



Методические и технические аспекты холтеровского мониторирования ЭКГ

С.Ф.Соколов

Разработка метода холтеровского мониторинга



1949 - **N.Holter**, электрокардиограф с радио-телеметрией

1961 - **N.Holter**, ЭКГ регистратор с 10-часовой записью 1 отведения ЭКГ на магнитную ленту. Дешифрация методом аудиовизуальной суперимпозиции.

1963 - **Bruce Del Mar** - создание первой коммерческой системы ХМ

1969 - **Henkel et al**, демонстрация связи между желудочковыми аритмиями при ХМ и внезапной сердечной смертью



Современное клиническое применение холтеровского мониторинга ЭКГ

- Оценка симптомов, которые могут быть связаны с нарушениями ритма сердца
- Оценка риска у больных без симптомов аритмий
- Оценка эффективности антиаритмической терапии
- Оценка функции имплантированных ЭКС
- Оценка ишемии миокарда



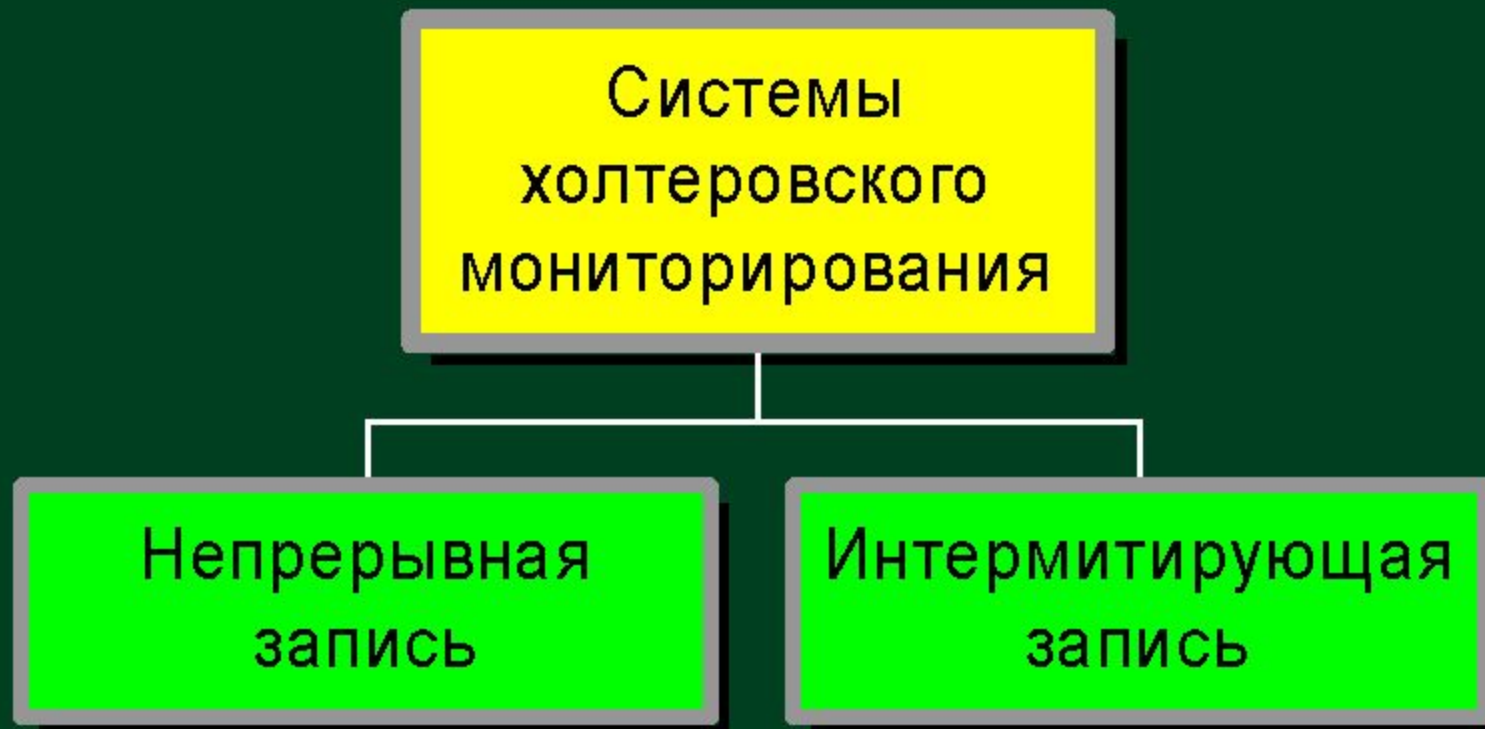
Требования к компетентности врача при интерпретации результатов холтеровского мониторирования (технические аспекты)

- ...
- понимание принципиального устройства и работы приборов, используемых при ХМ, и возможных причин ложно-положительных и ложно-отрицательных результатов исследования, заложенных в самой аппаратуре и в процессе обработки данных
- знание свойств и характеристик непосредственно используемой аппаратуры
- ...

АНА/ACC/ACP Task Force, 1993



- при анализе результатов холтеровского мониторинга врач фактически решает две диагностические задачи:
 1. Диагностика патологических состояний у пациента
 2. Диагностика нарушений и искажений ЭКГ, связанных с аппаратурой





Принципиальная схема холтеровского мониторинга

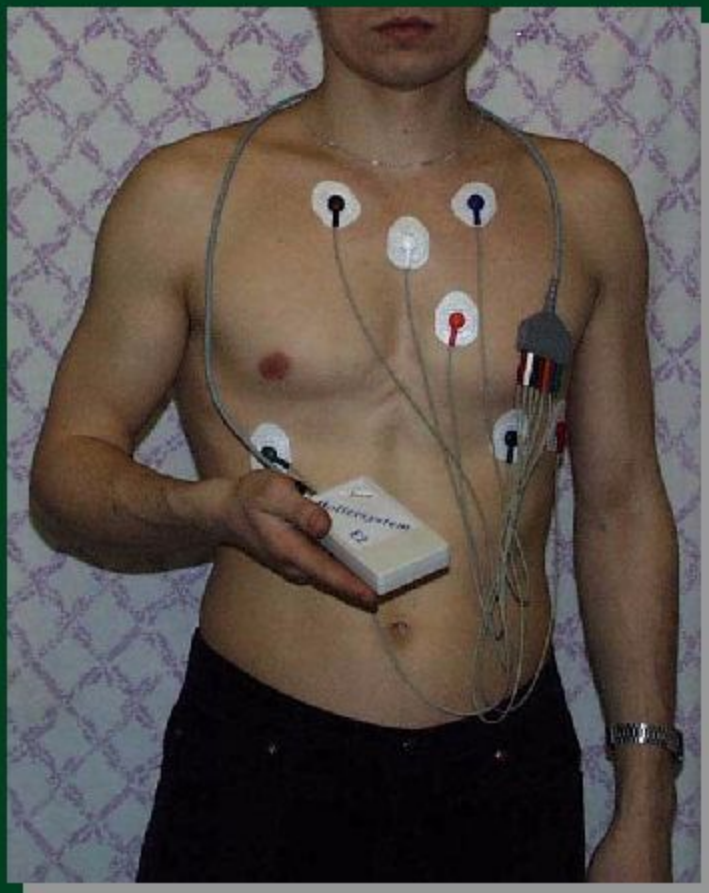




Принципиальная схема системы записи ЭКГ при холтеровском мониторинге



Система пациент-электроды-кабель: наложение электродов и подключение кабелей



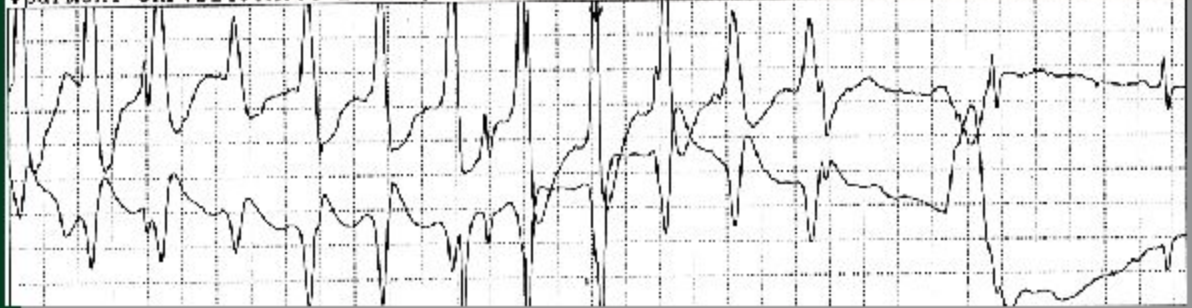
Практические рекомендации

- электроды накладывать на обезжиренную, желательно скарифицированную кожу в местах наименьшей подвижности над костями
- избегать натяжения и свободного перемещения кабелей

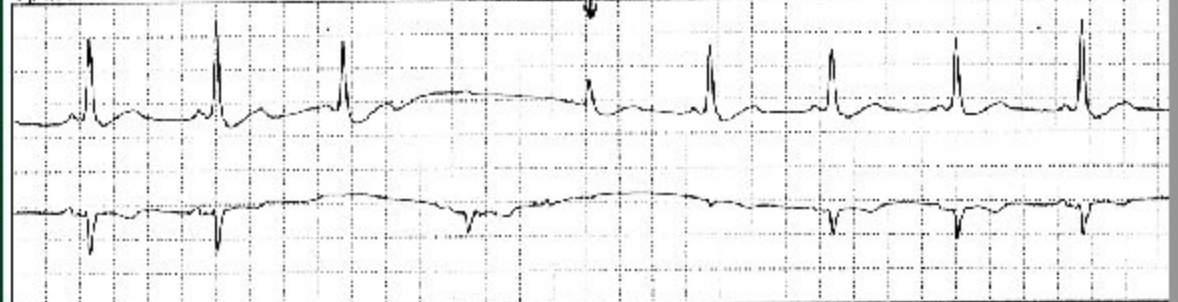


Примеры артефактов, возникающих из-за нарушений в системе пациент-электроды-кабель

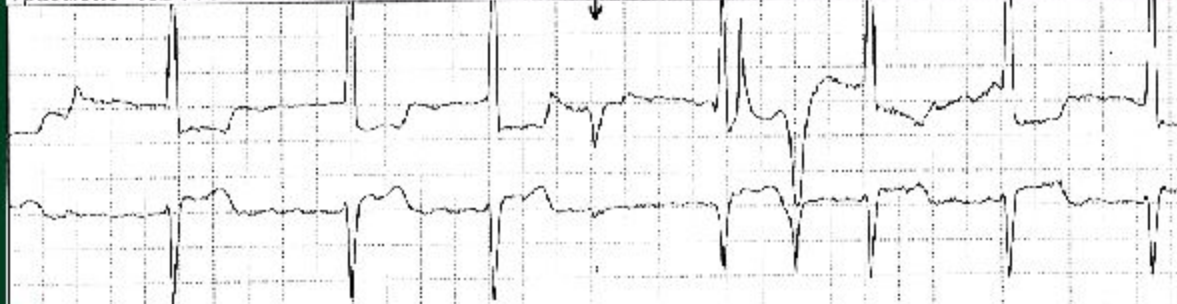
Фрагмент ЭКГ.21955м35с 25 мм./с. 5 мм./мВ.



Фрагмент ЭКГ.12932м39с 25 мм./с. 5 мм./мВ.

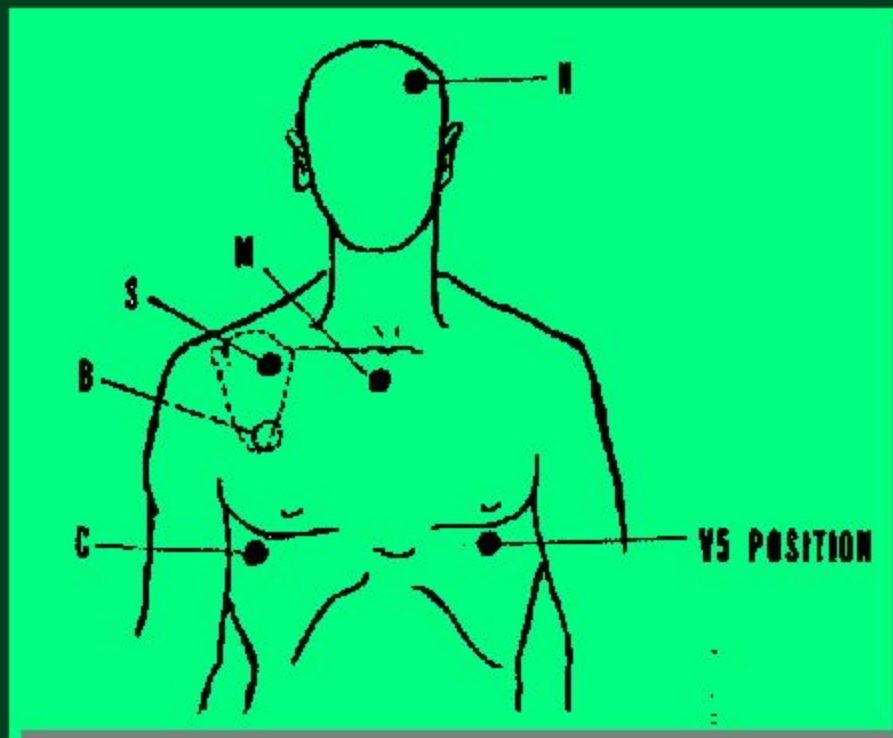


Фрагмент ЭКГ.04436м26с 25 мм./с. 5 мм./мВ.





Кодовые обозначения положения электродов



Пример:
CM5 = (+) в V5,
(-) на рукоятке
грудины



Схема наложения электродов для мониторирования двух отведений ЭКГ

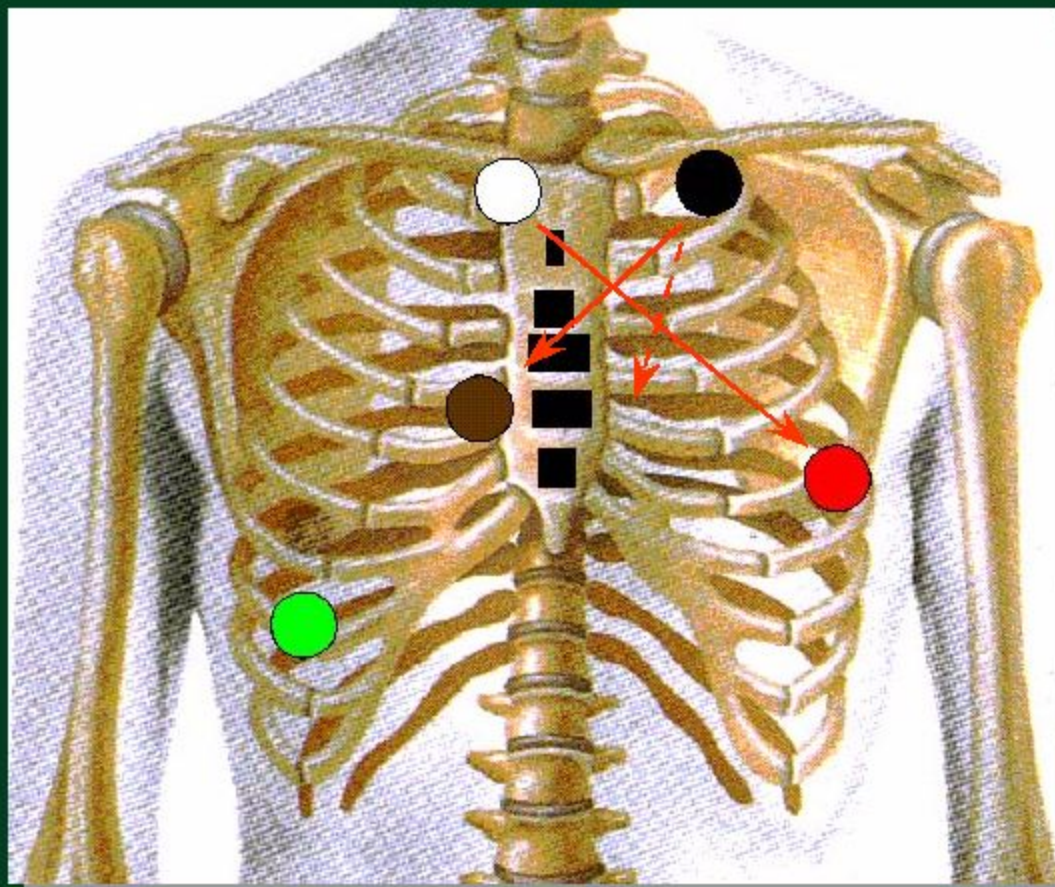




Схема наложения электродов для мониторирования трех отведений ЭКГ

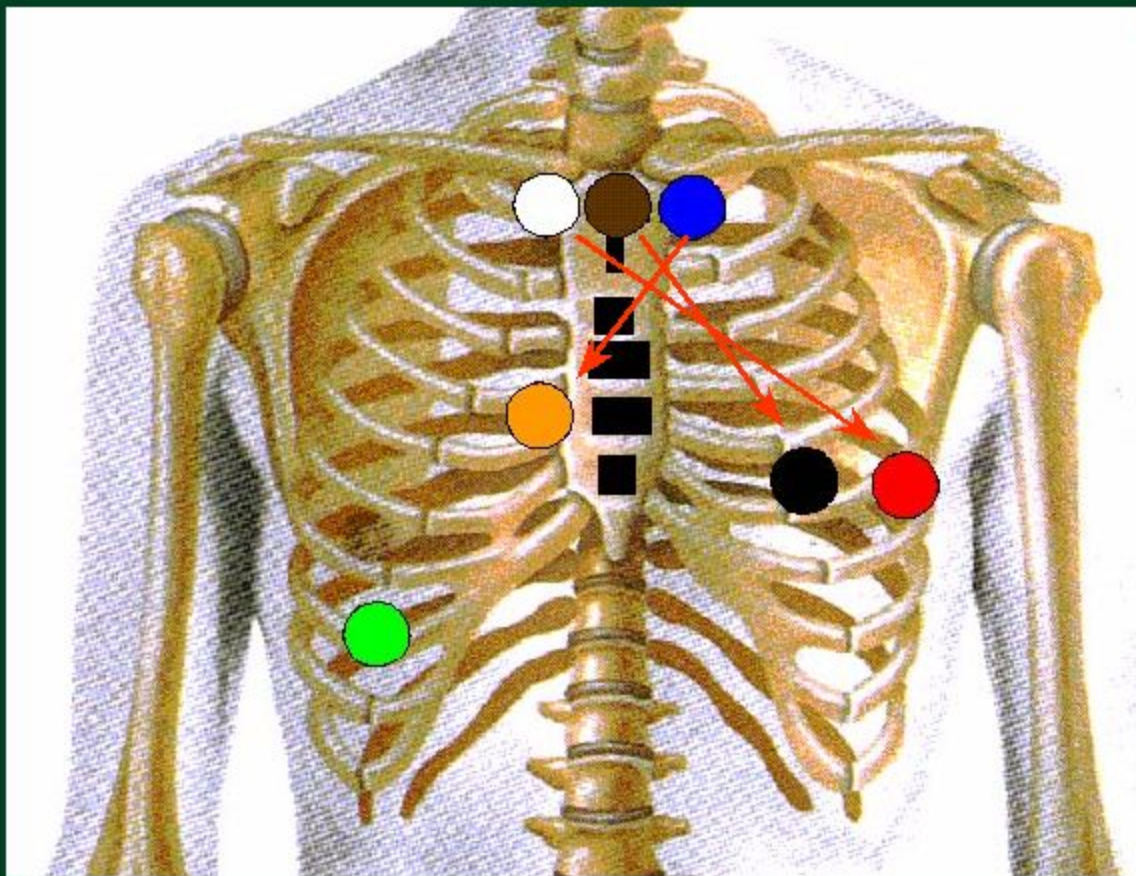




Схема наложения электродов для мониторирования трех отведений ЭКГ

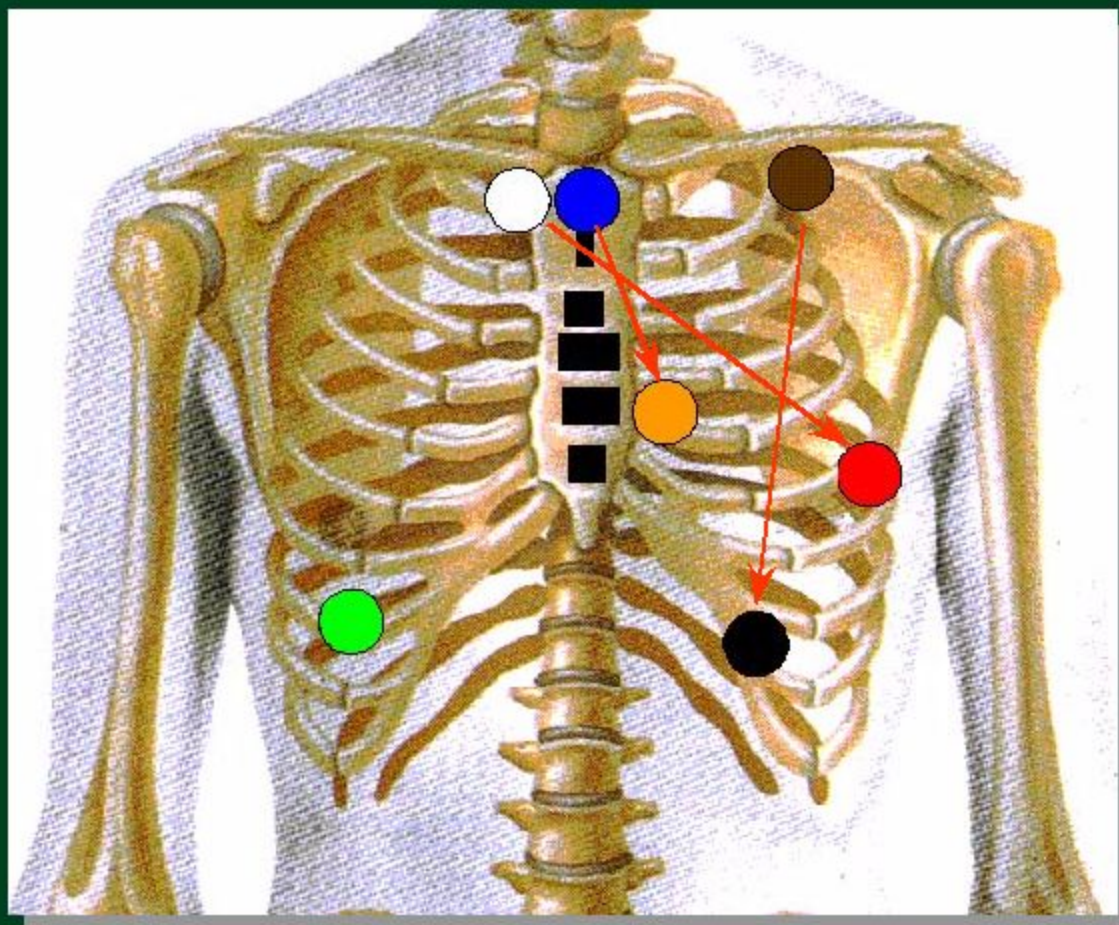
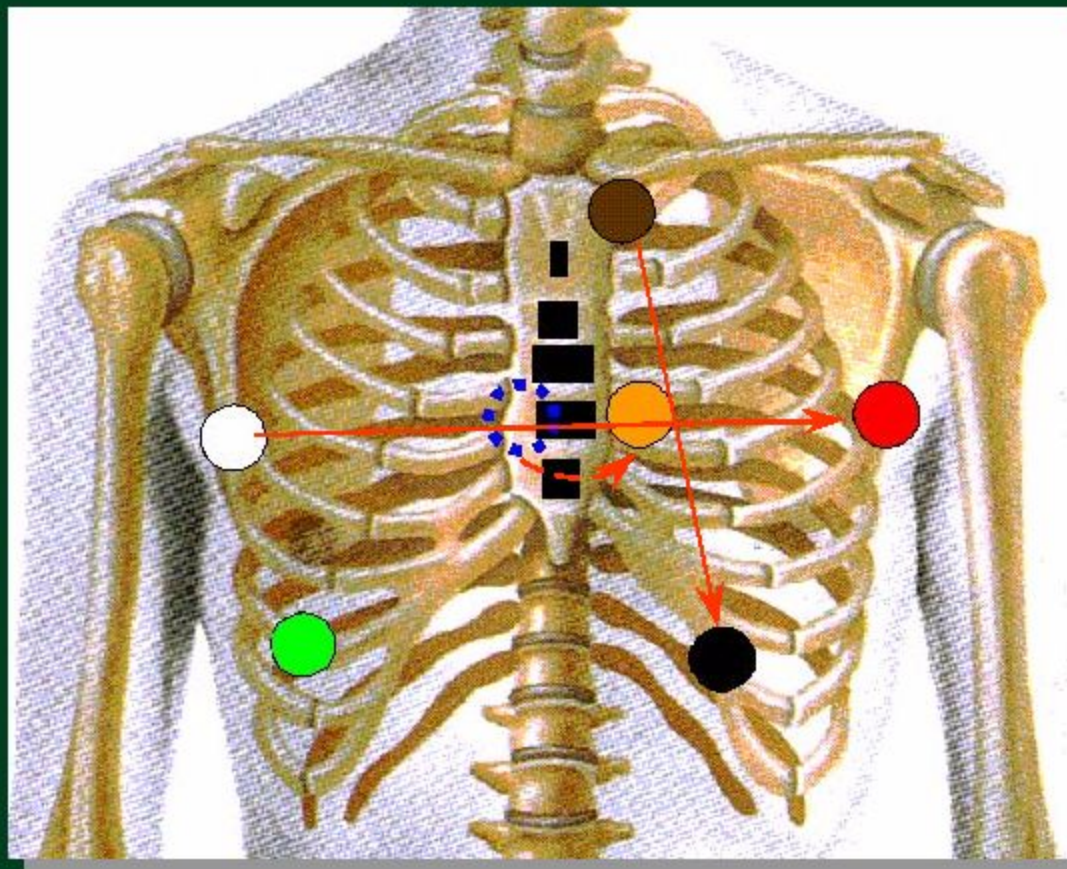


Схема наложения электродов для мониторирования трех отведений ЭКГ (некорригированные ортогональные)





Выбор отведений при холтеровском мониторинге

- определяется целями исследования
- зависит от особенностей телосложения пациента
- требует сопоставления с данными стандартной ЭКГ в 12 отведениях (особенно у пациентов после ИМ, с нарушениями внутрижелудочковой проводимости и при имплантированном ЭКС)



Система электрокардиограф-блок памяти:

требования к техническим характеристикам электрокардиографа

- Оптимальная полоса пропускания частот от 0,05 до 100 Hz
(увеличение нижней границы фильтра сказывается на анализе сегмента ST)

Регистратор с записью сигнала на магнитную ленту





Примеры артефактов, связанных с записью ЭКГ на магнитную ленту

Фрагмент ЭКГ.02436м52с 25 мм./с. 5 мм./мм.

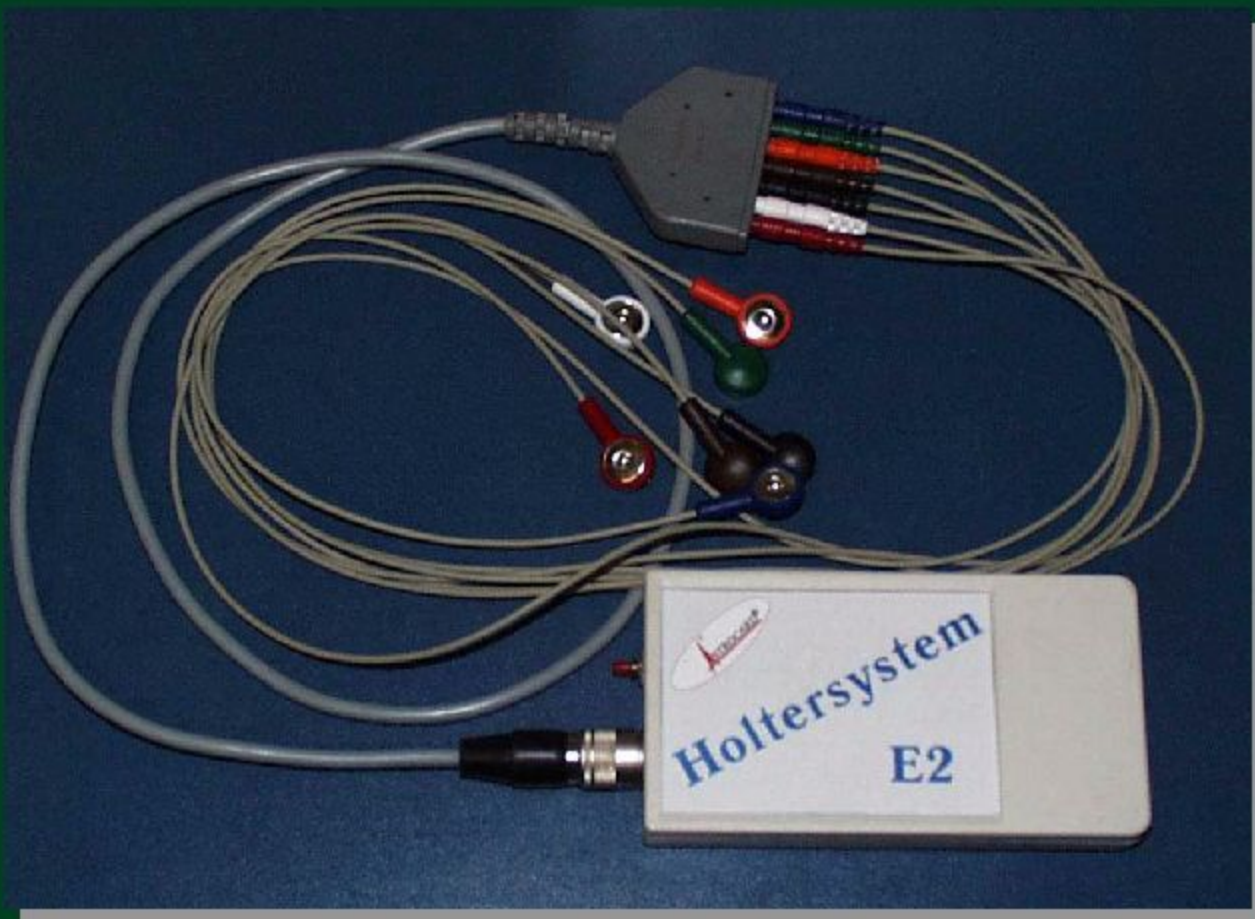


Фрагмент ЭКГ.23446м48с 25 мм./с. 10 мм./мм.

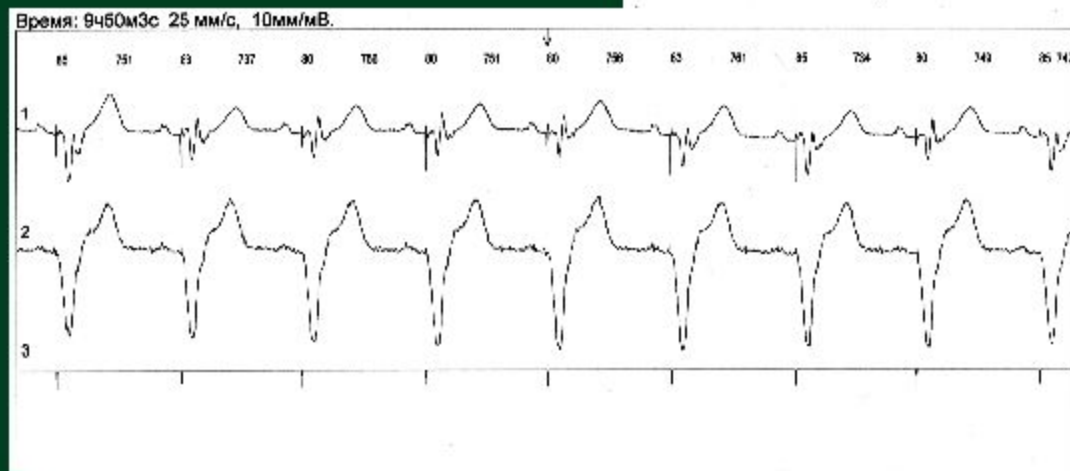
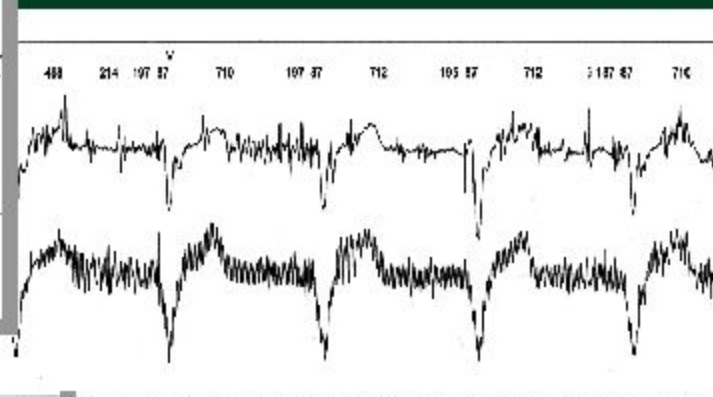




Регистратор с цифровой памятью

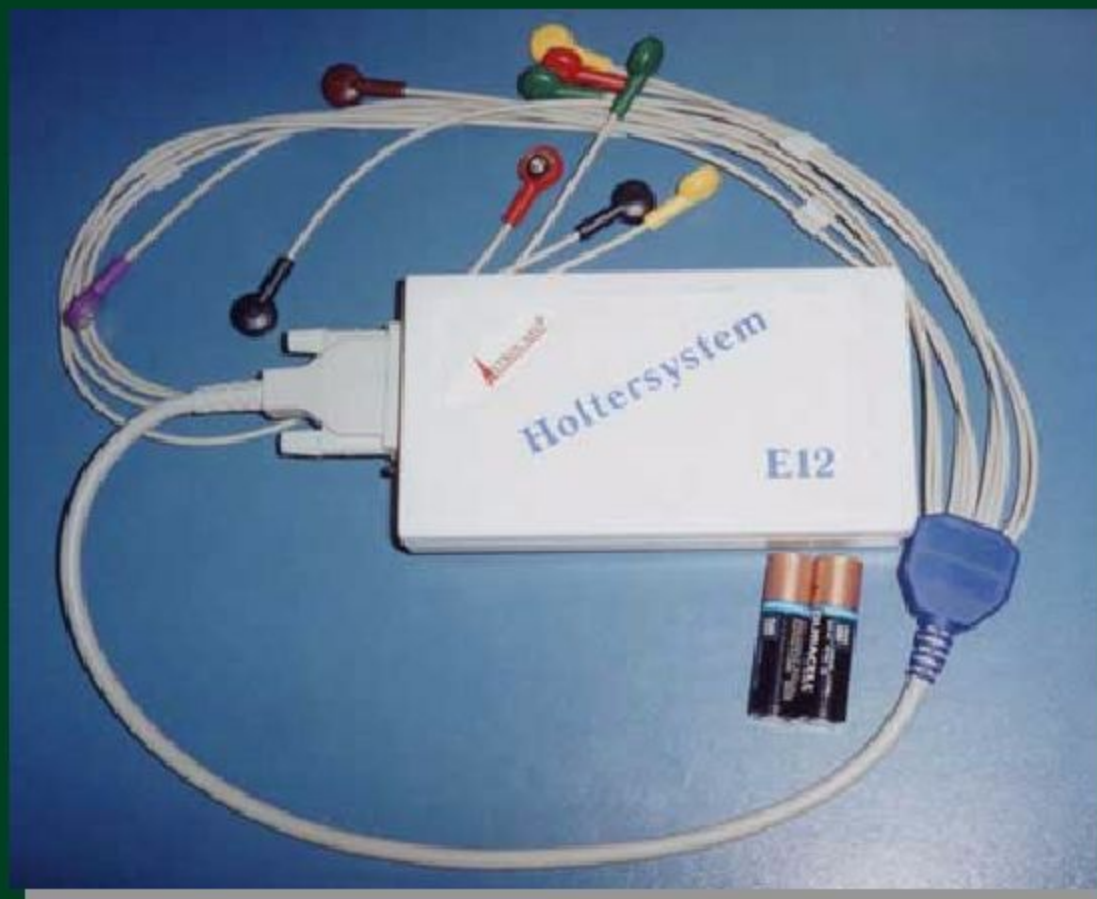


Регистратор с цифровой памятью, работающий в специальном режиме анализа ЭКС



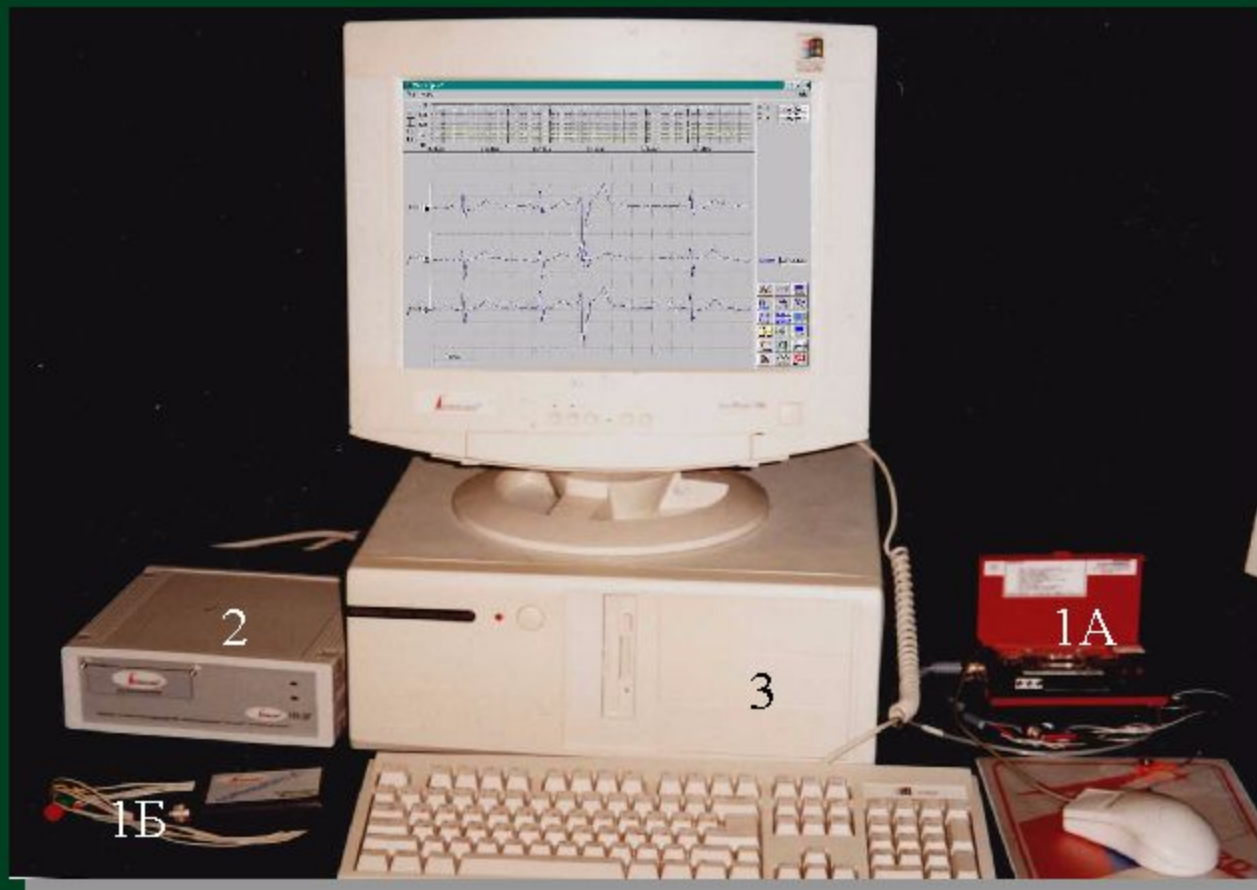


Регистратор с цифровой памятью для регистрации ЭКГ в 12 отведениях





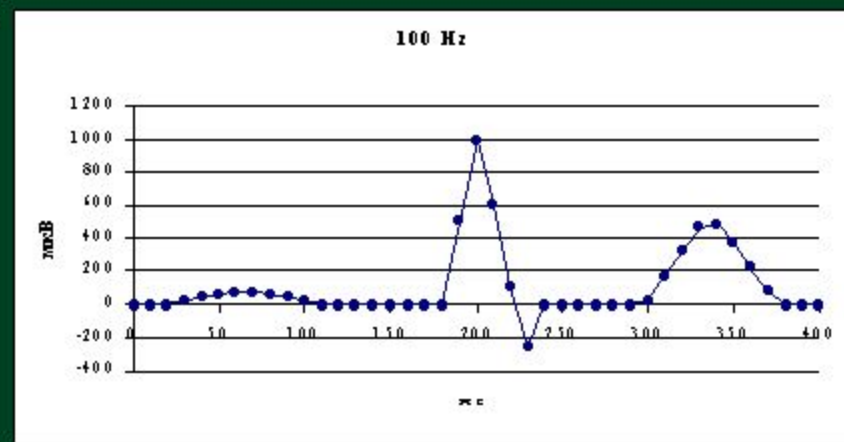
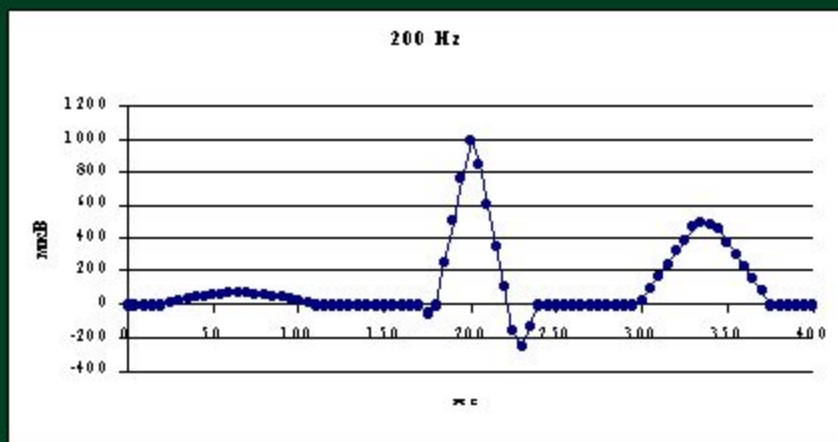
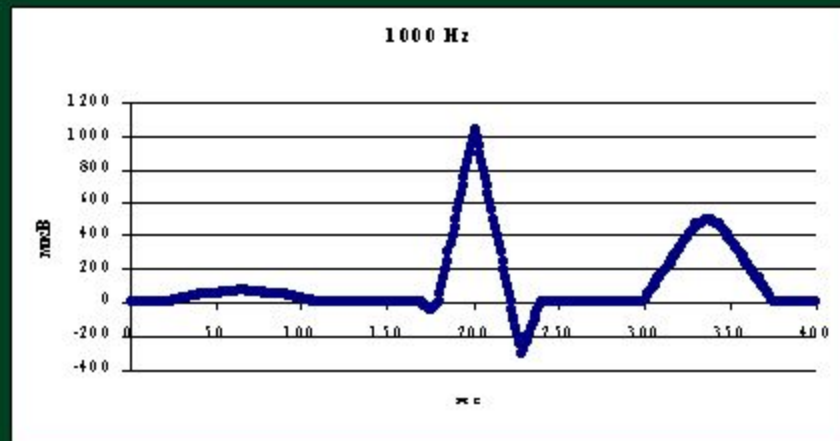
Внешний вид современного дешифратора





Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму:

роль частоты дискретизации в искажении сигнала





Искажения ЭКГ сигнала в процессе аналогово-цифрового преобразования

- Чтобы точно передать аналоговый сигнал, частота дискретизации не может быть меньше удвоенной величины верхнего предела пропускания частот ЭКГ регистратора
(пример: при верхнем диапазоне частот 100 Hz частота дискретизации должна быть более 200 Hz)



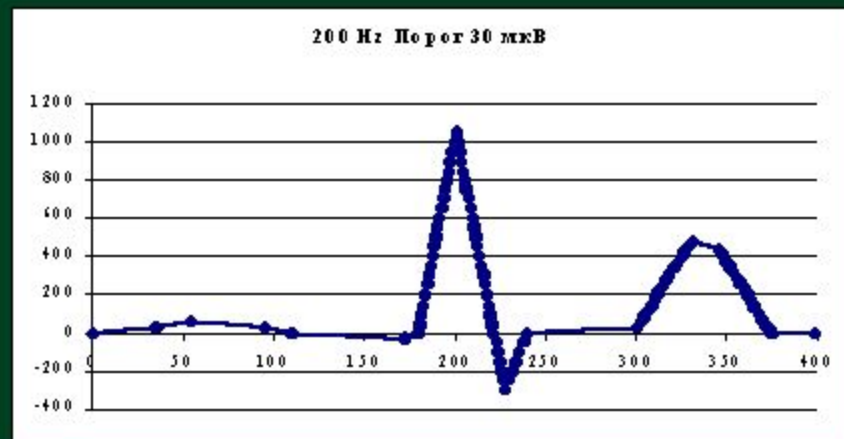
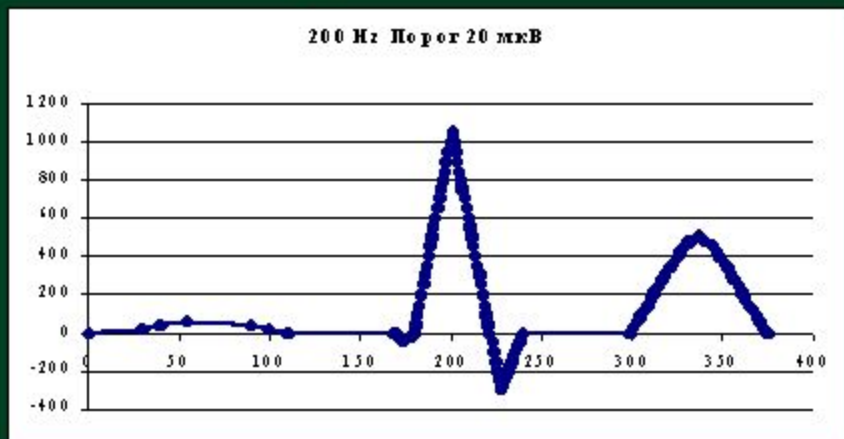
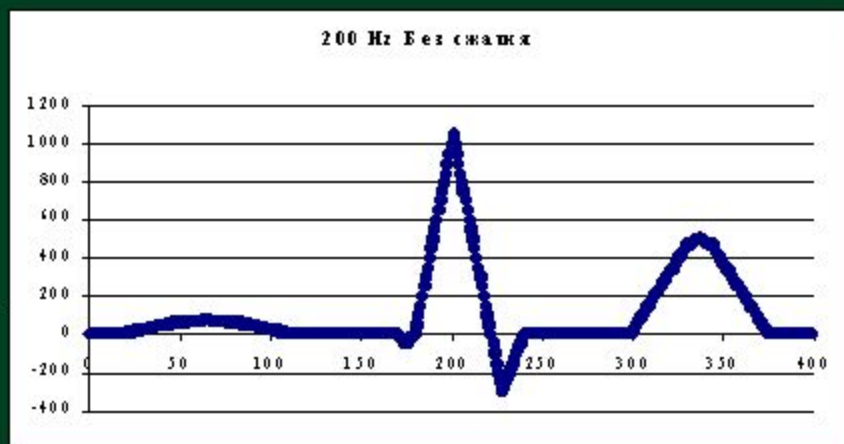
Объем информации холтеровского исследования и частота дискретизации

- 24-часовая запись по одному каналу с декларируемой верхней частотой пропускания 100 Hz должна занимать объем памяти порядка **7 Мб**
- Для уменьшения этого объема применяют сжатие информации



Влияние сжатия объема информации на результатирующую ЭКГ

- 14948 байт



- 512 байт



Принципиальная схема системы дешифрации ЭКГ при холтеровском мониторировании

Детекция QRS

Морфологическая
классификация
QRS

Автоматический
анализ

Редактирование

Документация

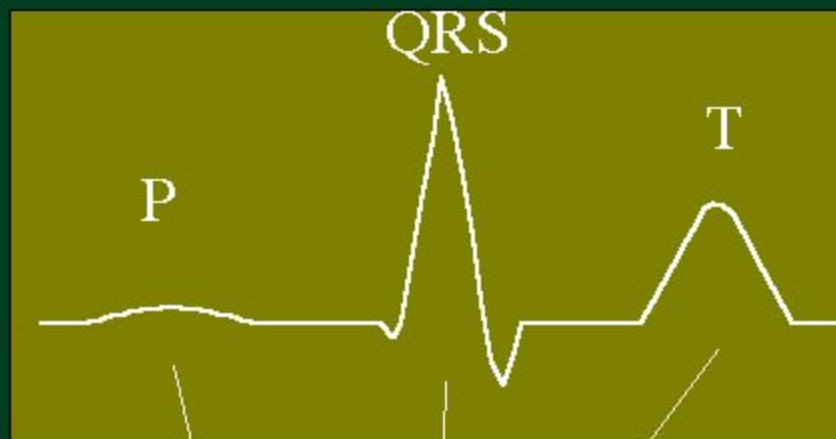


Схема процесса детекции QRS





Частотные характеристики ЭКГ



Полоса частот



Эффект фильтрации ЭКГ

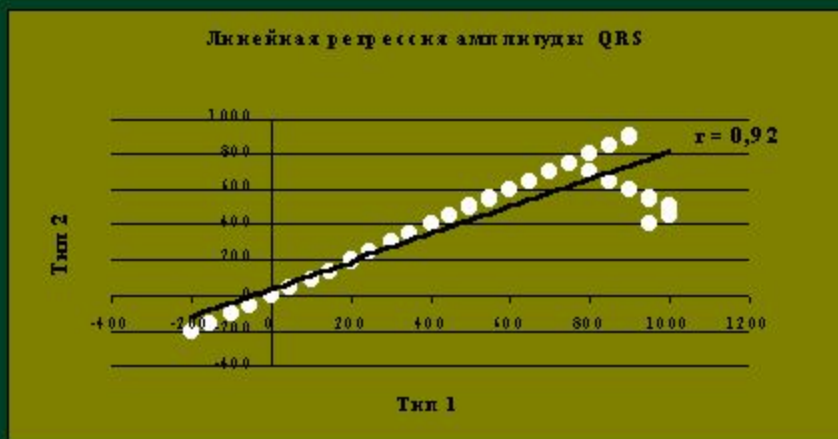
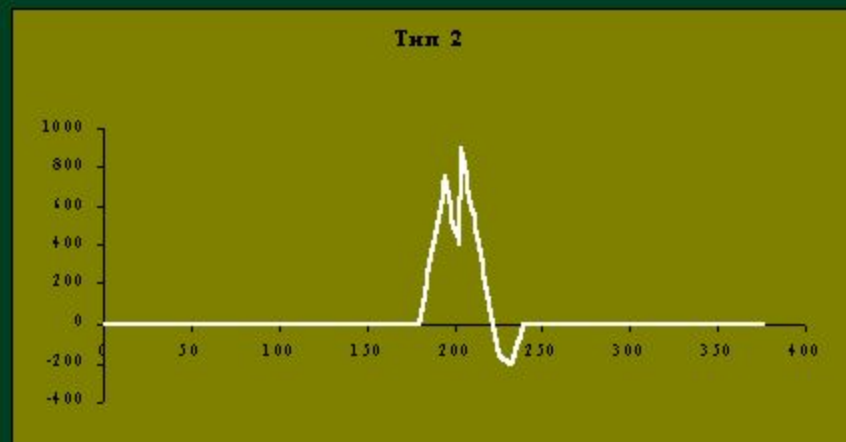
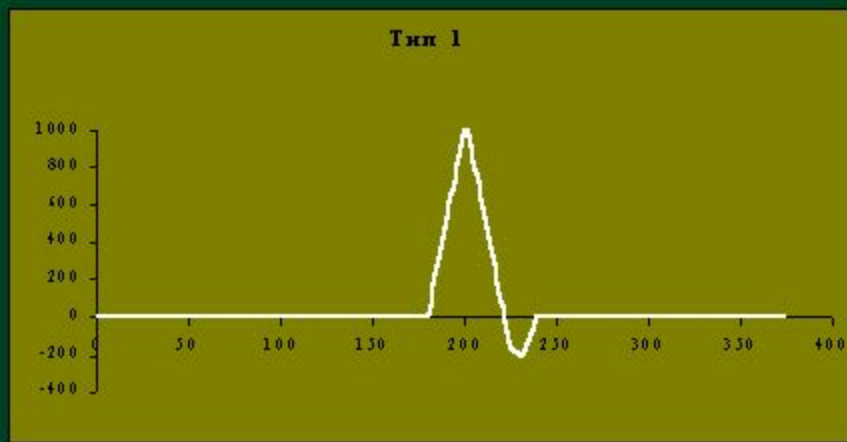


Фильтр 10 – 40 Hz



Порог
детекции

Схема процесса морфологической классификации QRS



Порог идентичности, например
 $- r > 0,97$
Решение: тип 1 \neq тип 2



Автоматический анализ ЭКГ при холтеровском мониторинге

- **Необходим** ввиду огромного объема информации, подлежащего рассмотрению на предмет выявления патологических отклонений (порядка 1 000 000 желудочковых комплексов за 24 часа), а также для количественной оценки ритма сердца и его нарушений
- **Заведомо ограничен** из-за недостатка по объективным причинам данных для построения полноценного диагностического алгоритма и его реализации
- Таким образом, задача автоматического анализа может быть определена как максимально полное выявление событий, имеющих или могущих иметь диагностическое значение, и описание их в терминологии, близкой к общепринятой



Основные термины, относящиеся к нарушениям ритма сердца

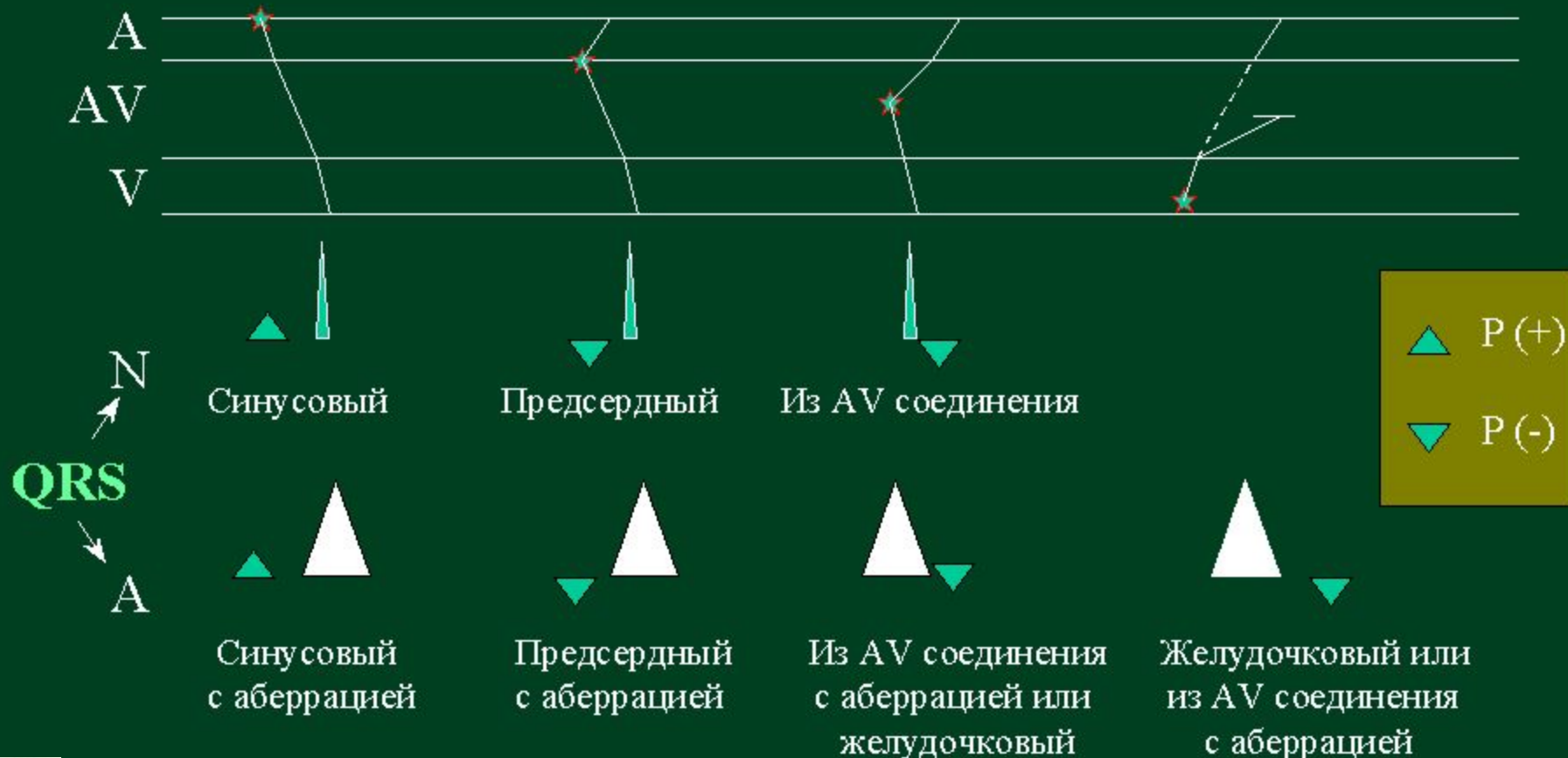
- **Ритм** - три и более последовательных импульсов, происходящих из одного источника
- **Остановка (arrest)** - прекращение электрической активности сердца или его отделов
- **Блокада** - задержка или неспособность проведения импульса
- **Экстрасистола** - одиночный (или парный) импульс, преждевременно возбуждающий камеру сердца, из которой он происходит, и характеризующийся относительным постоянством интервала сцепления
- **Парасистолия** - одновременное существование двух (или более) источников возбуждения одной и той же камеры сердца
- **Выскальзывающий импульс** - один или два последовательных импульса из одного или разных источников, возникающий в результате задержки прибытия в данную камеру сердца импульса из основного источника импульсации
- **Выскальзывающий ритм** - три и более последовательных выскальзывающих импульсов
- **Трепетание** - частая (>250/мин) и регулярная электрическая активность предсердий или желудочков с отсутствием изоэлектрической линии хотя бы в одном из отведений ЭКГ
- **Фибрилляция** - частая и нерегулярная (хаотическая) электрическая активность предсердий или желудочков
- **Брадикардия** - ритм с частотой импульсации ниже, чем собственная частота соответствующего водителя ритма
- **Тахикардия** - ритм с частотой импульсов >100/мин



Основания для классификации нарушений ритма

- Происхождение импульсов
(локализация источника)
- Тип и порядок следования импульсов
- Характер проведения импульсов

Принципы электрокардиографической диагностики нарушений ритма (локализация источника импульсации)





Ограничения автоматической ЭКГ диагностики нарушений ритма (локализация источника импульсации) при холтеровском мониторинге





Первый этап автоматической ЭКГ диагностики нарушений ритма при холтеровском мониторинге – определение принадлежности морфологических типов QRS к одной из категорий: нормальный, аберрантный наджелудочковый, желудочковый эктопический или артефакт (возможно далее – сливной и стимулированный)

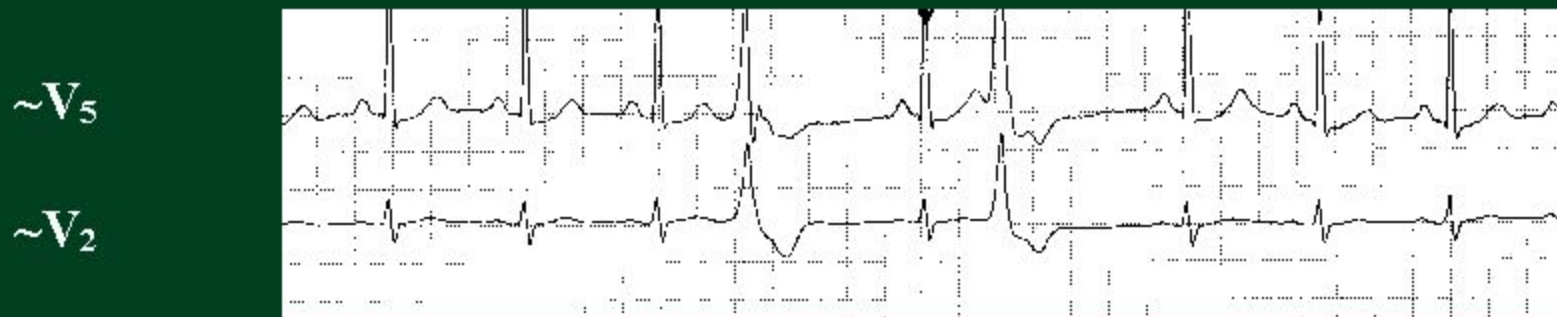
- Автоматическая диагностика принадлежности типов QRS чревата ошибками из-за многообразия типов и их индивидуальной изменчивости и всегда требует редактирования. Принципиальная сложность – дифференцировка аберрации и желудочковой эктопии
- Визуальная оценка типов QRS и их диагностика вручную представляется наиболее рациональной, хотя более трудоемка



Второй этап автоматической ЭКГ диагностики нарушений ритма при холтеровском мониторинге – оценка интервалов RR и порядка следования морфологических типов QRS. Для построения диагностических алгоритмов требуется определение некоторых универсальных понятий

- **Ритм** – соответствует общепринятому понятию
 - Тахикардия
 - Брадикардия
- **Преждевременность** – внезапное укорочение интервала RR на установленную величину (прим. 20% от предыдущего RR)
- **Запаздывание (пауза)** – внезапное удлинение интервала RR на установленную величину (прим. 40% от предыдущего RR) или превышение некоторого абсолютного значения
- **Хаотичность** – понятие, специально предназначенное для выявления мерцательной аритмии, до настоящего времени не имеет адекватной своим целям формулировки *

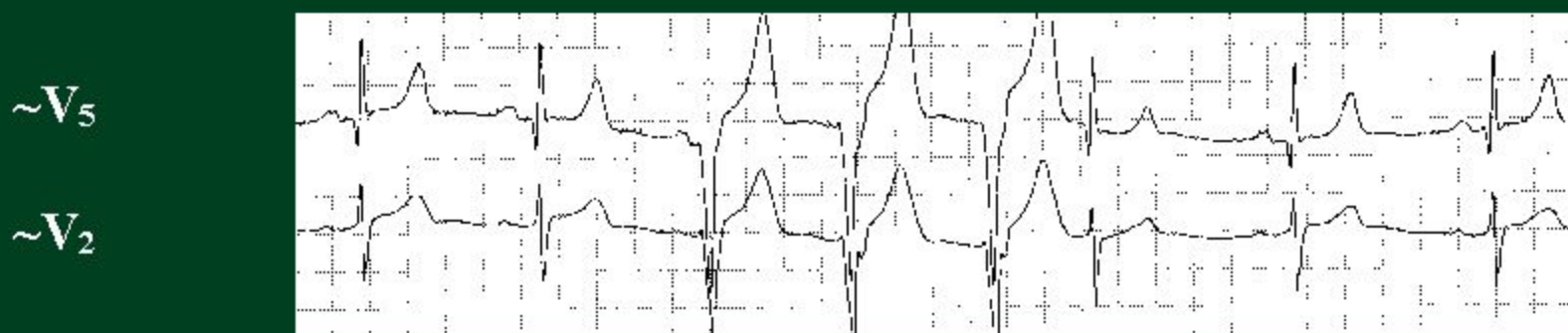
Пример трактовки ЭКГ в режиме автоматического анализа: желудочковая бигеминия



Тип QRS	N	N	N	V	N	V	N	N	N
Интервал	n	n	0	0	0	0	n	n	
Заключение	Синусовый ритм		ЖЭС		ЖЭС	Синусовый ритм		Бигеминия	

Diagram illustrating the automatic analysis of the ECG. The analysis identifies a sinus rhythm (Синусовый ритм) with two premature ventricular contractions (ЖЭС) interspersed among the sinus beats. The presence of these premature beats is identified as Бигеминия (Bigeminy).

Пример трактовки ЭКГ в режиме автоматического анализа: синусовый ритм с эпизодом ускоренного желудочкового ритма



Тип QRS

N N V V V N N N

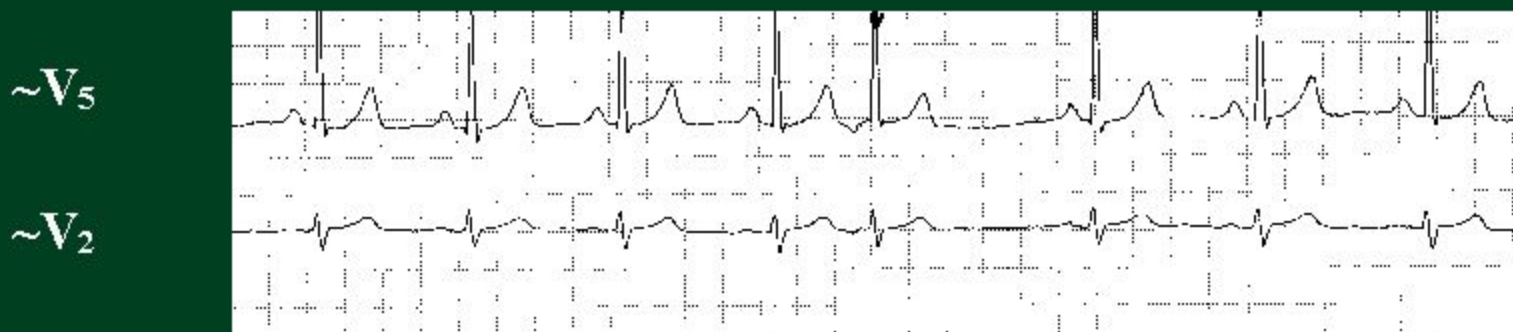
Интервал

n n 0 0 0 n n

Заключение

Синусовый ритм	ЖЭС	ЖЭС	Синусовый ритм
	ЖЭС		
Желудочковый ритм, нормосистолия = УЖР			

Пример трактовки ЭКГ в режиме автоматического анализа: одиночная предсердная экстрасистола



Тип QRS

N N N N **N** N N N

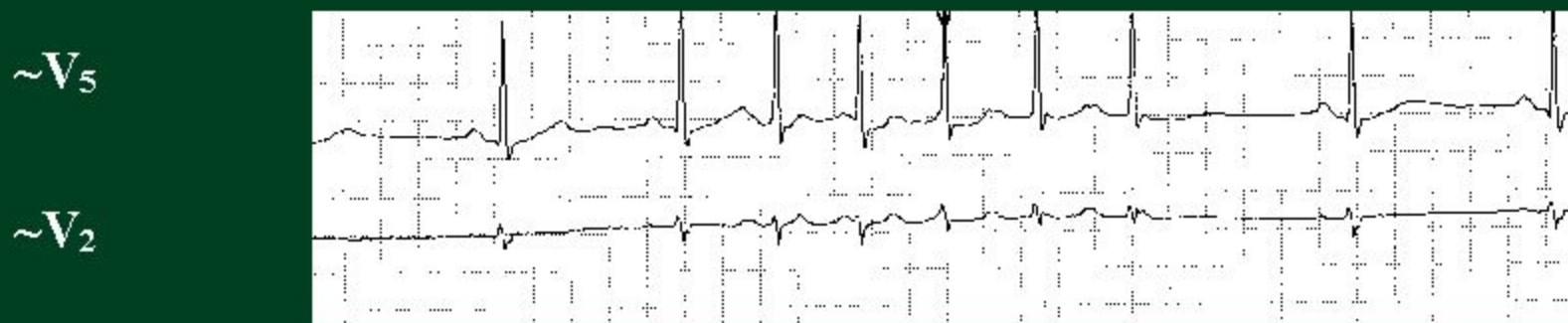
Интервал

n n n **pr** 0 n n

Заключение

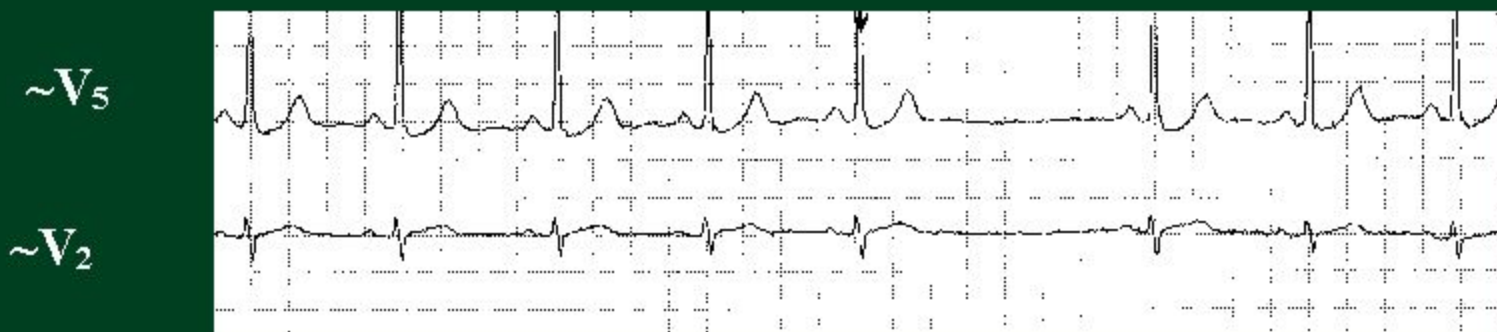
Синусовый ритм	НЖЭС	Синусовый ритм
----------------	------	----------------

Пример трактовки ЭКГ в режиме автоматического анализа: пробежка предсердной тахикардии с ПЖ блокадой 2 степени



Тип QRS	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Интервал	n	n	pr	pr	pr	pr	pr	0	n
Заключение	Синусовый ритм		Н	Н	Н	Н	Н	Синусовый ритм	
			Ж	Ж	Ж	Ж	Ж		
			Э	Э	Э	Э	Э		
			С	С	С	С	С		
	НЖ ритм, тахикардия = НЖТ								

Пример трактовки ЭКГ в режиме автоматического анализа: сино-атриальная блокада 2 степени



Тип QRS N N N N N N N N N

Интервал n n n n ps n n

Заключение

Синусовый ритм	Пауза 2RR	Синусовый ритм
----------------	-----------	----------------

Основные причины ложно-положительных и ложно-отрицательных диагностических заключений по нарушениям ритма сердца при холтеровском мониторинге

- неадекватная детекция и(или) классификация QRS
- низкая амплитуда QRS
- физиологическая вариабельность формы и вольтажа QRS
- шумы и артефакты
- нарушения лентопротяжного механизма
- выраженная синусовая аритмия
- мерцательная аритмия
- преходящие нарушения внутрижелудочковой проводимости и преждевременное возбуждение желудочков
- некорректная интерпретация данных исследователем и отсутствие детального редактирования

Основные причины ложно-положительных и ложно-отрицательных диагностических заключений по динамике сегмента ST при холтеровском мониторингировании

- использование аппаратуры, искажающей сегмент ST
- влияние положения тела на сегмент ST
- отсутствие калибровочного сигнала
- влияние гипервентиляции
- влияние тахикардии
- электролитные нарушения
- влияние препаратов
- некорректные показания к исследованию
- неадекватные критерии ишемии миокарда
- неадекватная система отведений



Выводы

- современные холтеровские системы с непрерывной записью имеют множество потенциальных источников артефактов и других искажений ЭКГ сигнала
- автоматизированный анализ ЭКГ далек от совершенства и имеет ряд ограничений объективного характера
- необходимо иметь широкие возможности редактирования результатов исследования, а само редактирование должно рассматриваться как один из важнейших и ответственных моментов анализа

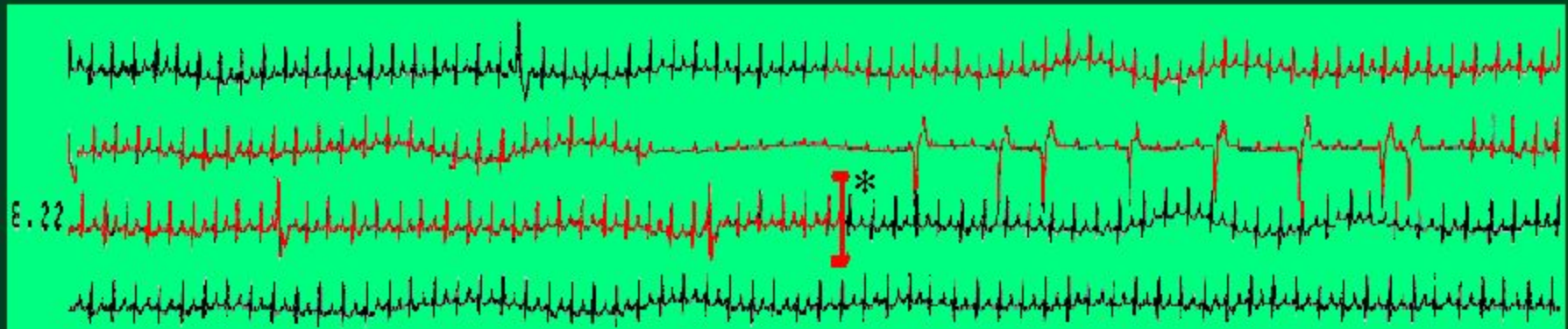


ЭКГ регистратор с интермитирующей записью

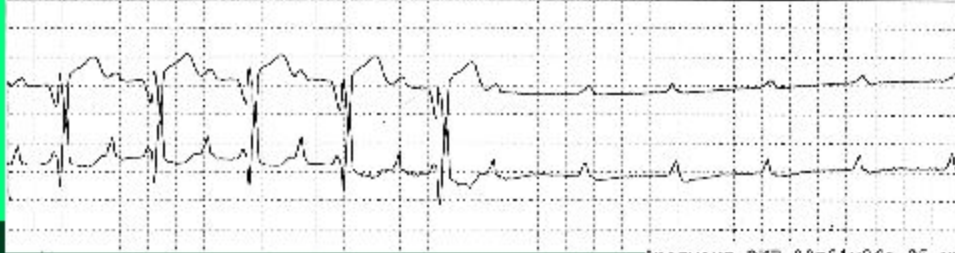




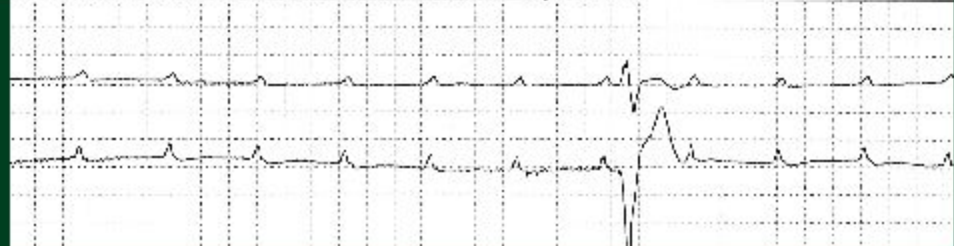
Принцип работы ЭКГ регистратора с интермитирующей записью (вариант с “петлей памяти”)



Фрагмент ЭКГ.08ч21к28с 25 мк./с. 10 мм./мм. Пауза 8.46с



Фрагмент ЭКГ.08ч21к36с 25 мк./с. 10 мм./мм. Пауза 8.46с



Трансляция ЭКГ сигнала по телефону и база данных для регистраторов с интермиттирующей записью

МТЕСГ

<09.17.1997>	16.25.00
<09.17.1997>	16.25.18
<09.17.1997>	16.25.35
<09.17.1997>	16.25.54
<09.17.1997>	16.40.42
<09.17.1997>	16.40.59
<09.17.1997>	16.42.57

Информация о пациенте

Ф.И.О. Пол Возраст

Рост Вес АД -

Цель обследования

Дата обследования Дата анализа

Комментарии

1mV

400ms



Клиническое применение ЭКГ мониторирования с интермитирующей записью

- Диагностика редко возникающих нарушений ритма сердца
- *Диагностика синкопальных состояний*
- *Контроль работы имплантированных ЭКС*
- Контроль за состоянием пациентов на амбулаторном этапе реабилитации
- Контроль за антиаритмическим лечением