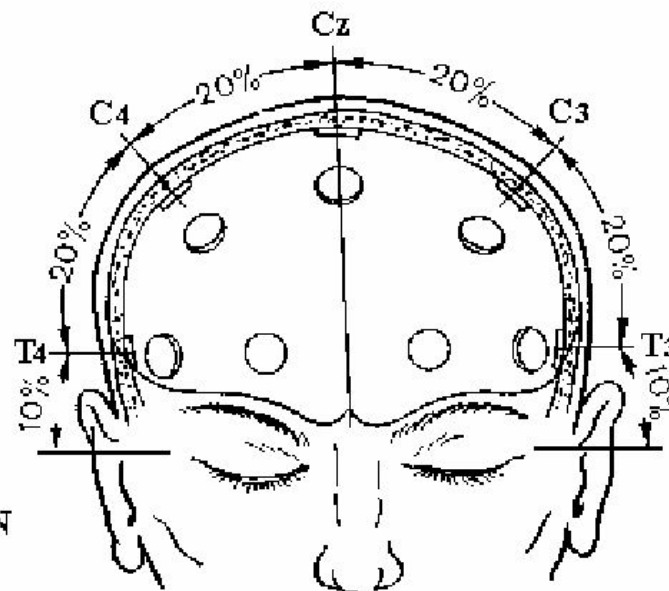
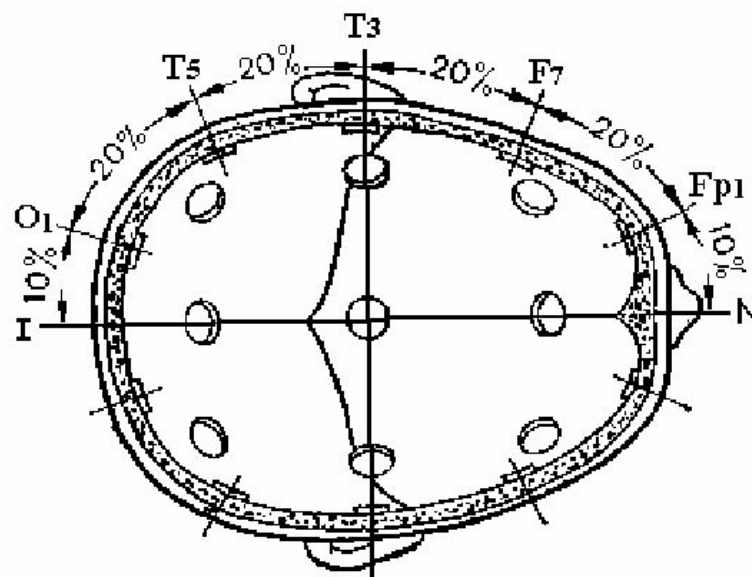
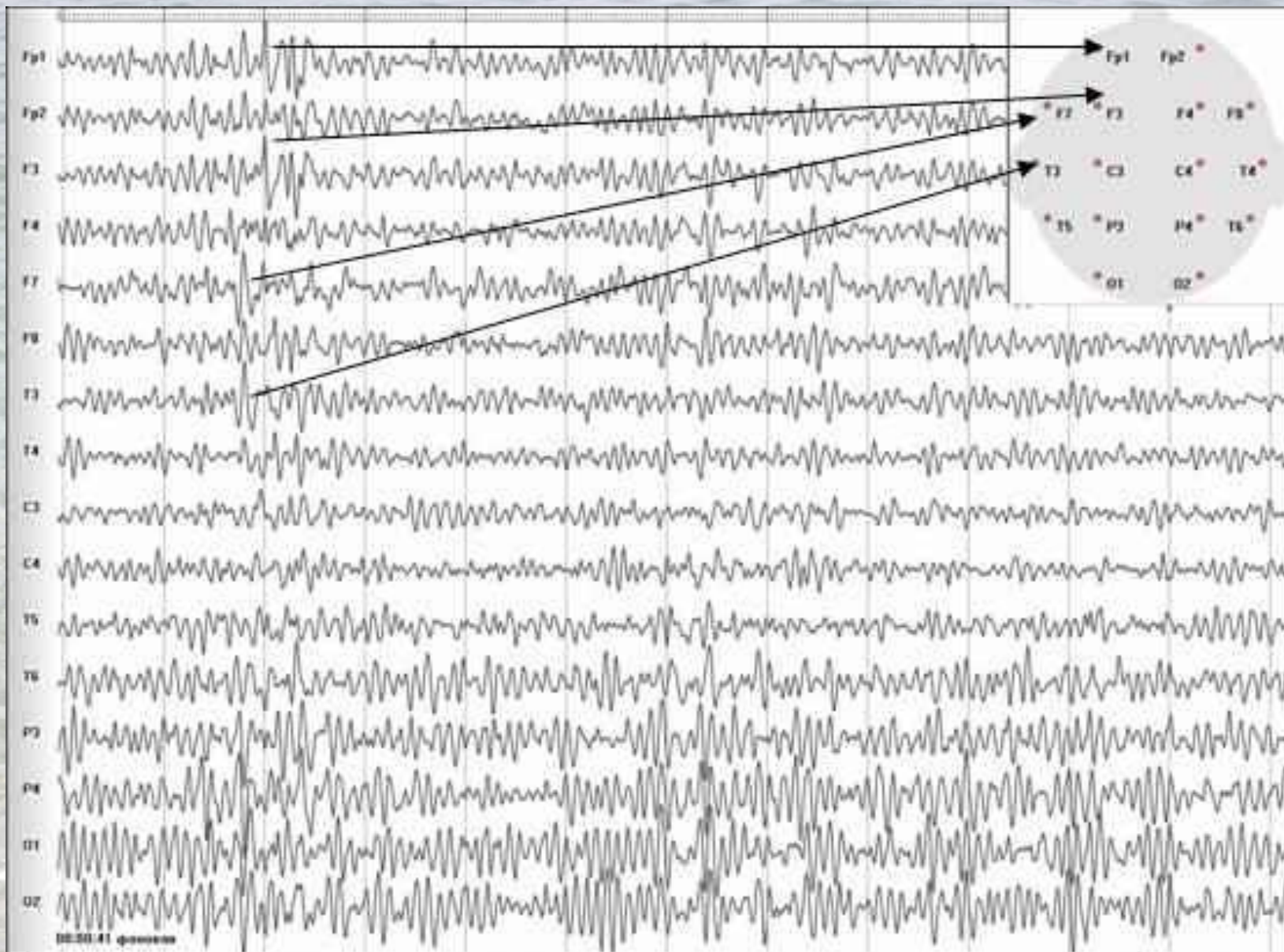
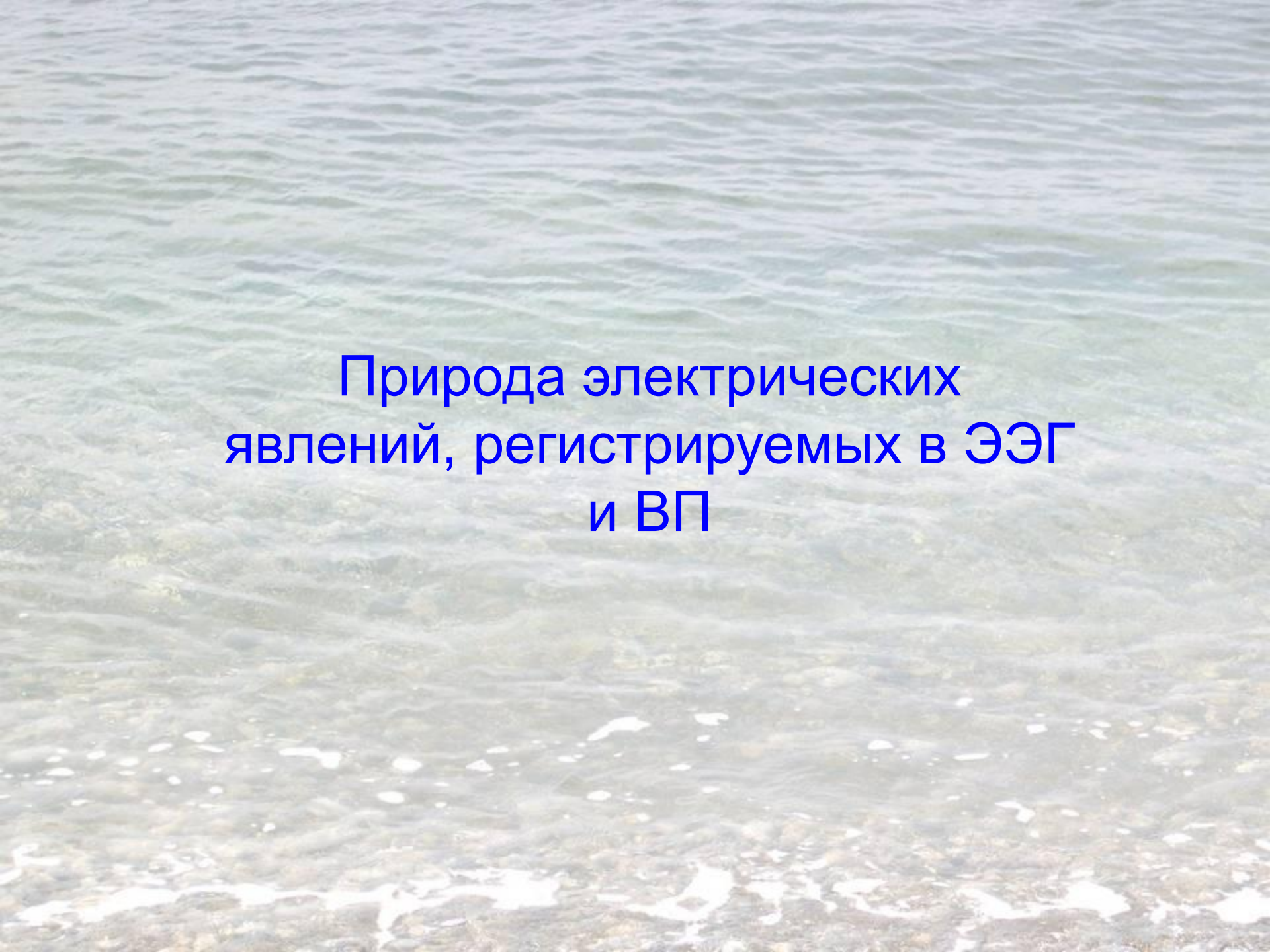
**1****2****3**

Схема монтажа электродов по системе 10–20%.



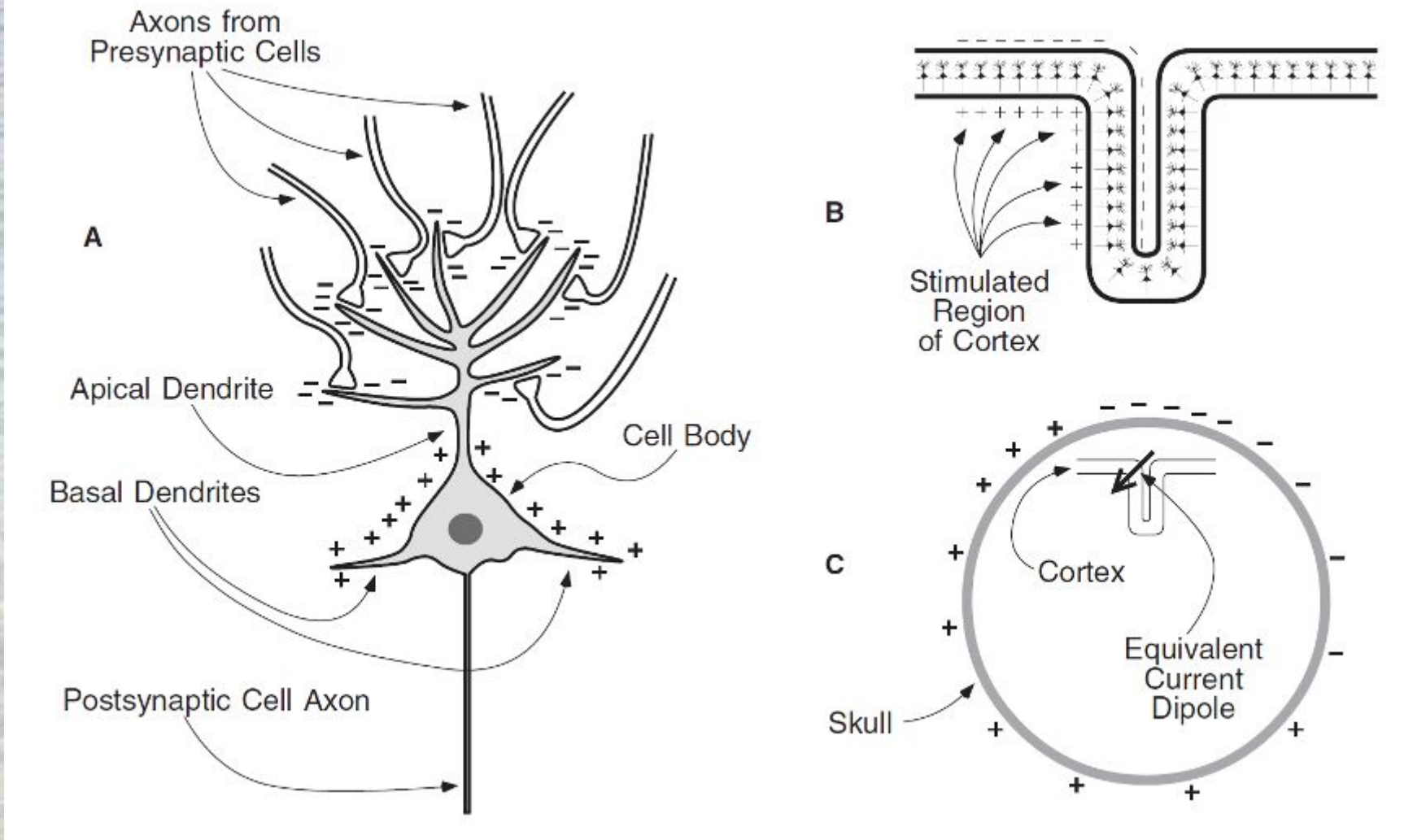
Энцефалограмма



The background of the slide is a photograph of a rocky beach. In the foreground, there are dark, wet rocks with white foam from waves washing over them. The water is a light, greenish-blue color with gentle ripples. The text is centered in the middle of the image.

Природа электрических  
явлений, регистрируемых в ЭЭГ  
и ВП





Принцип генерации ЭЭГ и ВП. (А) Пирамидная клетка коры больших полушарий в момент возбуждающего постсинаптического потенциала на дендритах; клетка становится крошечным диполем. (В) При синхронном возбуждении большого количества пирамидных клеток в участке коре диполи от отдельных клеток суммируются. (С) Сумму диполей от отдельных клеток можно аппроксимировать одним эквивалентным диполем (показан стрелкой).

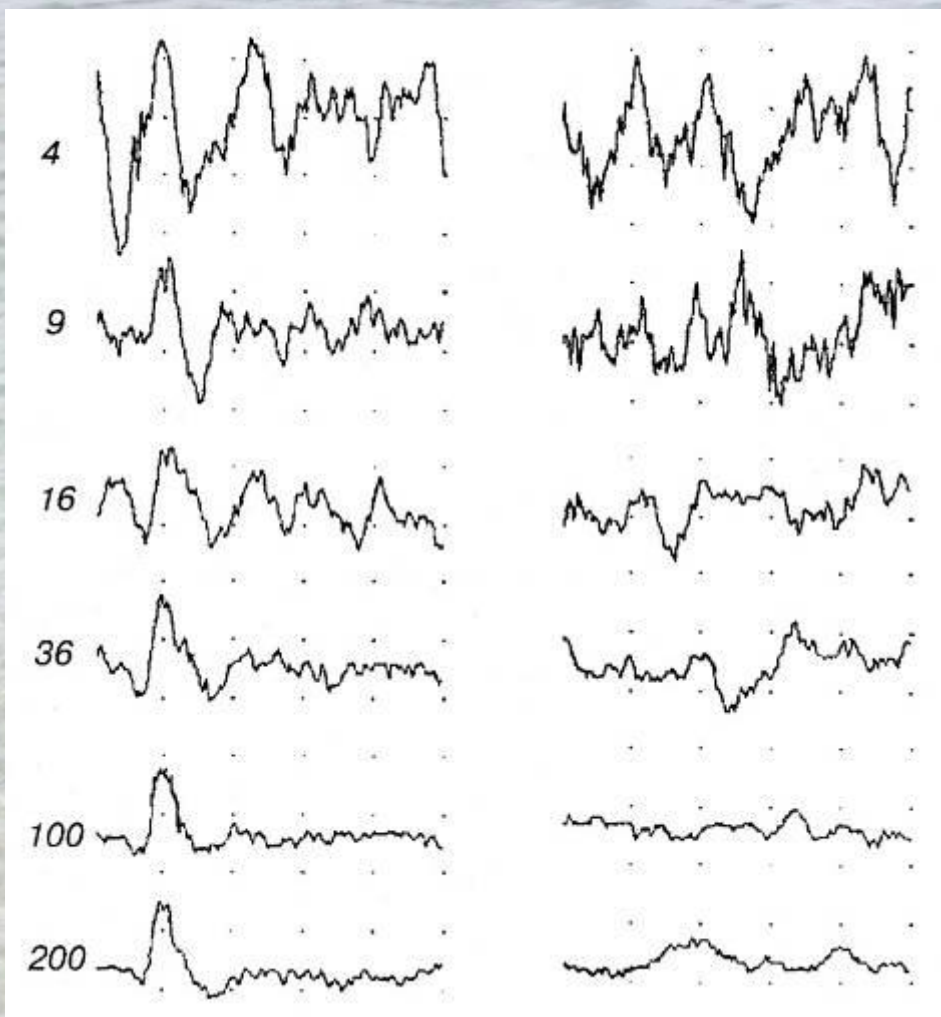
Вызванные потенциалы (ВП)  
и  
связанные с событиями  
потенциалы (ССП)



Накопление и усреднение записей реакции на одинаковые стимулы позволяет выявлять **вызванные потенциалы**.

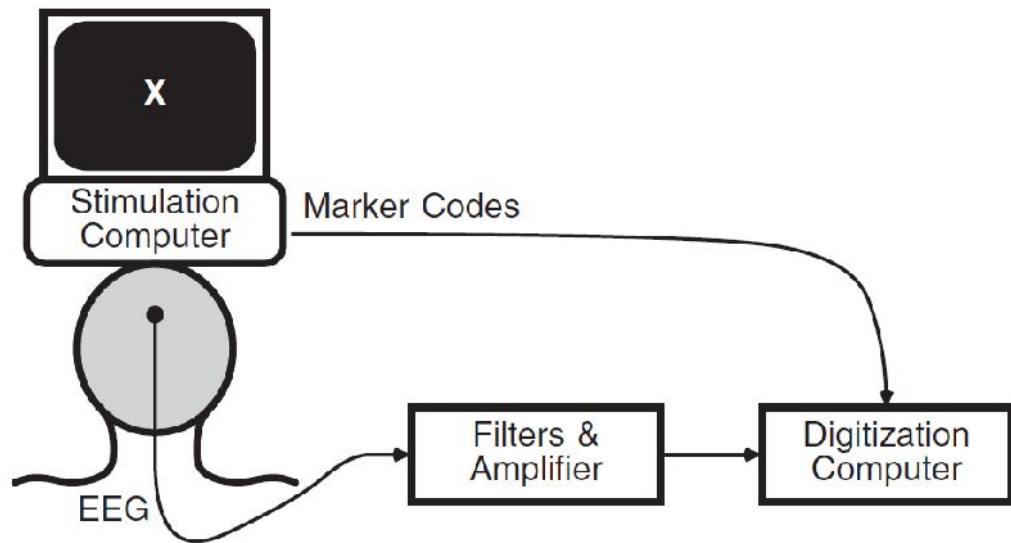
На одиночных записях вызванный потенциал обычно не виден, т.к. замаскирован спонтанной активностью мозга.



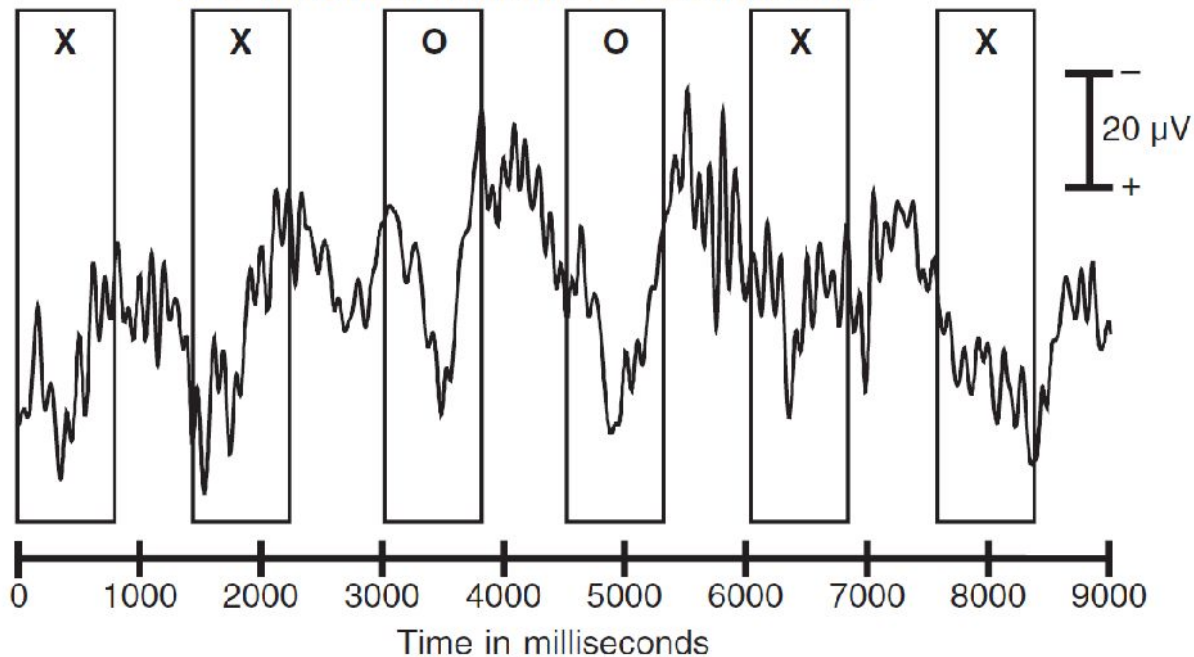


**Вызванные потенциалы (ВП)** – это колебания потенциала ЭЭГ, возникающие в ответ на сенсорные стимулы. Поскольку на одиночных записях ВП обычно слабо выделяются на фоне спонтанных колебаний ЭЭГ, их выделяют методом синхронного (когерентного) усреднения нескольких десятков записей ЭЭГ.

На рисунке показано усреднение относительно момента включения стимула, справа – относительно случайных моментов времени. Цифры – число усредненных записей. Видно, что по мере усреднения ВП проявляется все более отчетливо, а спонтанные колебания ЭЭГ взаимоуничтожаются.

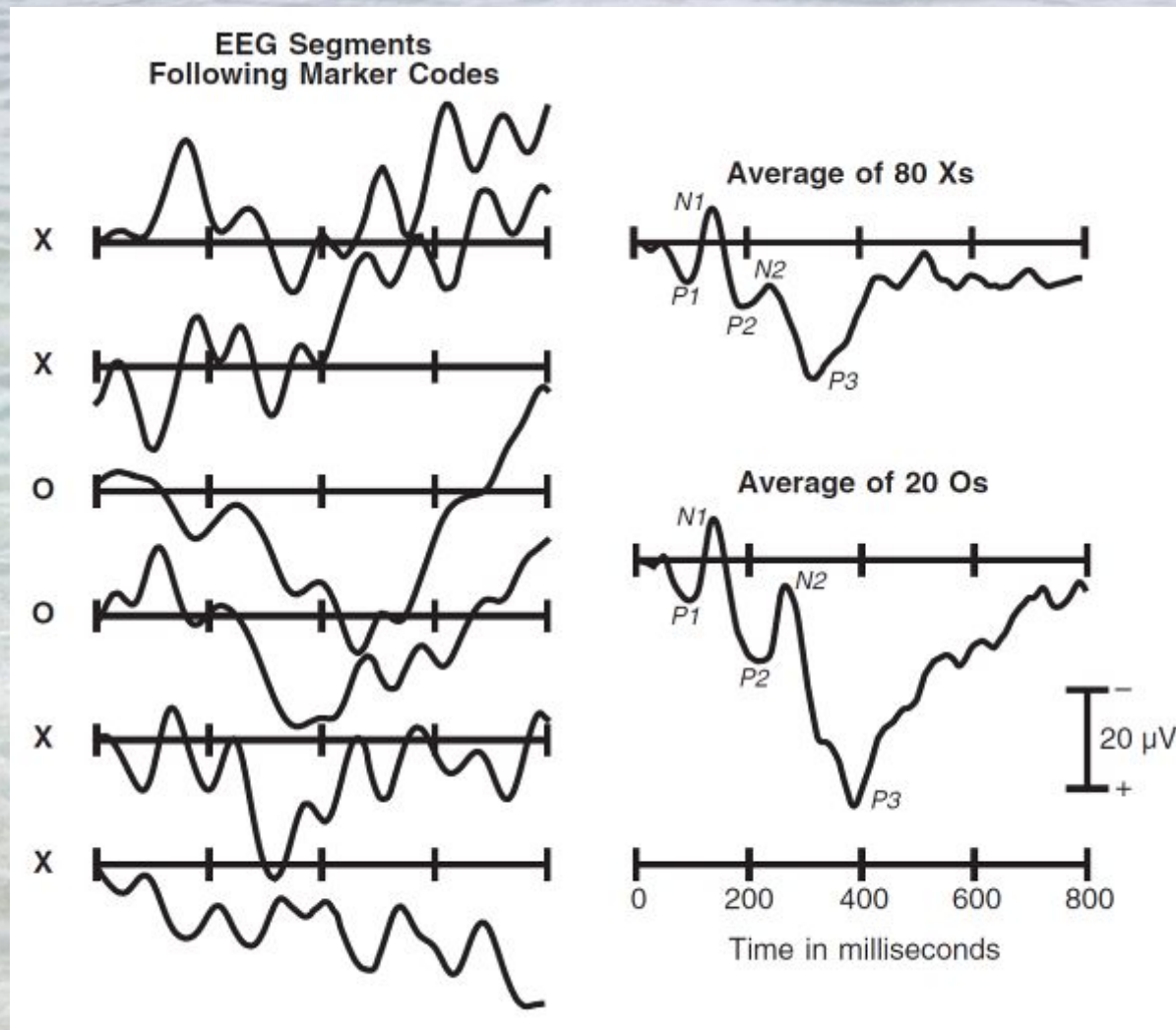


EEG Recorded from the Pz Electrode Site



Принцип записи и анализа ЭЭГ для изучения ВП. Испытуемому подаются два типа стимулов: «X» и «O».

Внизу показана непрерывная запись ЭЭГ, на которой прямоугольниками отмечены «эпохи» - участки записи одинаковой длины, расставленные согласно стимулам. (См. следующий слайд.)



Принцип записи и анализа ЭЭГ для изучения ВП. Испытуемому подаются два типа стимулов: «X» и «O». (Продолжение)  
*Слева* – единичные неусредненные записи на четыре последовательных стимула,  
*Справа* – усреднение ВП на стимулы «X» и «O» (по отдельности).



**Вызванные потенциалы (ВП) (*evoked potentials, EP*)** – усреднение относительно стимула.

**Связанные с событиями потенциалы (ССВП, или ССП) (*event-related potentials, ERP*)** - более широкое понятие. При исследовании ССВП применяют когерентное усреднение не только относительно стимула, но и относительно других событий (например, относительно нажатия испытуемым на кнопку, перемещения направления его взгляда и т.п.).

Также ВП условно (!) разделяют на

\* **экзогенные**, т.е. обусловленные внешним воздействием стимулов (ВП в узком смысле). Они привязаны к внешнему стимулу и сильно зависят от его характеристик - модальность (слуховые, зрительные и т.п.), интенсивность и др.

\* **эндогенные**, т.е. обусловленные внутренними процессами в мозге (=ССВП)

- **когнитивный ВП (P3, P300)**

- **условная негативная волна (волна ожидания, E-волна)**  
(CNV – contingent negative variation, expectancy wave);

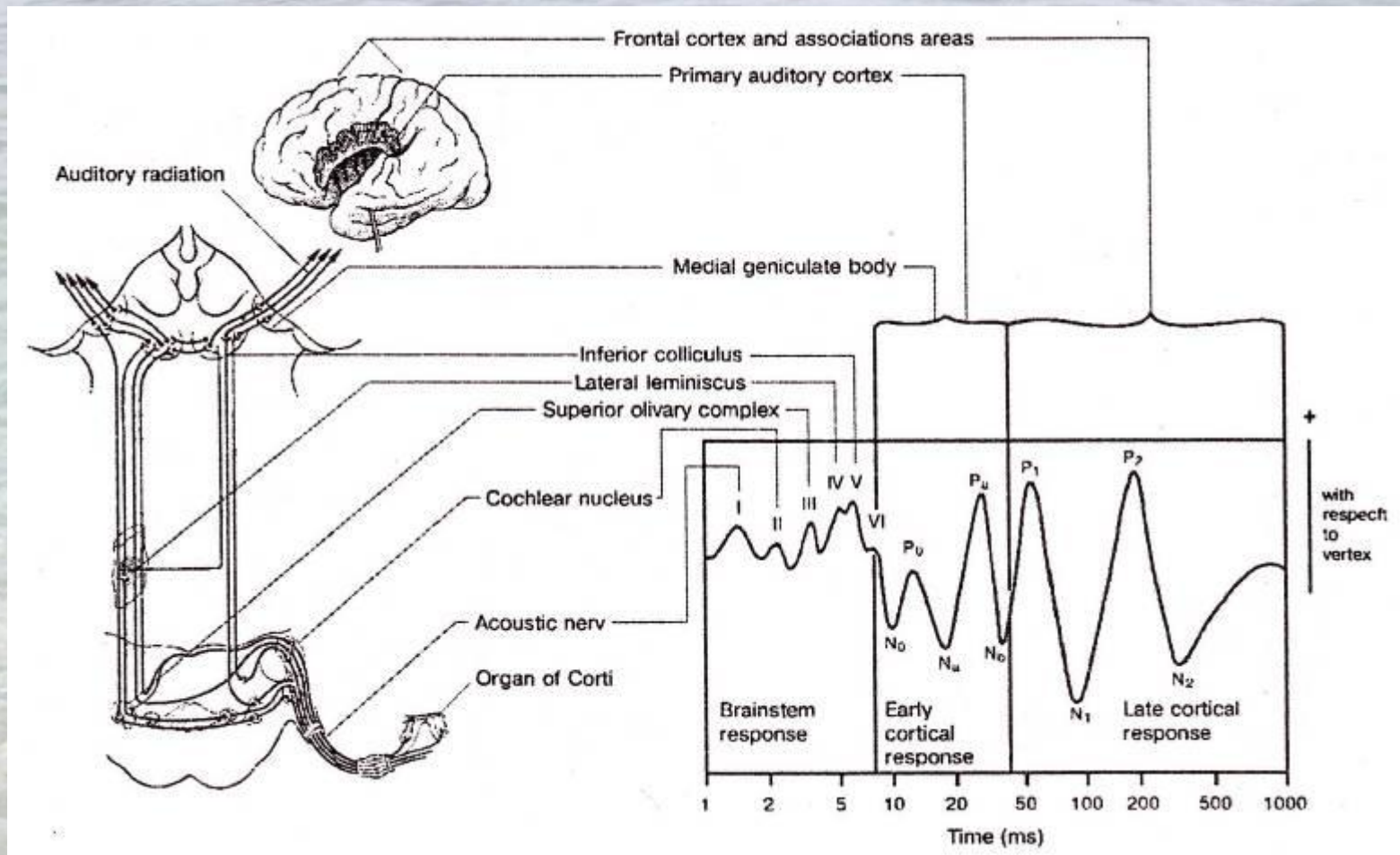
- **негативность рассогласования**  
(MMN – mismatch negativity)

- **потенциал готовности** и др. потенциалы, связанные с движением  
и др.



# Классификация компонентов ВП





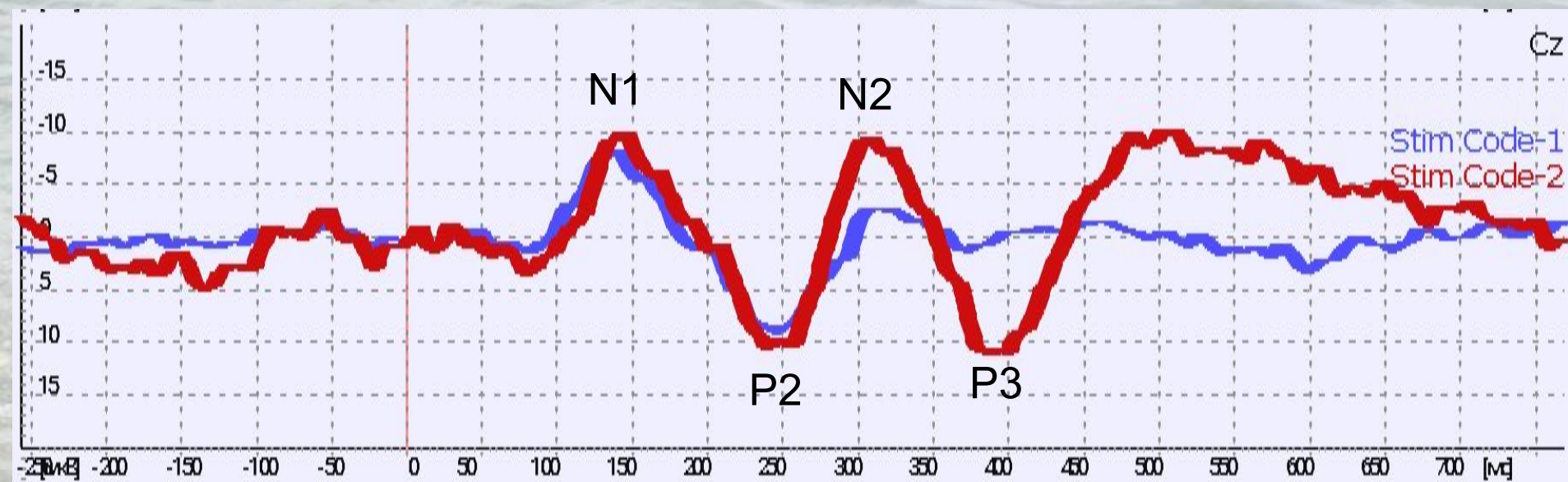
Основные диапазоны латентностей на примере слухового ВП:

- \* **Коротколатентные** – первые 10 мс – генерируются в стволе мозга
- \* **Среднелатентные** – от 10 до 50 мс – генерируются в связи с активностью в таламусе и первичной слуховой коре
- \* **Длиннолатентные** – более 50 мс – генерируются как в сенсорных, так и ассоциативных областях коры.

*Шкала по оси времени – логарифмическая. Шкала по оси амплитуды различная на трех фрагментах графика, так как записи получены в разных экспериментальных условиях.*

В психофизиологических исследованиях при решении когнитивных задач доступны для регистрации только длиннолатентные (поздние) ВП с латентностью не менее 50 мс – так как для их выявления бывает достаточно усреднения нескольких десятков реализаций.

Регистрация более ранних компонентов требует очень большого числа предъявлений стимулов (тысячи, десятки тысяч), что недостижимо в когнитивных задачах.



Вызванные потенциалы на стимулы при отсутствии внимания (синяя линия) и при наличии внимания к стимулу (красная линия) – методика одд-болл. Обратите внимание, что линии не совпадают и в предстимульном интервале (из-за случайных процессов)!



## Форма ВП и его компонентный состав зависят от:

### \* **свойств стимула и способов их предъявления:**

- модальность стимулов (слуховые, зрительные, соматосенсорные и др.)
- характеристики стимулов (яркость, громкость, паттерн, свойства изображенного объекта и др.)
- межстимульные интервалы, правила чередования стимулов и др.

### \* **индивидуальности испытуемого:**

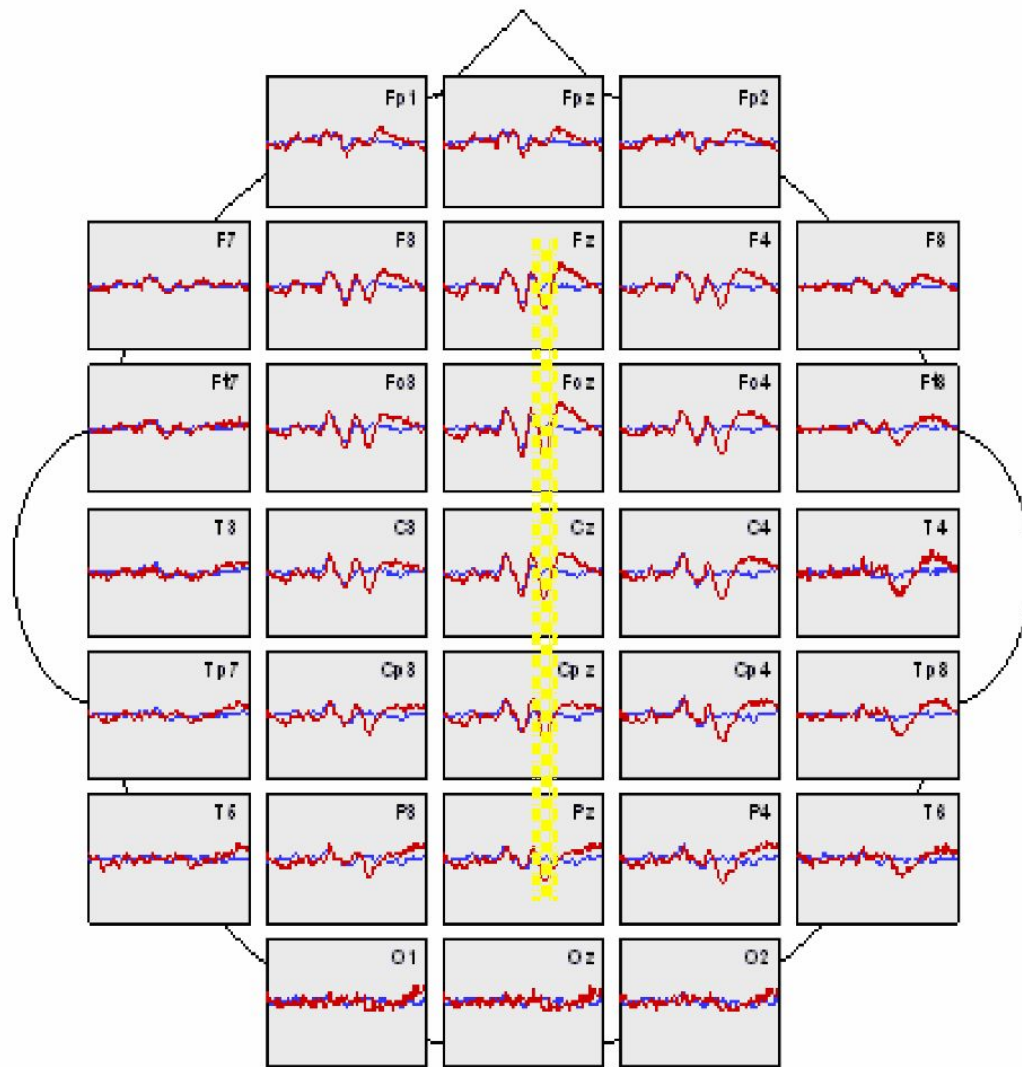
- индивидуальные особенности мозговых и психических процессов
- индивидуальные особенности геометрии мозга и черепа
- функциональное состояние испытуемого (бодрость, усталость, сонливость, наркоз, кома и т.п.)

### \* **отведения** на голове испытуемого

\* **особенностей когнитивной задачи и инструкции**, предъявленной испытуемому в эксперименте (включая мотивацию)

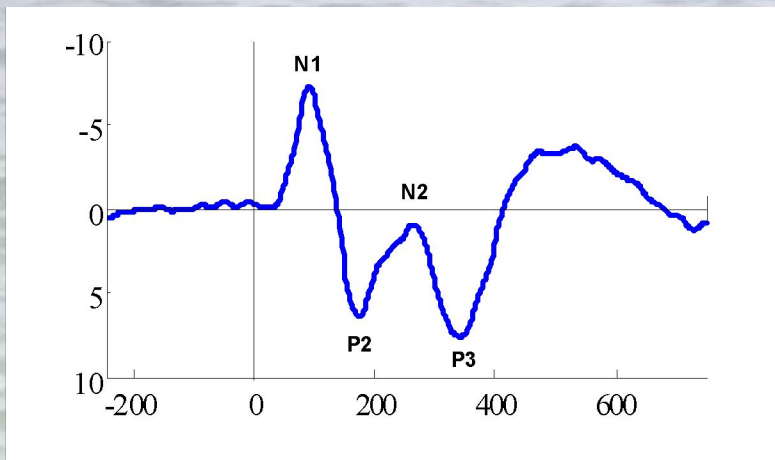
\* **технических особенностей регистрации и обработки** (выбор референтного электрода, частотная фильтрация и др.)

\* **случайных факторов** (наложение шума и артефактов) – зависит от числа реализаций в усреднении и от качества записи

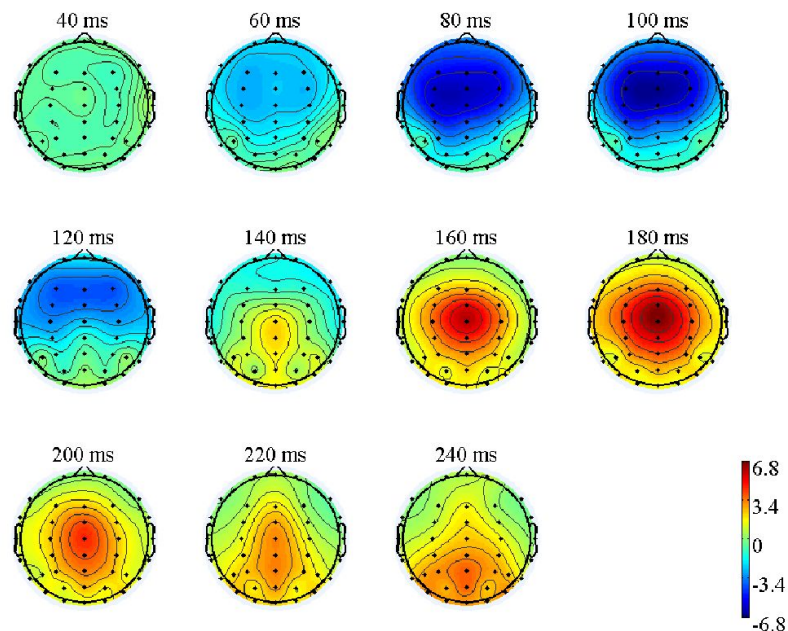


Регистрации Р300 в различных отведениях по поверхности головы. Голова изображена схематически, на ней отмечены нос (вверху) и уши (слева и справа). Потенциал Р300 хорошо выражен в центральных, теменных, некоторых лобных и височных отведениях в виде отклонения красной линии вниз (в центральных отведениях обозначен желтым прямоугольником).

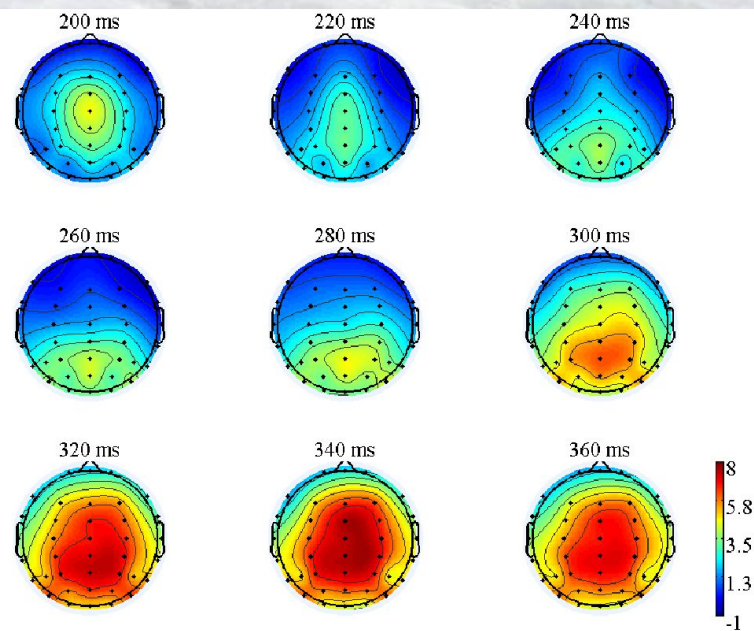
A



B



C



ВП на целевой стимул при методике одд-болл, усреднено по 30 испытуемым (наши данные).

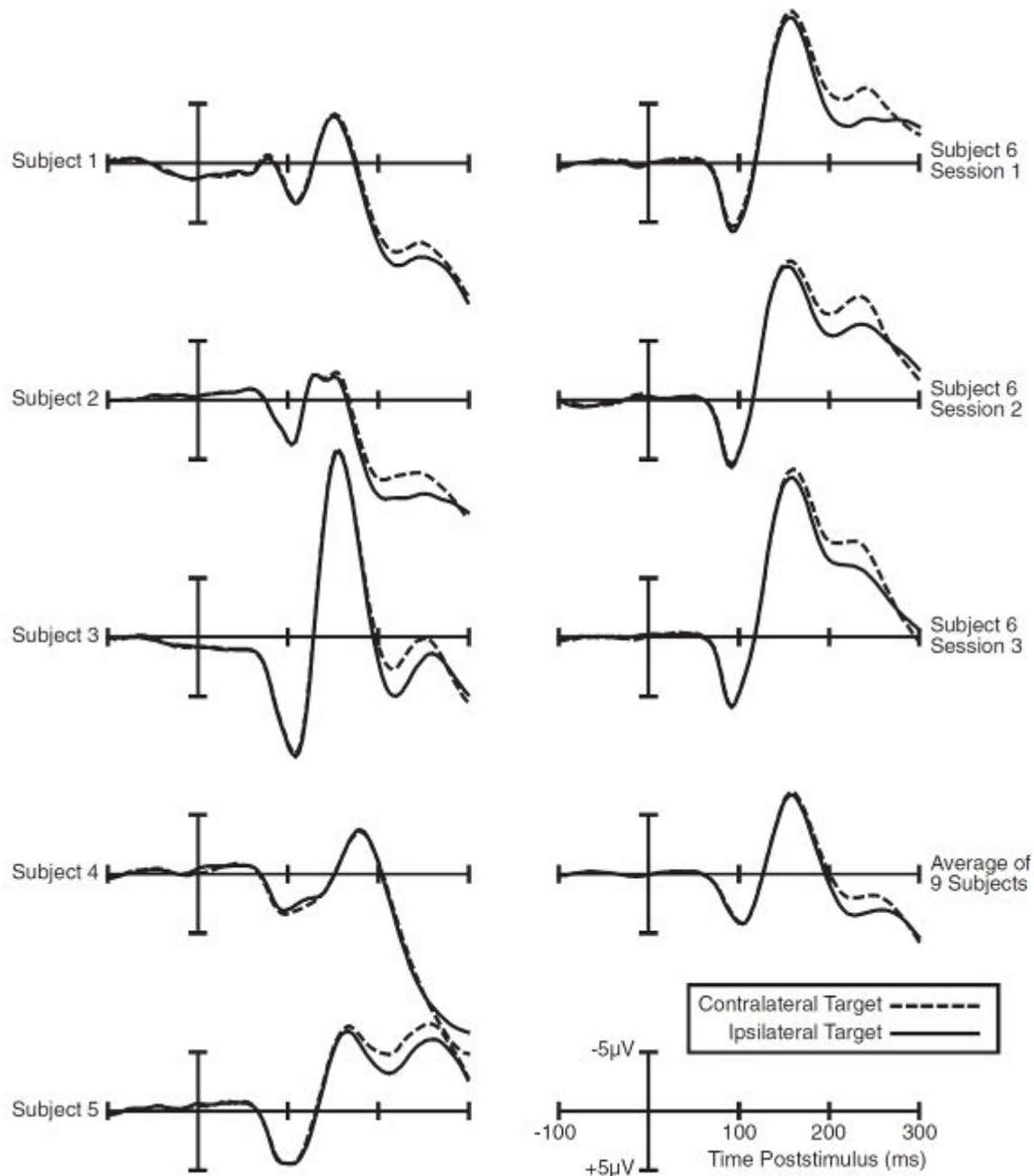
(А) Усредненный ВП в отведении Fz.

(В) карта ВП для 40 – 240 мс, показывающая N1 и P2.

(С) карта ВП для 200 – 360 мс, показывающая N2 и P3.

Шкала: мкВ.





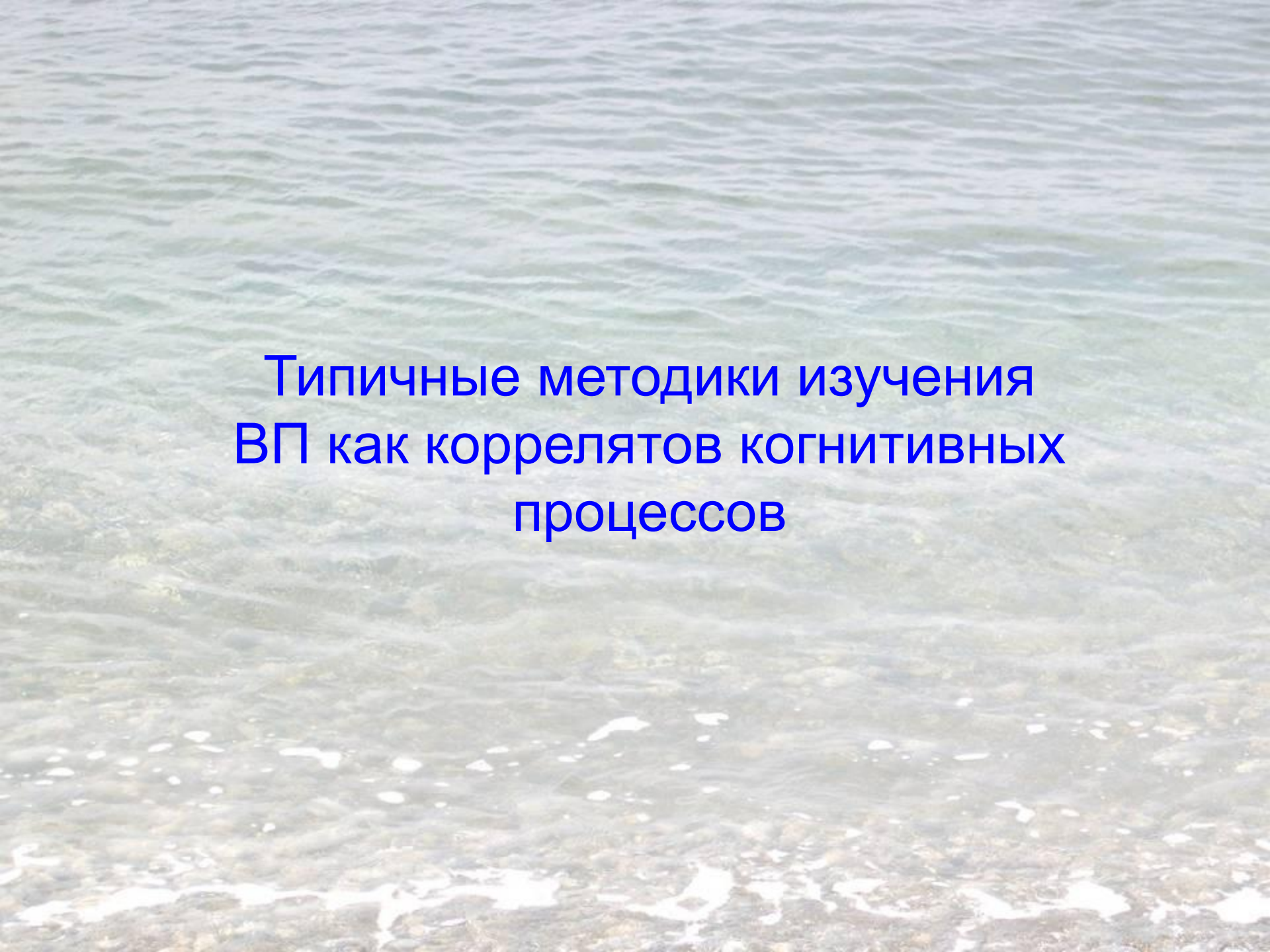
Межиндивидуальная и внутрииндивидуальная вариабельность усредненных ВП (зрительных).

Слева – ВП у 5 разных испытуемых (№1-5).

Справа – ВП у одного и того же испытуемого (№6) в трех последовательных сессиях.

Справа ниже – ВП, усредненный по 9 испытуемым («grand average»).

Справа внизу – калибровка. (Luck, 2005)



Типичные методики изучения  
ВП как коррелятов когнитивных  
процессов

Для изучения ранних сенсорных ВП достаточно подавать многократно одинаковые стимулы. От испытуемого ничего не требуется (он может бодрствовать, читать книгу, спать, находиться под наркозом и т.п.). Стимулы следуют быстро друг за другом, что дает возможность в одном эксперименте записать тысячи, и даже десятки тысяч предъявлений. Широко используется в клинике и для исследования физиологии сенсорных систем.

Для изучения когнитивных поздних ВП необходима соответствующая когнитивная задача. Количество предъявлений вынужденно становится меньше (чем сложнее задача, тем меньше можно подать стимулов за один эксперимент). Иногда эксперимент повторяют несколько дней подряд для накопления статистики.

**Целевой стимул (target)** – стимул, в ответ на который испытуемый должен что-то сделать (подсчитывать стимулы в уме, нажимать на кнопку и т.п.).

**Нецелевой стимул (non-target)** – стимул, в ответ на который испытуемому делать ничего не надо.



**Активный одд-болл** (парадигма необычного стимула - **oddball**): Испытуемый должен считать про себя или нажимать на кнопку в ответ на редкий целевой стимул S1 и игнорировать частый, нецелевой стимул S2.

S2, S2, **S1**, S2, S2, S2, S2, **S1**, S2, S2, S2, **S1**, S2, **S1**, S2...



Дополнительно в последовательность стимулов нередко вводят новые стимулы (неожиданные для испытуемого) – это позволяет сравнить произвольное внимание в ответ на целевой стимул с непроизвольным вниманием (ориентировочной реакцией) на новизну.

**Пассивный одд-болл**: происходит аналогично, но испытуемому не дают никакой инструкции (в слуховых задачах испытуемых нередко просят читать какую-нибудь книгу).

Частый стимул называют «стандартным», а редкий – «девиантным», или «сигналом». Девиантный стимул вызывает непроизвольную ориентировочную реакцию даже в пассивном одд-болле.


**Go/NoGo:** похож на активный одд-болл, однако согласно инструкции испытуемый должен производить какое-либо действие со всеми стимулами кроме тех стимулов, которые удовлетворяют какому-либо заданному критерию. Т.е. если в активном одд-болле испытуемый должен совершить действие на редкий стимул, то в **Go/NoGo**, наоборот, он должен воздержаться от действия после редкого стимула.

**Sustained Attention to Response Task (SART)** – стандартизированный вариант Go/NoGo. Часто используется в клинических исследованиях для определения бдительности (устойчивого внимания) пациента. Как правило, испытуемый должен нажимать в ответ почти на все предъявляемые ему на экране цифры в диапазоне 0 - 9, но воздерживаться от реакции на одну какую-нибудь заранее заданную цифру – например, цифру 3.

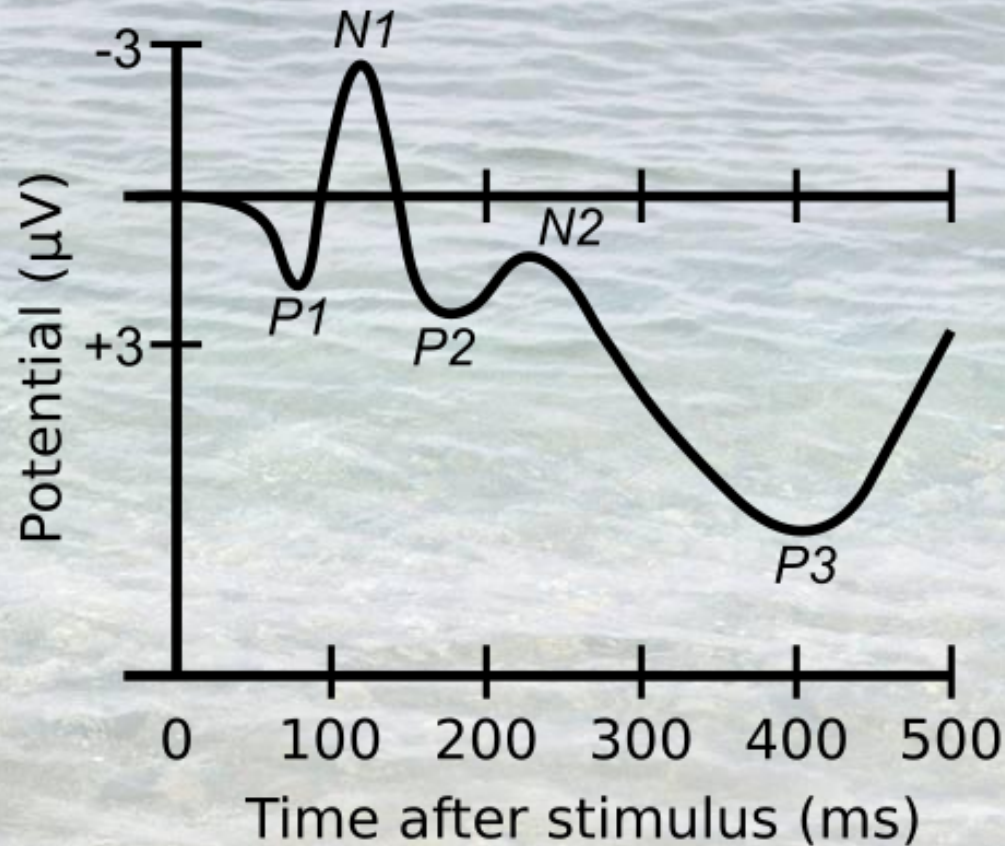
**Методика для изучения мигания внимания** – похоже на одд-болл (целевых стимулов меньше, чем нецелевых), однако стимулы подаются достаточно быстро, и назначают два разных целевых стимула, которые время от времени оказываются близко друг от друга по времени. Если второй целевой следует через 300-400 мс после первого, то второй обычно не опознается и не запоминается испытуемым (мигание внимания). Нецелевые стимулы при этом опознаются!

Также используется много других зрительных методик – зрительный поиск, зрительный прайминг и др.



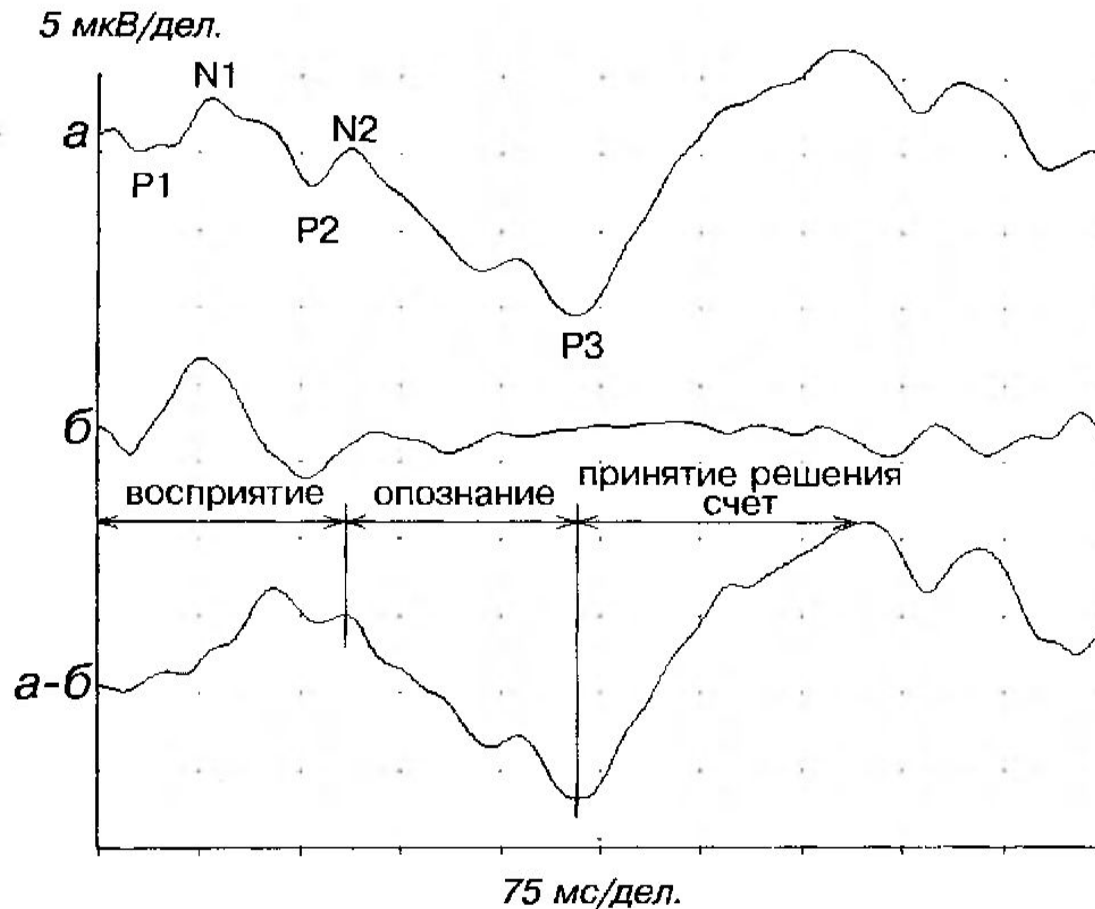


Описание основных  
компонентов ВП  
(на примере слуховых ВП)



Основные поздние компоненты вызванного потенциала. Каждый компонент разделяют на субкомпоненты (на рисунке не показано). Иногда говорят о семействе компонентов с той или иной латентностью (например, семейство компонентов N2).





**Выделение когнитивной составляющей ответа.** (По: Гнездицкий, 2003).

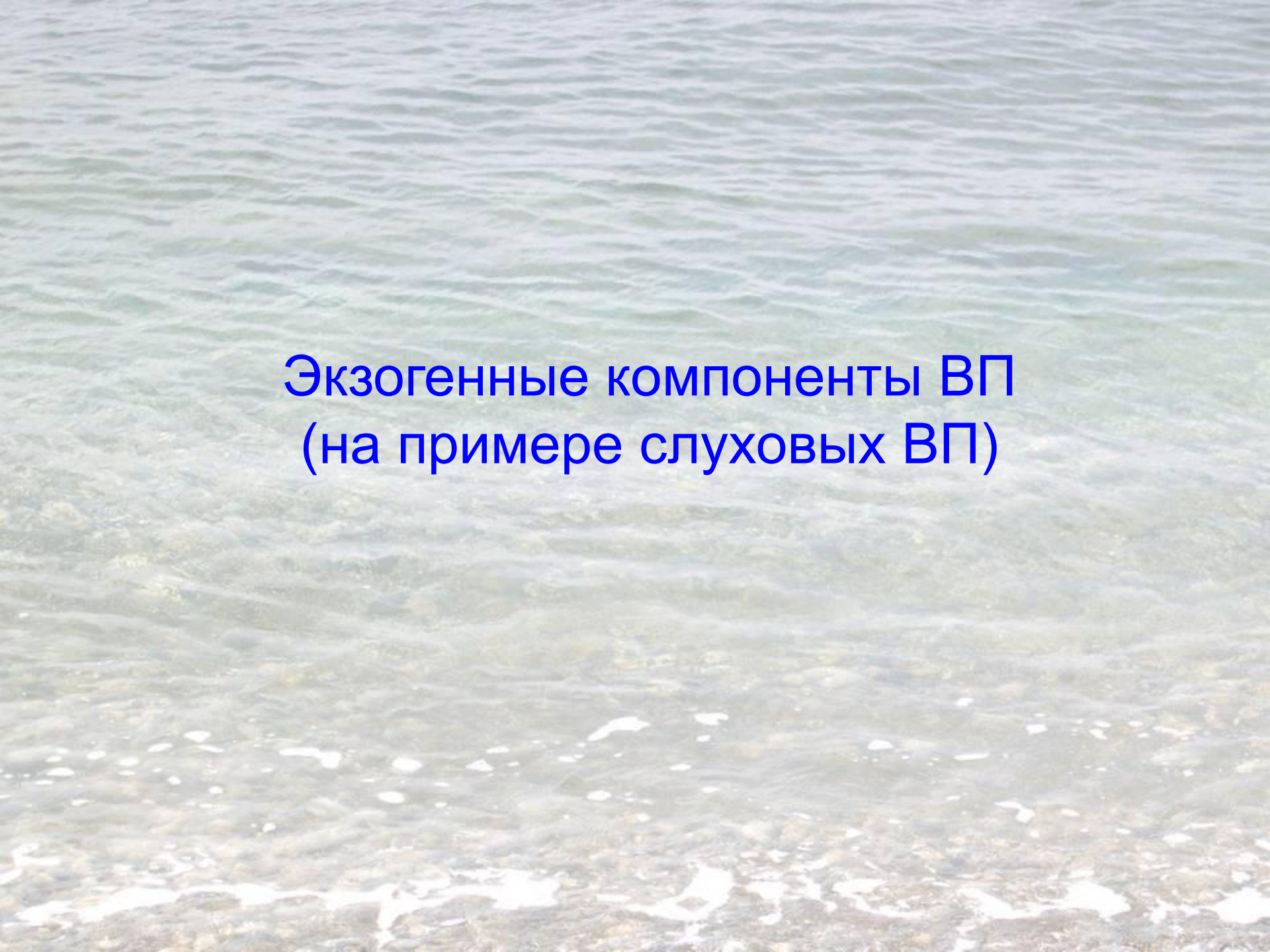
а. Ответ в условиях опознания значимого стимула: P1-N1-P2 собственно ответ на стимул (V-волна), N2 - 170 мс и P3(300) - 357 мс.

б. Ответ на тот же стимул без его опознания (V-волна);

а-б. Разность между ответами в условиях его распознавания и ответов на этот стимул в стандартных условиях без распознавания. Восприятие (ощущение) начинается на 76 мс, опознание и дифференцировка - компонент N2 - 170 мс, принятие решения и запоминание - компонент P3 - 354 мс.

*Примечания: Схема весьма условна и неточна! Латентности следует понимать примерно! Однозначно связать компоненты ВП и психические явления в настоящее время трудно! Разбиение последовательности психических процессов на восприятие, опознание и принятие решения тоже условно и не совсем корректно! Под «восприятием» имеется в виду детектирование признаков объекта (т.е. скорее это «ощущение»).*





Экзогенные компоненты ВП  
(на примере слуховых ВП)

Слуховой P1 имеет пиковую латентность около 50 мс.

**Комплекс P1-N1-P2** - собственно ответ на стимул, возникающий независимо от инструкции испытуемому. Наиболее выражен в вертексе (Cz). Ранее этот комплекс рассматривали как единое явление и называли «**вертекс-потенциал**» или «**V-волна**».

В настоящее время все три компонента рассматриваются как самостоятельные явления.

Все три компонента являются преимущественно **экзогенными**, так как зависят преимущественно от характеристик стимула.

Соответственно, все три компонента можно соотнести с автоматизированными процессами **предвнимания**.

При этом они могут в небольшой степени модулироваться когнитивными процессами!

## N1, или N100

Слуховой **N1** имеет пиковую латентность от 80 до 120 мс, выражен во фронтальной области скальпа (включая вертекс).

Состоит из нескольких субкомпонентов, часть из которых генерируется в слуховой коре (извилины Гешля на дорсальной поверхности височных долей) – первичной и ассоциативной.

Возникает на неожиданный стимул, связанный с резким изменением сенсорного воздействия (включение стимула, изменение частоты или интенсивности длительного стимула, или выключение длительного стимула) даже в отсутствии задания испытуемому.

Амплитуда сильно зависит от параметров стимула и межстимульного интервала. Амплитуда N1 растет (с насыщением!) при возрастании громкости стимула и при увеличении межстимульного интервала.

Сильно зависит от предсказуемости момента появления стимулов – становится слабее при повторении стимулов. Полностью исчезает, если испытуемый сам себе включает стимул.



Амплитуда **N1** больше при высоком уровне бдительности. Возникает не только при бодрствовании, но и во сне (с уменьшенной амплитудой).

Амплитуда N1 увеличивается при внимании, а также при более эффективном выполнении задания. Амплитуда изменяется в зависимости от мотивации испытуемого (варьирование вознаграждения).

Предполагается, что модуляция N1 в связи со вниманием обусловлена частичным наложением на него отрицательных компонентов, тесно связанных со вниманием – **негативности рассогласования** и **процессной негативности (разностной негативности)** (см. далее).

## **P2, или P200**

Слуховой **P2** имеет пиковую латентность от 150 до 275 мс, наиболее выражен в области вертекса. Генерируется хотя бы частично в слуховой коре.

Ранее P2 считали частью вертекс-потенциала (V-волны), однако в настоящее время рассматривается как самостоятельное явление.

По многим свойствам похож на N1 (зависит от физических параметров стимула) – однако, подобно P3, в некоторых условиях может быть увеличен на целевые стимулы в сравнении с нецелевыми.

Амплитуда P2 уменьшается при внимании.

Предполагается, что модуляция P2 в связи со вниманием обусловлена частичным наложением на него отрицательных компонентов, тесно связанных со вниманием – **негативности рассогласования** и **процессной негативности (разностной негативности)** (см. далее).

Негативные потенциалы,  
накладывающиеся  
на N1, P2 и N2



**Негативность рассогласования (НР)** – mismatch negativity (MMN) (Открыта Р.Наатаненом) – разность между девиантным и стандартным стимулами в одд-болле. Достигает максимума между 160 – 220 мс, максимально выражена в центральных отведениях по средней линии. Может накладываться на **N1**, **P2** и **N2**.

Иногда НР называют N2а (в этом случае классический N2 получает название N2b).

Негативность рассогласования является автоматическим процессом сравнения текущего стимула со следом от предыдущего. Она возникает независимо от инструкции или от произвольного внимания испытуемого ([предвнимание](#)).

Тем не менее, НР подавляется на сигналы в одно ухо, если испытуемый активно направляет внимание на сигналы в другом ухе.

# Негативность рассогласования

Зависимость негативности рассогласования от разницы по высоте тона между стандартным и девиантным стимулом (Naatanen et al., 2007). Испытуемые различают стимулы только для 1016 и 1032 Гц (две нижних записи).

## MMN as a Function of Frequency Change

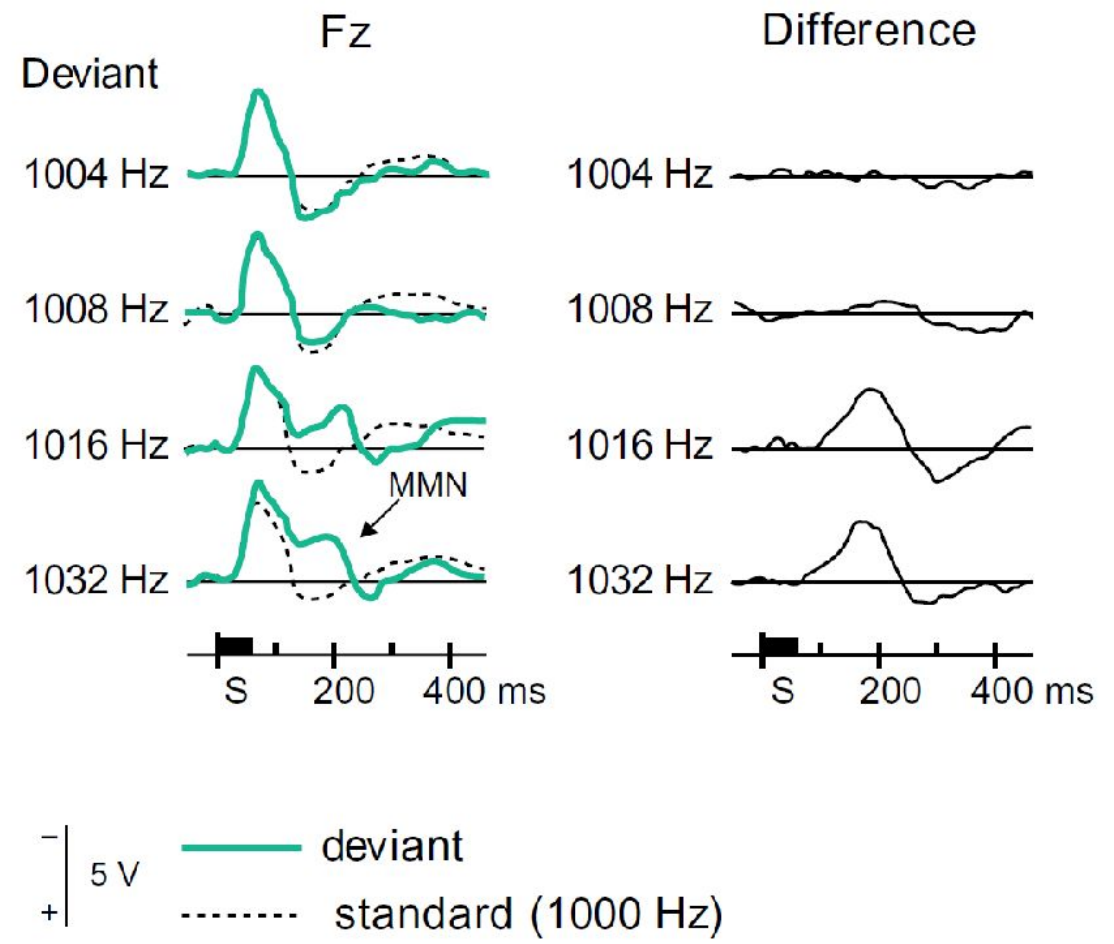


Fig. 1. (Left) Frontal (Fz) event-related potentials (ERPs) (averaged across subjects) to randomized 1000 Hz standard (80%, black line) and to deviant (20%, green line) stimuli of different frequencies (as indicated on the left side). (Right) The difference waves obtained by subtracting the standard stimulus ERP from that of the deviant stimulus for the different deviant stimuli. Subjects were reading a book. Adapted, with permission, from Sams et al. (1985a).

**Процессная негативность (ПН)** – processing negativity (PN) (Наатанен) – разность между нецелевым стимулом в значимом (релевантном) канале и нецелевым же стимулом в незначимом (нерелевантном) канале. Для таких экспериментов требуется иметь два потока стимулов – на один из них испытуемый обращает внимание (например, в одно ухо), а второй игнорируется им (во второе ухо). Иными словами, нужны четыре стимула, которые образуют два параллельно идущих одд-болла, один из которых по инструкции активный, а другой – игнорируемый. Либо производится сравнение активного и пассивного одд-болла (при чтении книги).

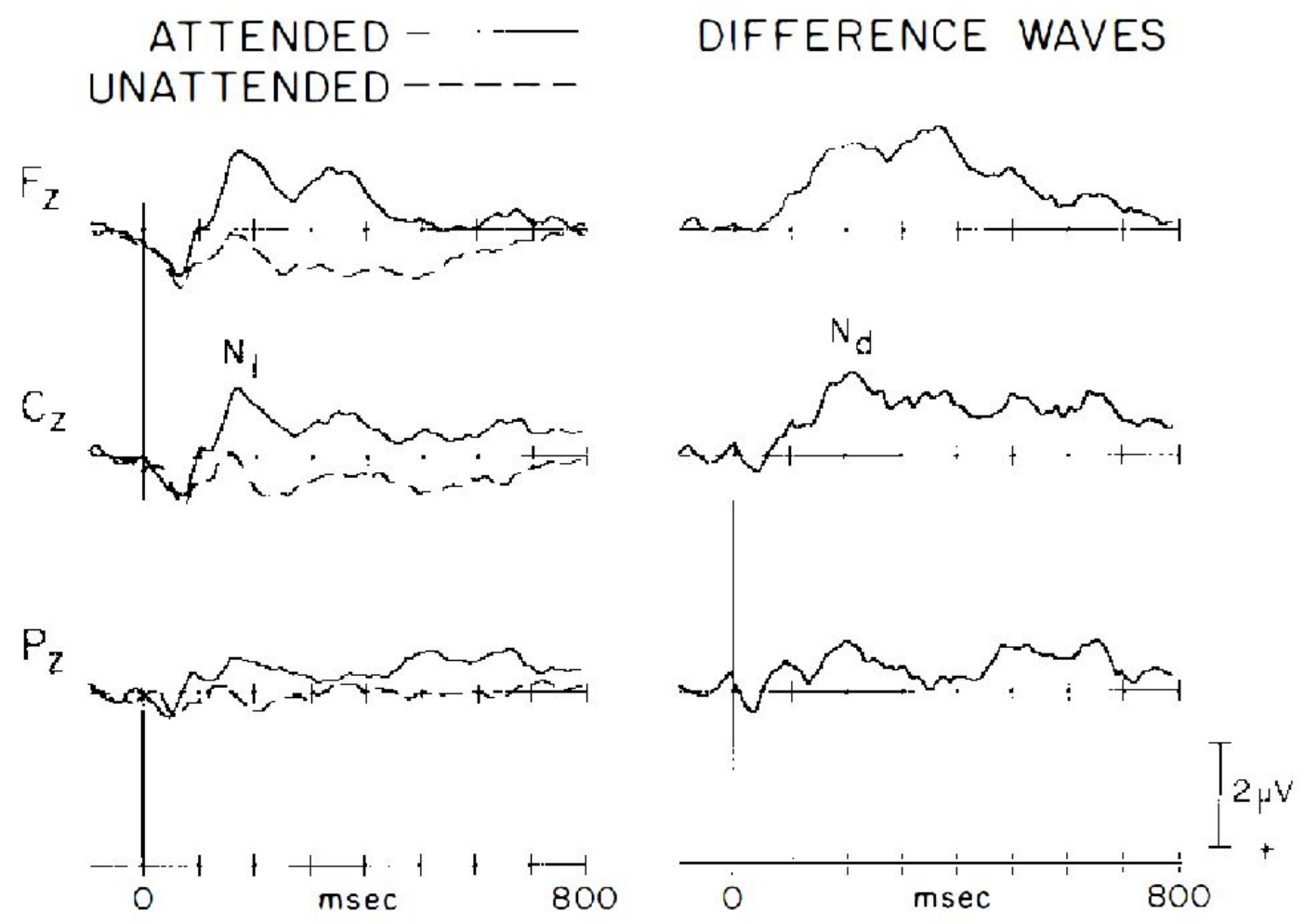
По времени примерно соответствует негативности рассогласования.

**Разностная негативность (РН)** (Nd) (Хилльярд) – фактически примерно то же самое, что процессная негативность по Наатанену. Однако Наатанен подводит теоретическую базу под их различия.



# Процессная негативность

Разностная  
негативность  
(Hillyard, Kutas,  
1983).  
«Внимаемый» и  
игнорируемый  
каналы различаются  
по высоте тона.  
Девиантный стимул  
немного больше по  
длительности  
стандартного в обоих  
каналах.



*Figure 2* ERPs associated with selective attention to one of two channels of tones, in this case distinguished by frequency cues alone (300 Hz vs 700 Hz). High and low frequency tones were presented in random order at a rapid rate (about 3 per second). Subjects attended to one channel at a time, attempting to detect targets of longer duration therein. Attended-channel tones elicited a broad negative ERP, seen most clearly in the attended minus unattended difference waves (right). ERPs recorded from frontal (Fz), central (Cz), and parietal (Pz) scalp areas were averaged over several hundred stimulus presentations using a computer routine that extracts overlapping time epochs for stimulus presented at short intervals (Hansen & Hillyard 1982).

# Процессная негативность

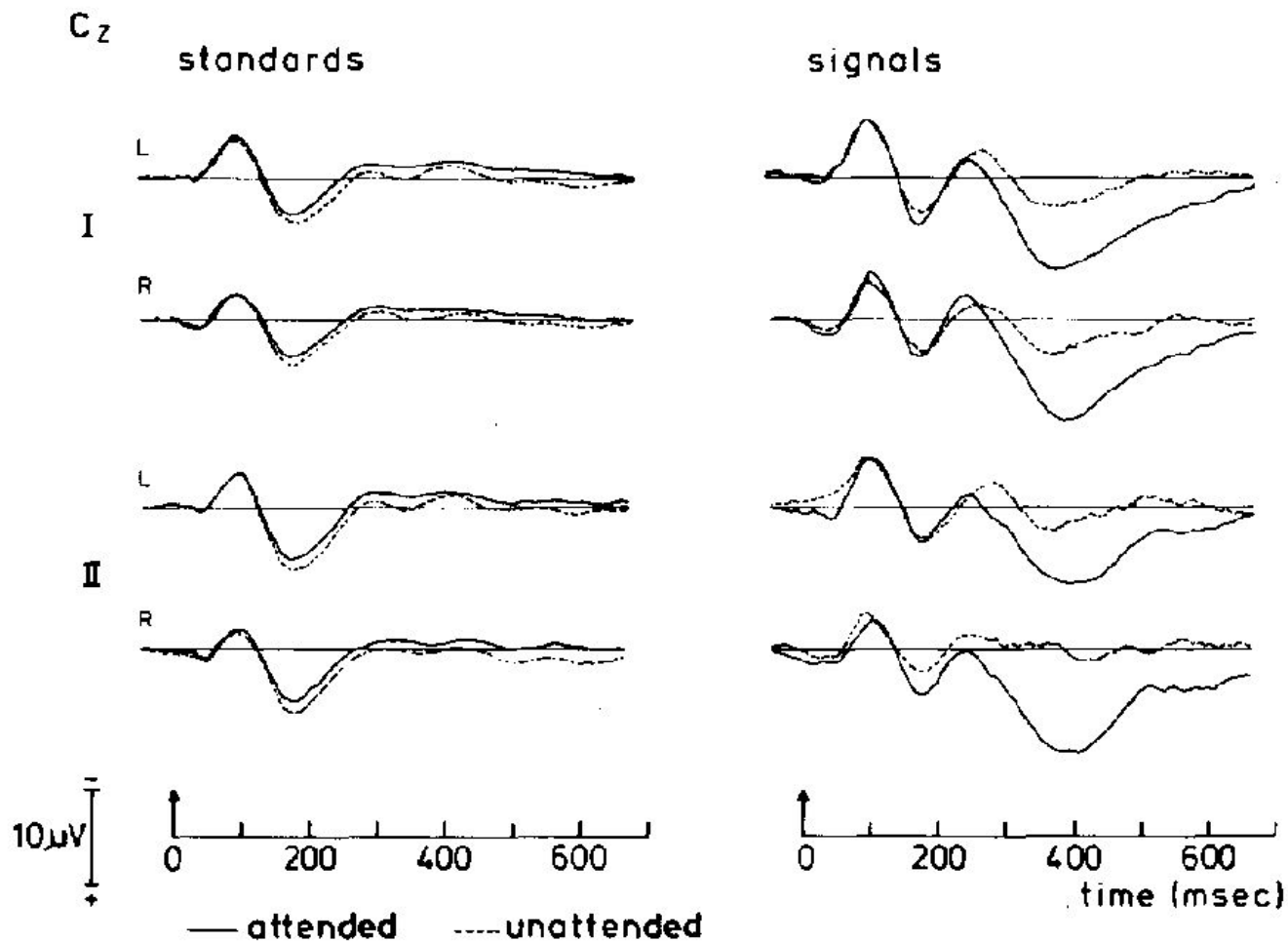
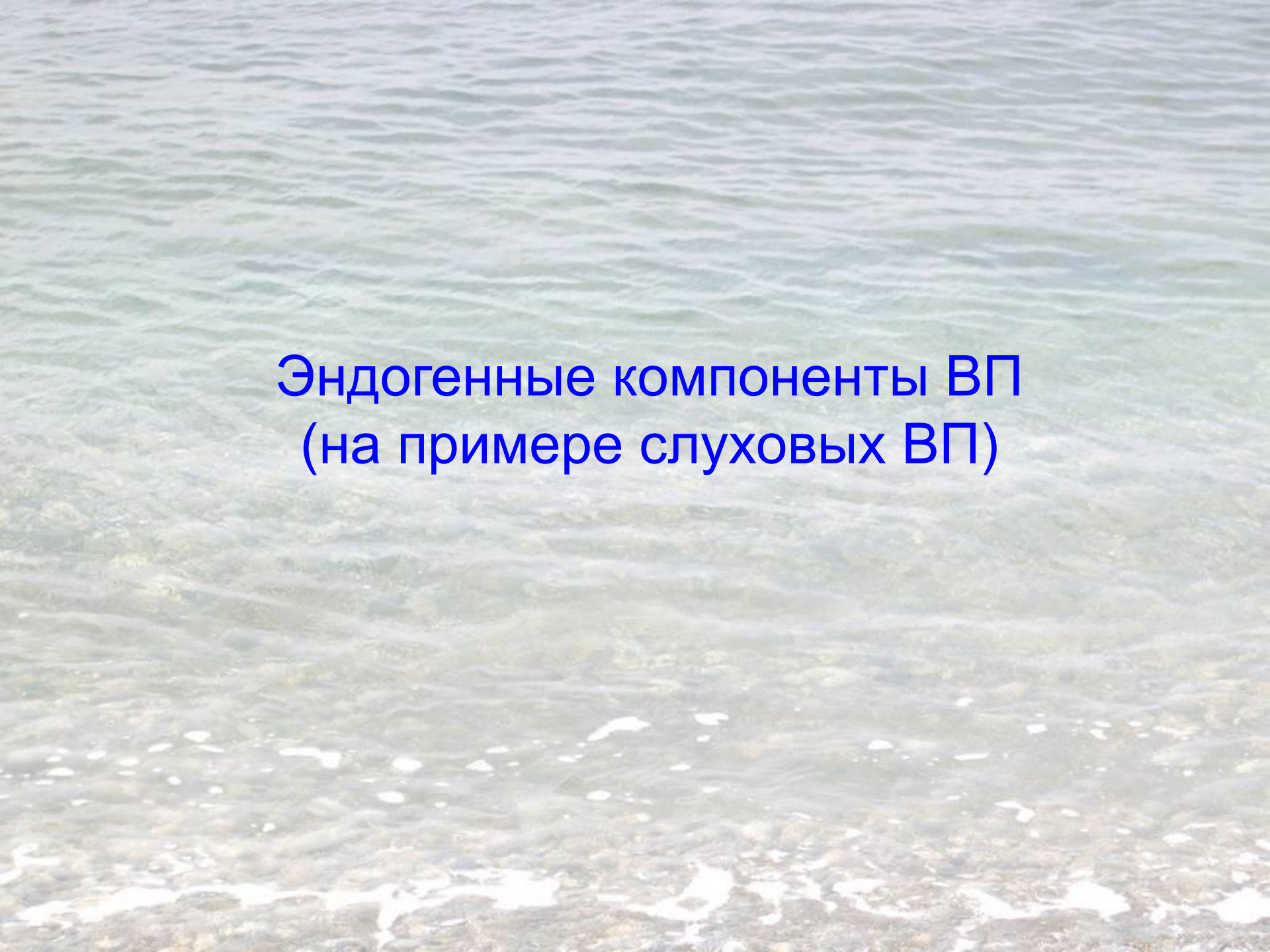


Fig. 1. Vertex EPs (averaged across Ss) to standards and signals separately for the left (L) and right (R) ear when attended and when unattended. I refers to Experiment 1, II to Experiment 2.

Процессная негативность (Naatanen, Gaillard, Mantysalo, 1978).

Дихотическое прослушивание. В эксперименте I девиантный стимул громче стандартного, в эксперименте II девиантный стимул выше по тону стандартного.

Показаны ВП на стандартные стимулы и на девиантные (названы здесь «сигналами»)



Эндогенные компоненты ВП  
(на примере слуховых ВП)



N2 и P3 являются в большей степени [эндогенными](#) процессами (особенно это относится к P3) – так как мало зависят от физических параметров стимулов, но в значительной степени определяются когнитивными процессами (классификация, опознание, запоминание, осознание и др.). Поскольку все эти когнитивные процессы зависят от внимания, то можно утверждать, что N2 и P3 отражают процессы [внимания](#).

N2 и P3 генерируются при участии большого количества ассоциативных полей коры больших полушарий, а также ряда подкорковых структур.

В одд-болле N2 и P3 возникают преимущественно (или исключительно) на целевые стимулы.

N2 возникает через 180-350 мс после включения стимула. Для того, чтобы подчеркнуть отличие от негативности рассогласования, иногда обозначают как N2b (есть и другие субкомпоненты семейства).

Слабо выражен на повторяющийся нецелевой стимул, и резко увеличивается в ответ на редкий целевой стимул (в методике одд-болл).

N2 связывают преимущественно с процессами идентификации стимула (а также отчасти с разрешением конфликтов - между альтернативными вариантами идентификации).

## **P3, или P300**

P3 возникает через 250 - 500 мс и более после включения стимула.

P3a – возникает при произвольном внимании. Имеет фронтальное распределение на скальпе.

P3b – возникает при произвольном внимании. Имеет фронто-париетальное распределение. Т.е. его максимум расположен кзади по отношению к максимуму P3a, а латентность больше.

P3 может возникнуть на пропущенный стимул, ожидавшийся испытуемым – т.е. в отсутствии реального физического стимула.

P3 связывают с «обновлением контекста памяти», осознанием стимула, его классификацией и др. (осознание подразумевает, что испытуемый может дать эксплицитный отчет о стимуле).

Латентность P3 увеличивается при повышении трудности задачи. Однако латентность P3 не связана с латентностью поведенческой реакции испытуемого! Поведенческая реакция испытуемого может иногда проявиться даже раньше P3!



**Негативность, связанная с ошибкой** (error-related negativity, ERN).

Выявляется в экспериментах, требующих идентификации стимулов, классификации, фланговая задача, go/no-go и т.п., в которых испытуемые делают значительное количество ошибок.

Достигает пика через 80-150 мс после ошибочного моторного ответа.

В его генерации принимает участие передняя поясная кора, а также дорсолатеральная префронтальная кора.

**Негативность, связанная с обратной связью об ошибке**  
(feedback-related negativity, feedback error-related negativity, FERN).

Возникает в ответ на сигнал обратной связи, сообщаящий испытуемому, что он совершил ошибку.



- Мы не рассмотрели ряд важных эндогенных компонентов:
- условная негативная волна (волна ожидания, E-волна)  
(CNV – contingent negative variation, expectancy wave);
  - потенциал готовности и др. потенциалы, связанные с движением;
  - и другие!



***Продолжение следует ...***