

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Амбулаторно-телеметрические мобильные ЭЭГ-исследования в клинической практике

Захаров С.М., Скоморохов А.А.

Научно-производственно-конструкторская фирма «Медиком МТД», Таганрог  
www.medicom-mtd.com, e-mail: office@medicom-mtd.com

### ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие современной микроэлектроники, новых технологий беспроводной передачи данных, средств обработки и накопления информации привело к созданию портативных приборов для электроэнцефалографии и нейрофизиологии с характеристиками, которые в недавнем прошлом были просто недоступны для повседневной клинической практики. Новый уровень диагностики обеспечивается возможностью проведения врачом как полноценных общепринятых рутинных ЭЭГ-исследований в месте нахождения пациента (дома, в палате или в кабинете врача), так и длительных (до трех суток) записей ЭЭГ или полисомнографических исследований с регистрацией данных на внутреннюю память приборов (по типу холтеровского мониторинга). Стало доступным также проведение синхронизированного ЭЭГ-видеомониторинга с записью данных в память портативного компьютера. С распространением миниатюрных беспроводных приборов резко возрастает доступность диагностических исследований для контроля эффективности проводимой терапии. Это может иметь практическое значение при подборе лекарственных средств, физиотерапевтических воздействиях — магнитной, ультразвуковой и МДМ-стимуляции, различных физических нагрузках, функциональных пробах, нейрореабилитационных мероприятиях. Спектр применения таких приборов все больше расширяется, а диагностика и контроль состояния здоровья в буквальном смысле «приближаются» к пациенту.

С целью максимального обеспечения перечисленных выше возможностей научно-производственно-конструкторской фирмой «Медиком МТД» (г. Таганрог) еще в 2003 г. был разработан портативный беспроводной электроэнцефалограф-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», который в настоящее время претерпел значительные изменения. Сейчас этот электроэнцефалограф-регистратор

дополнен новыми миниатюрными беспроводными устройствами, которые можно комбинировать для получения необходимых моделей приборов с оптимальной конфигурацией, удовлетворяющей требованиям различных диагностических, клинических или научно-исследовательских задач (рис. П.1). В состав могут входить пульсоксиметр, модуль респираторных датчиков, датчики двигательной активности, блок стимуляции, полиграфический многофункциональный усилитель, кардиореспираторный модуль и ряд других беспроводных устройств (рис. П.2–П.4). В комплект включен и видеорегистратор для синхронизированного видеомониторинга (см. рис. П.4).



**Рис. П.1.** Электроэнцефалограф-регистратор «Энцефалан-ЭЭГР-19/26»



**Рис. П.2.** Модуль респираторных датчиков с комплектом принадлежностей

Мощный портативный компьютер электроэнцефалографа, базовые блоки пациента, беспроводные датчики и стимуляторы соединены и синхронизированы между собой в единую беспроводную пикосеть по технологии Bluetooth, и все



Рис. П.3. Дополнительные телеметрические модули



Рис. П.4. Беспроводной блок стимуляции с принадлежностями и видеорегистратор

устройства воспринимаются пользователем как единый многоканальный медицинский прибор. Обеспечивается синхронное накопление всех регистрируемых ЭЭГ-данных и различных физиологических сигналов на карту памяти базового автономного блока пациента или телеметрическая передача данных в компьютер для визуализации, цифровой обработки и анализа в реальном времени, при проведении различных видов исследований (рис. П.5), которые в дальнейшем будем называть амбулаторными мобильными ЭЭГ-исследованиями (АМЭЭГ).

Выпускается десять моделей электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», которые отличаются медицинским назначением и комплектностью. Электроэнцефалограф-регистратор имеет сертификаты соответствия и утверждения типа средства измерения, регистрационные удостоверения МЗ России, Украины, Беларуси, Казахстана и европейские сертификаты CE, в соответствии с требованиями Директивы 93/42/ЕЕС.

## ЭЭГ-ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕСТЕ НАХОЖДЕНИЯ ПАЦИЕНТА

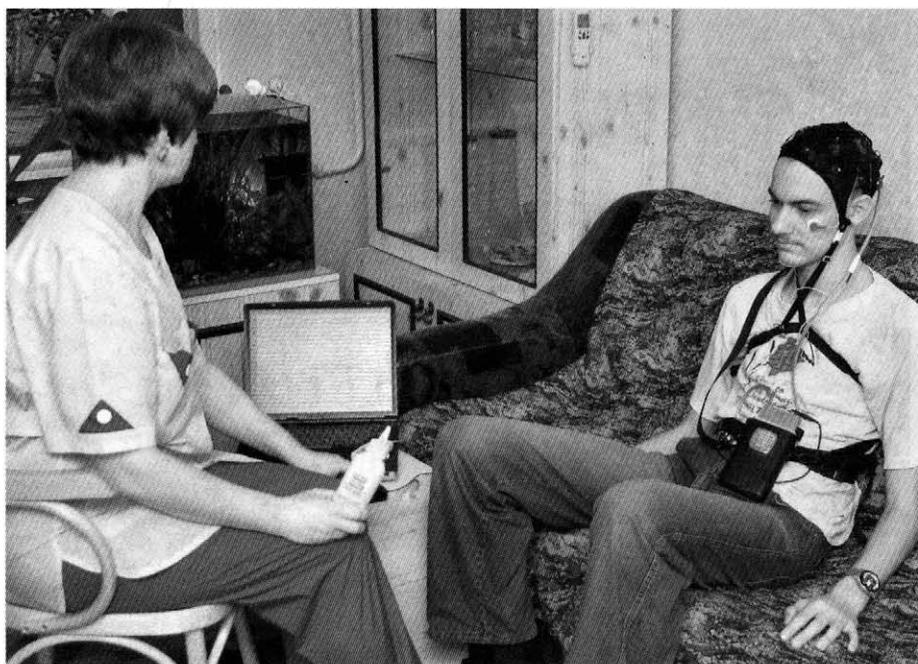
Портативный электроэнцефалограф-регистратор (модель Т) в телеметрическом (беспроводном) режиме используется для рутинных исследований как в кабинете врача, так и в месте нахождения пациента: в больничной палате, дома, в машине



**Рис. П.5.** Применение электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26»: Слева — телеметрический контроль регистрации ЭЭГ перед началом амбулаторного мониторингования ЭЭГ. Справа — нейрофизиологическое мониторингование ЭЭГ при реабилитационных мероприятиях на комплексе Lokomat

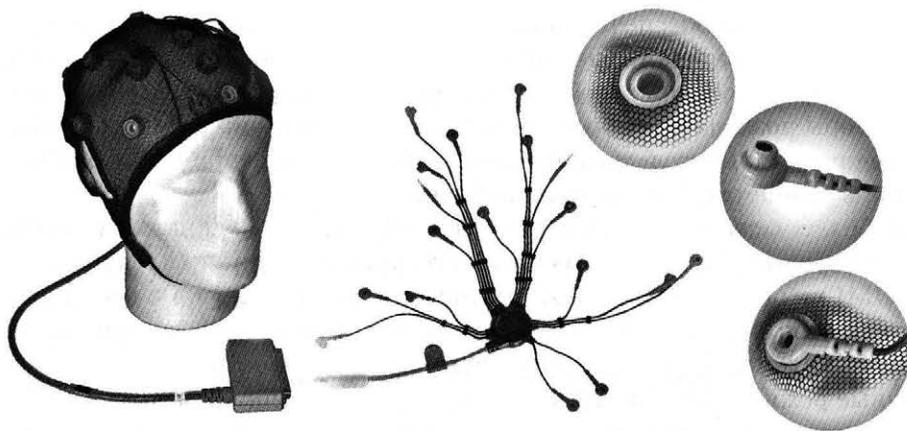
скорой помощи, в полевых условиях. Необходимый для проведения исследования комплект оборудования помещается в одной наплечной сумке для портативного компьютера. Никаких специальных требований к месту проведения исследования не предъявляется (рис. П.6). Наличие у портативного компьютера аккумуляторов для обеспечения автономной работы, малый вес электроэнцефалографа-регистратора (менее 400 г) и его автономное питание обеспечивает проведение исследований в любых условиях. Компактные фоно, фото и электростимуляторы позволяют выполнять необходимые функциональные пробы. Технология проведения исследований не отличается от общепринятой, обычно проводимой в кабинетах функциональной диагностики.

Наиболее часто проводится регистрация ЭЭГ по 20 каналам и данных от ЭКГ-электродов, датчиков дыхания, датчиков движения (электромиограммы — ЭМГ) и окулограммы (ЭОГ), датчика положения тела. Во время обработки результатов исследования сигналы могут просматриваться при различных монтажных схемах, параметрах усиления и фильтрации, могут использоваться различные режимы компьютерной обработки, что помогает максимально точно локализовать любые важные эпизоды в ЭЭГ-активности. Краткая сводка всех записанных данных в виде трендов позволяет быстро оценить все основные ЭЭГ-события.



**Рис. П.6.** Пример исследований в домашних условиях

В состав регистратора входит оригинальный комплект электродов «Энцефалан-КЭ» с шапочками разных размеров, обеспечивающих комфортную для пациента регистрацию сигналов ЭЭГ (рис. П.7). Отличием от аналогичных импортных систем являются легко отделяемые от шапочек электродные системы — детская и взрослая, что позволяет иметь много недорогих шапочек (в комплекте предусмотрено 8 размеров) для двух электродных систем. Такая возможность



**Рис. П.7.** Электродная система, электрод и фиксирующая шапочка из комплекта «Энцефалан-КЭ»

помогает легко решать вопрос со стиркой и дезинфекцией, а также позволяет всегда иметь шапочки необходимых размеров.

Электроэнцефалограф-регистратор предоставляет возможность проведения исследования вызванных потенциалов: слуховых, зрительных, когнитивных (CNV, P300). Исследование проводится с помощью беспроводного фонофотостимулятора, синхронизированного и управляемого от портативного компьютера. Такая технология позволяет провести полноценные функциональные пробы для ЭЭГ-исследования и затем продолжить запись амбулаторно, с сохранением ЭЭГ на карту памяти прибора.

Мощное программно-методическое обеспечение (ПМО) включает в себя весь накопленный за пятнадцать лет существования опыт применения в клинической практике электроэнцефалографов с торговой маркой «Энцефалан». В состав ПМО входят все общепринятые в настоящее время методы визуального и количественного анализа. Обеспечивается возможность эффективного визуального анализа данных — референтная реконструкция, фильтрация, многооконное (сплит) представление сигналов, перелистывание и прокрутка сигналов, поиск необходимых данных, цифровая фильтрация. Традиционные методы диагностики дополняют количественные методы анализа ЭЭГ: топографическое двух- и трехмерное картирование различных характеристик ЭЭГ; спектральный и корреляционный методы анализа; когерентный анализ ЭЭГ с построением карт межцентральных связей для оценки межполушарных и внутриполушарных взаимодействий; режим сжатых спектров; автоматический поиск эпилептиформной активности; топоскоп реального времени; обработка данных длительного ЭЭГ-видеомониторинга; автоматизированное построение гипнограммы; экспорт данных ЭЭГ и результатов ее обработки в форматы ASCII, UDF, EDF; формирование описания и классификация ЭЭГ и др.

## **АМБУЛАТОРНОЕ МОНИТОРИРОВАНИЕ ЭЭГ (ПО ТИПУ ХОЛТЕРОВСКОГО)**

В настоящий момент в нашей стране и за рубежом для проведения различных видов исследований применяются уже более 200 портативных электроэнцефалографов-регистраторов «Энцефалан», в том числе и для амбулаторного мониторинга ЭЭГ (модель АТ). Более чем пятилетний опыт применения электроэнцефалографа-регистратора для АМЭЭГ накоплен в лаборатории нейрофизиологии Научного центра НИИ неврологии РАМН, г. Москва (руководитель — д-р биол. наук, профессор В.В. Гнездицкий).

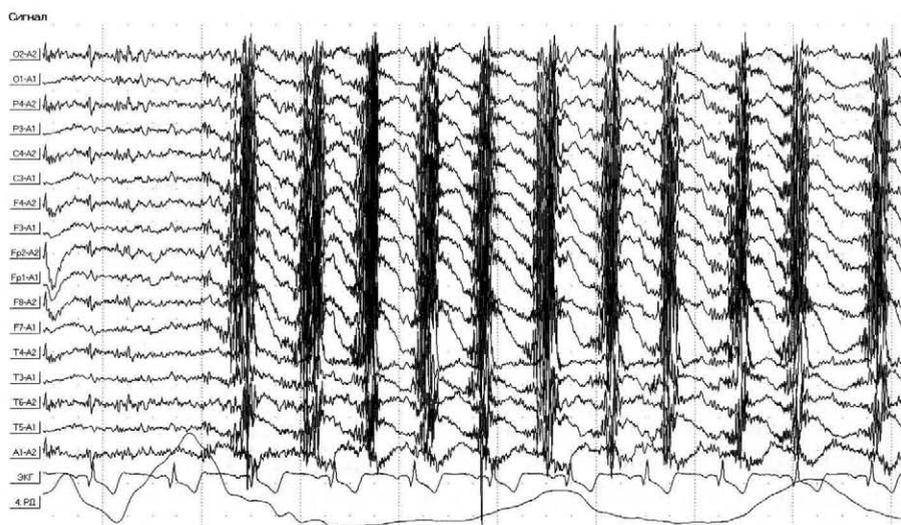
В лаборатории проводятся различные виды исследований длительностью от 3 до 24 ч, такие как амбулаторный мониторинг, палатный телеметрический мониторинг ЭЭГ, мониторинг ЭЭГ и полиграфических показателей в реанимации или палате интенсивной терапии, а также операционный телеметрический мониторинг — контроль гипоксии при стентировании.

Постановка электродов при амбулаторном мониторинге проводится непосредственно в лаборатории, где осуществляется запись в течение 20–30 мин

в телеметрическом режиме. Затем больной уезжает домой, где продолжается длительная запись ЭЭГ в естественных для него условиях, в том числе и в процессе сна. Утром или днем пациент приезжает в лабораторию, где проводятся необходимые функциональные пробы, после чего с него снимается оборудование, с карты памяти прибора считывается информация на жесткий диск компьютера для последующей расшифровки ЭЭГ. Иногда постановка электродов проводится на дому.

В процессе длительного исследования пациент или его родственники обычно ведут дневник событий с помощью отметчика событий — диктофона, метки и речевые комментарии с которого по окончании исследования переносятся в компьютер, сохраняются и синхронизируются с данными ЭЭГ-исследования. Строгая синхронизация меток с ЭЭГ-данными помогает быстро найти представляющие интерес фрагменты записи и воспроизвести информацию по эпизодам ЭЭГ-активности и речевым отчетам пациента или сопровождающих его лиц.

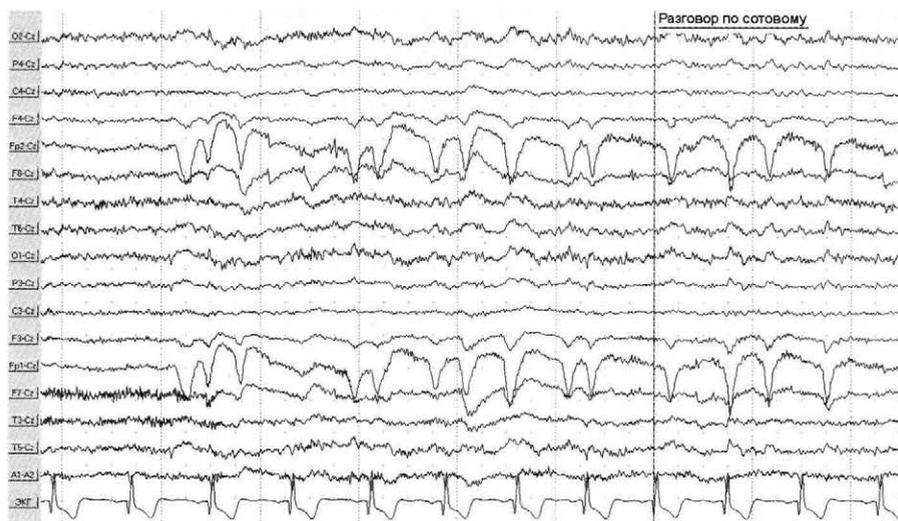
При проведении АМЭЭГ большое внимание необходимо уделять особенностям получаемых данных — трактовке различных паттернов, встречающихся при длительной регистрации ЭЭГ, их дифференцировке от артефактных потенциалов, неизбежно встречающихся при регистрации ЭЭГ в свободном поведении (рис. П.8), особенностям выделения и идентификации паттернов сна и патологических знаков и оценке их клинической значимости. В составе ПМО электроэнцефалографа-регистратора есть специальные средства для быстрого поиска нестационарностей в длительной ЭЭГ-записи (например, эпилептиформной активности). Физиологические артефакты (миографические, окулографические, кардиографические, дыхательные и двигательные), регистрируемые электроэнцефалографом-регистратором и оказывающие влияние на ЭЭГ-сигналы, могут



**Рис. П.8.** Пример ЭМГ-артефактов от *m. masseter* (жевательных движений с активностью от челюстных мышц)

быть удалены из полученных данных программным путем. Предусмотрены средства для автоматического построения гипнограммы.

Следует отметить высокое качество продолжительной записи ЭЭГ при естественном поведении пациента с помощью электродных шапочек «Энцефалан-КЭ» и электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26». Например, разговоры по сотовому телефону существенно не влияют на регистрацию ЭЭГ, в отличие от записей, проведенных на стационарных приборах (рис. П.9).



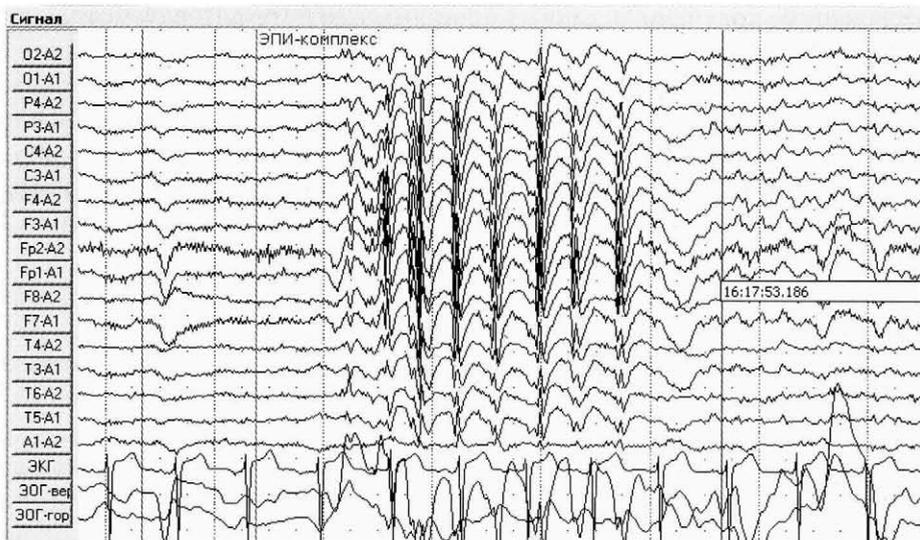
**Рис. П.9.** Пример записи при АМЭЭГ во время разговора по сотовому телефону

При палатном мониторинге запись проводится в отделении клиники при естественном поведении больного, включая период записи во сне. При реанимационном мониторинге установка шлема с электродами осуществляется непосредственно у кровати больного, делается короткая телеметрическая запись (фоновая запись и необходимые функциональные пробы) в течение 20–30 мин, прибор оставляют в палате для длительной регистрации ЭЭГ и полиграфических показателей с целью контроля состояния больного, включая сон.

На рис. П.10–П.12 для иллюстрации возможностей АМЭЭГ приведены результаты, полученные в процессе амбулаторного мониторинга ЭЭГ у пациента У., 21 год.

Предположительный диагноз: диэнцефальный синдром, эписиндром, кардиомиопатия, аритмия. Судорожные приступы с потерей сознания начались в 10–11 лет, в последнее время участились (до нескольких раз в месяц). На КТ признаки энцефалопатии, очаговых изменений нет. В связи с кардиомиопатией и аритмией наблюдается у кардиолога в НЦССХ им. Бакулева.

Причина назначения АМЭЭГ — уточнение природы приступов (эпилептическая или кардиогенная). В ранее неоднократно проведенных обследованиях дневной ЭЭГ (5 обследований) специфических эпилептиформных знаков не вы-



**Рис. П.10.** Пациент У, 21 год. Самый длительный коррелят абсанса обнаружен по дороге домой через 1 ч 15 мин после начала записи



**Рис. П.11.** Пациент У, 21 год. Изолированный комплекс «спайк-медленная волна» с преобладанием в лобных отделах слева (F3) через 1 ч 28 мин после начала АМЭЭГ

явлено, несколько повышена реакция на гипервентиляцию. При амбулаторном мониторинге ЭЭГ запись проводилась в течение 17 ч.

Полученный в результате пятилетней практики в Институте неврологии РАМН материал показывает уникальные возможности метода регистрации многоканальной ЭЭГ совместно с другими физиологическими показателями



**Рис. П.12.** Пациент У., 21 год. Фрагмент ЭЭГ в утренние часы, через 16 ч после начала записи (компрессированный анализ, экранное время — 40 с), периодизация пароксизмальной активности

в естественных условиях поведения человека. Такие исследования значительно повышают информативность ЭЭГ-обследования. Подтверждено мнение, что обнаружение эпилептиформных знаков, по сравнению с короткой стандартной дневной записью ЭЭГ, увеличивается на 30–50%. Оказалось, что технические возможности используемой современной отечественной аппаратуры позволяют проводить АМЭЭГ одновременно с другими обследованиями: мониторингом артериального давления и ЭКГ, стабилметрией, исследованиями ВП, нейромиографическими исследованиями, различными процедурами и воздействиями, что дает новую диагностически значимую информацию. Полезным оказался датчик положения тела, позволяющий наблюдать изменение положения пациента во время обследования и при наступлении пароксизмальных событий.

## ЭЭГ-ВИДЕОМОНИТОРИНГ

Для обеспечения качественной дифференциальной диагностики при различных неврологических заболеваниях, прежде всего эпилепсии, особенно в сложных случаях, когда пароксизмальные феномены редки, слабо выражены, проявляются, например, только во время сна, показано проведение длительного ЭЭГ-мониторинга. Лучшим вариантом исследования считается ЭЭГ-видеомониторинг, позволяющий сопоставлять ЭЭГ-феномены с соответствующими судорожными и двигательными проявлениями пациента и признанный «золотым стандартом» для выявления аномалий ЭЭГ и дифференциальной диагностики пароксизмов (псевдоэпилептических и истинных эпилептических). ЭЭГ-видеомониторинг, в отличие от амбулаторного мониторирования ЭЭГ, считается достаточно дорогим

методом, требующим специальной организации палаты (с медицинским персоналом и достаточно дорогостоящим оборудованием). Однако появление мобильных систем регистрации ЭЭГ на базе мощных современных портативных компьютеров и средств качественного ввода видеоданных в компьютер также позволяет перенести это исследование непосредственно к пациенту, в палату специализированного неврологического или эпилептологического отделения, домой, в естественные для пациента условия или организовать специализированную палату с разумными затратами средств.

В дополнение к основным функциям электроэнцефалограф-регистратор (модели АТ-видео, АТ-минивидео) с комплектом для видеомониторинга «Энцефалан-Видео» позволяет осуществлять длительную синхронизированную видеорегистрацию процесса ЭЭГ-исследования пациента при помощи компактного видеоблока с двумя видеокамерами (одна из них — для ночных исследований) и встроенным микрофоном, располагаемых на складном штативе. Технология процесса ЭЭГ-видеомониторинга предполагает регистрацию и сохранение максимума возможной информации, которая может быть полезна врачу при последующем анализе. Программно-аппаратный комплект «Энцефалан-Видео» обеспечивает непрерывную запись в течение длительного времени (более 48 ч) всех выбранных потоков данных (рис. П.13) с фиксацией всех меток и маркеров событий.

ПМО позволяет автоматически распознавать эпилептические феномены как в реальном времени в процессе ЭЭГ-видеомониторинга, так и при последующей обработке зарегистрированных данных. Надежность распознавания обусловлена автома-

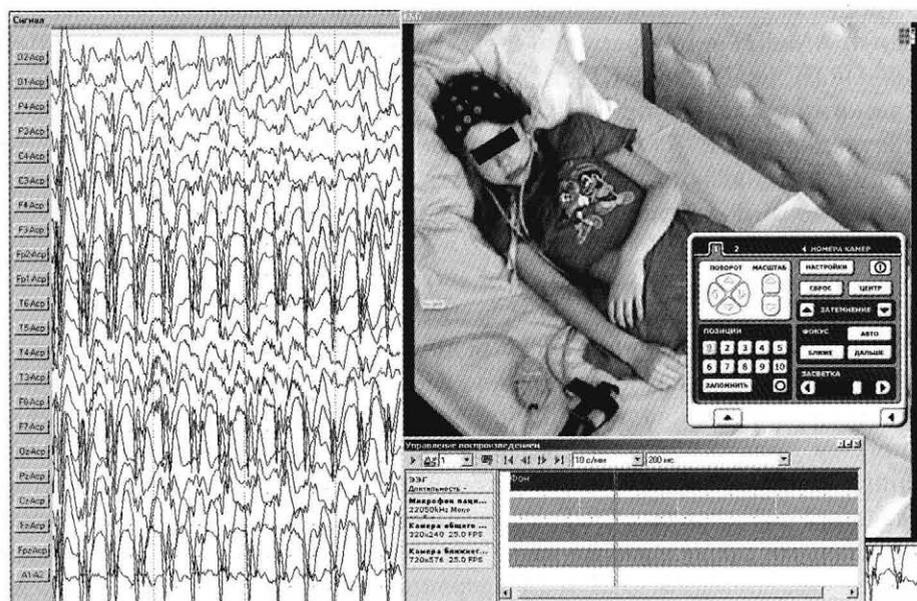


Рис. П.13. Пример ЭЭГ-видеомониторинга с фрагментами пароксизмальной активности

тической индивидуальной подстройкой оригинального алгоритма под фрагмент фоновой записи, выбранный врачом.

В процессе ЭЭГ-видеомониторинга маркеры различных типов могутставляться автоматически по тем или иным выбранным критериям или вручную медперсоналом. Отмеченные маркерами события и фрагменты потоков данных анализируются в первую очередь. Перед проведением исследования врач выбирает необходимый набор регистрируемых физиологических сигналов с учетом анамнеза конкретного пациента. Так, при подозрении на наличие у пациента фокальных нарушений используется полная схема регистрации ЭЭГ-сигналов (система «10–20», 21 активное отведение). Для детей возможно уменьшение количества отведений. Если же у пациента наблюдаются тики или плохо контролируемые движения глазных яблок, используется регистрация ЭОГ, что позволяет дополнительно контролировать и автоматически подавлять глазодвигательные артефакты на ЭЭГ программным путем.

При нарушениях сердечного ритма или влиянии кардиограммы на ЭЭГ-сигналы используется регистрация ЭКГ, позволяющая автоматически подавлять ЭКГ-артефакты на ЭЭГ и отслеживать возможную взаимосвязь между нарушениями сердечного ритма и эпилептиформными проявлениями на ЭЭГ. При наличии у пациента нарушений дыхания, особенно во время сна, используется регистрация пневмограммы для выделения фазы гипапноэ, апноэ и контроля их влияния на ЭЭГ. Отслеживается также положение тела пациента, при необходимости могут быть установлены беспроводные датчики беспокойных ног, пульсоксиметр, датчик храпа, кардиореспираторный адаптер.

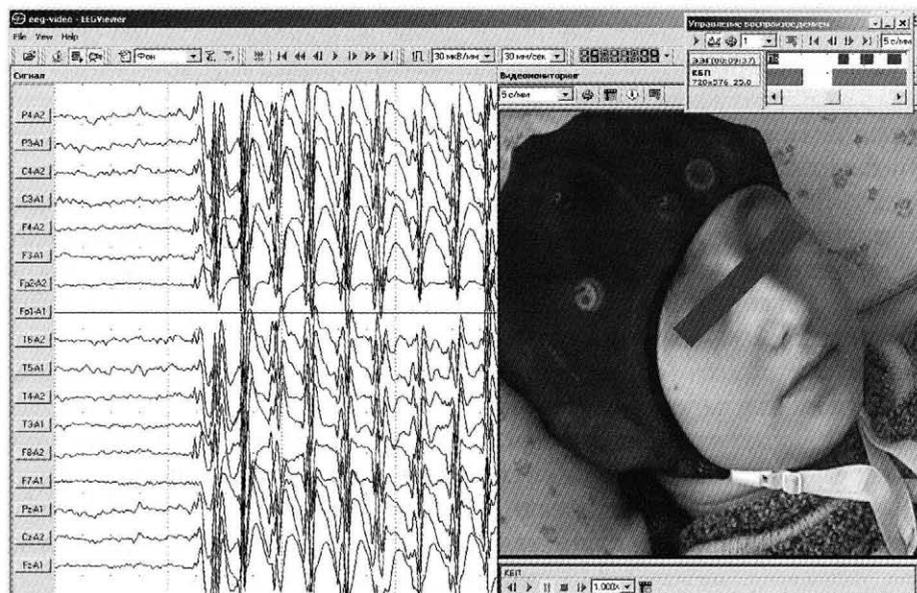


Рис. П.14. Просмотр записи ЭЭГ-видеомониторинга с помощью программы «Просмотрщик»

Важной особенностью ПМО «Энцефалан-Видео» является импорт результатов ЭЭГ-видеомониторинга на CD/DVD для выдачи их пациенту на руки с целью независимого медицинского консультирования и обсуждения. Импортируемые видеоданные синхронно с ЭЭГ могут сохраняться 2 способами: как общепринятые видеоролики в формате avi, так и в виде файла данных, сопровождаемого специальной автономной программой «Просмотрщик» (рис. П.14).

Эта программа обеспечивает необходимый сервис для просмотра сохраненных ЭЭГ и видеофрагментов на любом другом компьютере с устройством чтения CD без установки на этот компьютер специализированного ПМО электроэнцефалографа. Программа «Просмотрщик» позволяет:

- выполнить синхронную прокрутку записанных ЭЭГ-данных, видео- и аудиоинформации, постраничное перелистывание или покадровый просмотр;
- изменить чувствительность и скорость развертки при просмотре ЭЭГ и полиграфических сигналов;
- найти видеокадр, соответствующий выбранному временному срезу ЭЭГ;
- найти временной срез ЭЭГ, соответствующий выбранному видеокадру;
- найти фрагменты данных, соответствующие определенным событиям;
- выполнить референтную реконструкцию данных в другую схему отведений, при этом необходимую схему отведений можно создать.

## **НЕЙРОМОНИТОРИНГ В РЕАНИМАЦИИ И ПАЛАТАХ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ**

Возможность визуализации трендов нейрофизиологических и других показателей, рассчитываемых путем усреднения в заданном временном интервале позволяет осуществлять динамическое наблюдение за функциональным состоянием пациента. Процесс реанимации и интенсивной терапии в ряде случаев должен включать в себя возможность корректного и объективного контроля за состоянием нейропластических процессов в ЦНС, особенно когда пациент находится в коме или бессознательном состоянии, при полном отсутствии речевого контакта с пациентом, а также когда функциональные нарушения или повреждения мозга обширны. Такие клинические ситуации часто возникают после черепномозговых травм, длительной гипоксии мозга, связанной с различными клиническими ситуациями, и церебральных инсультов с обширными очагами повреждения полушарий мозга. Очень важно такое наблюдение в педиатрии, например в перинатальных центрах. Электроэнцефалограф-регистратор может использоваться также и для констатации смерти мозга.

Мобильный электроэнцефалограф-регистратор (модель АТ-видео) в телеметрическом режиме в сочетании с синхронным видеомониторингом позволяет решить эту задачу в условиях реанимации и палат интенсивной терапии, обеспечивая высокую помехозащищенность и удобство работы персонала, связанное с отсутствием кабельных соединений (рис. П.15).

В режиме «Нейромониторинга» в реальном времени контролируется динамика изменений нейрофизиологических и кардиореспираторных показателей,

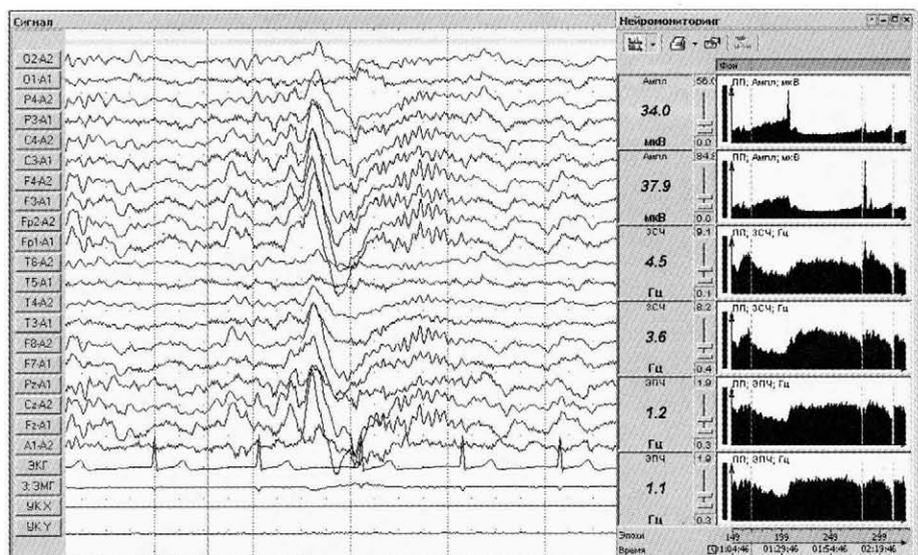


**Рис. П.15.** Электроэнцефалограф-регистратор позволяет работать в нейрореанимации с включенной искусственной вентиляцией легких и другим оборудованием без негативного влияния на качество регистрируемых сигналов

характеризующих жизненно важные функции пациентов, находящихся в нейрореанимации или палате интенсивной терапии. В качестве нейрофизиологических показателей рассчитываются и выводятся в виде трендов усредненные за заданный временной интервал спектральные индексы мощности ЭЭГ, значения средневзвешенных частот и эффективной полосы частот ЭЭГ для выбранных частотных диапазонов, усредненные значения амплитуд ЭЭГ (рис. П.16).

Тренды количественных показателей могут представляться с настраиваемым временным квантом (значения усредняются в заданном временном диапазоне — от 10 до 300 с). Указанные показатели могут рассчитываться не только по конкретным отведениям, но и по заданным группам ЭЭГ-отведений (например, лобные, теменнозатылочные). В качестве кардиореспираторных показателей рассчитываются и показываются значения частоты сердечных сокращений, содержание кислорода в крови, параметры дыхания (частота дыхания в минуту, временные параметры фаз дыхательного цикла).

Важным дополнением к режиму «Нейромониторинга» может служить ПМО «Аудиовизуальный стимулятор», предназначенный для формирования и проигрывания сценариев аудио- и видеостимуляции, синхронизированной с регистрируемой ЭЭГ. В качестве параметров предъявления стимулов задаются ссылки на конкретные файлы — одиночные видеоизображения, видеоряды (наборы



**Рис. П.16.** Форма представления нативных сигналов и трендов расчетных нейрофизиологических и кардиореспираторных показателей для решения задач нейромониторинга

изображений), символные строки (знако-буквенный стимул, знако-буквенный ряд), звуковые файлы, видеоролики. Основное назначение аудиовизуального стимулятора — анализ ЭЭГ и вызванных потенциалов на предъявляемые мультимодальные стимулы, параметры и последовательность предъявления которых задается в сценарии и зависит от решаемых практических задач. Допускается задание параметров, которые переводят стимулы на уровень субсенсорного (подпорогового) восприятия. По отношению к видеостимулам это может определяться длительностью их предъявления на экране монитора или использованием так называемой «обратной последовательной маскировки» нейтральными стимулами большей продолжительности, чем значимый стимул.

Важная область клинического применения аудиовизуального стимулятора — получение объективного прогноза по вероятности выхода из коматозных и вегетативных состояний на основе оценки нейрофизиологических и вегетативных реакций на индивидуально эмоционально значимые для пациента образы (например, записанные голоса близких ему людей, которые называют его по имени), а также на основе оценки параметров когнитивных ВП в пассивных условиях (без ответов со стороны пациентов). Регистрация эндогенных когнитивных ВП у коматозных больных возможна и эффективна. В таких ВП присутствуют положительные и отрицательные пики, межпиковая латентность которых коррелирует со шкалой комы Глазго. Наличие эндогенных ВП увеличивает шанс сохранения остаточной сознательной активности. Сохранность когнитивных ВП у пациентов в острой стадии комы является хорошим прогностическим признаком возможного восстановления сознания. Получение комплекса MMN-P3a (или N340-P460) в пассивных условиях позволяет утверждать, что мозг способен

дифференцировать частые и редкие стимуляции, но не позволяет утверждать, что эта дифференциация сознательна. Дополнительная информация может быть получена на основе оценки сохранности у пациента пассивного семантического анализа при проигрывании ему предварительно записанных слов и псевдослов или правильных и неправильных фраз с ключевым словом в конце предложения. Далее делается когерентное усреднение длиннолатентных ВП отдельно по каждой группе предложений относительно момента завершения фразы и сопоставление параметров усредненных ВП по этим группам стимулов, кроме компонента Р300 анализируются компоненты N400 и Р600. Прогноз более благоприятный в случае выявления значимых количественных или качественных отличий в компонентах ВП по этим группам стимулов.

## ПОЛИСОМНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последнее время регистрация и анализ эпилептических проявлений во время сна стал стандартным методом исследования в большинстве специализированных центров по диагностике эпилепсии. Кроме того, значительная часть населения имеет и самостоятельные проблемы со сном, не имеющие отношения к эпилепсии. Дневная сонливость является причиной различных инцидентов на производстве, вызывает снижение качества жизни и развитие различных патологических состояний организма человека и, таким образом, может считаться одной из значительных социальных проблем современного общества. Для проникновения в суть процессов, происходящих в мозге во время физиологического сна, а также для изучения причин нарушений процесса сна и адекватной терапии требуется проведение специального исследования. Такие исследования называют полисомнографическими (ПСГ). Согласно международному руководству по проведению ПСГ и определению стадий сна A. Rechtshaffen и A. Kales, для определения структуры сна человека требуются данные ЭЭГ, ЭМГ и ЭОГ. Кроме этих обязательных сигналов, часто регистрируют дополнительные физиологические показатели, позволяющие не только построить гипнограмму, но и выявить другие нарушения, связанные со сном.

Для полисомнографических исследований могут применяться три модели электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», отличающиеся количеством регистрируемых отведений ЭЭГ. Это модель АТ-ПСГ, базирующаяся на автономном блоке пациента АБП-26 (20 отведений ЭЭГ), модель АТ-мини (8 отведений ЭЭГ) и модель АТ-сомно (2 отведения ЭЭГ), базирующиеся на автономном блоке пациента АБП-10. Все модели обеспечивают регистрацию необходимых для ПСГ-исследований показателей: ЭОГ, ЭМГ, ЭКГ, положения тела, двигательной активности конечностей, параметров дыхания с помощью грудного, абдоминального и ороназальных датчиков, храпа и содержания кислорода в крови. При необходимости в комплект может входить кардиореспираторный беспроводной модуль (3 отведения ЭКГ и один универсальный канал).

Полисомнографические исследования могут проводиться в амбулаторном, автономном режиме с записью всех регистрируемых данных на карту памяти

блока пациента или в телеметрическом режиме с записью регистрируемых показателей в память портативного компьютера, в том числе и с синхронной видеозаписью моторики пациента, а также с аудиозаписью происходящего. Высокая разрешающая способность видеокамер позволяет произвести как оценку тонкой моторики и мимики пациента в момент пароксизма, так и движения конечностей в состоянии сна.

В связи с тем что все полисомнографические показатели являются взаимозависимыми, для построения гипнограммы (временного графика прогрессии сна, иллюстрирующего смену различных фаз сна и бодрствования согласно общепринятым шкалам), при визуальном анализе регистрируемых сигналов с помощью ПМО «ПСГ-исследование» следует сопоставлять информацию от различных каналов с помощью специального режима отображения — трендов полисомнографических показателей. На рис. П.17 демонстрируется синхронное представление динамики стадий гипнограммы и расчетных физиологических показателей, обеспечивающее оперативный и удобный доступ к нужному фрагменту ночного исследования, а также быстрое определение нужной стадии сна выбранному фрагменту.

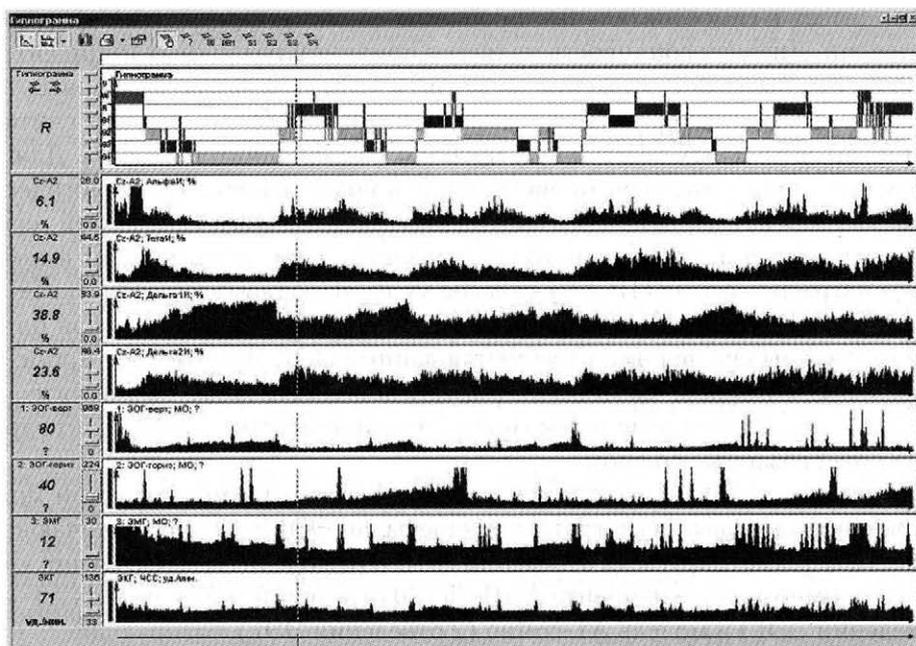


Рис. П.17. Гипнограмма и тренды ПСГ-данных

При ручном построении гипнограммы для определения стадии сна врачу показываются тренды рассчитываемых показателей, значения которых характеризуют различные фазы сна: среднев्यпрямленные значения амплитуды ЭОГ и ЭМГ, альфа-индекс ЭЭГ, индекс медленных волн ЭЭГ, индекс волн, относящихся к сонным веретенам, частота сердечных сокращений, параметры дыхания и пр.

Предусмотрена возможность автоматического построения гипнограммы, для чего используется оригинальный алгоритм, базирующийся на сочетании кластерного анализа и нечеткой логики. В комплект поставки входит набор базовых шаблонов верифицированных алгоритмов для построения гипнограмм. Метод позволяет пользователю самому осуществить «обучение» алгоритма для распознавания стадий сна. Для этого применяют достоверно построенные экспертами гипнограммы, которые доступны пользователю. Такой подход позволяет учитывать особенности работы различных экспертов и обеспечить высокую достоверность распознавания и быстродействие. В рамках метода возможно формирование шаблонов, по которым будет осуществляться распознавание стадий сна с учетом специфики различных групп пациентов, например по возрастным или нозологическим признакам.

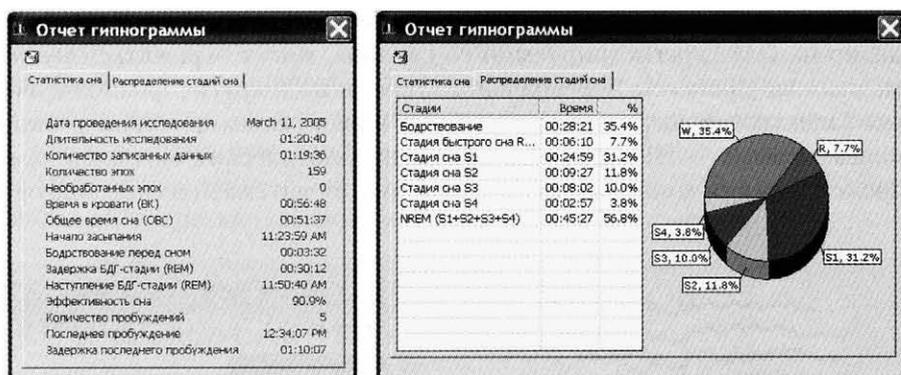


Рис. П.18. Отчет по гипнограмме и диаграмма распределения стадий сна

На основании построенной гипнограммы показываются результаты статистической обработки фаз сна и диаграмма распределения стадий сна (рис. П.18). В таблице формируется отчет по гипнограмме, указывающий время засыпания, продолжительность различных стадий сна в течение проведенного исследования, количество полных циклов сна, количество переходов между отдельными стадиями сна, время нахождения в постели и т.п. Полисомнографическое исследование, как файл данных, вместе с построенной гипнограммой также может быть записано на CD/DVD вместе с программой «Просмотрщик», обеспечивающей анализ гипнограммы сна специалистом на компьютере, не требующем дополнительного программного обеспечения.

## АНАЛИЗ СВЕРХМЕДЛЕННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Базисная роль сверхмедленных физиологических процессов в механизмах нейроморальной и биохимической регуляции нормальных и патологических состояний человека является общеизвестной. Сверхмедленная активность (СМА)

головного мозга — собирательное понятие, использующееся при описании динамики потенциалов головного мозга в частотной полосе от 0 до 0,5 Гц. Сверхмедленные процессы разбиваются на частотные диапазоны по аналогии со спонтанной биоэлектрической активностью мозга. Выделяют следующие диапазоны:  $\zeta$ -волны с периодом от 2–4 до 12 с,  $\tau$ -волны — от 12–15 до 60 с,  $\epsilon$ -волны — от 1 до 3–5 мин,  $\omega$ -потенциал — постоянный потенциал (ПП).

Регистрация и анализ СМА являются практически единственным электрофизиологическим методом, позволяющим оценивать величину церебральных энергозатрат (Фокин и др., 1993). В отличие от электроэнцефалограммы и вызванных потенциалов, характеризующих преимущественно деятельность оперативной системы обработки информации, СМА связана с деятельностью стационарной системы управления нейрофизиологическими процессами. Нарушения метаболизма играют важную роль в развитии сосудистых и атрофических заболеваний мозга, эпилепсии, влияют на течение невротических расстройств.

Однако на СМА, регистрируемой со скальпа, могут отражаться не только сверхмедленные процессы церебрального генеза, но и другие физиологические сигналы (электроокулограмма, проявления кожногальванической реакции — КГР, пневмограмма — ПГ). Влияние этих физиологических сигналов немозгового происхождения минимизируется с помощью математического алгоритма,

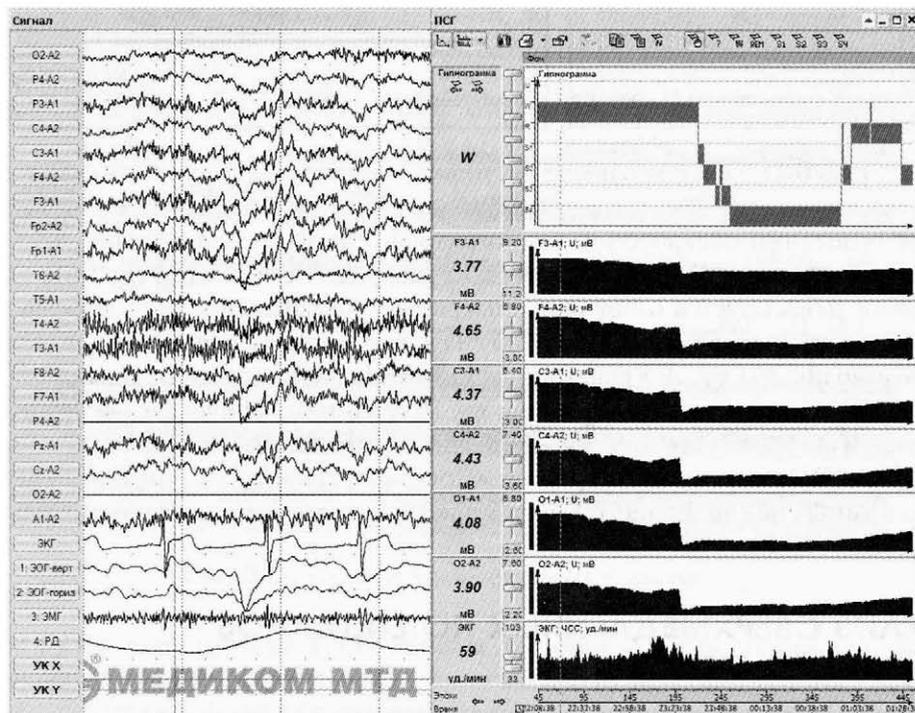


Рис. П.19. Пример анализа длительной записи ЭЭГ в процессе сна с регистрацией сверхмедленной активности

идентифицирующего общие составляющие в СМА и регистрируемых одновременно с ней дополнительных сигналах, таких как ЭОГ и КГР. КГР может иметь различную выраженность и фазовые характеристики в различных участках тела и головы, что затрудняет их правильную дифференциацию. Определенным аналогом КГР являются значения подэлектродных сопротивлений ЭЭГ-электродов, измеряемых на переменном токе синхронно с СМА с той же самой частотой дискретизации (5 Гц), что позволяет в электроэнцефалографе-регистраторе контролировать временную динамику КГР-составляющих и их пространственное распределение и выделить в СМА составляющие церебрального генеза. Нестационарные проявления сверхмедленных процессов могут частично отражаться и на ЭЭГ, чаще всего они возникают в результате вегетативной реакции при психоэмоциональном напряжении. У некоторых возбудимых пациентов такого рода реакция проявляется на любое афферентное воздействие.

Все модели электроэнцефалографа-регистратора позволяют регистрировать сверхмедленную активность и анализировать ее одновременно с ЭЭГ и другими регистрируемыми физиологическими показателями. Уникальная возможность длительной регистрации, в том числе и в амбулаторном варианте, предоставляет врачу ранее недоступную дополнительную диагностическую информацию. На рис. П.19 приведен пример анализа длительной записи ЭЭГ в процессе сна, где на трендах видно резкое падение значений в момент засыпания.

## **ТРЕХМЕРНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА**

Программа трехмерной локализации источников электрической активности «Энцефалан-3D» представляет результаты количественного анализа патологических проявлений ЭЭГ на трех условных срезах головного мозга в виде облака эквивалентных диполей. Такая пространственная локализация дает врачу дополнительную информацию по предполагаемому расположению фокусов эпилептиформной активности ЭЭГ. Здесь приводится лишь краткое описание функциональных возможностей ПМО «Энцефалан-3D». Для локализации источников электрической активности мозга за основу взята однородная модель головы с поправочными коэффициентами, но также возможно использование и трехслойной модели (Ary et al., 1981; Musha et al., 1987).

Программой производится обработка фрагментов ЭЭГ, выбранных для локализации, и сохранение результатов локализации в картотеке ЭЭГ-исследований. Реализована возможность просмотра результата локализации каждого фрагмента в отдельности. Контроль процесса локализации проводится с использованием графика оценки точности. В случае однодипольной модели наблюдать за поведением диполя удобно по кривым его перемещения во времени в трех стандартных проекциях. Здесь же представляется динамика изменения энергии диполя. Представление динамики изменения координат диполя, его энергии и точности в виде графиков облегчает интерпретацию трассы, позволяет выявить моменты переключения диполей, например, при наличии зеркальных очагов. Имеется

возможность предварительного контроля адекватности используемой дипольной модели текущему распределению потенциального поля. Это позволяет ускорить процесс трассировки выбранного фрагмента записи, не производя расчет на тех временных срезах, на которых определяется заведомое несоответствие модели. Адекватность выбранной модели проверяется на каждом временном срезе по количеству явно выраженных фокусов. Программа локализации извещает исследователя обо всех несоответствиях выбора, после чего процесс может быть приостановлен и модель скорректирована.

В программе производится контроль и локализация глазодвигательных артефактов. Для этого при наличии окулографической активности в зоне глазных яблок устанавливаются два стационарных диполя. Использование смешанной модели с двумя стационарными диполями позволяет получить более компактное дипольное облако с меньшим влиянием ЭОГ артефактов. Предварительно на фрагменте ЭЭГ с ЭОГ вначале надо устранить влияние окулограммы методом автоматического подавления артефактов, а потом применить однодипольную модель локализации.

Учитывая возможность скопления большого числа диполей на каждой из трех проекций головы, программа «Энцефалан-3D» предоставляет весьма удобную функцию масштабирования любой из проекций. Цветовое шкалирование энергетического уровня диполей и показ их векторов направленности позволяет выделить из всей совокупности диполей наиболее значимые. При выборе какого-нибудь диполя в окне с увеличенным изображением проекции головы происходит соответствующее изменение информации на всех остальных панелях:

- маркеры на ЭЭГ и на графиках динамики параметров диполя указывают на временной срез этого диполя;
- обновляется первичная и восстановленная потенциальные карты;
- обновляются цифровые значения координат, точности и энергии;
- выбранный диполь на всех проекциях головного мозга отмечен вектором, отличающимся по цвету от остальных векторов.

Основная цель использования ПМО «Энцефалан-3D» — получение дополнительной информации, позволяющей более точно оценить локализацию возможных знаков патологической активности, чаще всего это используется для эпилептиформной активности (рис. П.20, П.21). Такая трехмерная локализация источников используется как вспомогательный метод, особенно в тех случаях, когда очаг патологической активности не имеет явных морфологических изменений и не фиксируется с помощью КТ и МРТ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

ПМО «Исследование длиннолатентных, когнитивных и соматосенсорных ВП» позволяет пользователю проводить исследования с целью оценки функционального состояния головного мозга; настраивать параметры стимулов фото, фоно и электростимуляции для проведения исследований ВП; задавать критерии усреднения; просматривать результаты усреднения ВП в виде графиков,

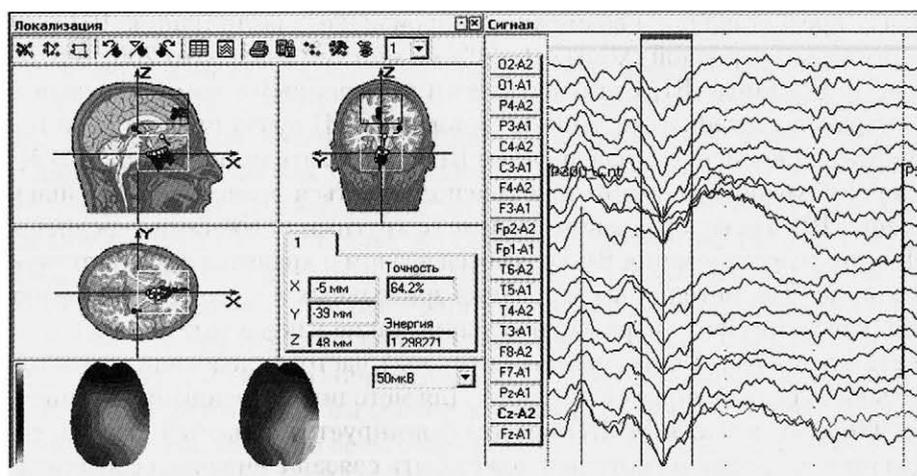


Рис. П.20. Пример трехмерной локализации источников для методик вызванных потенциалов. Локализация пика P300. Выделено распределение диполей по 2 заданным пространственным областям — верхней и средней фронтальной

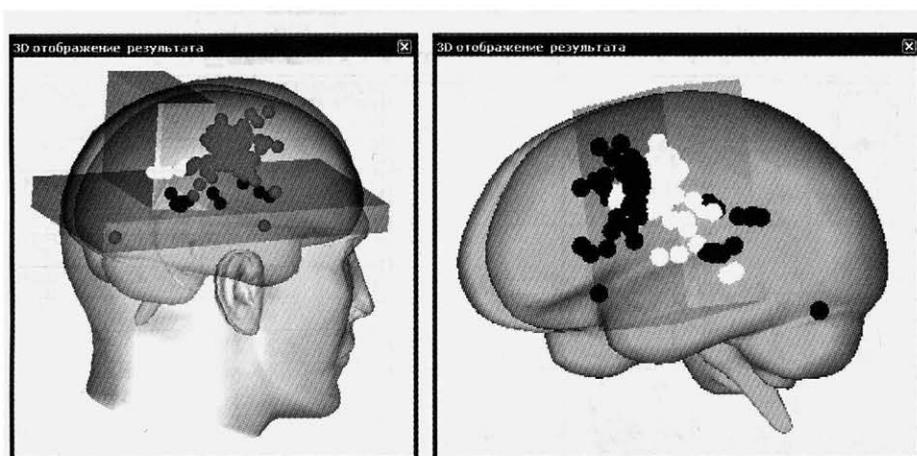


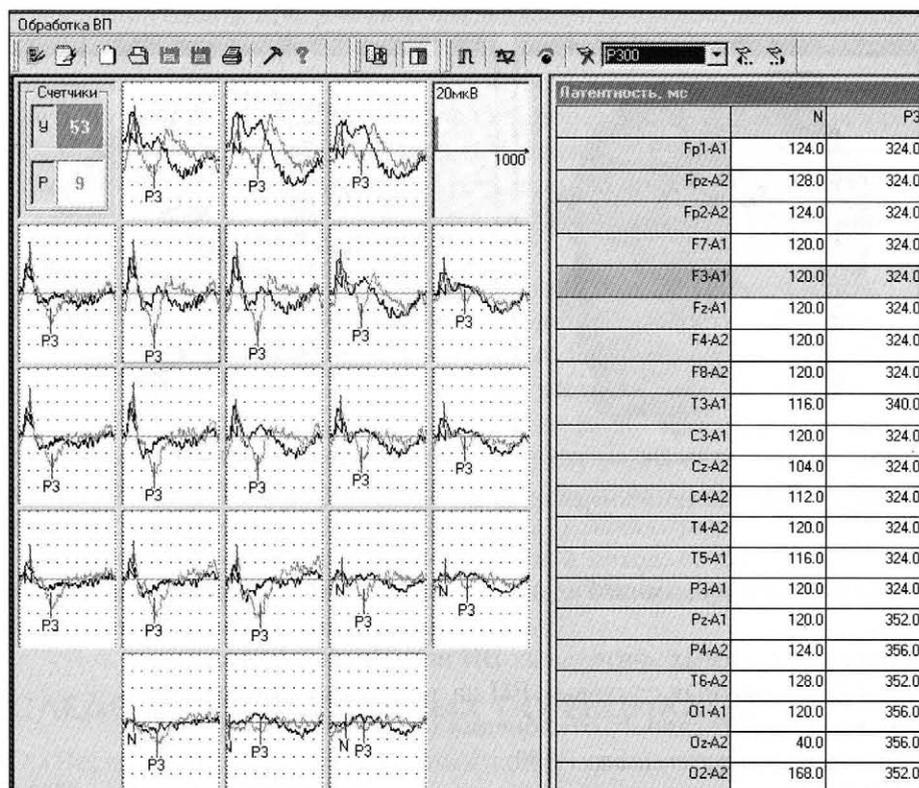
Рис. П.21. Примеры псевдотрехмерного представления результатов обработки локализации источников

таблиц (латентностей, амплитуд компонентов) и топографических карт по методикам:

- длиннolatентных зрительных ВП на вспышку света;
- длиннolatентных слуховых ВП на звуковые стимулы;
- условного негативного отклонения (УНО или CNV);
- эндогенного потенциала P300;
- эндогенного потенциала несовпадения на девиантные стимулы (MMN);
- длиннolatентных соматосенсорных ВП;
- длиннolatентных зрительных ВП на шахматный паттерн;
- длиннolatентных ВП на слайдстимуляцию.

Врачу предоставляется возможность производить регистрацию ВП по 20 отведениям международной схемы «10–20%» с эпохами анализа от 200 до 10 000 мс. Зарегистрированные ВП с автоматически выделенными компонентами могут быть сохранены в картотеке. При исследовании ВП врачу предоставляется возможность одновременно с усреднением ВП записывать нативную ЭЭГ. ЭЭГ-данные могут сохраняться в картотеке и использоваться врачом в дальнейшем для выделения ВП в псевдореальном режиме (с другими условиями усреднения).

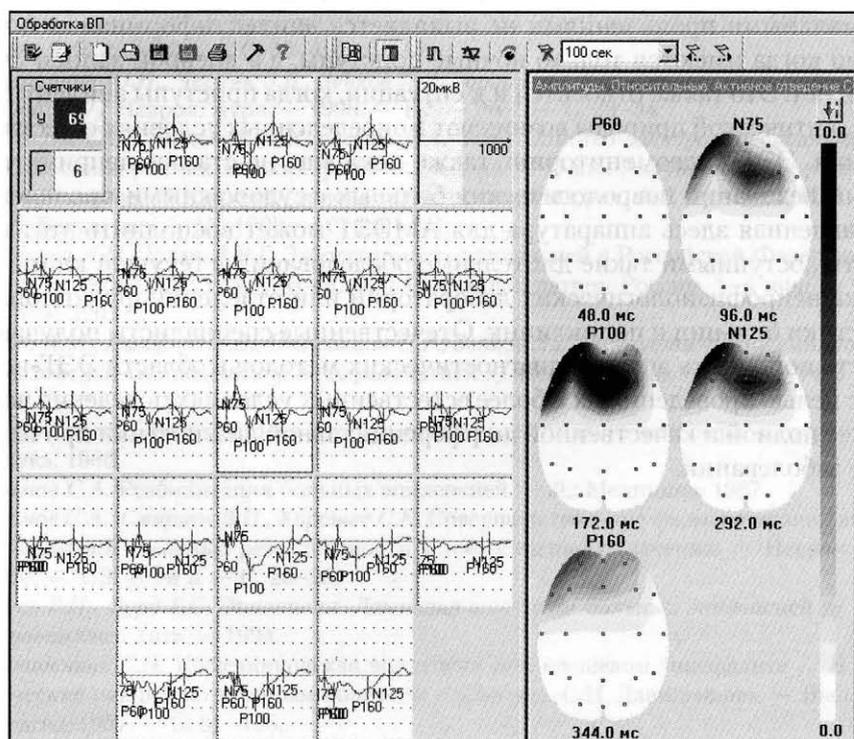
Методики исследования ВП создаются врачом и хранятся в соответствующем справочнике. Для методик исследования зрительных и слуховых ВП врачом задаются параметры фото и фоностимуляции, такие как частота тона и его интенсивность в децибелах (для звуковых стимулов), частота следования засветов и их длительность (для световых стимулов). Для методик исследования когнитивных ВП (P300, CNV, а также MMN) врачом формируется сложный стимул, состоящий из простых, один из которых может быть связан с внешним событием. При создании сложного стимула формируется список внешних событий и вариантов усреднений ответов на стимул, связанный с внешним событием.



**Рис. П.22.** Распределение P300 (ответ на значимый стимул) по поверхности скальпа. *Справа* — таблица с усредненными значениями латентностей основных компонентов ответа по отведениям

При регистрации ВП можно измерять и контролировать подэлектродные сопротивления, изменять параметры отображения сигналов. Предусмотрена возможность установки параметров ФВЧ, удовлетворяющих условиям регистрации ВП для используемой методики. Во время регистрации ВП можно производить режекцию физиологических артефактов для более качественного усреднения ВП. Время исследования ВП зависит от количества усреднений, которое задается пользователем заранее в методике исследования. Регистрация может быть прервана, если врач видит, что форма ВП стабилизировалась и не меняется при дальнейших усреднениях. По окончании регистрации производится программное выделение значимых (для данной методики) компонентов ВП. При анализе ВП врач вручную может откорректировать положения маркеров, выделяющих значимые компоненты. Для выделенных компонентов ВП производится расчет латентностей и амплитуд по всем отведениям и представление их в виде таблиц и топографических карт. ПМО позволяет одновременно в двух окнах просматривать различные варианты представления результатов обработки ВП.

Например, можно одновременно просматривать топическое распределение ВП по отведениям и значения показателей значимых компонентов ВП в табличной форме (рис. П.22) или в виде топографических карт (рис. П.23). Для ВП,



**Рис. П.23.** Анализ динамики локализации источников последовательных компонентов ВП на вспышку. Слева — топическое распределение зрительных ВП по отведениям, справа — потенциальные карты, соответствующие основным пикам ответа

при регистрации которых использовались стимулы, связанные с внешним событием, формируется гистограмма распределения времени реакции пациента на эти стимулы.

По проведенному исследованию врач готовит и распечатывает заключение, в которое входят документы, отражающие топику ВП, а также их латентность и амплитуду в виде таблиц и топографических карт.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Отечественная традиция ЭЭГ-обследования больных до сих пор еще не включает в набор обязательных исследований длительное мониторирующее ЭЭГ даже тогда, когда стандартные лабораторные записи ЭЭГ не дают необходимой информации о пароксизмальных проявлениях у больного с эпилептическими приступами. Пациенты очень редко обследуются во время сна. Слишком короткие рутинные записи ЭЭГ со стандартным набором функциональных проб в лабораториях зачастую бывают неэффективными по сравнению с длительной регистрацией ЭЭГ в естественных условиях. Поэтому продолжительный мониторинг ЭЭГ, включающий полисомнографию, а при необходимости и видеомониторинг, должен стать обязательным, если при рутинных записях ЭЭГ у больного с пароксизмальными проявлениями не выявляется эпилептиформная активность, особенно когда имеются только ночные приступы, а в дневной записи ЭЭГ изменений нет. Это также относится и к ситуации, когда приступы эпилептической и неэпилептической природы возникают в определенных условиях естественного поведения. ЭЭГ-видеомониторинг также пока еще не стал общепринятым методом исследования неврологических больных с судорожными проявлениями. Представленная здесь аппаратура для АМЭЭГ может восполнить этот пробел и сделать доступными такие длительные обследования в текущей клинической практике нейрофизиологических лабораторий или отделений функциональной диагностики больниц и поликлиник. Отечественные специалисты получают возможность пополнить арсенал диагностических методов в области ЭЭГ-исследований, с целью проведения их в более естественных условиях поведения человека для более полной и качественной дифференциальной диагностики при широком спектре заболеваний.