

***ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА ЭЭГ
И
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКАЯ
СЕМИОТИКА***

Анализ ЭЭГ не представляет собой выделенной во времени процедуры, а совершается по существу уже в процессе записи. Анализ ЭЭГ во время записи необходим для контроля за ее качеством, а также для выработки стратегии исследования в зависимости от получаемой информации. Данные анализа ЭЭГ в процессе записи определяют необходимость и возможность проведения тех или иных функциональных проб, а также их продолжительность и интенсивность.

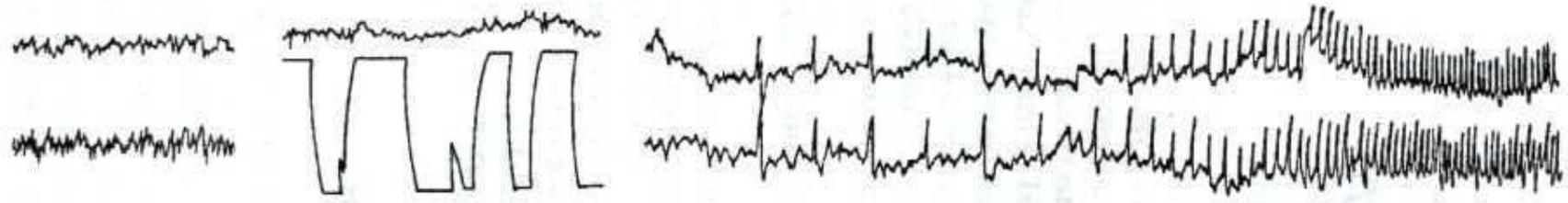
Анализ ЭЭГ складывается из трех взаимосвязанных компонентов

1. Оценка качества записи и дифференциация артефактов от собственно электроэнцефалографических феноменов.
2. Частотная и амплитудная характеристика ЭЭГ, выделение характерных графоэлементов на ЭЭГ (феномены «острая волна», «спайк», «спайк-волна» и др.), определение пространственного и временного распределения этих феноменов на ЭЭГ, оценка наличия и характера переходных явлений на ЭЭГ, таких как «вспышки», «разряды», «периоды» и др., а также определение локализации источников различного типа потенциалов в мозге.
3. Физиологическая и патофизиологическая интерпретация данных и формулирование диагностического заключения.

Артефакты

Артефакты на ЭЭГ по своему происхождению могут быть разделены на две группы - физические и физиологические.

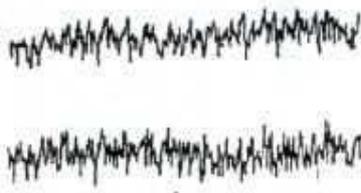
- Физические артефакты обусловлены нарушениями технических правил регистрации ЭЭГ и представлены несколькими видами электрографических феноменов
- Физиологические артефакты связаны с проявлениями жизнедеятельности организма.



1

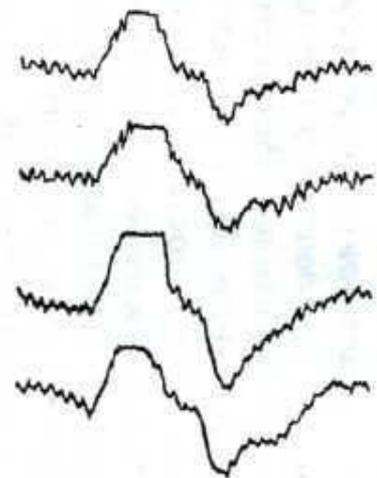
2

3

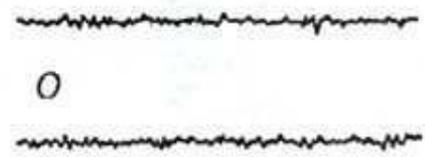


4

5



6



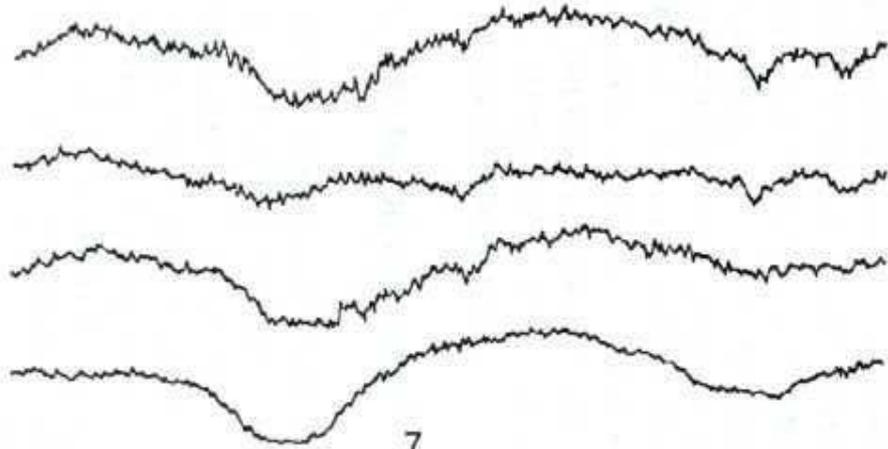
O

P

C

F

8



7

50мкВ | Tc

Артефакты

Артефакты

1. Наводка сетевого тока 50 ГЦ на нижнем канале
2. Артефакты движения электрода на нижнем канале
3. Артефакты лампы стимулятора
4. Электромиограмма
5. Артефакт ЭКГ
6. Артефакт потенциала, связанного с глотательным движением
7. Артефакт электрокожного потенциала
8. Артефакт движения глаз

Электроэнцефалографическая семиотика

Основным медицинским документом по ЭЭГ является клинико-электроэнцефалографическое заключение, написанное специалистом с высшей сертификацией по клинической нейрофизиологии.

Описательные и интерпретативные термины

При написании клинико-электроэнцефалографического заключения используют *описательные и интерпретативные термины*.

Описательные термины характеризуют *внешние, количественные или качественные свойства активности*, без придания им определенного нейрофизиологического или клинического значения.

Например, описательному выражению «*высокочастотная низкоамплитудная активность*» соответствует интерпретативный нейрофизиологический эквивалент «*десинхронизация*», а интерпретативным клиническим эквивалентом будет «*дисфункция неспецифических стволовых структур*».

АКТИВНОСТЬ

Одним из важных описательных терминов является «*активность*», определяющая любую последовательность волн в ЭЭГ.

Характер активности определяется или *количественно по частоте и амплитуде* (α -активность, высокоамплитудная активность и др.), или *характеризуется описательно* (активность типа спайк-волна, активность типа острых волн).

В некоторых контекстах термин «активность» может использоваться как интерпретативный - «эпилептиформная активность».

Примером интерпретативных терминов является «ритм»: *« α -ритм»*, *«фронтальный θ -ритм средней линии»*, подразумевающий связь с определенными физиологическими или патофизиологическими механизмами.

Не рекомендуется использовать термин «ритм», который всегда является интерпретативным, в качестве синонима понятия «активность» в описательном смысле.

Как для всякого колебательного процесса, основными понятиями, на которые опирается характеристика ЭЭГ, являются *частота, амплитуда и фаза.*

Частота

- Частота определяется *количеством колебаний в секунду*, ее записывают соответствующим числом и выражают в *герцах (Гц)*.
- Поскольку ЭЭГ представляет собой вероятностный процесс, на каждом участке записи встречаются, строго говоря, волны различных частот, поэтому в заключение приводят *среднюю частоту оцениваемой активности*.
- Обычно берут 4-5 отрезков ЭЭГ длительностью 1 с и сосчитывают количество волн на каждом из них. Средняя из полученных данных будет характеризовать частоту соответствующей активности на ЭЭГ

Амплитуда

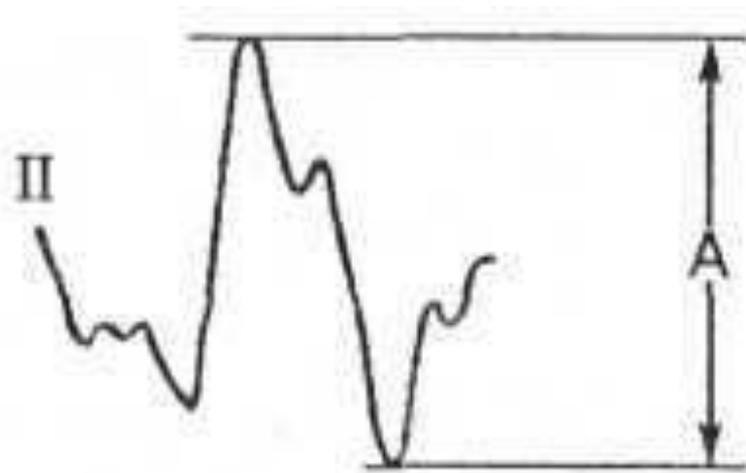
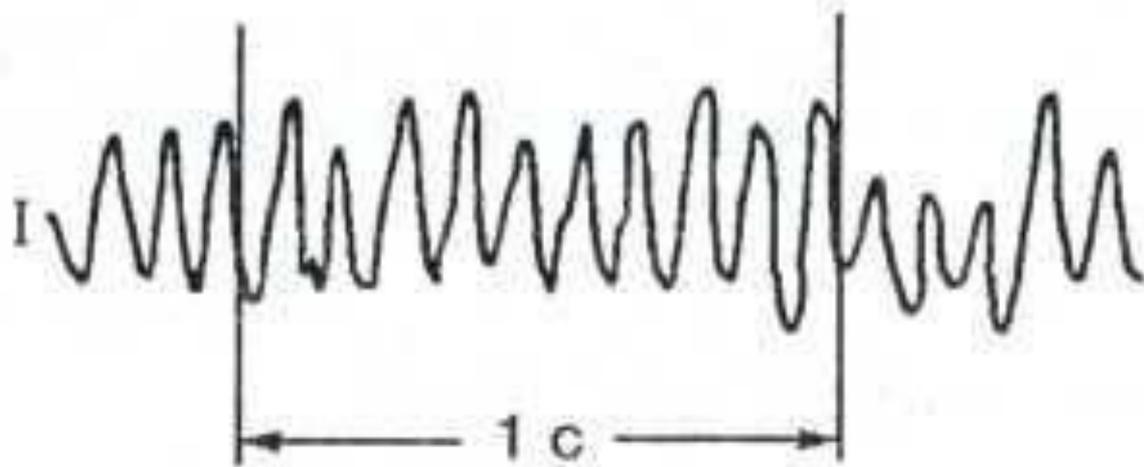
Амплитуда - размах колебаний электрического потенциала на ЭЭГ, ее измеряют от пика предшествующей волны до пика последующей волны в противоположной фазе, оценивают амплитуду в микровольтах (мкВ).

Для измерения амплитуды используют калибровочный сигнал. Так, если калибровочный сигнал, соответствующий напряжению 50 мкВ, имеет на записи высоту 10 мм, то соответственно 1 мм отклонения пера будет означать 5 мкВ.

Измерив амплитуду волны ЭЭГ в миллиметрах и помножив ее на 5 мкВ, получим амплитуду этой волны.

Измерение частоты (I) и амплитуды (II) на ЭЭГ.

Частота измеряется как число волн в единицу времени (1 с). А — амплитуда.



Фаза

Фаза определяет текущее состояние процесса и указывает направление вектора его изменений. Некоторые феномены на ЭЭГ оценивают количеством фаз, которые они содержат. Монофазным называется колебание в одном направлении от изоэлектрической линии с возвратом к исходному уровню, двухфазным — такое колебание, когда после завершения одной фазы кривая переходит исходный уровень, отклоняется в противоположном направлении и возвращается к изоэлектрической линии. Полифазными называют колебания, содержащие три и более фаз.

В более узком смысле термином «полифазная волна» определяют последовательность α - и медленной (обычно δ -) волны.

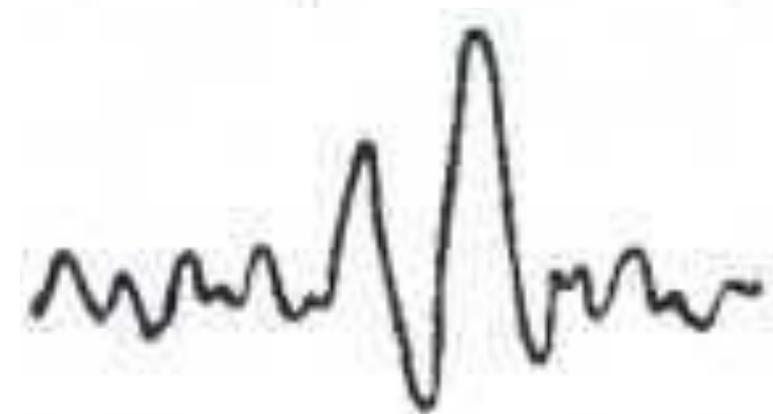
Монофазный спайк (1), двухфазное колебание (2), трехфазное (3), полифазное (4)



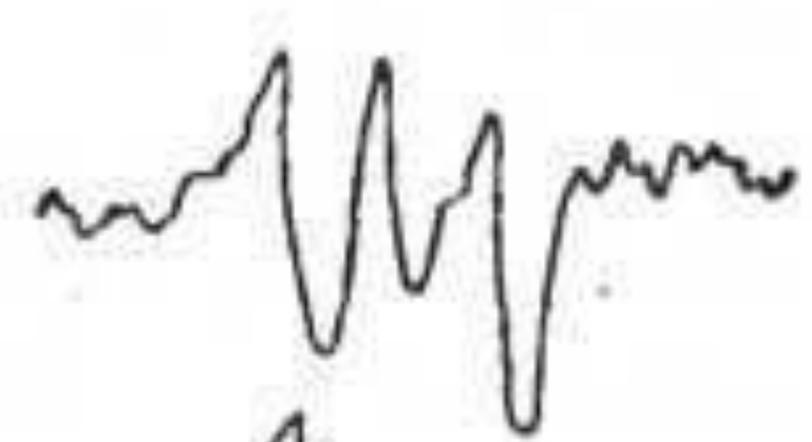
1



2



3



4

Ритм

- Под понятием «ритм» на ЭЭГ подразумевается определенный тип электрической активности, соответствующий некоторому определенному состоянию мозга и связанный с определенными церебральными механизмами. Соответственно при описании ритма указывается его частота, типичная для определенного состояния и области мозга, амплитуда и некоторые характерные черты его изменений во времени при изменениях функциональной активности мозга.
- В связи с этим представляется целесообразным при описании основных ритмов ЭЭГ связывать их с некоторыми состояниями человека.

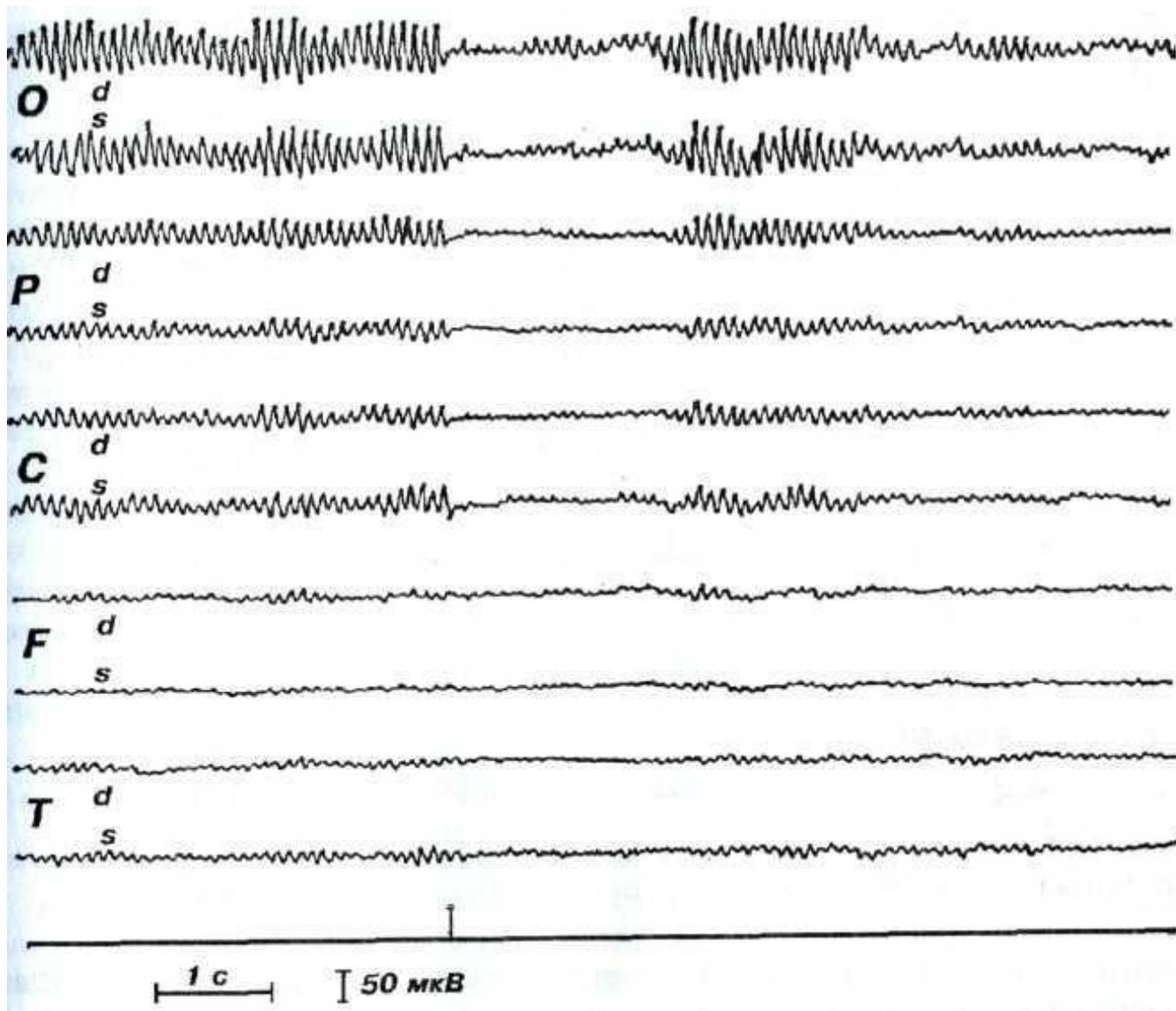
*Ритмы ЭЭГ взрослого
бодрствующего человека*

Альфа (α)-ритм

- Частота - *8-13 Гц*, амплитуда - *до 100 мкВ*.
- Регистрируется у 85-95% здоровых взрослых.
- Лучше всего выражен в *затылочных отделах*, по направлению кпереди амплитуда его постепенно уменьшается.
- *Наибольшую амплитуду α-ритм имеет в состоянии спокойного расслабленного бодрствования, особенно при закрытых глазах в затемненном помещении.*
- Его амплитуда, хотя и является в среднем относительно постоянным параметром для данного индивидуума, весьма существенно колеблется во времени.
- Регулярно наблюдаются спонтанные изменения амплитуды, так называемые модуляции α-ритма, выражающиеся в чередующемся нарастании и снижении амплитуды волн с образованием характерных *«веретен»*, длительность которых чаще всего колеблется от 2 до 8 с.

- *При повышении уровня функциональной активности мозга (напряженное внимание, интенсивная психическая работа, чувство страха, беспокойство) амплитуда α -ритма уменьшается, и часто он полностью исчезает.*
- *На ЭЭГ появляется высокочастотная нерегулярная активность.*
- Автоматический анализ показывает, что в спектре мощности ЭЭГ исчезает доминантный пик в области α -ритма и спектр уплощается с равномерным распределением мощности по всем основным частотам, что подтверждает физиологическую интерпретацию этого феномена как *десинхронизацию активности нейронов.*

- При кратковременном, внезапно возникающем на фоне покоя внешнем *раздражении* (особенно вспышке света) эта десинхронизация возникает резко, и в случае, если раздражение не носит эмоциогенного характера, *наблюдается достаточно быстро (через 0,5-2 с) восстановление α -ритма.*
- Такая реакция на ЭЭГ имеет несколько названий в зависимости от значения, которое в нее вкладывается: *«реакция активации», «ориентировочная реакция», «реакция угашения α -ритма», «реакция десинхронизации».*



ЭЭГ взрослого бодрствующего человека. Регулярный α -ритм, модулированный в веретена, лучше всего выраженный в теменно-затылочных отделах.

Реакция активации на вспышку света

- Реакция активации возникает как следствие появления нового фактора в окружающей обстановке, требующего дополнительной мобилизации активности организма и ориентации его в новой ситуации.
- При повторных предъявлениях одного и того же стимула реакция активации постепенно слабеет и через некоторое время практически полностью угасает.
- Скорость угасания реакции зависит от субъективной значимости стимула, а также от внутреннего состояния организма, в связи с чем она может служить в определенных ситуациях мерой оценки состояния мозга.

Бета(β)-ритм

- Частота - **14-40 Гц**, амплитуда - до **15 мкВ**.
- Лучше всего β -ритм регистрируется в области передних центральных извилин, однако распространяется и на задние центральные и лобные извилины.
- На ЭЭГ, отведенной от скальпа, в норме он весьма слабо выражен и в большинстве случаев имеет амплитуду 3-7 мкВ, т.е. всего в 2-3 раза превышает относительный уровень собственных шумов усилителя электроэнцефалографа, а при наличии артефактов ЭМГ может ими полностью маскироваться, β -ритм связан с соматическими, сенсорными и двигательными корковыми механизмами и дает реакцию на двигательную активацию или тактильную стимуляцию.
- При выполнении или даже умственном представлении движения β -ритм исчезает в зоне соответствующей корковой проекции.

γ-ритм

- Активность с частотой *40-70 Гц* и *амплитудой 5-7 мкВ* иногда называют *γ-ритмом*.
- Поскольку столь быстрые колебания при весьма низкой амплитуде не могут быть достаточно эффективно воспроизведены электроэнцефалографами, использующими механические системы регистрации, этот ритм существенного клинического значения не имеет.
- Международная электроэнцефалографическая классификация рекомендует исключить понятие *γ-ритма* из употребления и использовать вместо этого выражение *«высокочастотный β-ритм»*

Мю(μ)-ритм

- Частота - *8-13 Гц*, амплитуда - *до 50 мкВ*.
- μ ритм, называемый также wicket (англ.), - аркообразный ритм, имеет параметры, совпадающие с параметрами нормального α -ритма, и отличается от него некоторыми физиологическими свойствами и топографией.
- Визуально регистрируемый μ -ритм наблюдается у относительно небольшого числа индивидуумов (5-15%) и регистрируется *в роландической области*, т.е. соответственно распределению β -ритма.
- Активируется μ -ритм во время *умственной нагрузки и психического напряжения*.

- Аналогично β -ритму, μ -ритм снижается (или в небольшом числе случаев нарастает) по амплитуде при двигательной активации или соматосенсорной стимуляции, в связи с чем его еще называют «сензоримоторным ритмом».
- Поскольку он обычно имеет низкую амплитуду и при визуальном анализе в большинстве случаев неотличим от α -ритма, он не имеет большого клинического значения.
- Однако применение компьютерных методов анализа с использованием цифровой фильтрации, усреднения, поперечных биполярных отведений и функциональных двигательных проб позволяет регулярно регистрировать его у всех пациентов, а его специфическая привязанность к области сензомоторной коры делает его особенно чувствительным к нарушениям кровообращения в русле средней мозговой артерии, питающей эти отделы мозга

*Виды активности,
патологические для взрослого
бодрствующего человека*

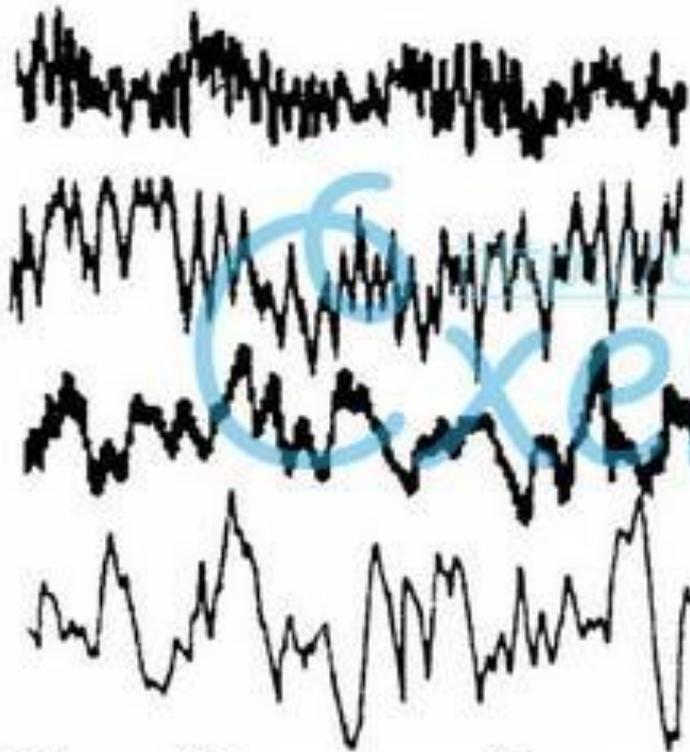
Тета(θ)-активность

Частота - 4-6 Гц, амплитуда патологической активности превосходит 40 мкВ и чаще всего превышает амплитуду нормальной электрической активности мозга, достигая при некоторых патологических состояниях 300 мкВ и более

Дельта(δ)-активность

- Частота — *0,5-3 Гц*, амплитуда такая же, как у *θ -активности*.
- θ и δ -колебания могут в небольшом количестве и при амплитуде, не превышающей амплитуду α -ритма, встречаться на ЭЭГ взрослого бодрствующего человека.
- В этом случае они указывают на определенное снижение уровня функциональной активности мозга.
- Патологическими считают ЭЭГ, содержащие θ - и δ -колебания, превышающие по амплитуде 40 мкВ и занимающие более 15% от общего времени регистрации.

Основные ритмы ЭЭГ



- Бета-ритм — 14—18 гц

- Альфа-ритм — 8—13 гц

- Тета-ритм — 4—7 гц

- Дельта-ритм — 0,5—3 гц

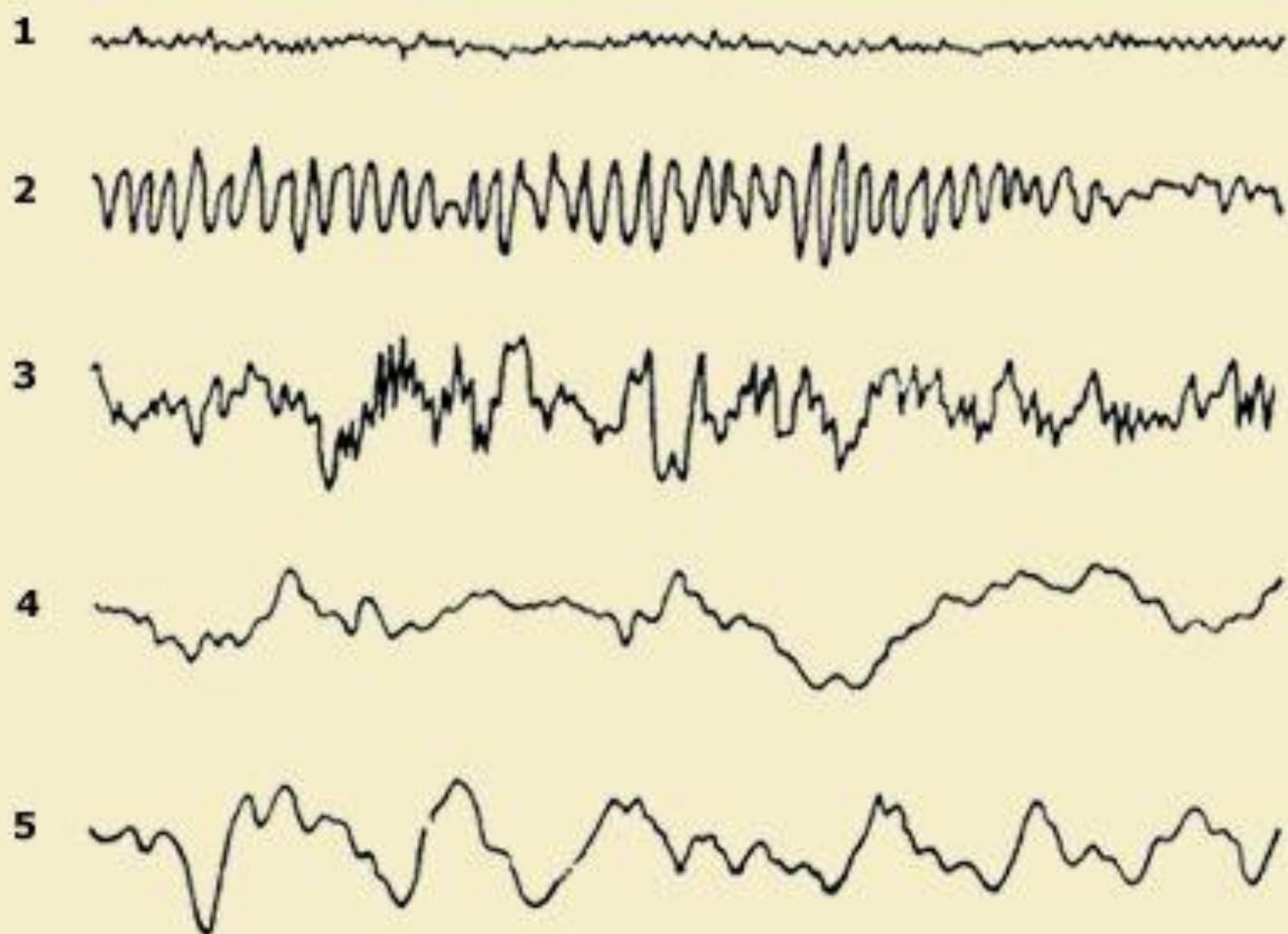
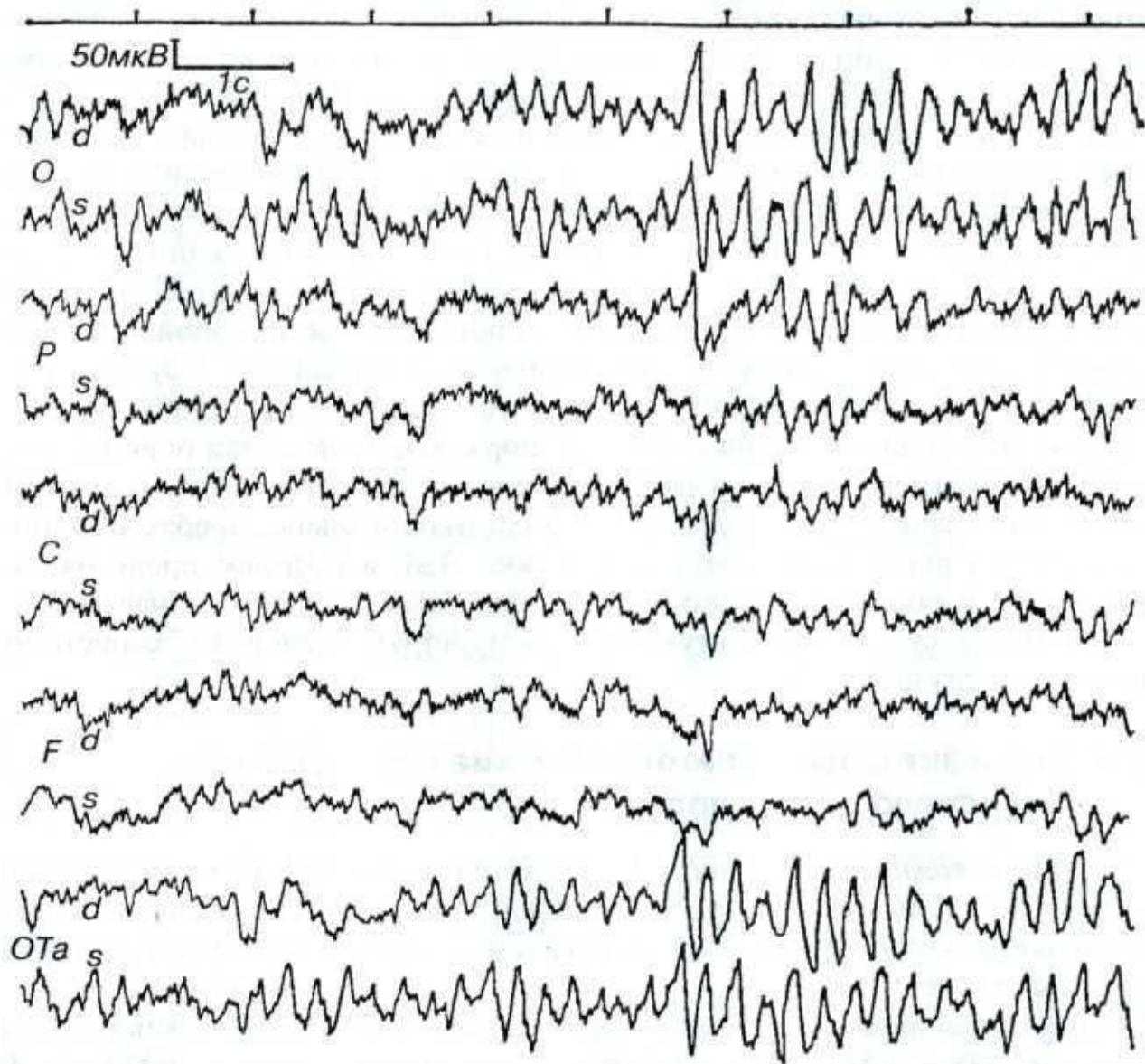
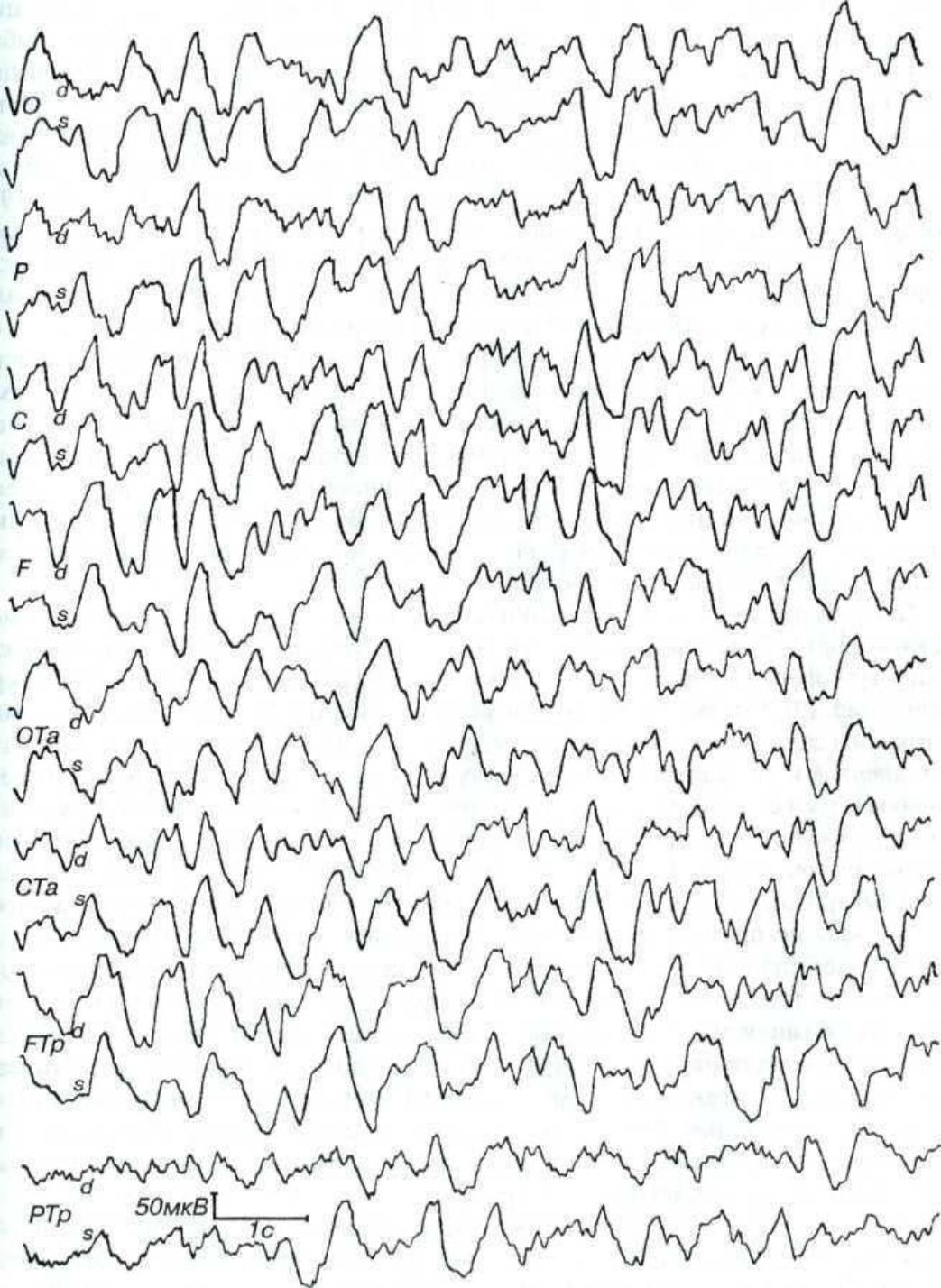


Рис. 39. Основные волны ЭЭГ: **1** – бета-волны; **2** – альфа-волны; **3** – альфа- и тэта-волны; **4** – тэта- и дельта-волны; **5** – дельта-волны



ЭЭГ больного 28 лет с воспалительной окклюзией на уровне задней черепной ямки и внутренней гидроцефалией. Генерализованные билатерально-синхронные θ -волны частотой 4-4,5 Гц, преобладающие в задних отделах.



ЭЭГ больной 38 лет с
опухолью медиобазальных
отделов левого полушария
мозга с вовлечением
таламических ядер. Сопор.
Генерализованные δ -волны
(частотой 1-3 Гц,
амплитудой до 200 мкВ),
эпизодически
преобладающие по
амплитуде в левом
полушарии

Периодические комплексы

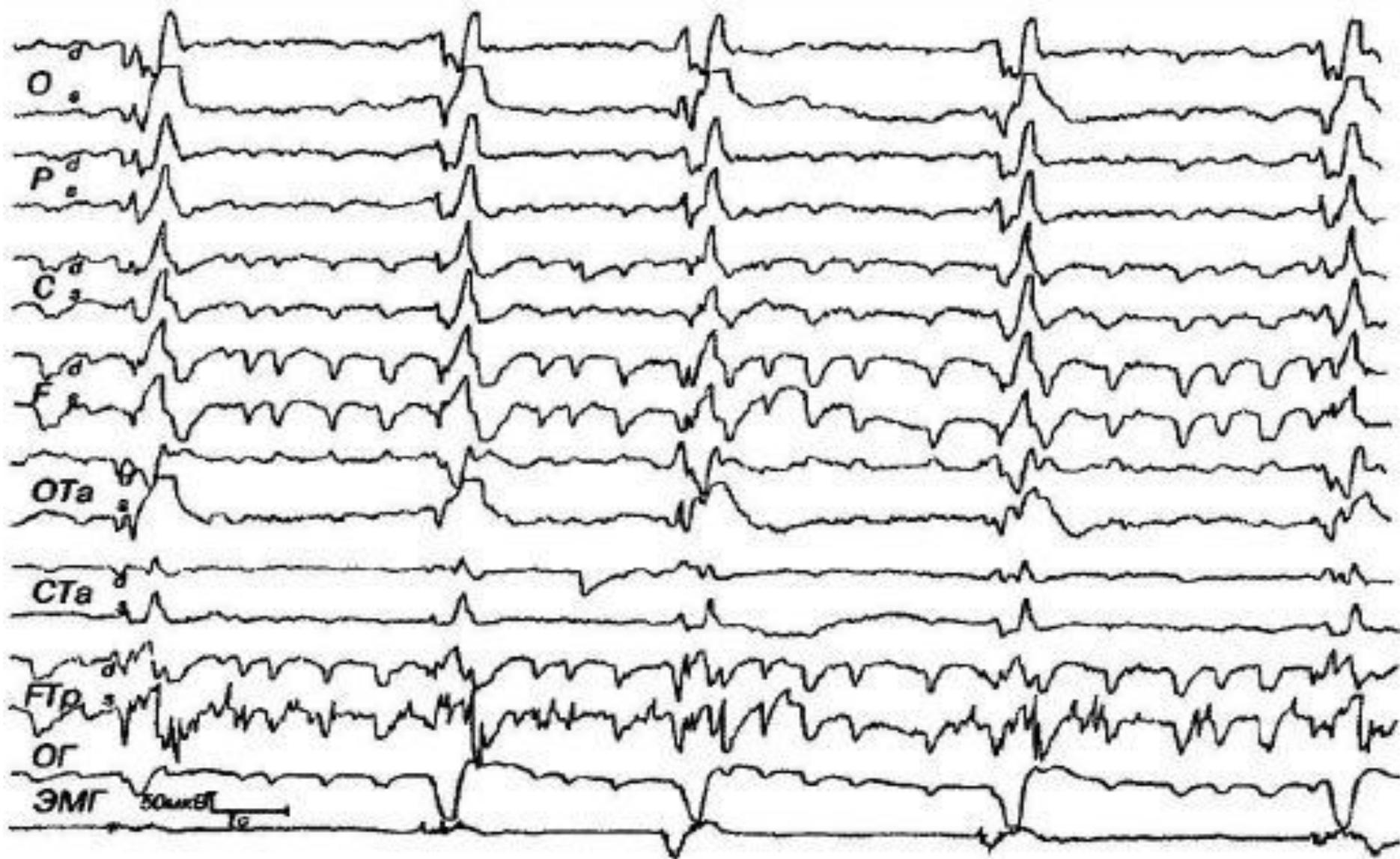
Этим термином в ЭЭГ обозначают высокоамплитудные вспышки активности, различающиеся по морфологии у разных пациентов, но характеризующиеся высоким постоянством формы для данного пациента. Наиболее важные критерии их распознавания — это:

- 1) близкий к постоянному интервал между комплексами,
- 2) непрерывное присутствие в течение всей записи, при условии постоянства уровня функциональной активности мозга,
- 3) интериндивидуальное варьирование, но интраиндивидуальная стабильность формы.

- Периодические комплексы могут быть чрезвычайно разнообразными.
- Чаще всего они представлены группой высокоамплитудных медленных волн, острых волн, сочетающихся с высокоамплитудными, часто заостренными α - или β -колебаниями, иногда напоминают эпилептиформные комплексы острая волна-медленная волна.
- Интервалы между комплексами для данной ЭЭГ относительно стабильны, но у разных пациентов и при разных заболеваниях варьируют достаточно широко: от 0,5-2 до десятков секунд.
- Нередко комплексы идут синхронно с миоклоническими подергиваниями, произвольными движениями глазных яблок.



Рис. 21. Периодические комплексы, напоминающие комплексы острая волна-медленная волна и полифазные волны при болезни Крейцельда-Якоба.

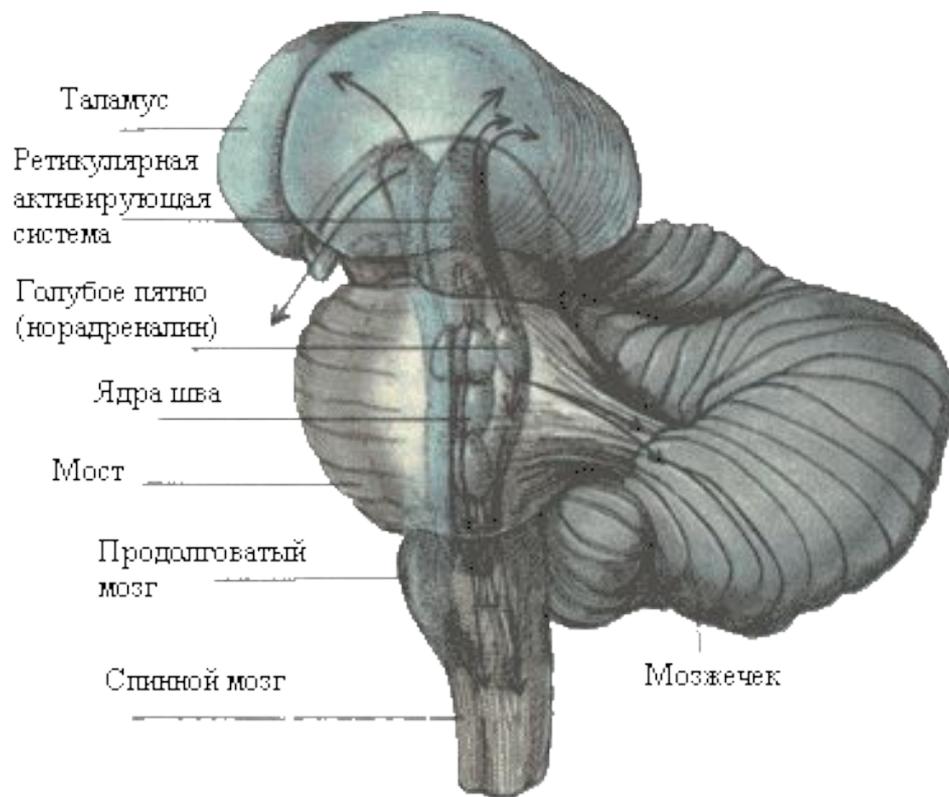


Подострый склерозирующий панэнцефалит Ван-Богарта. Периодические комплексы, комбинирующиеся с миоклоническими подёргиваниями, регистрируемыми на ЭМГ, и движениями глаз, регистрируемыми на электроокулограмме. В отведении F - регулярные артефакты движения глаз.

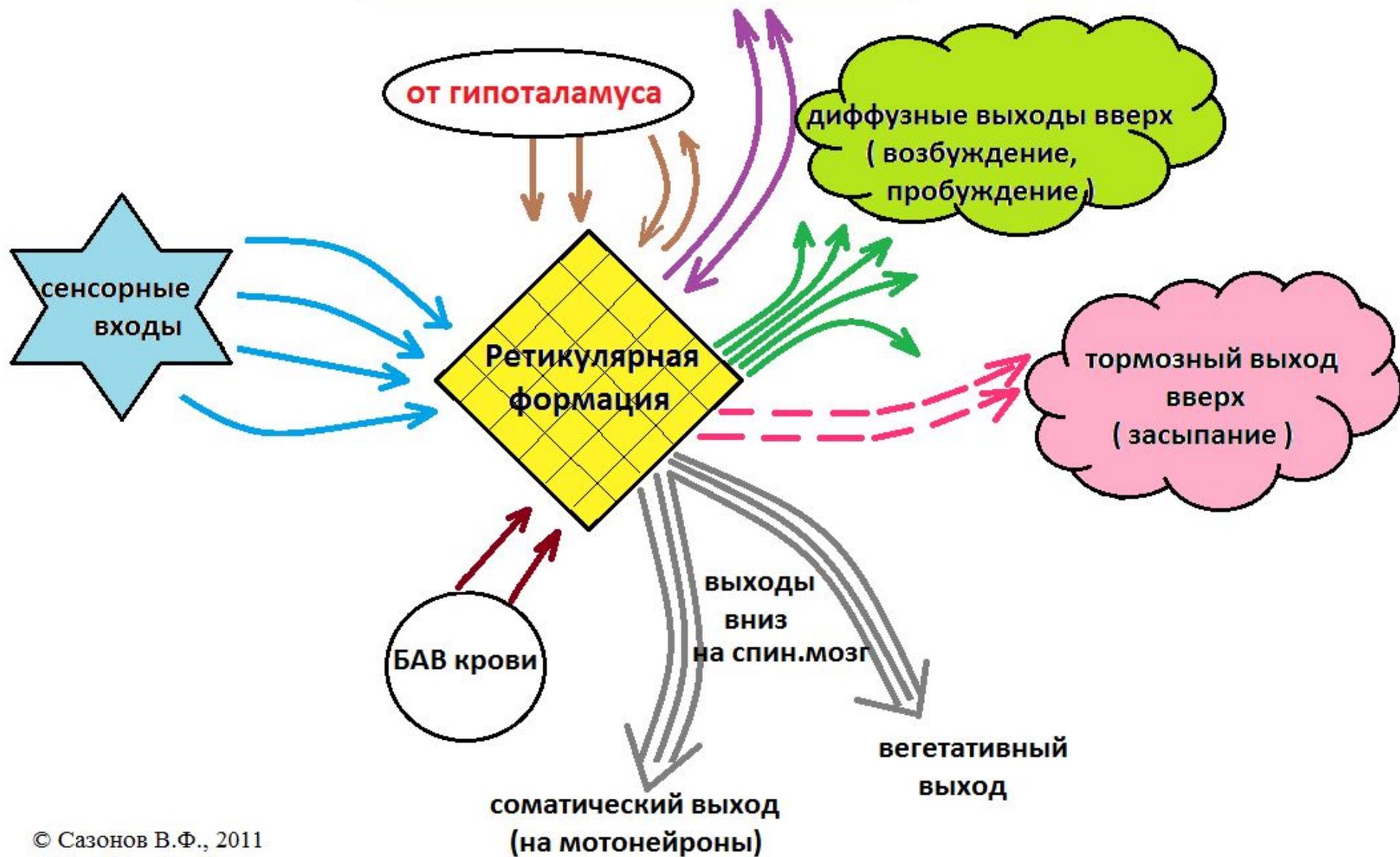
Генерализованные билатерально-синхронные периодические комплексы

- **Всегда сочетаются с глубокими нарушениями сознания и всегда указывают на тяжелую мозговую дисфункцию.**
- Если последняя не имеет фармако-токсического происхождения, то, как правило, является следствием тяжелой метаболической, гипоксимической или вирусной энцефалопатии, завершающейся почти неизбежно фатальным исходом.
- Среди фармако-токсических и метаболических нарушений можно перечислить алкогольную абстиненцию, передозировку или внезапную отмену психотропных и гипноседативных препаратов, гепатопатию, отравление монооксидом углерода.
- Если эти причины исключены, то периодические комплексы с высокой достоверностью соответствуют диагнозу панэнцефалита.

Нейрофизиологически генерализованные билатерально-синхронные комплексы обусловлены пейсмейкером в ретикулярных структурах, реализующим патологические восходящие (нарушения сознания и комплексы в ЭЭГ) и нисходящие (миоклонии) влияния, причем динамично и опосредованно, т.к., судя по временным соотношениям комплексов в ЭЭГ и миоклоний, ведущим выступает то ретикуло-кортикальный, то нисходящий уровень.

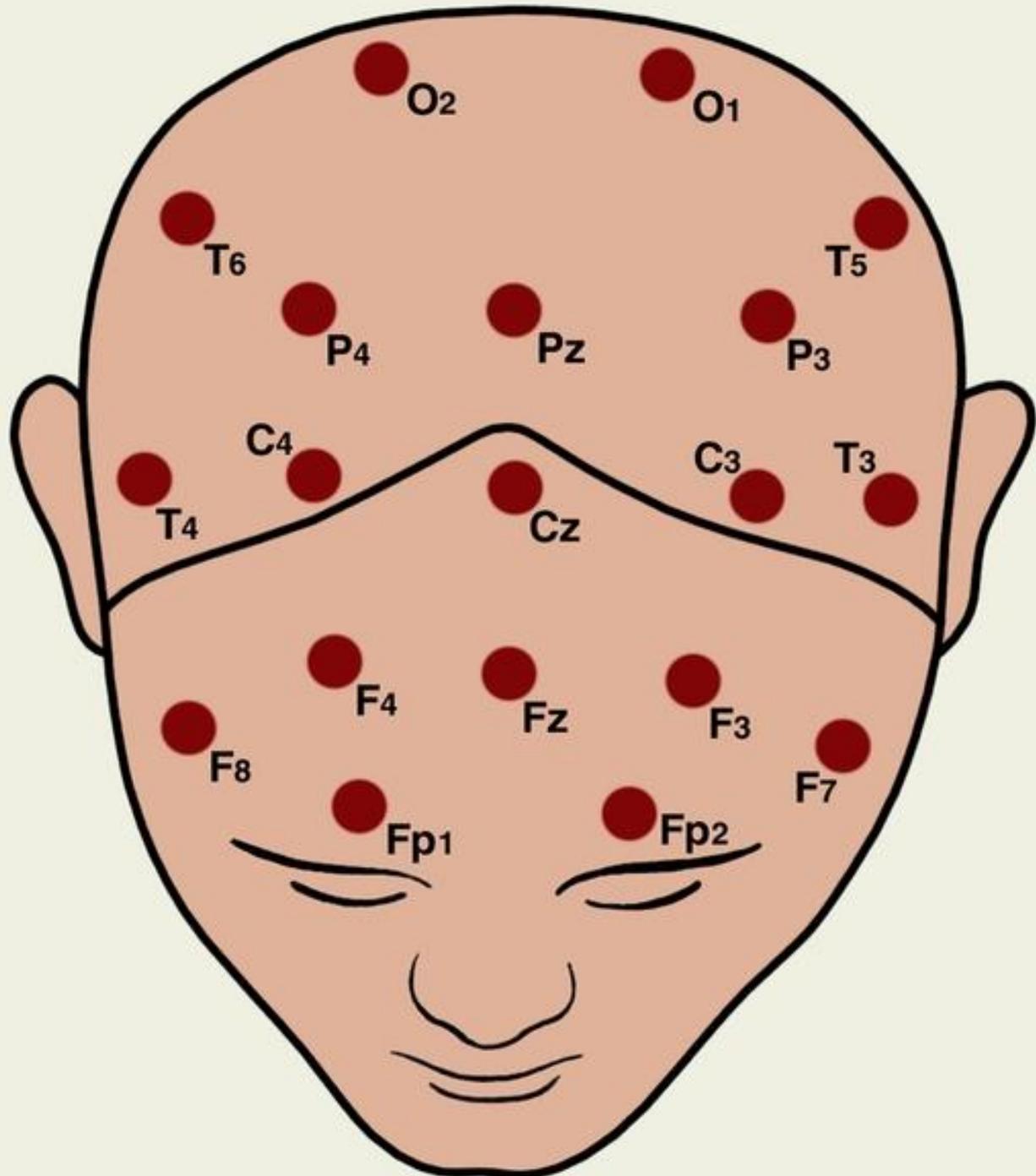


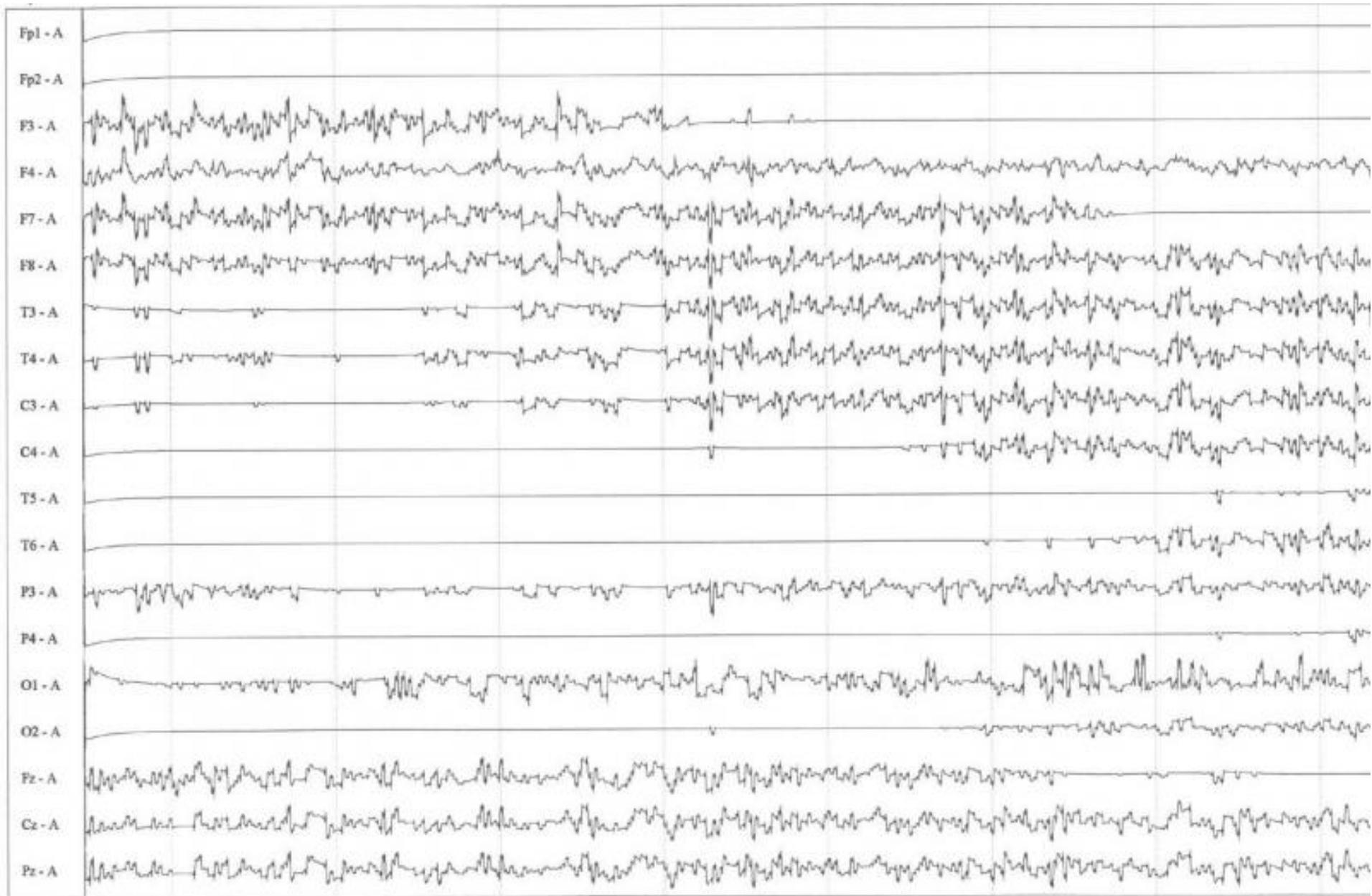
Фронтальная кора



Топографические особенности ЭЭГ

- Одним из основных критериев при анализе ЭЭГ является симметрия.
- Под симметричностью ЭЭГ понимается существенное совпадение частот, амплитуд и фаз ЭЭГ гомотопных областей двух полушарий мозга.
- Об асимметрии ЭЭГ в случае постоянства ее знака имеет смысл говорить только в отношении α -активности. Значимым считается отношение амплитуд гомотопных отделов 1/2 и более.
- При этом в случае, если амплитуда не явно патологически увеличена, сторона патологического процесса остается сомнительной, поскольку асимметрия может быть обусловлена как патологическим увеличением, так и снижением амплитуды активности.





- В отношении же патологических форм активности следует говорить о стороне ее амплитудного преобладания, а не абстрактно о ее асимметрии.
- По распространенности этих асимметричных патологических колебаний говорят о полушарных нарушениях, когда изменения охватывают все полушарие, регионарных (обычно захватывающих более 1 доли мозга) и фокальных (обычно максимально выраженных под одним электродом и резко снижающихся по представленности и амплитуде под соседними).

Нормальная ЭЭГ взрослого бодрствующего человека

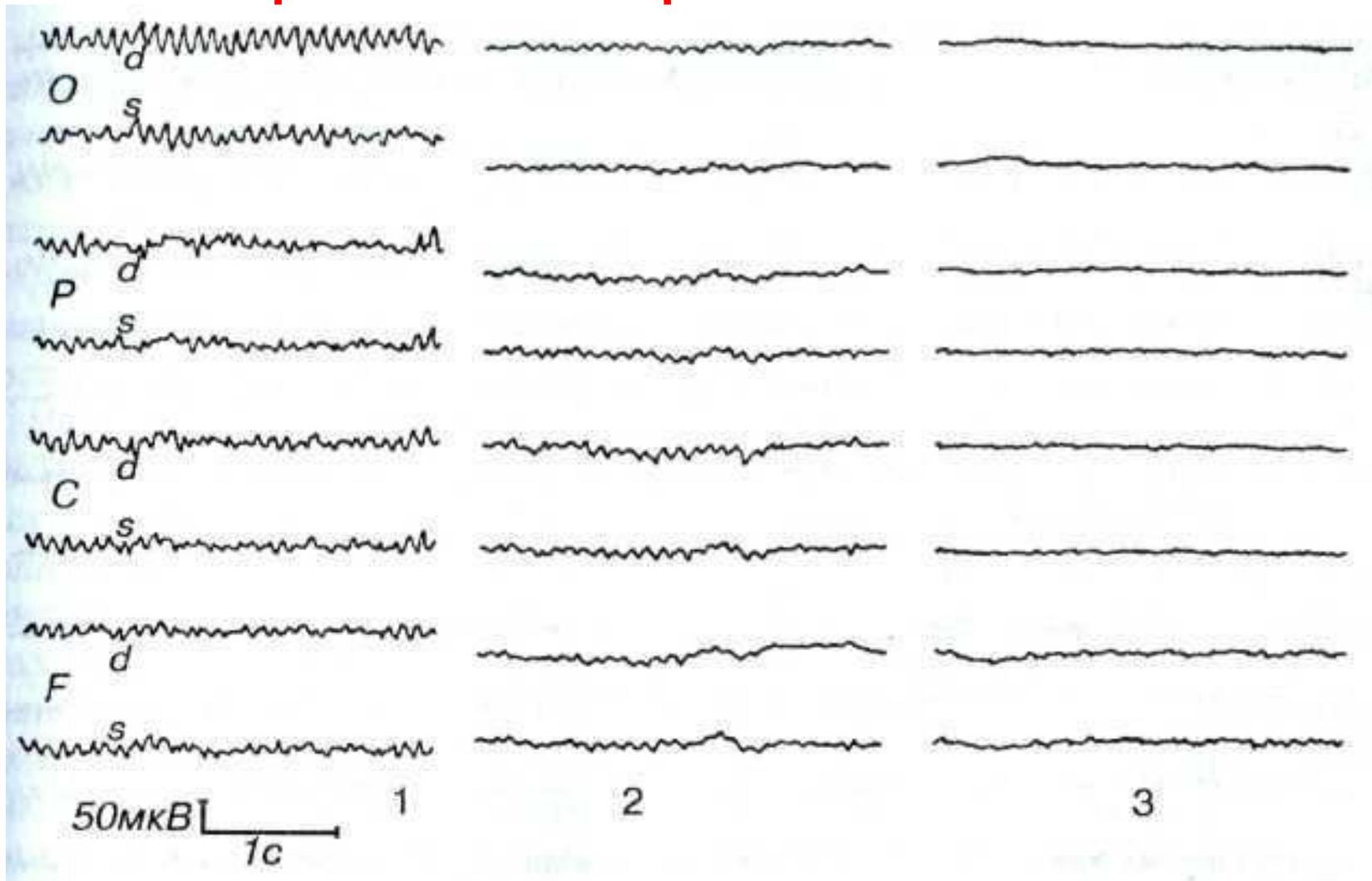
Симметричность

Практически вариантом нормы можно считать ЭЭГ, на которой значение асимметрии составляет не более 50% амплитуды сравниваемых записей. Естественно, при этом должна быть полная уверенность в идентичности установки и коммутации электродов в обоих полушариях.

У большинства (85-90%) здоровых взрослых при закрытых глазах в покое на ЭЭГ регистрируется доминирующий α -ритм. Как уже указывалось, максимальная его амплитуда наблюдается в затылочных отделах. По направлению кпереди α -ритм уменьшается по амплитуде и комбинируется с β -ритмом.

В лобных отделах регистрируется очень слабо выраженный α -ритм и β -колебания, сравнимые с ним по амплитуде

Варианты нормальной ЭЭГ



1 — наиболее часто встречающийся тип ЭЭГ; 2 — умеренно сниженная амплитуда ЭЭГ; 3 — низкоамплитудная ЭЭГ

У 10-15% здоровых обследуемых регулярный α -ритм на ЭЭГ не превышает 20 мкВ и по всему мозгу регистрируются высокочастотные низкоамплитудные колебания.

Такого типа ЭЭГ называют низкоамплитудными. Низкоамплитудные ЭЭГ, по современным данным, указывают на преобладание в мозге десинхронизирующих влияний.

Этот тип ЭЭГ связан с аутосомно-доминантным геном и формируется постепенно в процессе созревания.

До 20 лет он наблюдается чрезвычайно редко. Представление о том, что этот вариант ЭЭГ связан с десинхронизацией и, соответственно, с преобладанием активирующих восходящих неспецифических систем, согласуется с некоторыми данными психологических исследований.

Показано, что низкоамплитудные ЭЭГ коррелируют с повышенной поведенческой активностью, тенденцией к независимости, с агрессивностью, повышенной психической возбудимостью, в то время как высокоамплитудные ЭЭГ характерны для лиц пассивного, зависимого, рецептивного, спокойного типа. Таким образом, низкоамплитудные ЭЭГ являются вариантом нормы.

Половые различия ЭЭГ

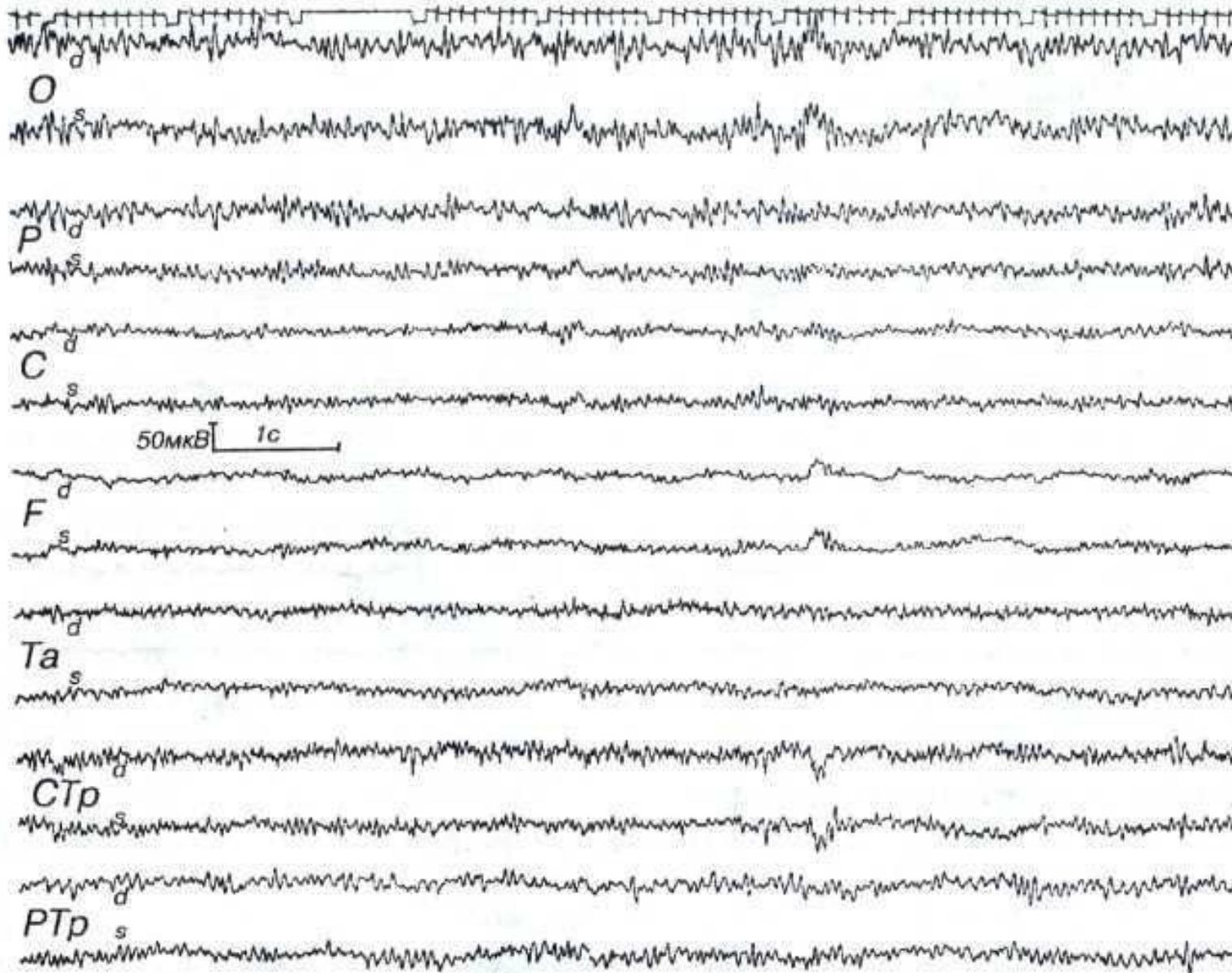
Женщинам свойственны более высокие частоты α -ритма и большее количество β -активности. Эти данные определенным образом коррелируют с половыми различиями психологических характеристик, свидетельствуют о более высоком уровне активации у женщин, очевидно, имеют генетическую обусловленность и могут быть связаны с гормональными особенностями.

Показано, что в предменструальный период наблюдается увеличение частоты α -ритма, коррелирующее с повышением психометрических показателей. В этот же период увеличивается уровень прогестерона. У женщин, принимающих гормональные контрацептивы, не обнаруживаются такой цикличности на ЭЭГ, они отличаются более низкими психометрическими показателями.

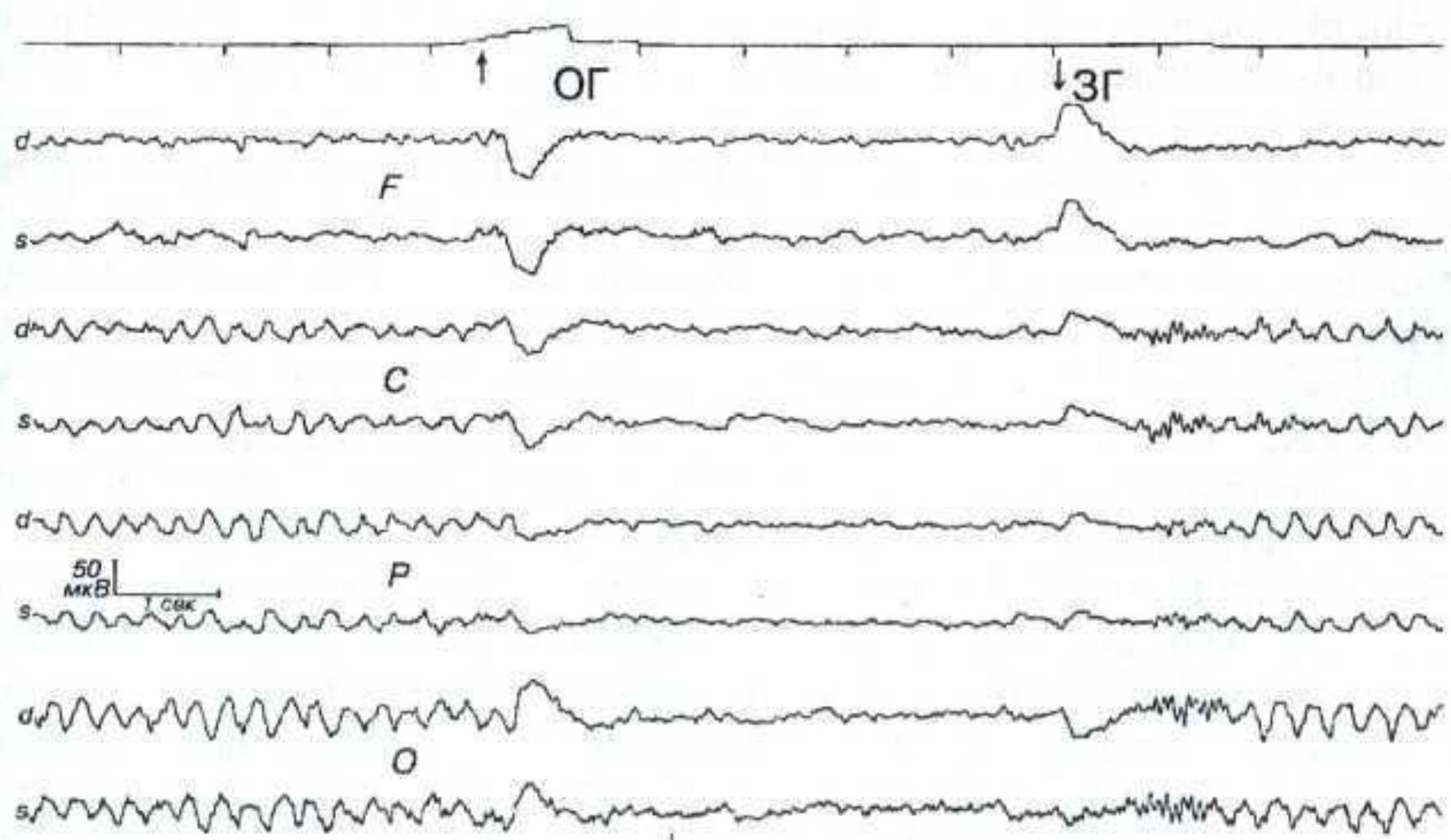
Быстрый α -вариант

У части здоровых обследуемых отсутствует нормальный α -ритм, и вместо него регистрируется активность 14-18 Гц. Эта активность имеет максимальную амплитуду порядка 50 мкВ в затылочных отделах и, подобно нормальному α -ритму, ее амплитуда снижается по направлению кпереди. В ответ на афферентные стимулы при умственной нагрузке, эмоциональном напряжении этот ритм исчезает и возникает реакция активации. Все это позволяет рассматривать указанную активность как эквивалент α -ритма и расценивать такие ЭЭГ как вариант нормы

*Быстрый
α-вариант*



Неврологически здоровый В.Н.К., 43 лет. Регулярный ритм 13-17 Гц при закрытых глазах с амплитудным градиентом, соответствующим нормальному α-ритму



Медленный α -вариант

Медленный α -вариант

Очень редко (около 0,2% случаев встречаются своеобразные ЭЭГ, на которых при закрытых глазах в затылочных отделах регистрируются регулярные, близкие к синусоидальным, медленные волны с частотой 2,5-4 Гц и амплитудой 50-80 мкВ.

Этот ритм исчезает при афферентных стимулах с появлением типичной реакции, как и α -ритм. При открытых глазах на ЭЭГ регистрируется нормальная низкоамплитудная полиморфная активность в диапазоне α - и β -ритма.

Клинически в этих случаях не удастся выявить органической церебральной патологии, и жалобы носят невротический, функциональный характер.

ЭЭГ и уровни функциональной активности мозга

Поскольку ЭЭГ связана с системами, определяющими уровень функциональной активности мозга, можно установить определенное соответствие между характером ЭЭГ и функциональным состоянием мозга.

Изменения ЭЭГ в цикле бодрствование-сон

Активное бодрствование

Этим понятием определяется состояние человека, занимающегося какой-либо деятельностью, которая требует высокой степени внимания или вызывает повышенное эмоциональное напряжение. Этому состоянию на ЭЭГ соответствует десинхронизация.

Фазическое состояние активного бодрствования представляет собой, в частности, уже описанную реакцию активации, возникающую в ответ на предъявление нового или неожиданного стимула.

Представления о связи «уплощения» ЭЭГ с повышением активации, а нарастания амплитуды α -ритма — со снижением уровня функциональной активности достаточно хорошо согласуются с данными исследований зависимости ЭЭГ от психических процессов.

Показано, что при умственной нагрузке, визуальном слежении, обучении, т.е. в ситуациях, требующих повышенной психической активности, закономерно снижается амплитуда ЭЭГ и возрастает ее частота

При исследовании ЭЭГ тонического, длительного состояния активного бодрствования можно добиться, предложив обследуемому решить какую-либо достаточно сложную, например вычислительную, задачу в уме с условием: за правильное решение — награда, за неправильное — наказание (лишение награды). В этой экспериментальной ситуации десинхронизация на ЭЭГ поддерживается достаточно длительно, однако, как правило, не бывает столь выраженной, как при реакции активации на одиночный неожиданный стимул.

Расслабленное бодрствование

Этим термином определяется состояние обследуемого, покоящегося в удобном кресле или на постели с расслабленной мускулатурой и закрытыми глазами, не занятого какой-либо специальной физической или психической активностью. В электроэнцефалографической клинической практике именно это состояние является основным, в котором производят исследование ЭЭГ.

У большинства здоровых взрослых людей, обследуемых в этом состоянии, на ЭЭГ регистрируется регулярный α -ритм максимальной амплитуды.

Этот ритм может изредка прерываться, очевидно, в связи с активацией за счет собственной психической активности обследуемого. Предъявление в этой стадии внешних раздражителей вызывает реакцию активации на ЭЭГ

Первая стадия сна

Дальнейшее снижение уровня функциональной активности приводит к состоянию, которое по современным классификациям расценивается как начальная стадия сна. Состояние это может быть охарактеризовано как дремота, переход от бодрствования ко сну.

- В этот период на ЭЭГ наблюдается сначала снижение амплитуды, а затем и исчезновение α -ритма и появление на этом фоне одиночных или групповых низкоамплитудных δ - и θ -колебаний, а также низкоамплитудной высокочастотной активности.
- Визуально ЭЭГ может быть расценена как уплощенная и десинхронизированная с наличием полиморфной низкоамплитудной активности.

Предъявление на этом фоне внешних стимулов может вызвать появление вспышек высокоамплитудного α -ритма. Физиологическая сущность этого феномена понятна: в ответ на внешний стимул мозг переходит на предшествующий, более высокий уровень функциональной активности, которому, как указано, соответствует хорошо выраженный α -ритм.

Это различие реакций активации позволяет дифференцировать уплощение ЭЭГ, обусловленное активным бодрствованием, при котором десинхронизация увеличивается или не изменяется в ответ на стимул, от уплощения, обусловленного переходом в первую стадию сна, в которой, как указано, возникает α -ритм в ответ на внешний стимул.

Продолжительность этой стадии обычно 1-7 минут. Медленные колебания появляются к концу этой стадии, амплитуда их не превышает 75 мкВ. В это же время спонтанно или в ответ на сенсорные стимулы могут появиться «вертексные острые переходные потенциалы»

Они представляют собой вид одиночных или групповых монофазных поверхностно негативных острых волн с максимумом в области макушки, обычно не превосходят 200 мкВ и являются нормальным физиологическим феноменом. Первая стадия, особенно ее начало, характеризуется также медленными движениями глаз.

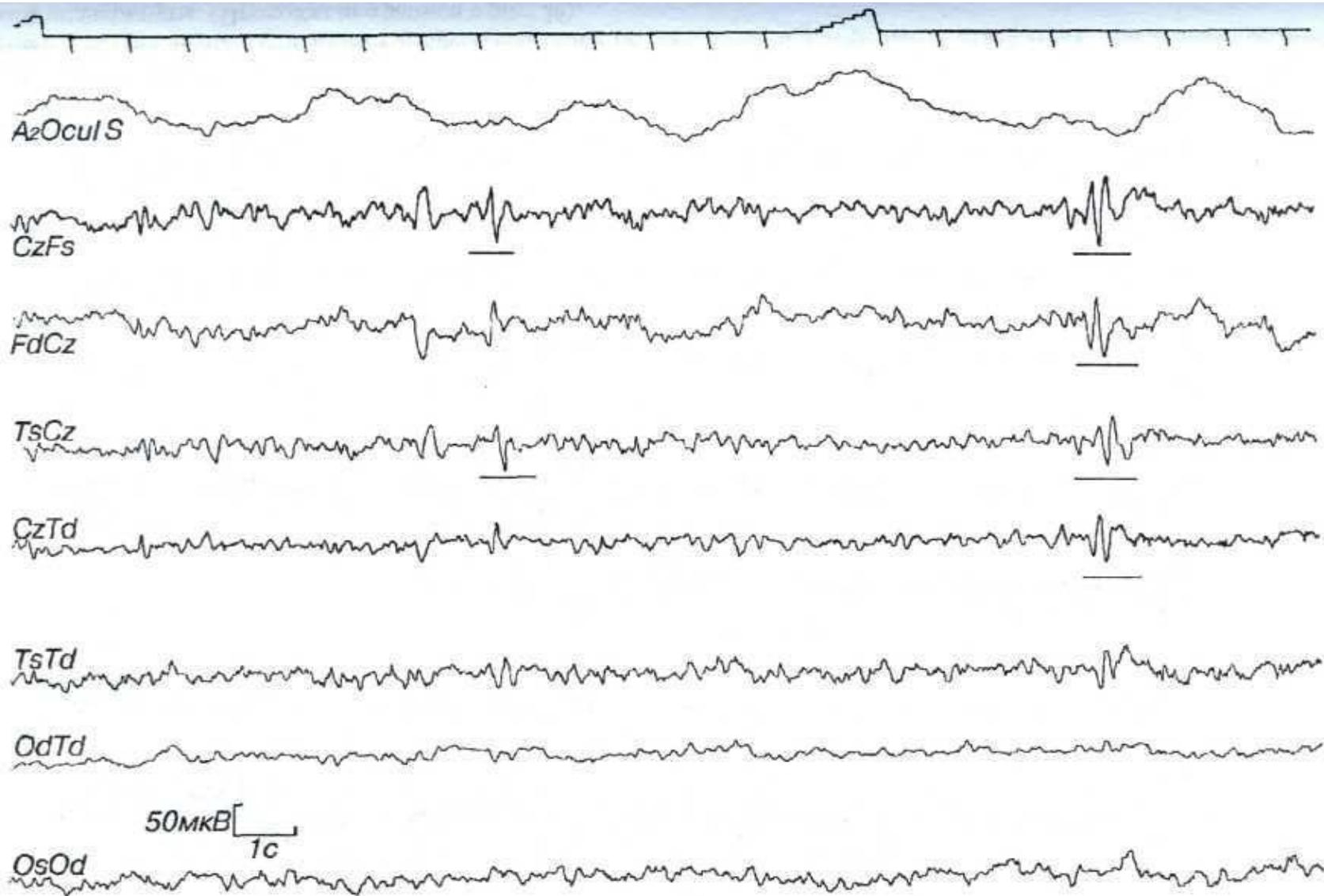


Рис. 26. ЭЭГ поздней фазы I стадии сна у здорового 16 лет.

На фоне полиморфной активности амплитудой до 50 мкВ — эпизодические «вертексные переходные острые потенциалы» до 120 мкВ амплитудой (подчеркнуто), преобладающие в вертексной области (отведения, включающие электрод Cz). Медленные движения глаз на электроокулограмме (A2-OculS).

Вторая стадия сна

Наиболее характерным для нее признаком является наличие сонных веретен и К-комплексов.

Сонные веретена представляют собой вспышки активности частотой 11-14 Гц, диффузные, обычно наиболее выраженные в центральных отведениях. Продолжительность веретен составляет 0,5-3 с, амплитуда обычно около 50 мкВ.

Их билатерально-синхронное и генерализованное распространение свидетельствует о связи с центральными срединными подкорковыми механизмами, что подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями, позволяющими связать сонные веретена с таламическими специфическими и неспецифическими ядрами.

К-комплекс

К-комплекс — это вспышка активности, наиболее типично состоящей из двухфазной высокоамплитудной волны с начальной негативной фазой, сопровождаемой иногда веретеном. Амплитуда его максимальна в области макушки, продолжительность не менее 0,5 с.

К-комплексы возникают спонтанно или в ответ на сенсорные стимулы. В этой стадии эпизодически наблюдаются также вспышки полифазных высокоамплитудных медленных волн.

Медленные движения глаз отсутствуют.

Эта картина ЭЭГ соответствует относительно неглубокой стадии сна.

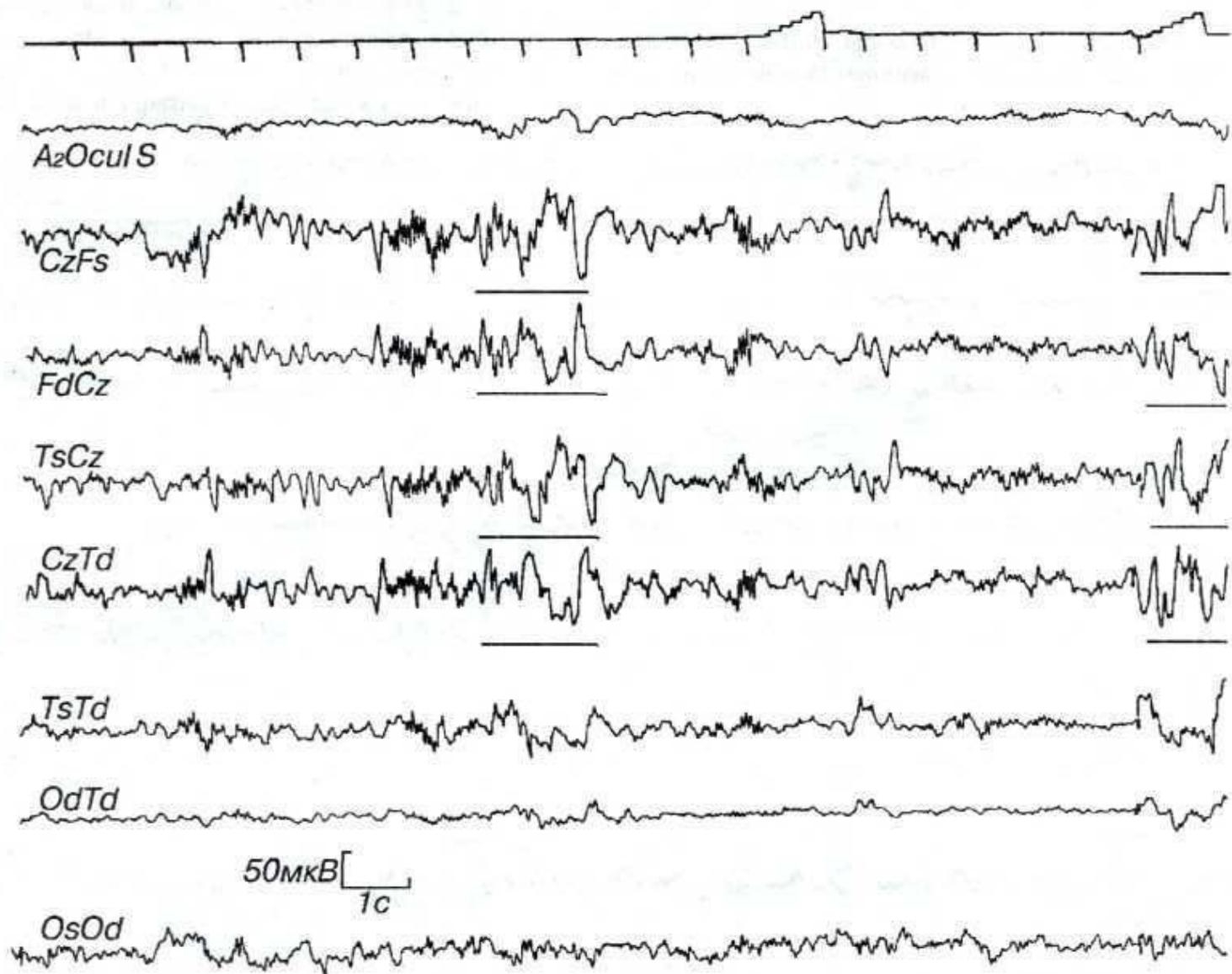


Рис. 27. ЭЭГ II стадии сна.

Регулярные веретена активности 12-14 Гц, преобладающие по амплитуде в центральных отведениях, эпизодические θ -волны, К-комплексы подчеркнуты. (Продолжение записи с рис. 26).

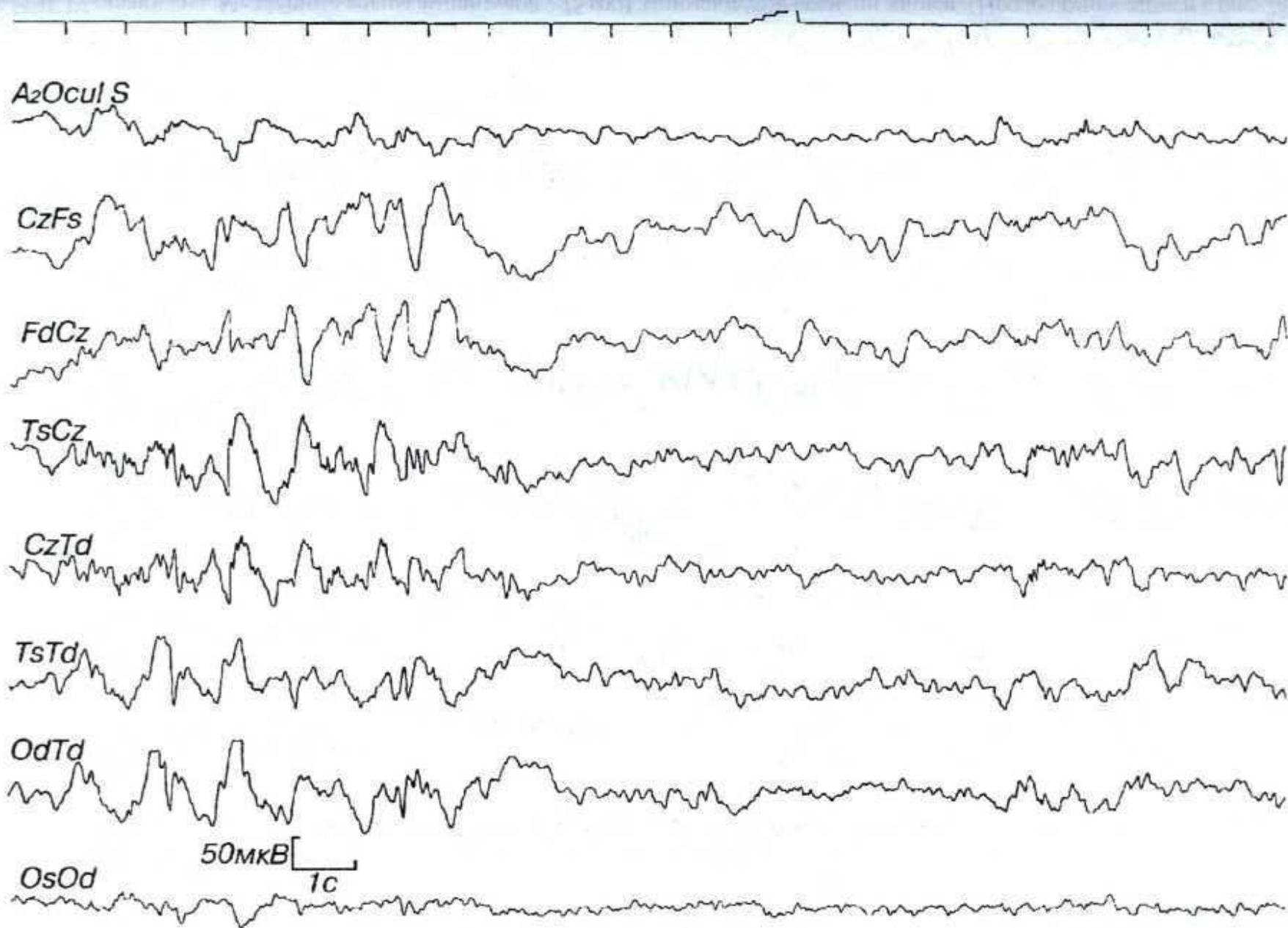


Рис. 28. ЭЭГ III стадии сна. Медленные волны амплитудой >75 мкВ занимают 40% времени записи. (Продолжение записи с рис. 27).

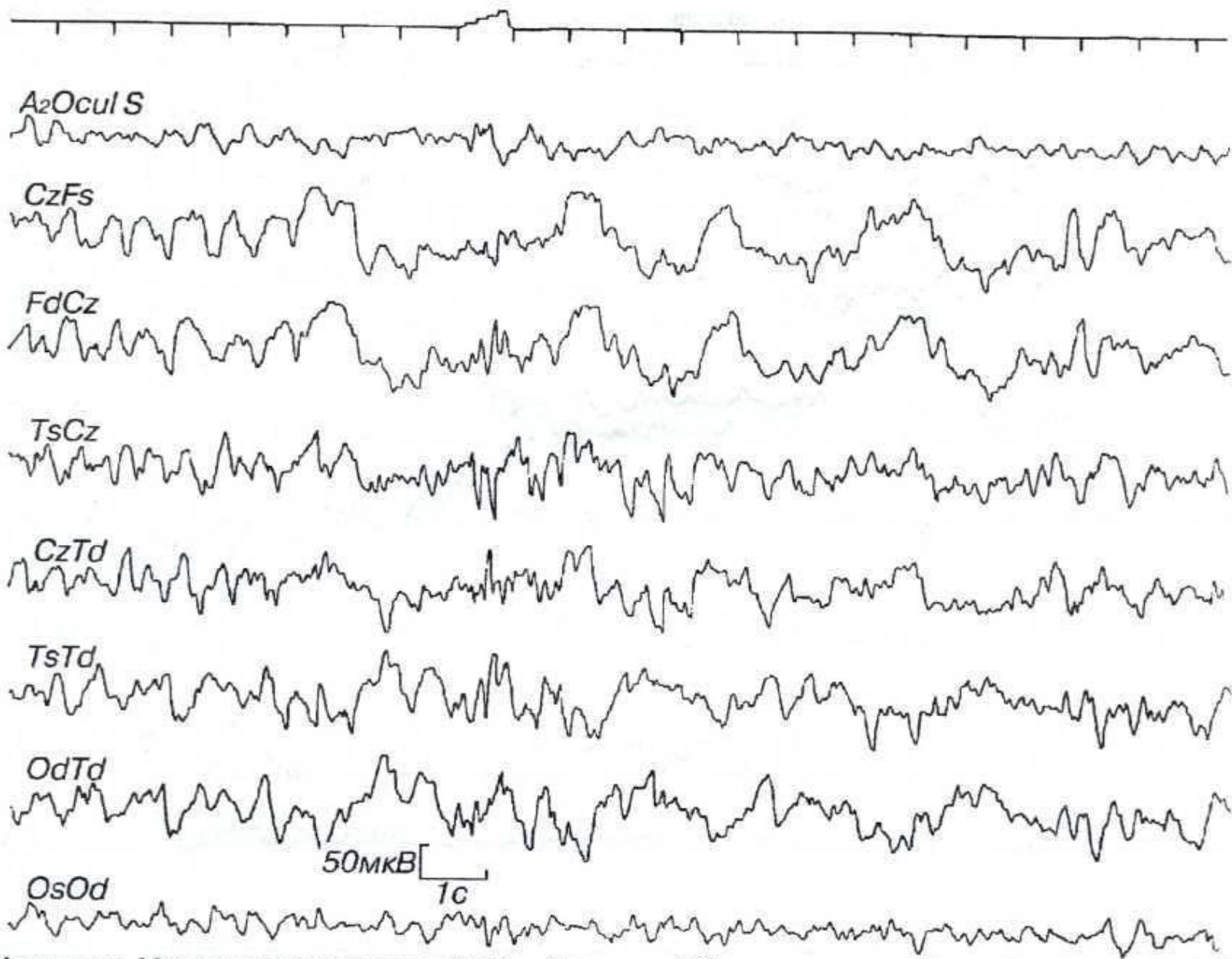


Рис. 29. ЭЭГ IV стадии сна. Медленные волны амплитудой >75 мкВ занимают 95% времени записи. (Продолжение записи с рис. 28).

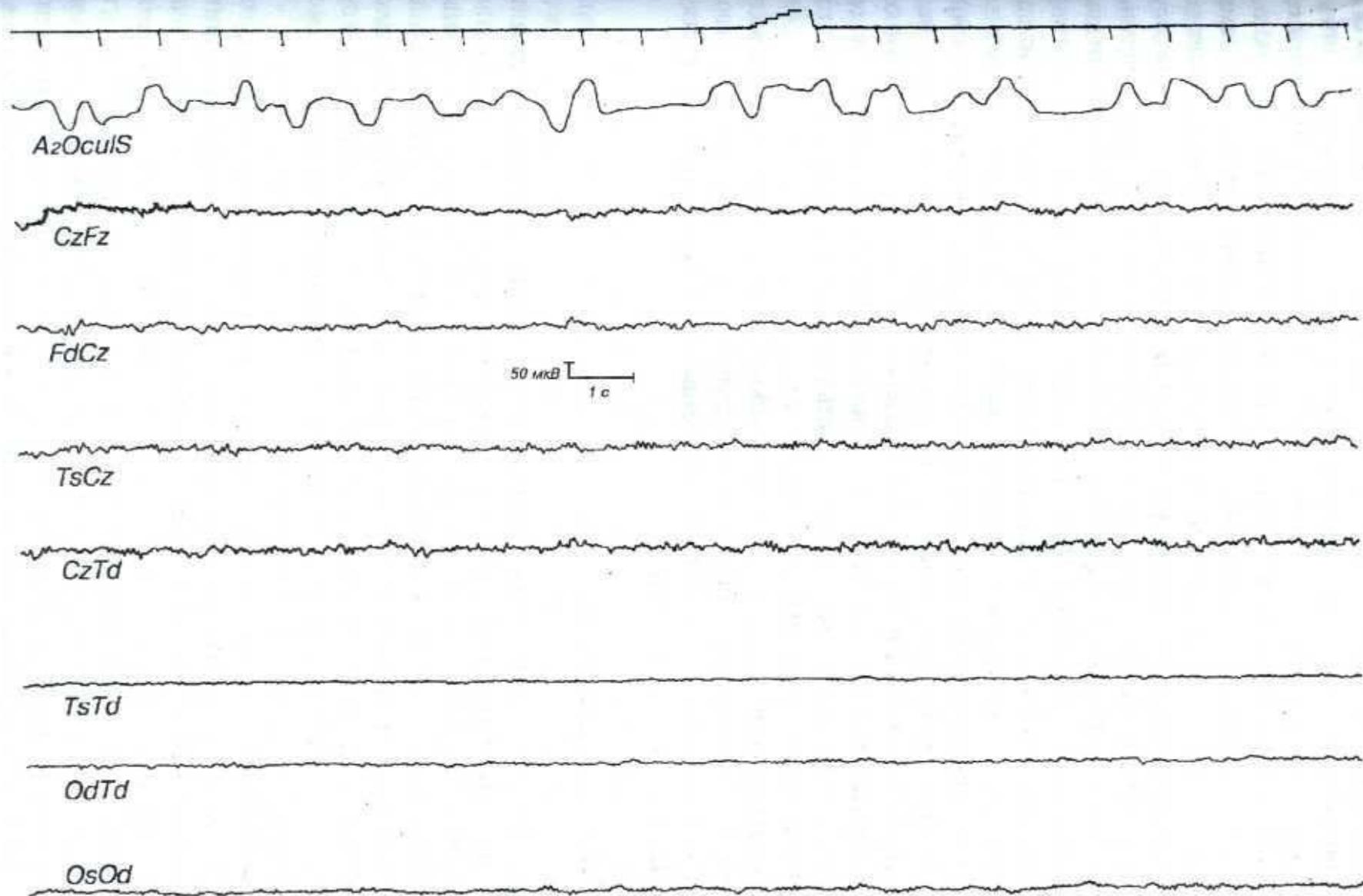
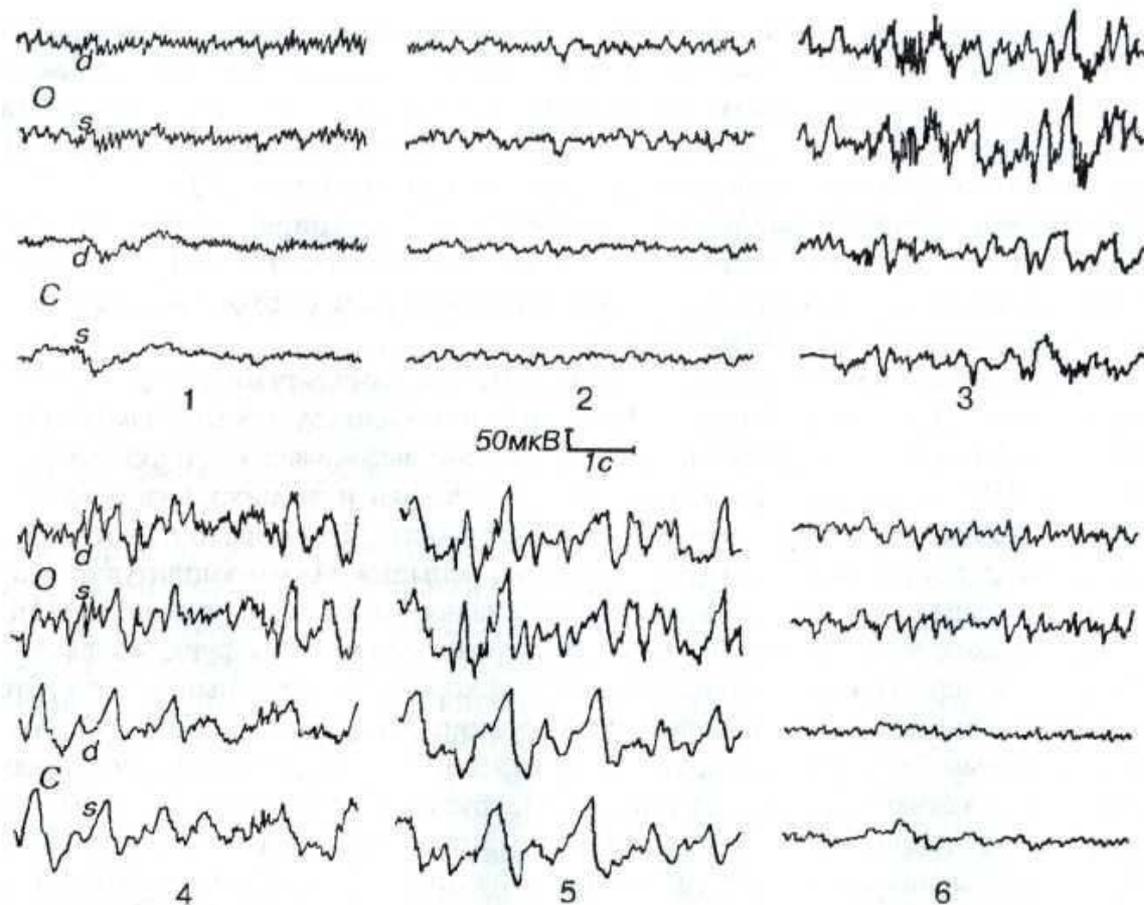


Рис. 1.30. ЭЭГ сна с быстрыми движениями глаз (БДГ-сна). Полиморфная низкоамплитудная активность. Быстрые движения глаз на электроокулограмме (A2-OculS).

ЭЭГ сна



1 — бодрствование; 2 — I стадия сна; 3 — II стадия сна; 4 — III стадия сна; 5 — IV стадия сна; 6 — сон с быстрыми движениями глаз. Низкоамплитудная относительно быстрая активность в I стадии и стадии с быстрыми движениями глаз. Сонные веретена частотой 14-16/с во II и высокоамплитудные δ -волны в IV стадии. В отличие от записи дневных ЭЭГ скорость движения бумаги в целях ее экономии — 1,5 см/с.

Третья стадия сна

На ЭЭГ постепенно исчезают веретена и появляются δ - и θ -волны. Критерием отнесения ЭЭГ к третьей стадии является количество медленных волн амплитудой >75 мкВ от 20 до 50% времени эпохи анализа. В этой стадии часто трудно дифференцировать К-комплексы от δ -волн. Сонные веретена могут полностью отсутствовать.

Четвертая стадия сна

Характеризуется волнами 2 Гц и медленней с амплитудой $>75\mu\text{В}$ и занимающими $>50\%$ времени записи

Стадия сна с быстрыми движениями глаз (БДГ)

В норме во время сна у человека эпизодически возникают периоды десинхронизации на ЭЭГ. В течение этих периодов регистрируется полиморфная активность с преобладанием высоких частот. Исследования показали, что этим периодам на ЭЭГ соответствует субъективное переживание сновидения. Наблюдается падение мышечного тонуса с одновременным появлением быстрых саккадических движений глазных яблок и иногда быстрых движений конечностей. В этот период спящего трудно разбудить с помощью внешних стимулов

Таким образом, эта стадия сна отличается рядом проявлений, которые отчасти противоречат друг другу. Десинхронизация ЭЭГ с увеличением мозгового кровотока, которая свидетельствует о переходе мозга на более высокий уровень функциональной активности, противоречит большей глубине сна по параметру пробуждаемости. Высокий уровень субъективных эмоциональных и психических переживаний в сновидении противоречит мышечной релаксации. В связи с этим эта фаза сна получила название парадоксальной, однако в научной литературе используется термин, более однозначно и определенно характеризующий эту стадию: сон с быстрыми движениями глаз, или, сокращенно, БДГ-сон.

Поскольку картина ЭЭГ в БДГ-сне сходна с первой стадией сна, дополнительными чертами, различающими их, является практическое отсутствие острых переходных потенциалов в БДГ-сне и эпизодическое появление в вертексно-лобных отведениях «пилообразной активности», представляющей собой вспышки медленных острых волн частотой 2-3 Гц, на восходящий или нисходящий фронт которых накладывается дополнительная заостренная волна, придавая каждой из основных волн двузубый характер. Эта активность появляется в связи с БДГ. В этой стадии отсутствуют К-комплексы и веретена.

Возникновение этой стадии сна связано с работой регуляторного механизма на уровне моста мозга (варолиева моста), и его нарушения являются свидетельством дисфункции этих отделов мозга, что определяет важность БДГ-сна и соответствующего типа ЭЭГ для диагностики

Возрастные изменения электроэнцефалограммы

- ЭЭГ недоношенного ребёнка в возрасте до 24-27 нед гестации представлена вспышками медленной δ - и θ -активности, эпизодически комбинирующимися с острыми волнами, продолжительностью 2-20 с, на фоне низкоамплитудной (до 20-25 мкВ) активности.
- У детей 28-32 нед гестации δ - и θ -активность амплитудой до 100-150 мкВ становится более регулярной, хотя также может включать вспышки более высокоамплитудной θ -активности, перемежающиеся периодами уплощения.
- У детей старше 32 нед гестации на ЭЭГ начинаются прослеживаться функциональные состояния. В спокойном сне наблюдают интермиттирующую высокоамплитудную (до 200 мкВ и выше) δ -активность, сочетающуюся с θ -колебаниями и острыми волнами и перемежающуюся периодами относительно низкоамплитудной активности.

У доношенного новорождённого на ЭЭГ чётко определяются различия между бодрствованием с открытыми глазами (нерегулярная активность частотой 4-5 Гц и амплитудой 50 мкВ), активным сном (постоянная низкоамплитудная активность 4-7 Гц с наложением более быстрых низкоамплитудных колебаний) и спокойным сном, характеризующимся вспышками высокоамплитудной δ -активности в комбинации с веретёнами более быстрых высокоамплитудных волн, перемежающихся низкоамплитудными периодами.

У здоровых недоношенных детей и доношенных новорождённых в течение первого месяца жизни наблюдают альтернирующую активность во время спокойного сна. На ЭЭГ новорождённых присутствуют физиологические острые потенциалы, характеризующиеся мультифокальностью, спорадичностью появления, нерегулярностью следования. Амплитуда их обычно не превышает 100-110 мкВ, частота возникновения в среднем составляет 5 в час, основное их количество приурочено к спокойному сну.

Нормальными также считают относительно регулярно возникающие острые потенциалы в лобных отведениях, не превышающие по амплитуде 150 мкВ. Нормальная ЭЭГ зрелого новорождённого характеризуется наличием ответа в виде уплощения ЭЭГ на внешние стимулы.

В течение первого месяца жизни зрелого ребёнка исчезает альтернирующая ЭЭГ спокойного сна, на втором месяце появляются веретёна сна, организованная доминирующая активность в затылочных отведениях, достигающая частоты 4-7 гц в возрасте 3 мес.

В течение 4-6-го месяцев жизни количество θ -волн на ЭЭГ постепенно увеличивается, а δ -волн - уменьшается, так что к концу 6-го месяца на ЭЭГ доминирует ритм частотой 5-7 Гц. С 7-го по 12-й месяц жизни формируется α -ритм с постепенным уменьшением количества δ - и θ -волн. к 12 мес доминируют колебания, которые можно охарактеризовать как медленный α -ритм (7-8,5 Гц). С 1 года до 7-8 лет продолжается процесс постепенного вытеснения медленных ритмов более быстрыми колебаниями (α - и β -диапазона) (табл. 6-1). После 8 лет на ЭЭГ доминирует α -ритм. Окончательное формирование ЭЭГ происходит к 16-18 годам.

Граничные значения частоты доминирующего ритма у детей

Возраст, лет	Частота, Гц
1	>5
3	>6
5	>7
8	>8

На ЭЭГ здоровых детей могут присутствовать избыточные диффузные медленные волны, вспышки ритмичных медленных колебаний, разряды эпилептиформной активности, так что с точки зрения традиционной оценки возрастной нормы даже у заведомо здоровых лиц в возрасте до 21 года к "нормальным" могут быть отнесены только 70-80% ЭЭГ.

- С 3-4 и до 12 лет нарастает (с 3 до 16%) доля ЭЭГ с избыточными медленными волнами, а затем этот показатель достаточно быстро снижается.
- Реакция на гипервентиляцию в форме появления высокоамплитудных медленных волн в возрасте 9-11 лет более выражена, чем в младшей группе. Не исключено, однако, что это связано с менее чётким выполнением пробы детьми младшего возраста.

Представленность некоторых вариантов ЭЭГ в здоровой популяции в зависимости от возраста

Вид активности	1 - 15 лет	16-21 год
Медленная диффузная активность амплитудой более 50 мкВ, регистрируемая более 30% времени записи	14%	5%
Медленная ритмическая активность в задних отведениях	25%	0,5%
Эпилептиформная активность, вспышки ритмичных медленных волн	15%	5%
"Нормальные" варианты ЭЭГ	68%	77%

Уже упомянутая относительная стабильность характеристик ЭЭГ взрослого человека сохраняется приблизительно до 50 лет. С этого периода наблюдается перестройка спектра ЭЭГ, выражающаяся в уменьшении амплитуды и относительного количества α -ритма и нарастании количества β - и θ -волн. Доминирующая частота после 60-70 лет имеет тенденцию к снижению. В этом возрасте у практически здоровых лиц также появляются видимые при визуальном анализе θ - и δ -волны.

***ИЗМЕНЕНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ
ПРИ НЕВРОЛОГИЧЕСКОЙ
ПАТОЛОГИИ***

- Неврологические заболевания можно условно разделить на две группы.
- *Первые* связаны по преимуществу со структурными мозговыми нарушениями. К ним относятся сосудистые, воспалительные, аутоиммунные, дегенеративные, травматические поражения. В их диагностике решающая роль принадлежит нейровизуализации, и значение ЭЭГ здесь мало.
- Ко *второй* группе относятся заболевания, при которых симптоматика обусловлена в основном нейродинамическими факторами. В отношении этих расстройств ЭЭГ обладает разной степенью чувствительности, от чего зависит целесообразность её применения. Наиболее распространённой из этой группы расстройств (и самым распространённым заболеванием мозга) является эпилепсия, представляющая собой в настоящее время главное поле клинического применения ЭЭГ.

Задачи ЭЭГ в неврологической практике следующие:

(1) констатация поражения мозга

(2) определение характера и локализации патологических изменений

(3) оценка динамики состояния.

Явная патологическая активность на ЭЭГ является достоверным свидетельством патологического функционирования мозга.

Патологические колебания связаны с текущим патологическим процессом.

При резидуальных расстройствах изменения в ЭЭГ могут отсутствовать, несмотря на значительный клинический дефицит.

Одним из основных аспектов диагностического использования ЭЭГ является определение локализации патологического процесса .

Диффузное поражение мозга, вызываемое воспалительным заболеванием, дисциркуляторными, метаболическими, токсическими нарушениями, приводит соответственно к диффузным изменениям ЭЭГ. Они проявляются полиритмией, дезорганизацией и диффузной патологической активностью.

Полиритмия - отсутствие регулярного доминирующего ритма и преобладание полиморфной активности.

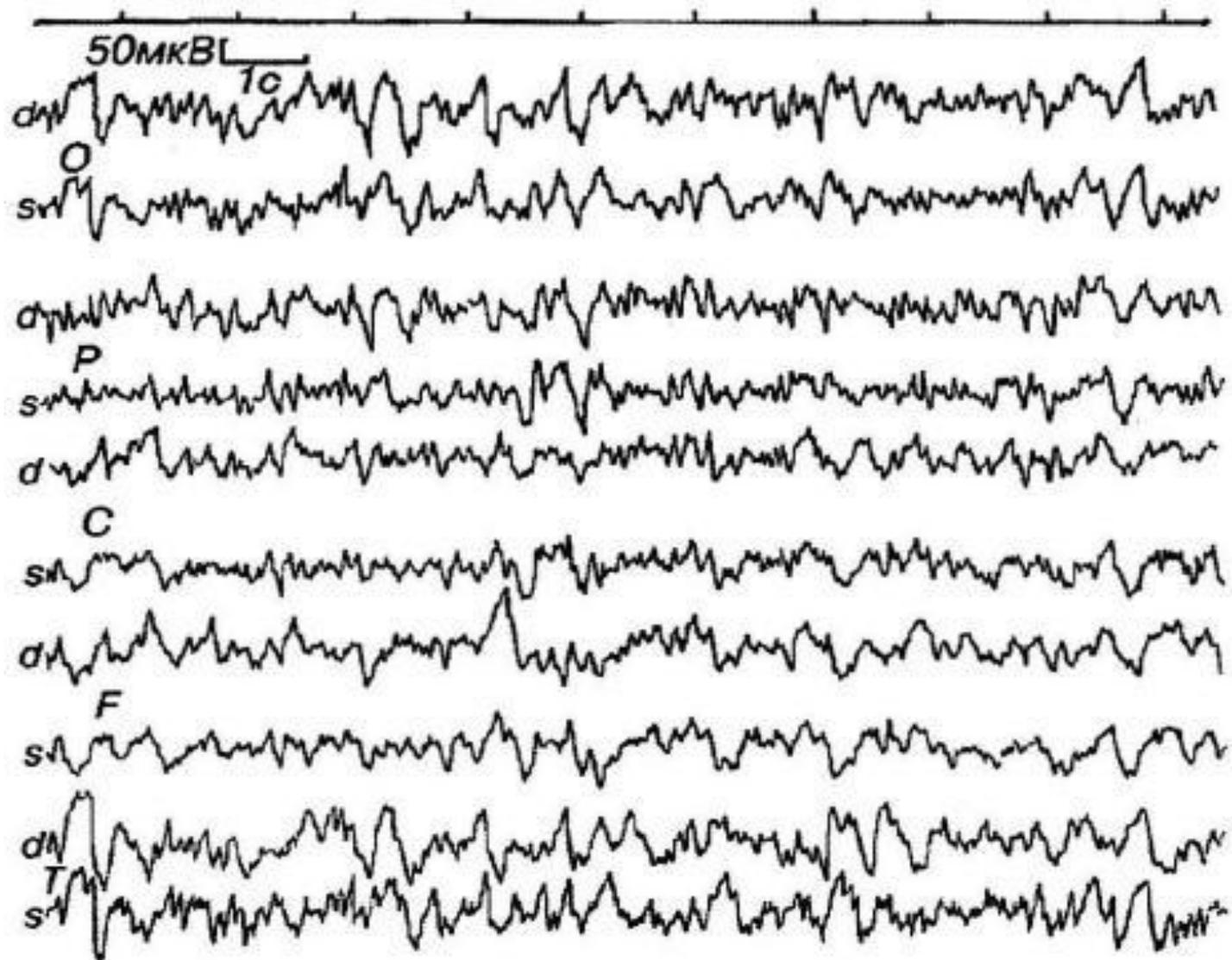
Дезорганизация ЭЭГ - исчезновение характерного градиента амплитуд нормальных ритмов, нарушение симметричности

Диффузная патологическая активность

представлена θ -, δ -, эпилептиформной активностью.

Картина полиритмии обусловлена случайной комбинацией разных видов нормальной и патологической активности.

Основным признаком диффузных изменений, в отличие от фокальных, является отсутствие постоянной локальности и стабильной асимметрии активности в ЭЭГ



ЭЭГ больного 43 лет с последствиями менингоэнцефалита. Диффузные изменения на ЭЭГ: диффузные θ -, δ -волны и острые колебания.

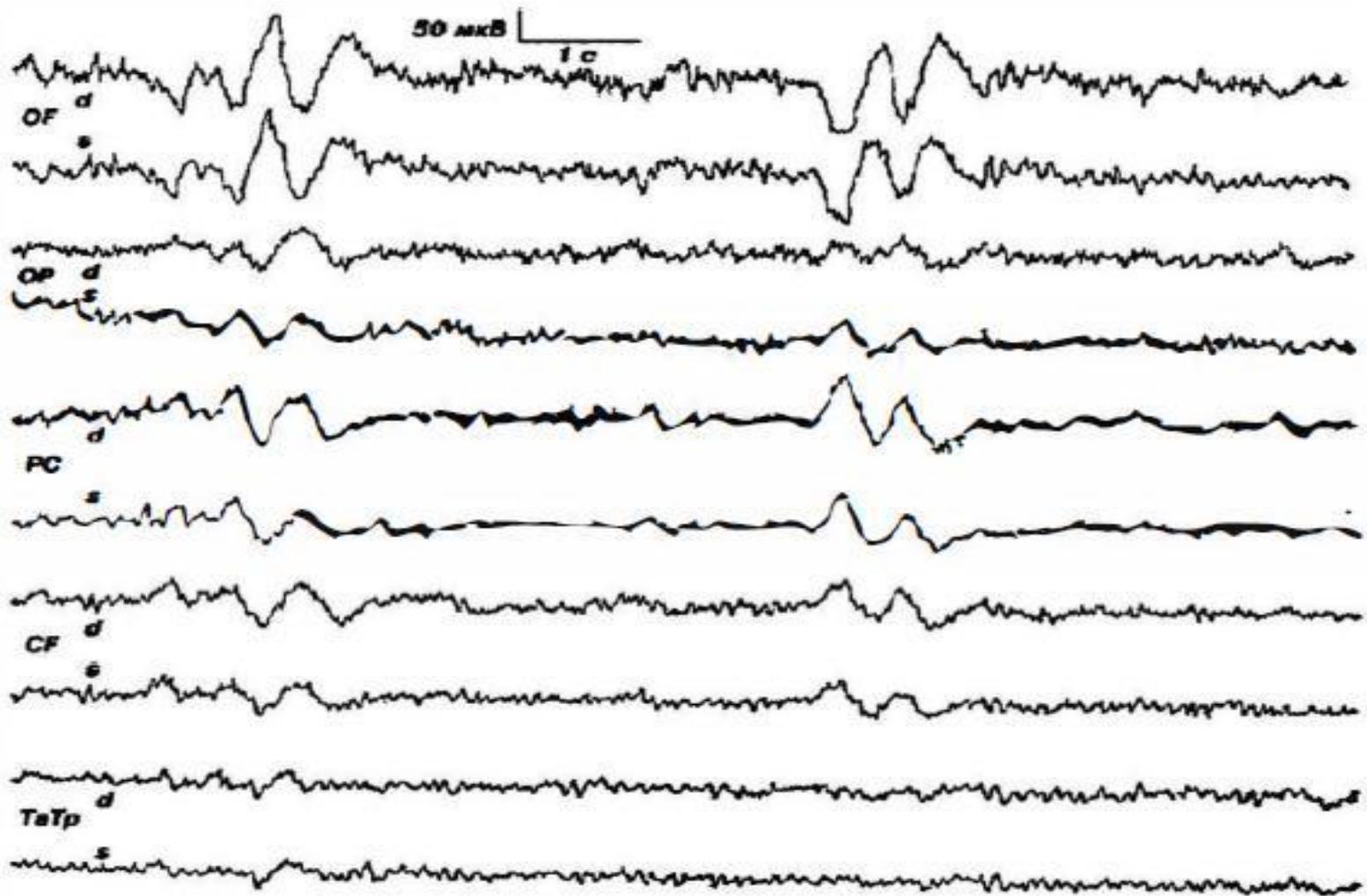
Поражение или дисфункция срединных структур большого мозга, вовлекающие неспецифические восходящие проекции, проявляются билатеральносинхронными вспышками медленных волн или эпилептиформной активности, при этом вероятность появления и выраженность медленной патологической билатерально-синхронной активности тем больше, чем выше по невральной оси располагается поражение.

Так, даже при грубом поражении бульбопонтичных структур ЭЭГ в большинстве случаев остаётся в пределах нормы.

В части случаев из-за поражения на этом уровне неспецифической синхронизирующей ретикулярной формации возникает десинхронизация и, соответственно, низкоамплитудная ЭЭГ.

Поскольку такие ЭЭГ наблюдаются у 5-15% здоровых взрослых, их следует рассматривать как условно патологические.

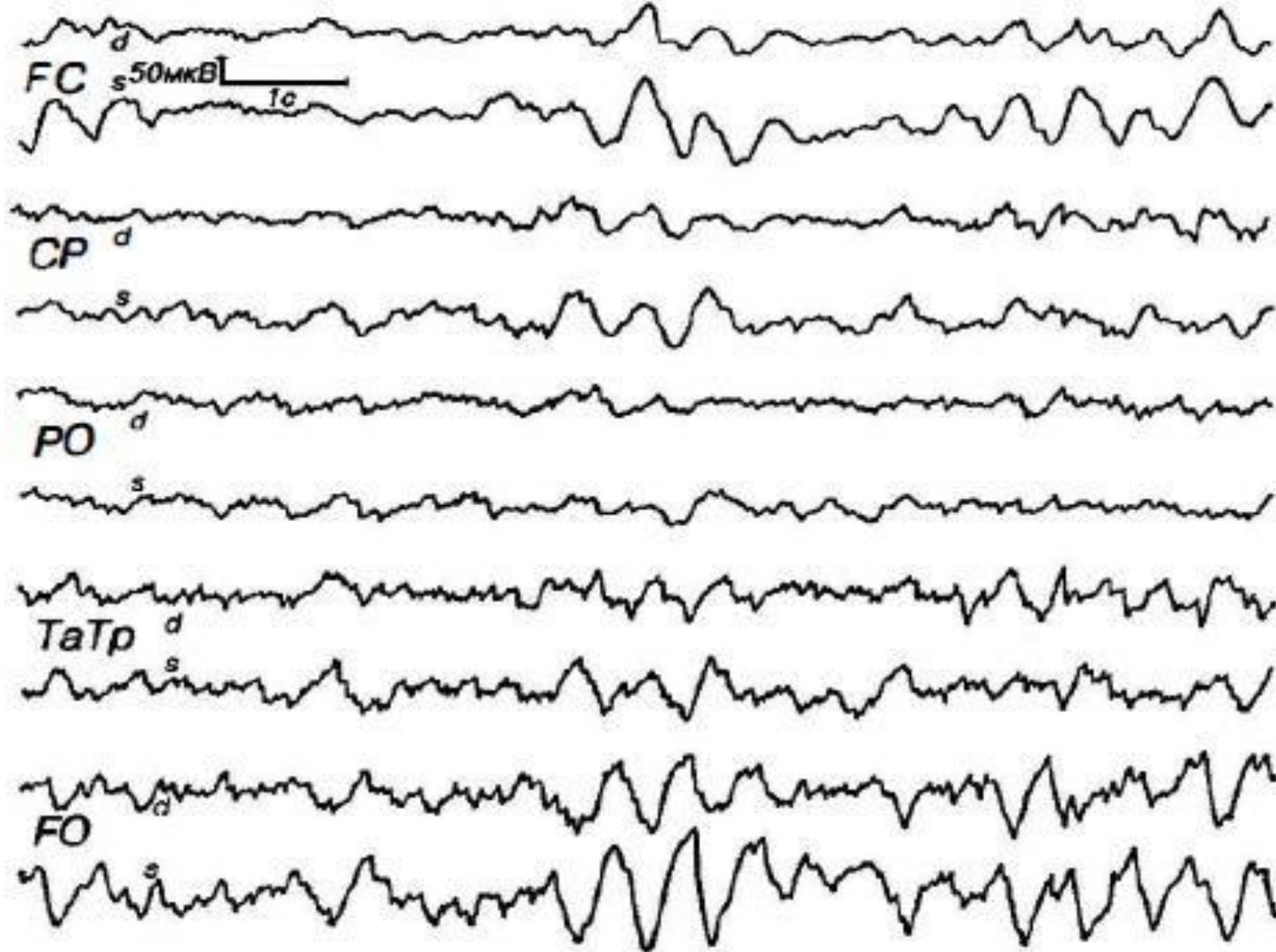
Только у небольшого количества больных с поражениями на нижнестволовом уровне наблюдают вспышки билатерально-синхронных высокоамплитудных (X- или медленных волн. При поражении на мезенцефальном и диэнцефальном уровне, а также более высоко лежащих срединных структур большого мозга: поясной извилины, мозолистого тела, орбитальной коры - на ЭЭГ наблюдают билатерально-синхронные высокоамплитудные θ - и δ -волны



ЭЭГ больного 38 лет с менингиомой серповидного отростка в прецентральных, заднелобных отделах. Билатерально-синхронные вспышки о-волн, преобладающие в центральнолобных отведениях, на фоне нормальной электрической активности.

При латерализованных поражениях в глубине полушария за счёт широкой проекции глубинных структур на обширные области мозга наблюдается соответственно широко распространённая по полушарию патологическая θ - и δ -активность.

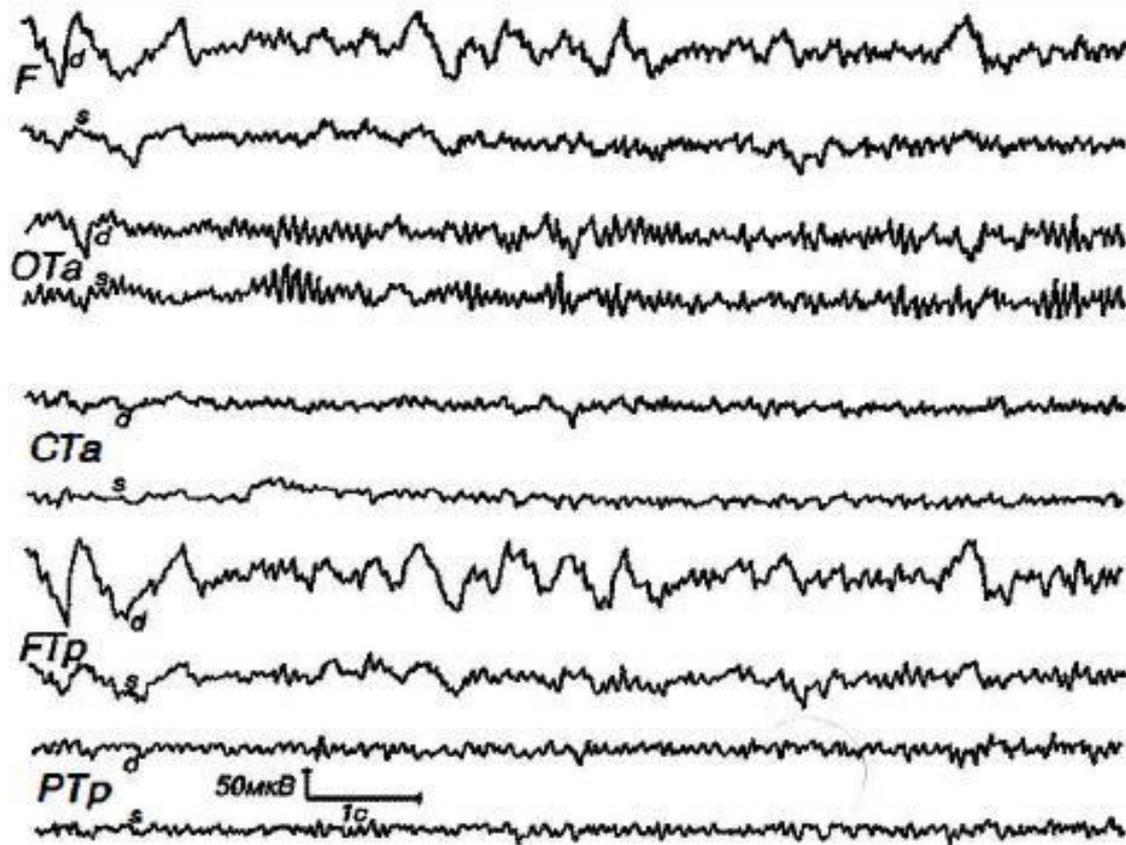
Из-за непосредственного влияния медиального патологического процесса на срединные структуры и вовлечение симметричных структур здорового полушария появляются и билатерально-синхронные медленные колебания, преобладающие по амплитуде на стороне поражения



ЭЭГ при глиоме медиобазальных отделов левой лобной доли .
Билатерально-синхронные регулярные высокоамплитудные
вспышки δ -волн 1,5-2 Гц, преобладающие по амплитуде слева и в
передних отделах.

Поверхностное расположение поражения вызывает локальное изменение электрической активности, ограниченное зоной нейронов, непосредственно прилегающих к фокусу деструкции. Изменения проявляются медленной активностью, выраженность которой зависит от тяжести поражения.

Эпилептическое возбуждение проявляется локальной эпилептиформной активностью



ЭЭГ больного с конвекситальной, прорастающей кору астроцитомой правой лобной доли. Чётко ограниченный очаг δ -волн в правой лобной области (отведения F и FTp)

Опухоли полушарий мозга

- Вызывают появление на ЭЭГ медленных волн.
- При вовлечении срединных структур к локальным изменениям могут присоединяться билатерально-синхронные нарушения.
- Характерно прогрессирующее увеличение выраженности изменений с ростом опухоли.
- Экстрацеребральные доброкачественные опухоли вызывают менее грубые нарушения.
- Астроцитомы нередко сопровождаются эпилептическими припадками, и в таких случаях наблюдают эпилептиформную активность соответствующей локализации.
- При эпилепсии регулярное сочетание эпилептиформной активности с постоянными и нарастающими при повторных исследованиях δ -волнами в области фокуса свидетельствует в пользу неопластической этиологии.

Цереброваскулярные заболевания

- Выраженность нарушений ЭЭГ зависит от тяжести повреждения мозга.
- Когда поражение церебральных сосудов не приводит к тяжёлой, клинически проявляющейся ишемии мозга, *изменения на ЭЭГ могут отсутствовать или несут пограничный с нормой характер.*
- При дисциркуляторных расстройствах в вертебробазилярном русле может наблюдаться *десинхронизация и уплощение ЭЭГ.*

- При ишемических инсультах в острой стадии изменения проявляются θ - и δ -волнами.
- При каротидном стенозе патологические ЭЭГ встречаются менее чем у 50% больных, при тромбозе сонной артерии - у 70%, а при тромбозе средней мозговой артерии - у 95% больных.
- Стойкость и выраженность патологических изменений на ЭЭГ зависят от возможностей коллатерального кровообращения и тяжести поражения мозга.
- После острого периода на ЭЭГ наблюдается уменьшение выраженности патологических изменений.
- В ряде случаев в отдалённом периоде перенесённого инсульта ЭЭГ нормализуется даже при сохранении клинического дефицита.
- При геморрагических инсультах изменения на ЭЭГ значительно более грубые, стойкие и распространённые, что соответствует и более тяжёлой клинической картине.

Черепно-мозговая травма

- Изменения на ЭЭГ зависят от тяжести и наличия локальных и общих изменений.
- При сотрясении мозга в период утраты сознания наблюдают *генерализованные медленные волны*.
- В ближайшем периоде могут появляться *негрубые диффузные θ -волны амплитудой до 50-60 мкВ*.
- При ушибе мозга, его размозжении в области поражения наблюдаются *δ -волны высокой амплитуды*.
- При обширном конвексиальном поражении можно обнаружить *зону отсутствия электрической активности*.
- При субдуральной гематоме на её стороне наблюдают *медленные волны*, которые могут иметь относительно низкую амплитуду.

- Иногда развитие *гематомы* сопровождается *снижением амплитуды нормальных ритмов* в соответствующей области из-за "экранирующего" действия крови.
- В благоприятных случаях в отдалённом периоде после травмы ЭЭГ нормализуется.
- Прогностическим критерием развития посттравматической эпилепсии является *появление эпилептиформной активности*.
- В части случаев в отдалённом периоде после травмы развивается *диффузное уплощение ЭЭГ*, свидетельствующее о неполноценности активирующих неспецифических систем мозга.

Воспалительные, аутоиммунные, прионовые заболевания мозга.

При менингитах в острой фазе наблюдают грубые изменения в виде *диффузных высокоамплитудных δ - и θ -волн, фокусов эпилептиформной активности с периодическими вспышками билатерально-синхронных патологических колебаний,* свидетельствующих о вовлечении в процесс срединных отделов мозга.

Стойкие локальные патологические фокусы могут свидетельствовать о менингоэнцефалите или абсцессе мозга.

При **панэнцефалитах** характерны *периодические комплексы в виде стереотипных генерализованных высокоамплитудных (до 1000 мкВ) разрядов θ - и δ -волн*, обычно комбинирующихся с короткими веретёнами колебаний в α - или β -ритме, а также с острыми волнами или спайками.

Они возникают по мере прогрессирования заболевания с появления одиночных комплексов, которые вскоре приобретают периодический характер, увеличиваясь по длительности и амплитуде.

Частота их появления постепенно возрастает, пока они не сливаются в непрерывную активность

- При герпесном энцефалите комплексы наблюдают в 60-65% случаев, преимущественно при тяжёлых формах заболевания с неблагоприятным прогнозом.
- Приблизительно в двух третях случаев периодические комплексы фокальны, чего не бывает при панэнцефалите Ван-Богарта.
- При болезни Крейтцфельда-Якоба обычно через 12 мес от начала болезни появляется непрерывная регулярная ритмическая последовательность комплексов типа острая-медленная волна, следующих с частотой 1,5-2 Гц



Периодические комплексы острая-медленная волна и полифазные волны при болезни Крейтцфельда-Якоба

**Приказ РК №622 от 11 августа
2010 года о правилах констатации
биологической смерти мозга**

Смерть мозга - состояние полного и необратимого прекращения всех функций головного мозга, регистрируемое при работающем сердце и принудительной вентиляции легких. Смерть мозга приравнивается к смерти человека.

Смерть мозга при первичных повреждениях мозга развивается вследствие резкого повышения внутричерепного давления и обусловленного им прекращения мозгового кровообращения.

К первичным повреждениям мозга относятся:

- 1) тяжелая черепно-мозговая травма;
- 2) спонтанные и иные внутричерепные кровоизлияния;
- 3) инфаркт мозга;
- 4) опухоли мозга;
- 5) внутричерепные оперативные вмешательства на мозге.

Вторичное повреждение мозга возникает в результате гипоксии различного генеза, в том числе при остановке сердца и прекращении или резком ухудшении системного кровообращения, вследствие длительно продолжающегося шока и других вторичных повреждений мозга.

Условия для констатации биологической смерти или необратимой гибели головного мозга (смерти мозга)

Диагноз смерти мозга не рассматривается до тех пор, пока не исключены следующие воздействия:

- 1) интоксикации, включая лекарственные;
- 2) первичную гипотермию;
- 3) гиповолемический шок;
- 4) метаболические эндокринные комы;
- 5) применение наркотизирующих средств и миорелаксантов

При наличии интоксикации,
установленной в результате
токсикологического исследования,
диагноз смерти мозга до исчезновения
ее признаков не рассматривается.

**Для установления диагноза смерти мозга
необходимо наличие следующих клинических
признаков в совокупности:**

- 1) полное и устойчивое отсутствия сознания;
- 2) устойчивое отсутствие самостоятельного дыхания при отключении аппарата искусственной вентиляции легких;
- 3) атония всех мышц;
- 4) исчезновение любых реакций на внешнее раздражение и любых видов рефлексов, (отсутствие реакции на сильные болевые раздражения в области тригеминальных точек, корнеальных, окулоцефалических, окуловестибулярных фарингеальных, трахеальных), замыкающихся выше уровня спинного мозга.

Для установления диагноза смерти мозга необходимо наличие следующих клинических признаков в совокупности (продолжение)

5) устойчивое расширение и ареактивность зрачков и их фиксация в среднем положении, (при этом должно быть известно, что никакие препараты, расширяющие зрачки, не применялись, глазные яблоки неподвижны);

6) тенденция к гипотензии - 80 миллиметров ртутного столба (далее - мм рт.ст.) и ниже, спонтанная гипотермия;

7) отсутствие самостоятельного дыхания. Регистрация отсутствия дыхания не допускается простым отключением от аппарата искусственной вентиляции легких (далее - ИВЛ), так как развивающаяся при этом гипоксия оказывает вредное влияние на организм и, прежде всего, на мозг и сердце. Отключение больного от аппарата ИВЛ должно производиться с помощью специально разработанного разъединительного теста (тест апноэтической оксигенации).

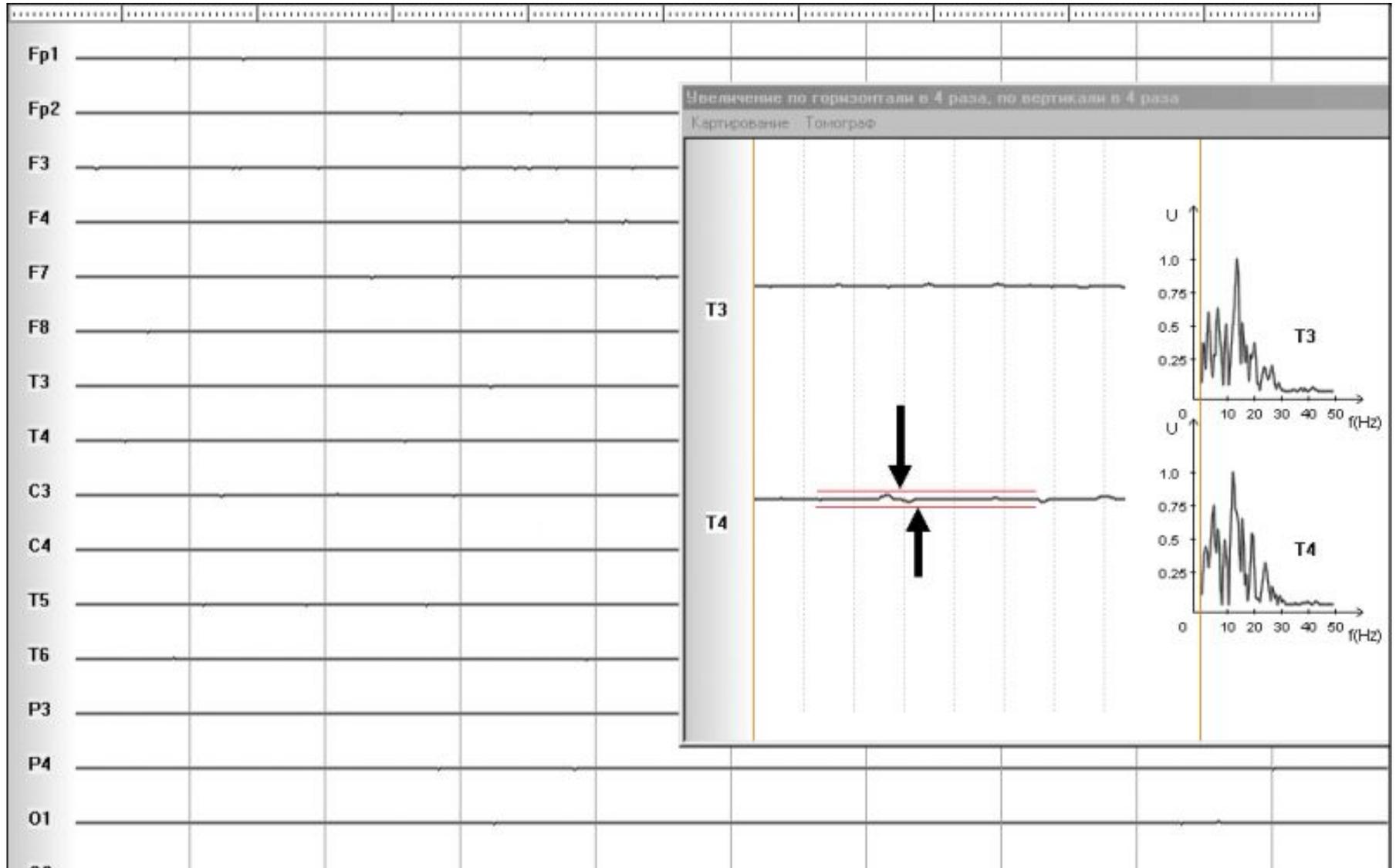
Дополнительные (подтверждающие) тесты к комплексу клинических критериев при установлении диагноза смерти мозга

- ЭЭГ
- Панангиография магистральных артерий головы проводится для укорочения необходимой продолжительности наблюдения.

За электрическое молчание мозга принимается запись ЭЭГ, в которой амплитуда активности от пика до пика не превышает 2 микровольт (далее - мкВ), при записи от скальповых электродов с расстоянием между ними не меньше 10 сантиметров и при сопротивлении до 10 килоом (далее - кОм), но не меньше 100 Ом.

Электрическое молчание коры мозга в этих условиях должно сохраняться не менее 30 минут непрерывной регистрации.

Смерть мозга



При определении отсутствия мозгового кровообращения производится контрастная двукратная панангиография четырех магистральных сосудов головы (общие сонные и позвоночные артерии) с интервалом не менее 30 минут. Среднее артериальное давление во время ангиографии должно быть не менее 80 мм рт. ст.

Если при ангиографии выявляется, что ни одна из внутримозговых артерий не заполняется контрастным веществом, то это свидетельствует о прекращении мозгового кровообращения.