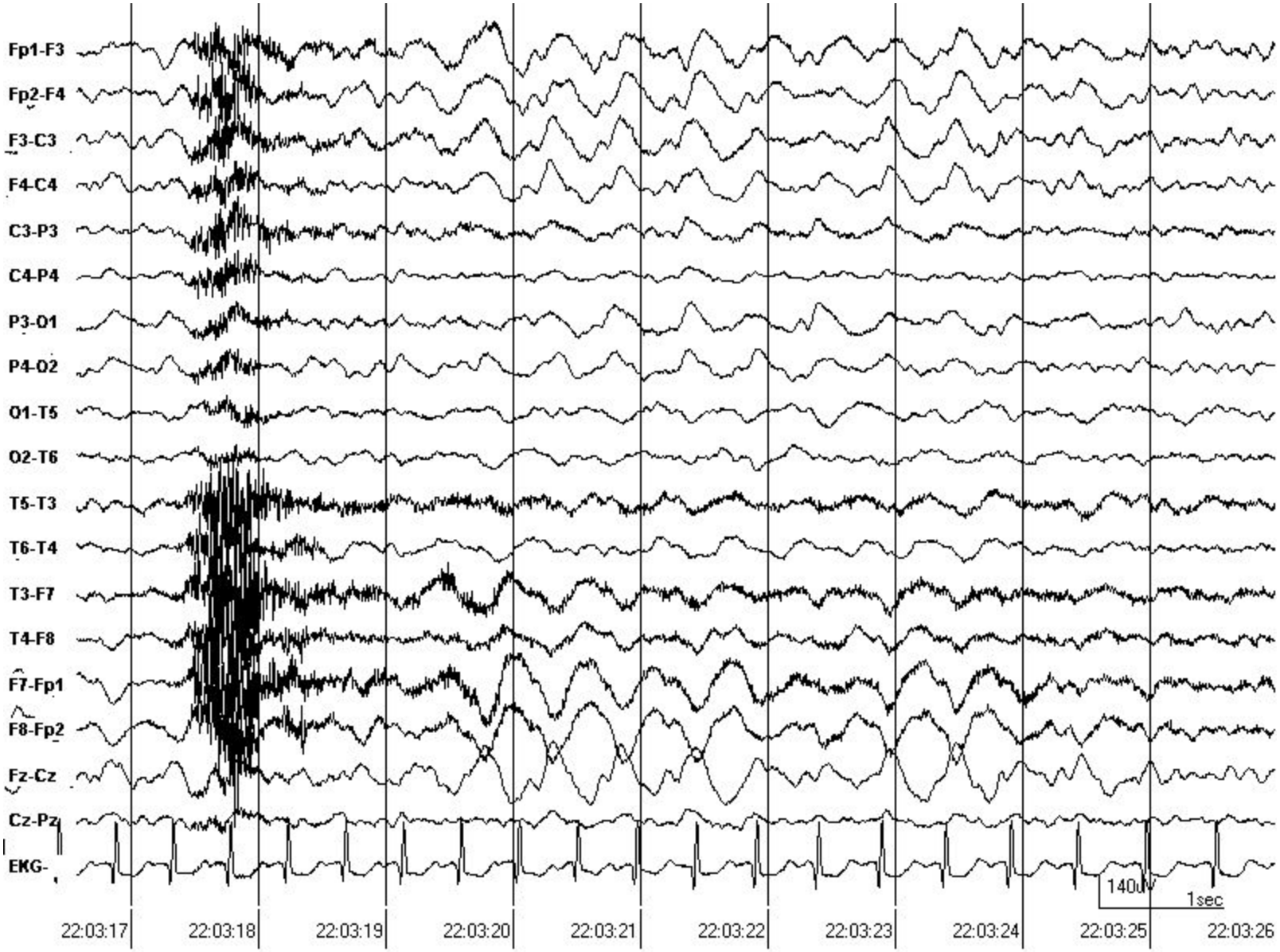
Частотно-временной анализ нейрофизиологических данных в исследованиях психических феноменов

Лекция 4. Методы анализа сигналов головного мозга

При записи ЭЭГ/МЭГ регистрируется суммарная электрическая/магнитная активность мозга.

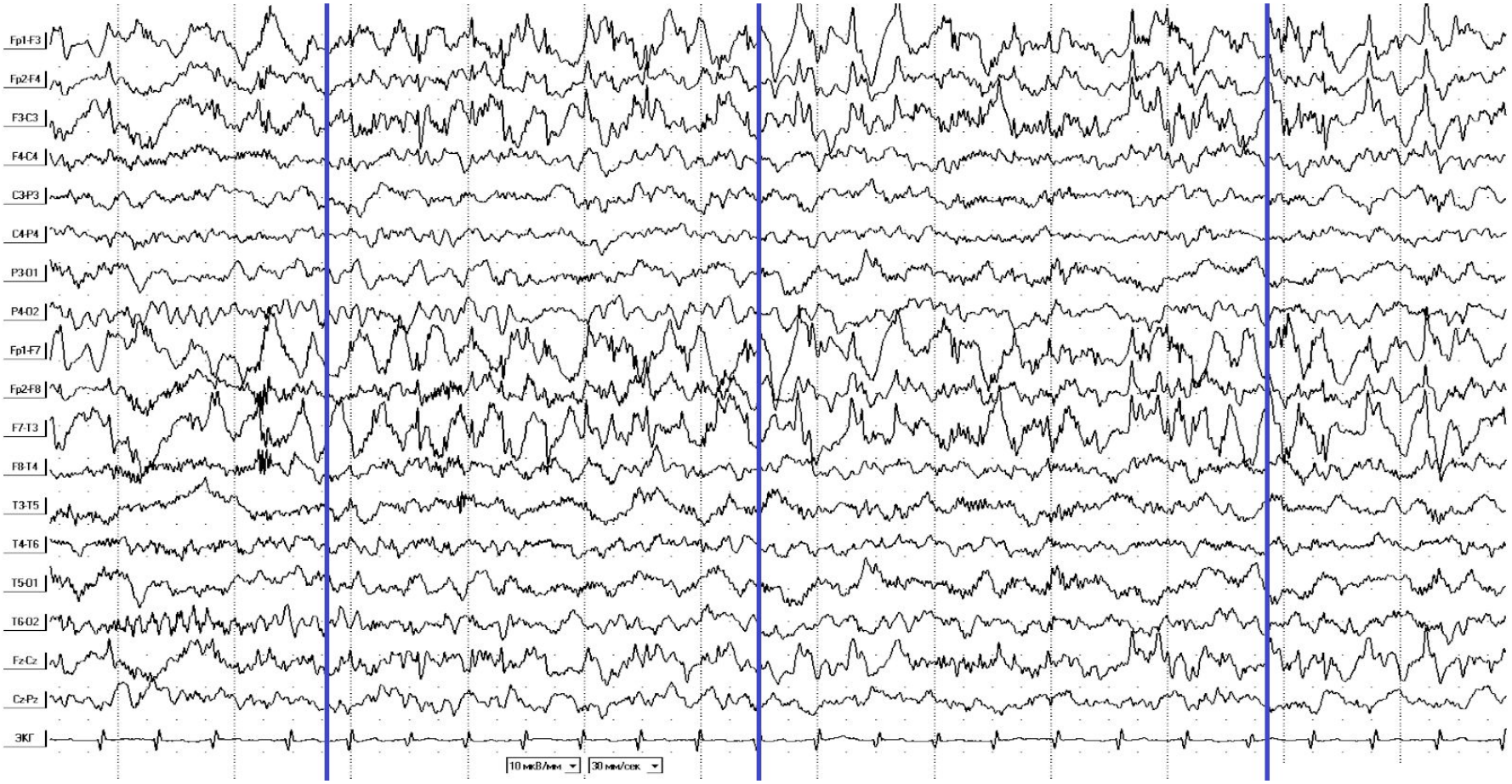
Помимо активности, связанной с выполняемой задачей («полезный сигнал»), в записи присутствует «посторонняя» активность, которая вызвана процессами, не связанными с выполнением задачи. И, наконец, в записи присутствуют посторонние шумы (мышечная активность, наводка от электрической сети, отбойный молоток через дорогу).

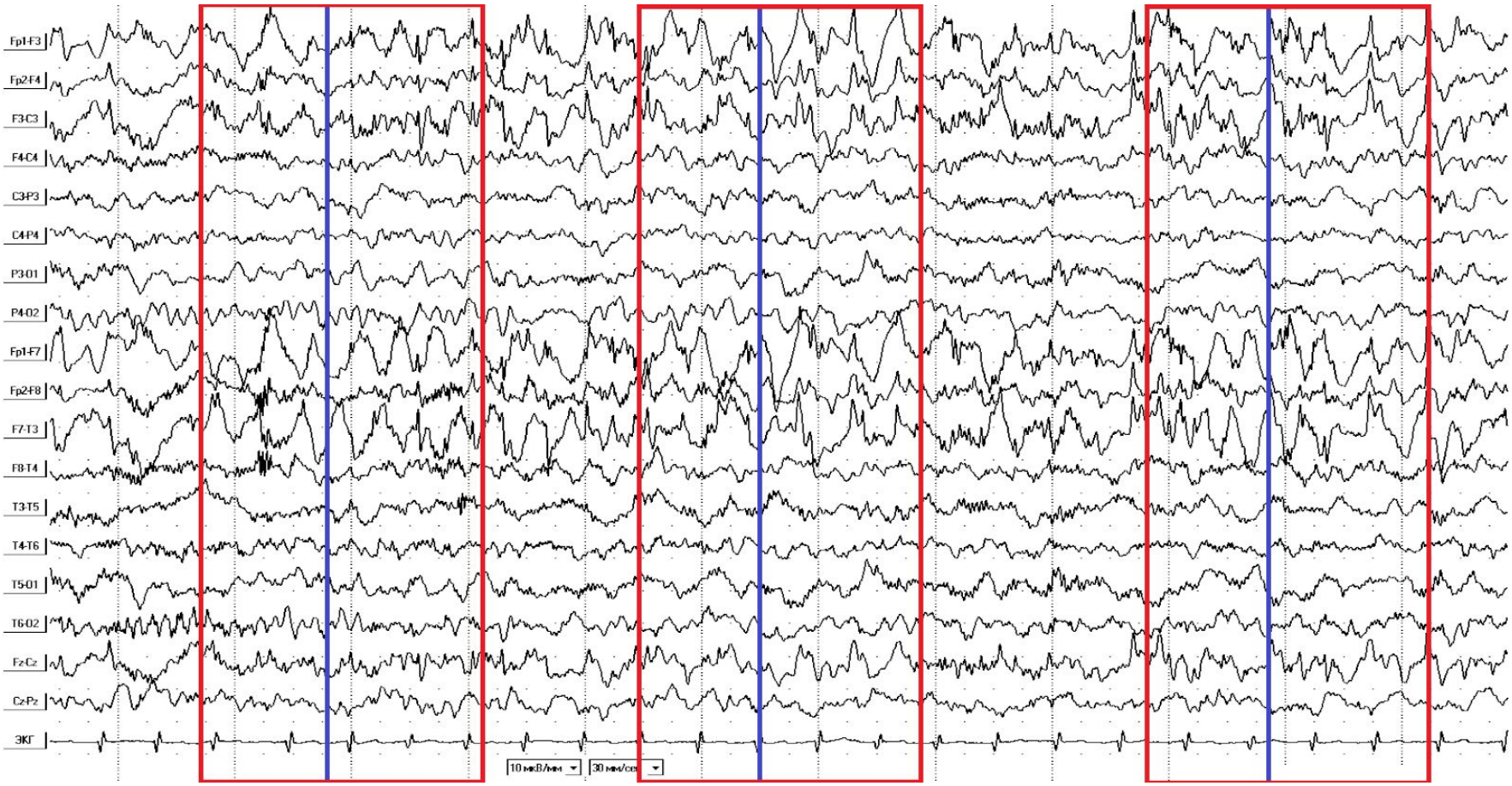

Fp1-F3
Fp2-F4
F3-C3
F4-C4
C3-P3
C4-P4
P3-O1
P4-O2
O1-T5
O2-T6
T5-T3
T6-T4
T3-F7
T4-F8
F7-Fp1
F8-Fp2
Fz-Cz
Cz-Pz
EKG-
140uV
1sec
22:03:17
22:03:18
22:03:19
22:03:20
22:03:21
22:03:22
22:03:23
22:03:24
22:03:25
22:03:26

Между полезным сигналом и шумом есть существенное различие: ответ мозга на стимуляцию синхронизирован с событием (напр., предъявление стимула), а шум – нет.

Таким образом, полезный сигнал можно вычленить из записи суммарной активности путем усреднения относительно меток события. После усреднения N эпох соотношение сигнал/шум увеличивается в $\sqrt{N}$ раз

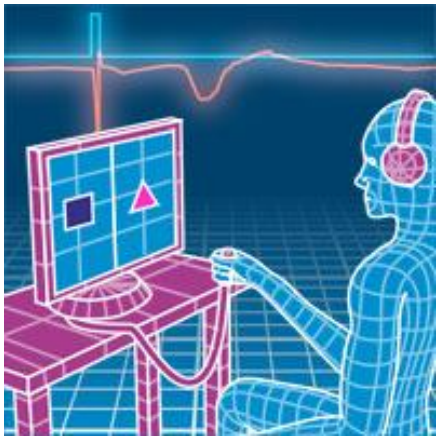
Такой метод анализа называется ВП (вызванные потенциалы/поля)


Fp1-F3
Fp2-F4
F3-C3
F4-C4
C3-P3
C4-P4
P3-O1
P4-O2
Fp1-F7
Fp2-F8
F7-T3
F8-T4
T3-T5
T4-T6
T5-O1
T6-O2
Fz-Cz
Cz-Pz
ЭКГ
10 мкВ/мм
30 мм/сек


Fp1-F3
Fp2-F4
F3-C3
F4-C4
C3-P3
C4-P4
P3-O1
P4-O2
Fp1-F7
Fp2-F8
F7-T3
F8-T4
T3-T5
T4-T6
T5-O1
T6-O2
Fz-Cz
Cz-Pz
ЭКГ
10 мкВ/мм
30 мм/сек

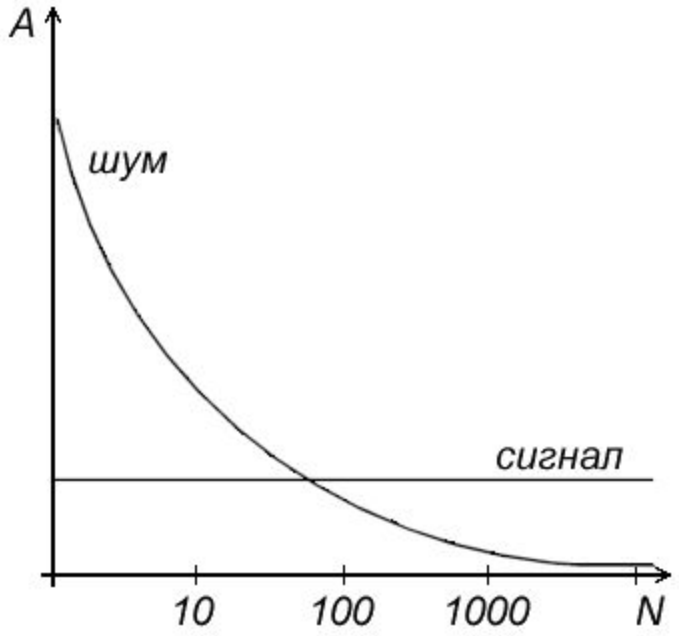
В зависимости от природы раздражителя регистрируют ***зрительные, слуховые, соматосенсорные, обонятельные и вкусовые*** ВП.

Запись ВП производится при помощи электроэнцефалографических электродов, расположенных на поверхности головы.



Метод ВП особенно эффективен в тех случаях, когда контакт с пациентом затруднен, например, при обследовании маленьких детей, при исследовании больных с нарушениями сознания. Этот метод применяют при исследовании деятельности мозга животных.

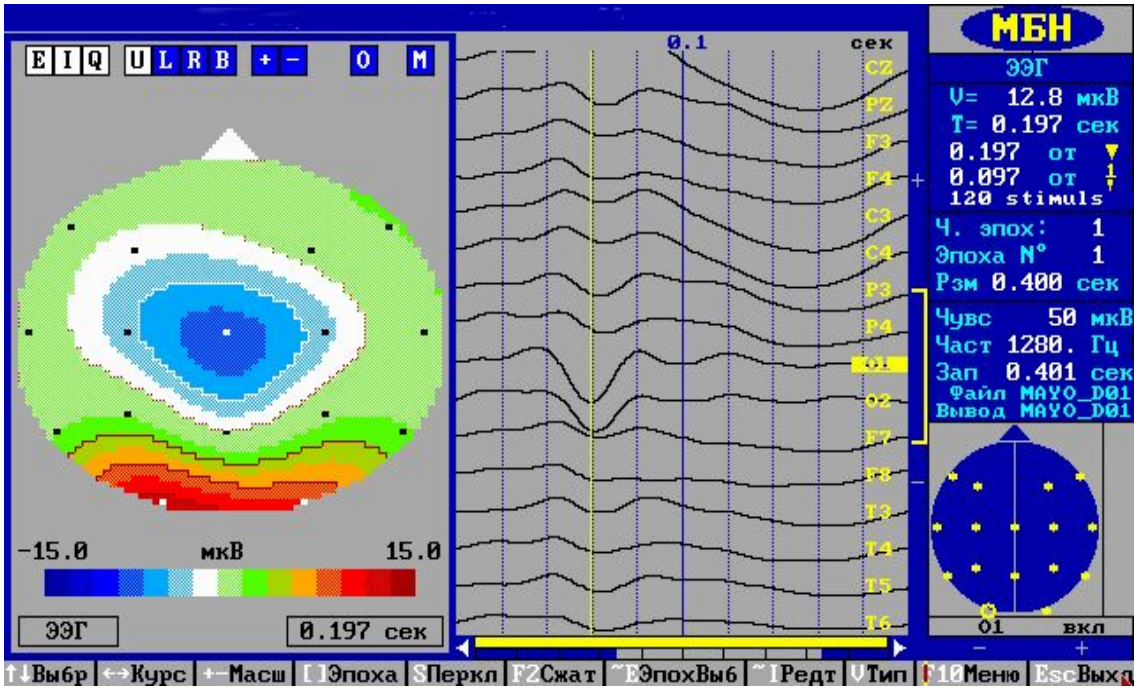
Для того чтобы выделить вызванный сигнал из шума (ЭЭГ и артефакты), обычно используют *методику синхронного усреднения.*



Изменение амплитуды сигнала ВП и шума при использовании методики синхронного усреднения (по Гнездицкому, 1997).

Отрезки ЭЭГ, следующие за подачей каждого стимула, суммируются по амплитуде. В результате колебания ВП, связанные со стимулом, накапливаются синфазно и дают прирост амплитуды. Колебания спонтанной ритмики при суммации попадают друг относительно друга в случайную фазу и увеличиваются по амплитуде значительно медленнее. Затем сумма амплитуд ответов делится на число суммаций.

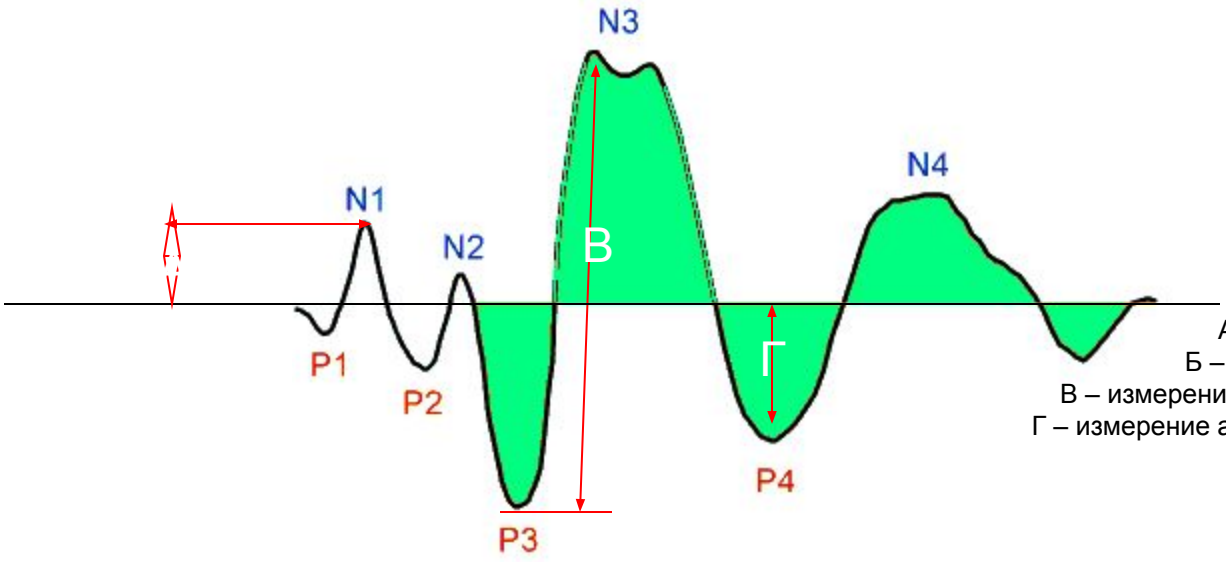
Для выделения зрительного ВП (ЗВП) используют различные условия стимуляции, например, вспышку света, шахматный паттерн и др. Обычно число усреднений, необходимых для выделения компонентов ЗВП не превышает 100.



Пример топографического картирования зрительного вызванного потенциала.

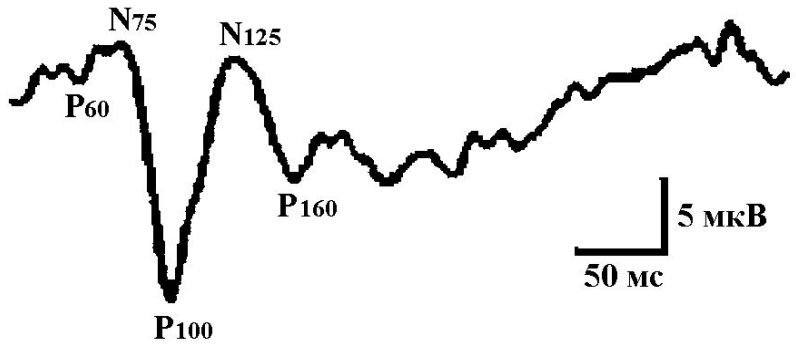
После усреднения приступают к анализу компонентов ВП.
Пиковая латентность (мс) – время от момента подачи стимула до максимума компонента, *амплитуда* (мкВ) – определяется либо от нулевой линии, либо от максимума предыдущего компонента («от пика до пика»).
Компоненты усредненного ВП часто принято обозначать по полярности: отклонение потенциала вверх от нулевой линии обозначается как негативный пик (N), вниз как позитивный (P).

Применяются разные способы обозначения компонентов ВП:
1. Латинскими буквами с индексами, которые обозначают среднюю латентность компонентов в миллисекундах: N75, P100, N125, P160 и т.д.
2. Латинскими буквами с номерами в виде индексов: N1, P1, N2, P2 и т.д.
3. Римскими цифрами в порядке возникновения: I, II, III, IV и т.д.



А - начало стимула
Б – пиковая латентность
В – измерение амплитуды «от пика до пика»
Г – измерение амплитуды пика от нулевой линии

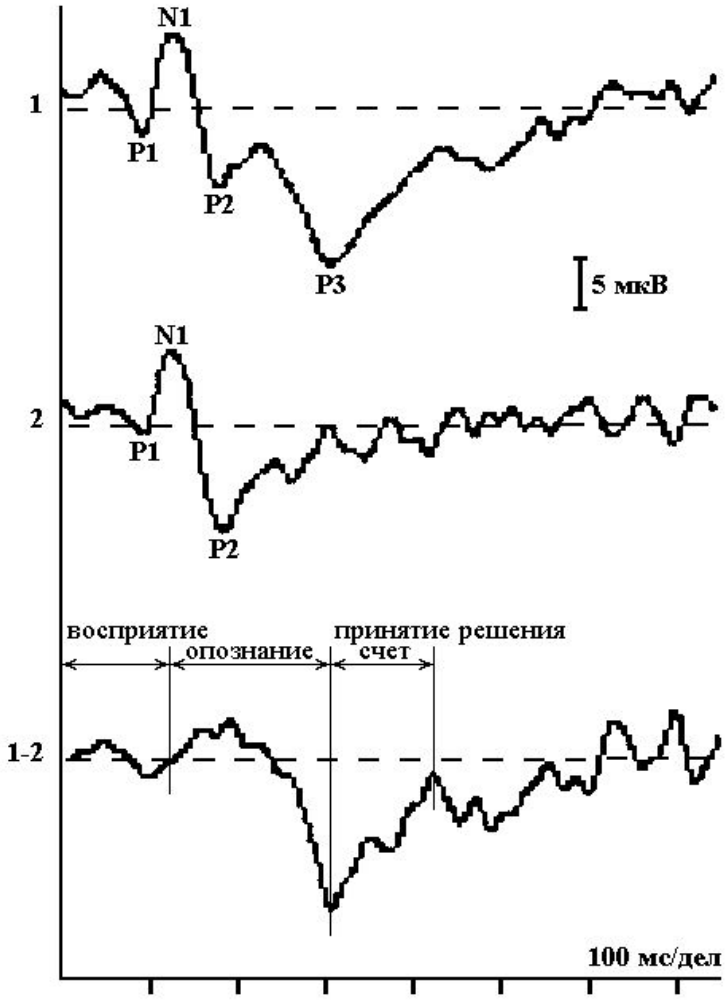
По времени возникновения компоненты ВП разделяют на *ранние* и *поздние*. В ЗВП ранними считают компоненты до 100 мс, а поздними - с латентностью свыше 100 мс



Пример ЗВП на вспышку при бинокулярной стимуляции. P60, N75, P100, N125, P160 – компоненты ЗВП.

Ранние компоненты зависят от физических параметров стимула; поздние отражают процессы переработки информации в мозге

Один из важнейших **эндогенных ВП** - волна **Р300 (когнитивный ВП).**



ВП на зрительные стимулы (выделение когнитивной составляющей ответа).

1 – ответ в условиях опознания «значимого» стимула: волна P1-N1-P2 – собственно ответ на стимул; P3 – когнитивный компонент P300.

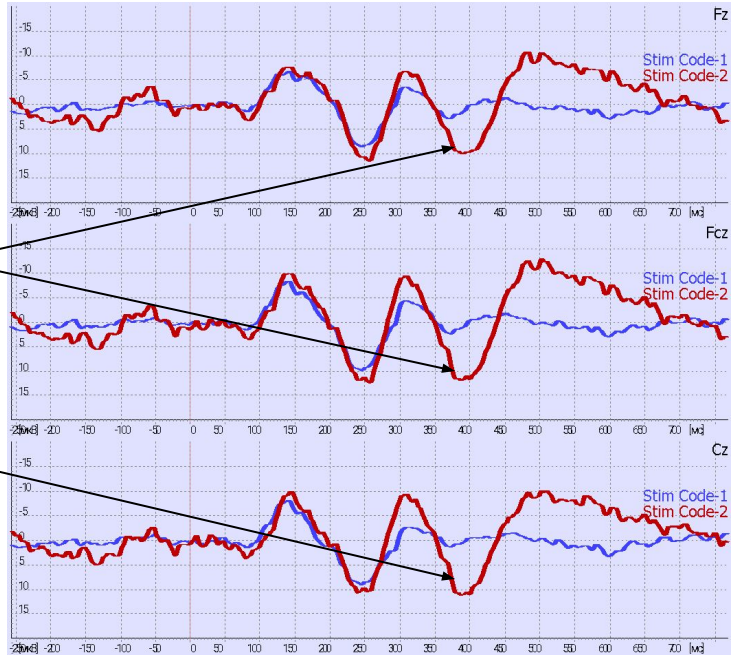
2 – ответ на тот же стимул без его опознания: волна P1-N1-P2.

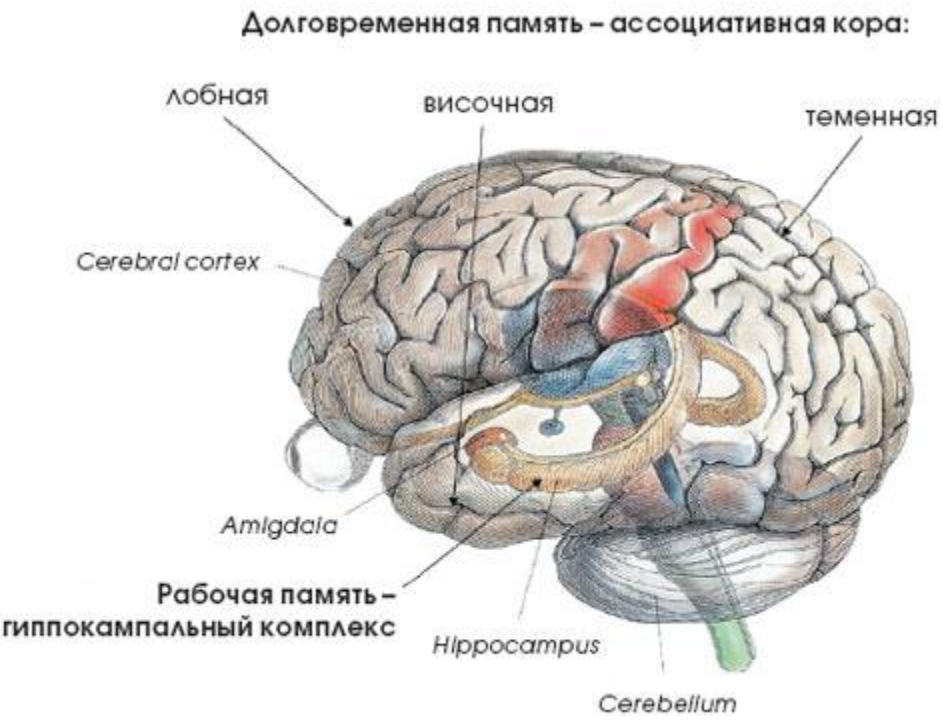
1-2 – разность между ответом в условиях распознавания стимула и ответом на этот же стимул в стандартных условиях без распознавания.

Как показано на рисунке, разность ответов на стимул в обычной серии и в серии с условием распознавания стимулов (разность 1-2) представляет собой волну, связанную с эндогенными событиями, происходящими в мозге при опознании «значимых» стимулов, их удержании в памяти (запоминании), счете, принятии решения, т.е. с событиями, связанными с когнитивными функциями мозга.

Общепринятой является гипотеза Е.Дончина (Donchin, Coles, 1988), согласно которой Р300 отражает процесс обновления контекста, т.е. переформирования прогноза, модели окружающей среды. Существуют также теории, связывающие Р300 с ожиданием, памятью и другими явлениями.

Слуховые вызванные потенциалы (СВП). Синим цветом показаны СВП на частый стимул. Красным – на редкий. Волна Р300 в лобных и центральных отведениях



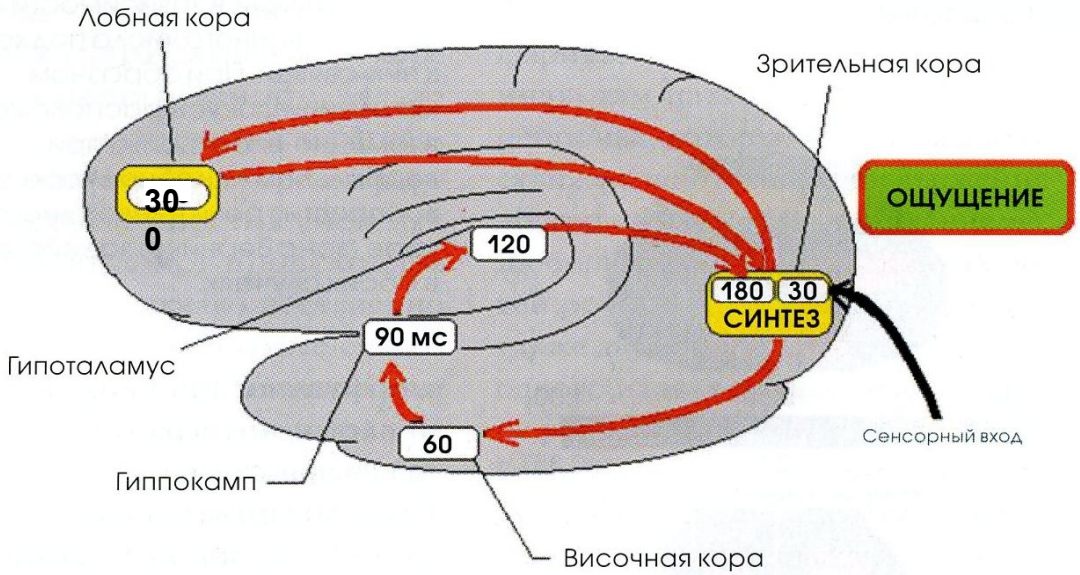


До настоящего времени нет однозначных данных о том, какие структуры мозга участвуют в генезе P300. С одной стороны, потенциалы большой амплитуды, такие как P300, должны иметь обширные, синхронные и преимущественно корковые источники (по-видимому, лобные и теменные области коры). В то же время, запись с помощью микроэлектродов, погруженных в кору, и применение магнитоэцефалографического метода позволили выявить дополнительный источник генерации P300 в гиппокампе – структуре, тесно связанной с памятью. Кроме того, к структурам, связанным с генерацией P300, следует отнести таламус.

Методика «одд-болл» (парадигма необычного стимула), используется для изучения селективного внимания. Объекту исследования в случайном порядке предъявляют последовательность из двух стимулов, различающихся по какому-либо параметру (например, по высоте звукового тона), причем вероятность появления одного стимула существенно ниже, чем другого.

… S2, S2, S2посл. перед целевым стимулом**, <u>S1</u>, S2, S2, S2, S2**посл**, <u>S1</u>, S2, …**

Согласно предположению С.Саттона, предъявление редкого стимула нарушает ожидание, складывающееся после нескольких повторений частого стимула. Согласно теории Е. Н.Соколова появление редкого стимула ведет к рассогласованию с существующей нервной моделью, что приводит к возникновению ориентировочной реакции.



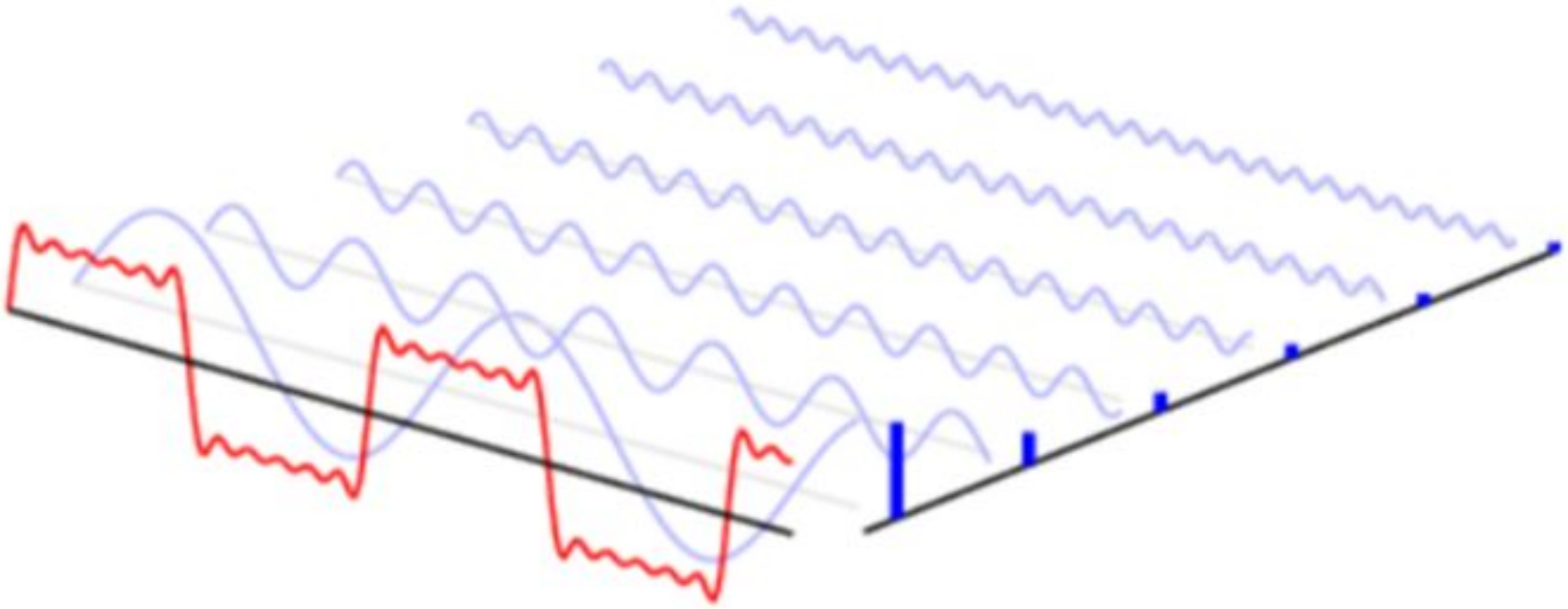
Приблизительная схема распространения зрительной информации в мозге (А.М. Иваницкий с изменениями)

При реализации одд-болла Р300 стабильно возникает в ответ на редкий стимул. Хотя сначала анализ стимула по его физическим характеристикам происходит в соответствующих проекционных зонах, далее происходит передача возбуждения в подкорковые центры мотиваций и эмоций, откуда возбуждение вновь направляется к коре. Таким образом, создаются условия для синтеза всей информации о стимуле, включая как его физические характеристики, так и его эмоционально-мотивационную значимость. Согласно гипотезе А.М.Иваницкого, именно этот процесс проявляется в ЭЭГ в виде генерации волны Р300.

Частотно-временной анализ данных ЭЭГ/МЭГ

С одной стороны, можно анализировать активность, непосредственно связанную с некоторым событием. С другой стороны, можно измерить изменения частотного состава сигнала в ответ на событие (например, снижение альфа-ритма).

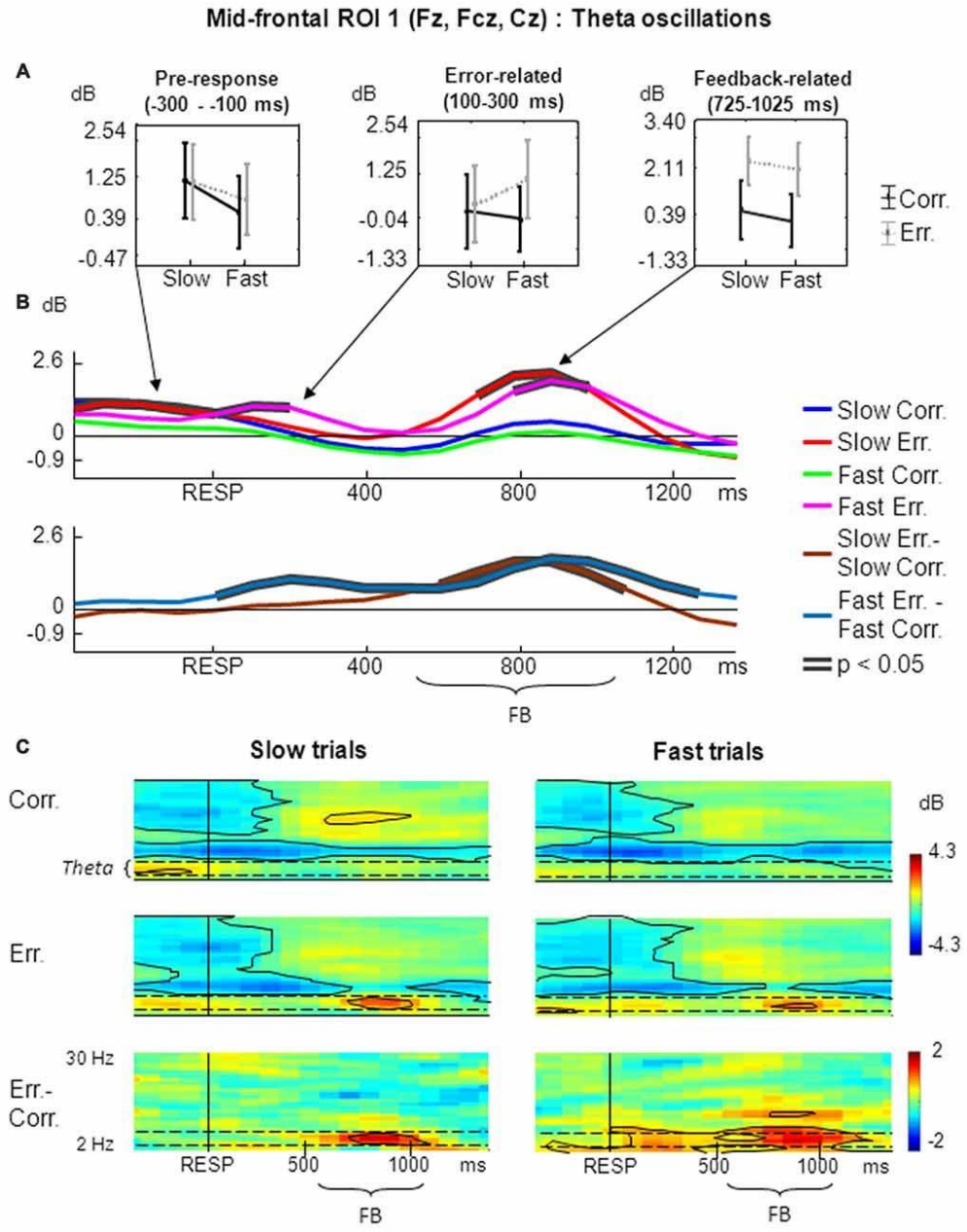
Для того, чтобы это сделать, необходимо разложить полный сигнал на колебания различных частот (преобразование Фурье), после чего усреднить полученные данные по эпохам отдельно по каждой частоте



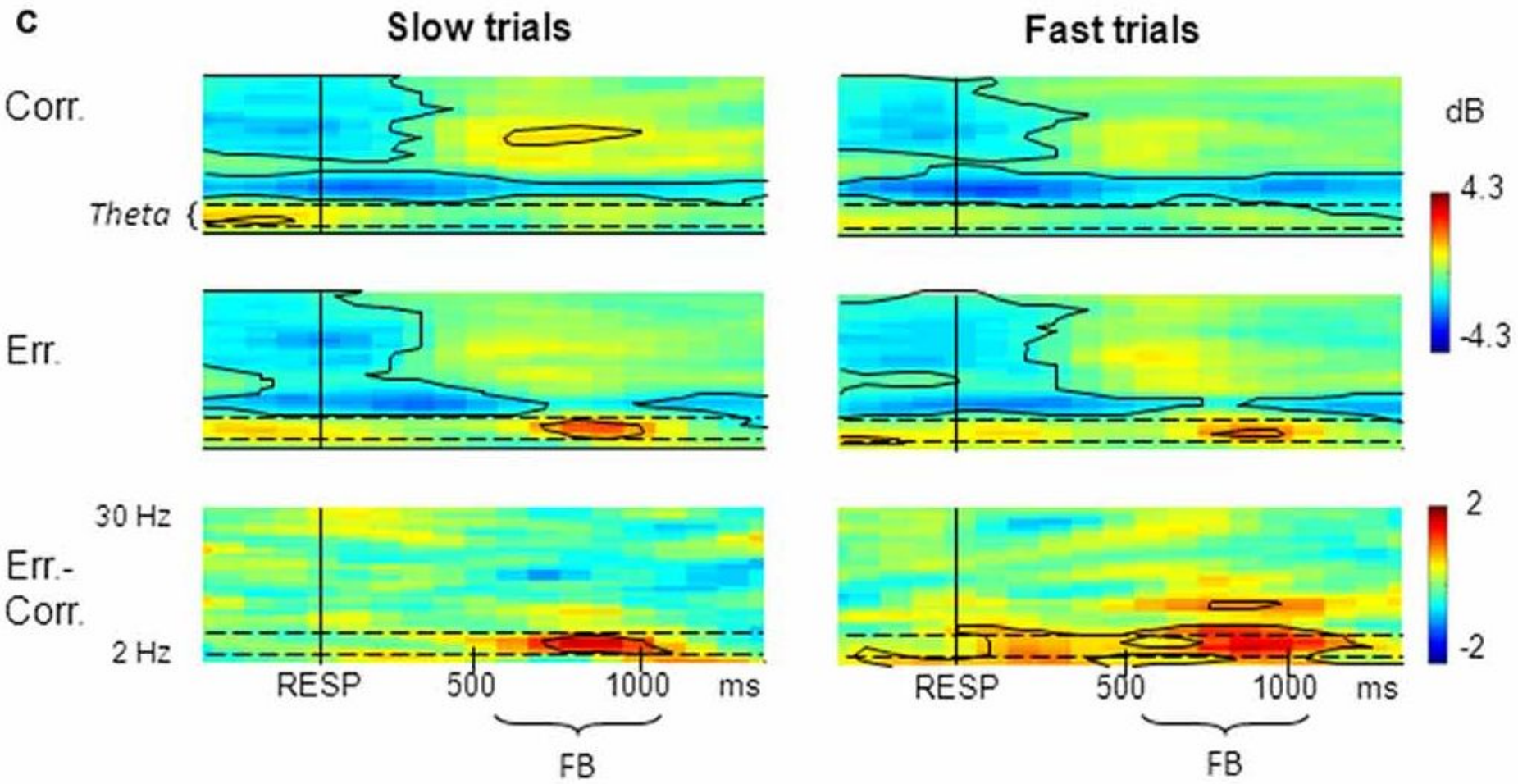
Основные ритмы в ЭЭГ:

Дельта-ритм (1-4 Гц)
Тета-ритм (4-8 Гц)
Альфа (8-13 Гц)
Бета (13-30 Гц)
Гамма (30+ Гц)

Как правило, при частотно-временном анализе рассматриваются не отдельные частоты, а отдельные ритмы



Данные частотно-временного анализа визуально представляются в виде цветного графика.
Ось X – время
Ось Y – частота
Мощность соответствующей частоты закодирована цветом (от синего к красному)


c
Slow trials
Fast trials
Corr.
Theta
Err.
Err.-
Corr.
30 Hz
2 Hz
dB
4.3
-4.3
2
-2
RESP
500
1000
ms
FB
RESP
500
1000
ms
FB