

ТЕМА 11. ОБРАБОТКА БИОСИГНАЛОВ

Биосигналы являются физическими проявлениями физиологических процессов организма, которые могут быть измерены и представлены в виде удобном для обработки с помощью электронных средств (например, в виде величины электрического напряжения или тока). Обработка биосигналов проводится с целью выделения информативных, с точки зрения медицинской диагностики, признаков биосигнала, или с целью определения диагностических показателей, вычисляемых по параметрам биосигнала.

Обобщенно, любое электрофизиологическое исследование представляется тремя последовательными этапами:

- 1) съем;
- 2) регистрация
- 3) обработка сигналов биологической активности (биосигналов).

Специфические особенности, присущие каждому этапу реализации, определяют комплекс требований и ограничений на возможную реализацию остальных.

Съем сигнала осуществляется посредством электродов.

Биологическим электродом называется устройство, используемое при съеме биоэлектрических потенциалов, имеющие токоёмную поверхность и выходные элементы.

Токоёмная поверхность – часть поверхности электрода, непосредственно или через контактное вещество контактирующая с биообъектом и обеспечивающая съем биопотенциалов.

В зависимости от участия в съеме биопотенциалов, различают следующие виды электродов:

- *Потенциальный электрод* – отводящий электрод, контактирующий с участком биообъекта, находящимся в электрическом поле исследуемого объекта.

- *Нулевой электрод* – отводящий электрод, контактирующий с участком биообъекта, в котором электрический потенциал стремится к нулю.

- *Нейтральный электрод* – электрод, не участвующий в съеме биоэлектрических потенциалов, подключенный к нейтральной клемме измерительного прибора.

При съеме и регистрации биосигналов проявляют себя различные помехи. Наибольшую погрешность в измерения вносят т.н. аддитивные помехи. Среди них выделяют следующие виды:

- *Артефакты или случайные помехи*. Их причинами может быть биоэлектрическая активность органов, не имеющая непосредственного отношения к работе исследуемых органов и тканей

- *Разностные и синфазные помехи* – образуются, в первую очередь, как наводки промышленной частоты 50 Гц от сети переменного тока и всегда имеются в помещениях, где производится регистрация.

- *Мультипликативные помехи* – изменяют параметры контура передачи сигнала, что приводит к случайной модуляции величины полезного сигнала. Связаны в основном с изменениями сопротивления «кожа-электрод», вызванными высыханием токопроводящих или физиологического раствора. Мультипликативные помехи носят инфранизкий характер и проявляются при длительных исследованиях.

При измерении электрических параметров биообъектов их соединяют с измерительной схемой с помощью биоэлектрических электродов. При этом можно выделить:

- отведение, т.е. зону контакта биообъекта с электродом,
- электродное контактное вещество (паста, физ. раствор),
- электрод,
- отводящие провода.

Все используемые отведения можно разделить на:

- *униполярные*
- *биполярные*
- *многоэлектродные*

- *Униполярное отведение* позволяет регистрировать биоэлектрическую активность в точке наложения электрода.

- *Биполярное отведение* – оба электрода являются измерительными, и разность потенциалов регистрируется между двумя точками поверхности тела.

- *Многоэлектродное отведение* – в требуемых точках биообъекта накладываются две группы электродов, электроды каждой группы соединяются через суммирующие цепи и образуют две ветви отведения.

По механизму образования биосигналов в организме можно выделить две основные группы биосигналов: 1) биосигналы, связанные с образованием в организме физических полей биологического происхождения, 2) биосигналы, связанные с изменениями физических характеристик участка биологической ткани происходящими под влиянием протекания физиологических процессов.

К первой группе относятся биосигналы, обусловленные биоэлектрической активностью органов и тканей, связанные с наличием в организме сравнительно низкочастотных электрических полей биологического происхождения, вызванные электрохимическими и кинетическими процессами, протекающими в организме. Они, как правило, характеризуют функционирование отдельных органов и функциональных систем. Низкочастотные электрические поля в значительной степени экранируются проводящими тканями биологического объекта с неоднородным распределением электрической проводимости. Электрические поля являются причиной создания на кожном покрове электрических потенциалов, при этом можно выделить квазистатический электрический потенциал, имеющийся на определенном участке поверхности, и потенциал, изменяющийся синхронно с изменением свойств определенного органа или системы при его функционировании. Таким образом, на кожном покрове будет иметься постоянный потенциал относительно зоны, взятой за базовую, и переменный – который характеризует работу соответствующего органа или функциональной системы. Спектр переменных биосигналов, характеризующих функционирование органов и систем, лежит в полосе частот от долей Гц до единиц кГц. Разность квазистатических потенциалов между участками на кожном покрове человека достигает долей вольта и, в значительной степени, зависит от электродов, с помощью которых они регистрируются. Разность переменных потенциалов оценивается в диапазоне от мкВ до десятков мВ. Наибольшую диагностическую ценность имеют переменные биосигналы, характеризующие функционирование сердца, центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата, состояние нервно-мышечной проводимости и др. Приведем краткую характеристику некоторых из них.

Электрокардиографический сигнал представляет собой изменение во времени электрического потенциала определенных участков кожи возникающее под действием биоэлектрической активности сердца.

Электрические процессы в сердце обусловлены движением ионов натрия (Na^+), которые первоначально находятся снаружи миокардиальной клетки, внутрь ее и движением ионов калия (K^+), устремляющихся изнутри клетки наружу. Это перемещение создает условия для изменения трансмембранных потенциалов во время всего сердечного цикла и повторяющихся деполяризаций (возбуждение, затем сокращение) и реполяризаций (переход в первоначальное состояние). Электрической активностью обладают все миокардиальные клетки, однако медленная спонтанная деполяризация свойственна лишь клеткам проводящей системы, почему они и способны к автоматизму.

Возбуждение, распространяющееся посредством проводящей системы, последовательно охватывает отделы сердца. Начинаясь в синусно-предсердном (синусовом) узле (стенки правого предсердия), который обладает максимальным автоматизмом, импульс проходит через предсердные мышцы, атриовентрикулярный узел, пучок Гиса с его ножками и направляется к желудочкам, возбуждая при этом отделы проводящей системы еще до проявления собственного автоматизма.

Возбуждение, возникающее на наружной поверхности миокарда, оставляет эту часть электронегативной по отношению к участкам, которых возбуждение не коснулось. Однако ввиду того, что ткани организма обладают электропроводностью, биотоки проецируются на поверхность тела и могут быть зарегистрированы и записаны на движущуюся ленту в виде кривой – электрокардиограммы. ЭКГ состоит из зубцов, которые повторяются после каждого сердечного сокращения, и показывает посредством их о тех нарушениях, которые есть в человеческом сердце.

Регистрация ЭКГ.

Стандартное отведение I. Для регистрации стандартного отведения I отрицательный вход электрокардиографа соединен с правой рукой, а положительный вход — с левой рукой. Таким

образом, когда точка прикрепления правой руки к грудной клетке становится электроотрицательной по сравнению с точкой прикрепления левой руки, электрокардиограф регистрирует отклонение в положительную сторону, т.е. выше нулевой (изоэлектрической) линии. И наоборот, когда точка прикрепления правой руки к грудной клетке становится электроположительной по сравнению с точкой прикрепления левой руки, электрокардиограф регистрирует отклонение в отрицательную сторону, т.е. ниже нулевой линии. Стандартное отведение II. Для регистрации стандартного отведения II отрицательный вход электрокардиографа соединен с правой рукой, а положительный вход — с левой ногой. Следовательно, когда правая рука оказывается электроотрицательной по сравнению с левой ногой, электрокардиограф регистрирует положительное отклонение от нулевой линии. Стандартное отведение III. Для регистрации стандартного отведения III отрицательный вход электрокардиографа соединен с левой рукой, а положительный вход — с левой ногой. Следовательно, электрокардиограф регистрирует положительное отклонение, если левая рука оказывается электроотрицательной по сравнению с левой ногой. Треугольник Эйнтховена. На рисунке 1 (а) вокруг местоположения сердца изображен треугольник, который называют треугольником Эйнтховена. Эта схема показывает, что обе руки и левая нога образуют вершины треугольника, окружающего сердце. Две вершины в верхней части треугольника представляют собой точки, откуда электрические токи по электропроводящим средам организма распространяются к верхним конечностям. Нижняя вершина — это точка, откуда идет распространение токов к левой ноге.

Зубцы в ЭКГ (Рис.1, б) обозначаются с помощью латинских букв: P, Q, R, S, T, U, где каждая из них отражает состояние различных отделов сердца:

- P – деполяризация предсердий;
- Комплекс зубцов QRS – деполяризация желудочков;
- T – реполяризация желудочков;
- Маловыраженный зубец U может указывать на реполяризацию дистальных участков проводящей системы желудочков.

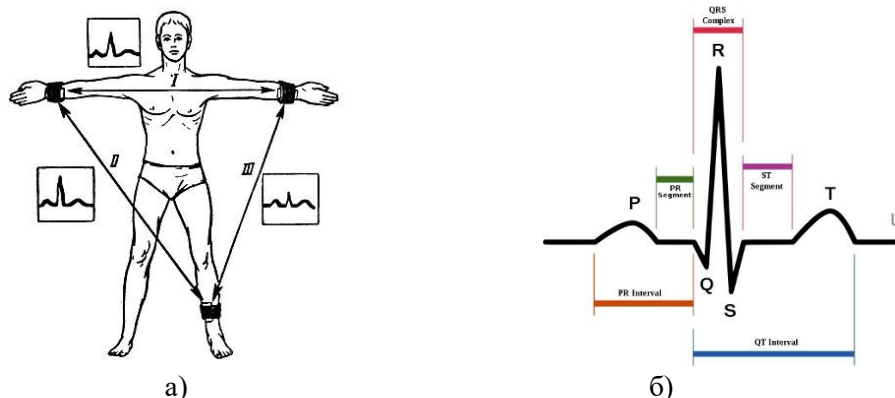


Рис. 1. а) треугольник Эйнтховена; б) зубцы, сегменты и интервалы ЭКГ

На рисунке 2 приведен фрагмент электрокардиографического сигнала (ЭКГ), зарегистрированного у здорового человека в нормальных условиях. Диапазон изменений амплитуды ЭКГ сигнала составляет 0,3...3,0 мВ; частотный диапазон сигнала составляет – 0,05...300 Гц.

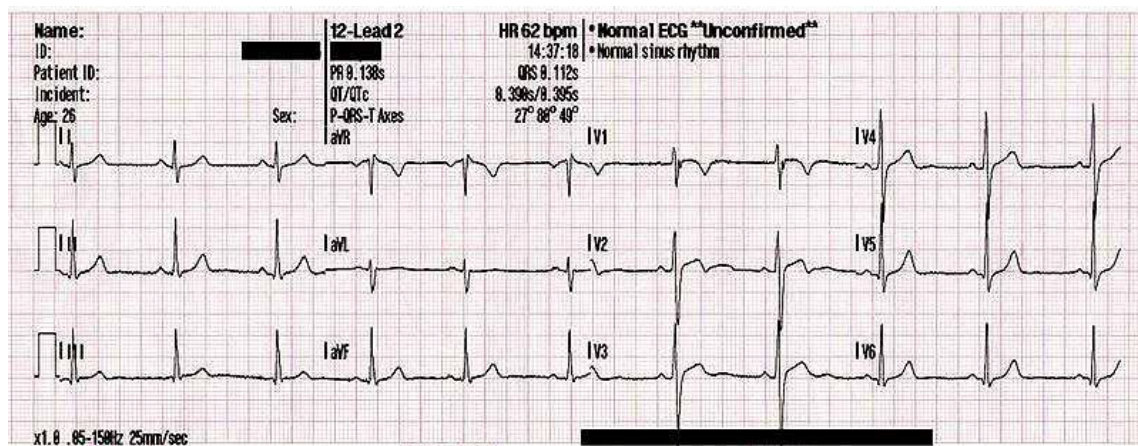


Рис. 2. Нормальная ЭКГ, зарегистрированная в 12 отведениях

Используется в кардиологической диагностике для контурного, в том числе и визуального анализа сигнала на коротких записях, автоматизированного поиска и идентификации аномальных участков сигнала при длительной записи (системы Холтеровского мониторинга), определении показателей вариабельности ритма сердца. В системах клинического мониторинга электрокардиографический сигнал используется для отображения на экране монитора с целью визуального наблюдения сигнала в нескольких отведениях, диагностики нарушений ритма, для слежения за показателями вариабельности сердечного ритма, отражающими состояние регуляторных процессов в организме.

Магнитокардиографический сигнал представляет собой изменение во времени магнитного поля, возникающего вследствие биоэлектрической активности сердца. Регистрируется бесконтактно с помощью магнитометров преобразующих интенсивность магнитного поля в электрический сигнал. На рисунке 3 приведена магнитокардиограмма плода (верхний рисунок), а также для сравнения приведен ЭКН сигнал матери (нижний рисунок).

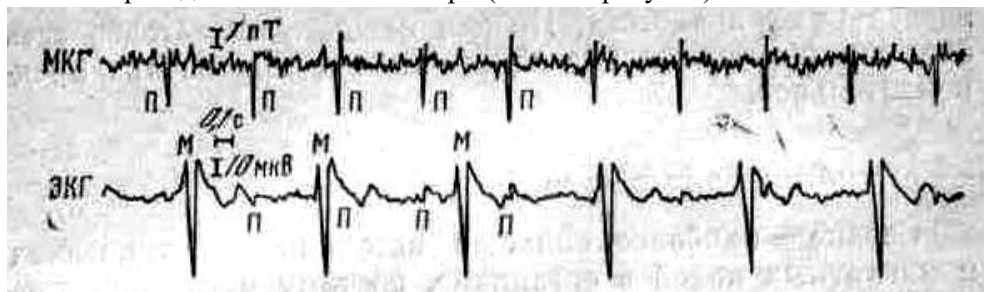


Рис. 3. Магнитокардиограмма плода и ЭКГ матери

Магнитокардиографический сигнал используется в кардиологической диагностике в частотности в перинатологии, для контурного визуального анализа сигнала на коротких записях, а также для картирования распределения магнитного поля по сердцу.

Электроэнцефалографический сигнал – представляет собой изменение во времени электрического потенциала определенных участков кожи головы возникающее под действием биоэлектрической активности центральной нервной системы. На рисунке 4 приведен электроэнцефалографический сигнал (ЭЭГ), зарегистрированный в восьми отведениях у здорового бодрствующего человека. Диапазон изменений амплитуды ЭЭГ сигнала составляет 0,002...0,1 мВ; частотный диапазон сигнала составляет – 0,3...80 Гц.

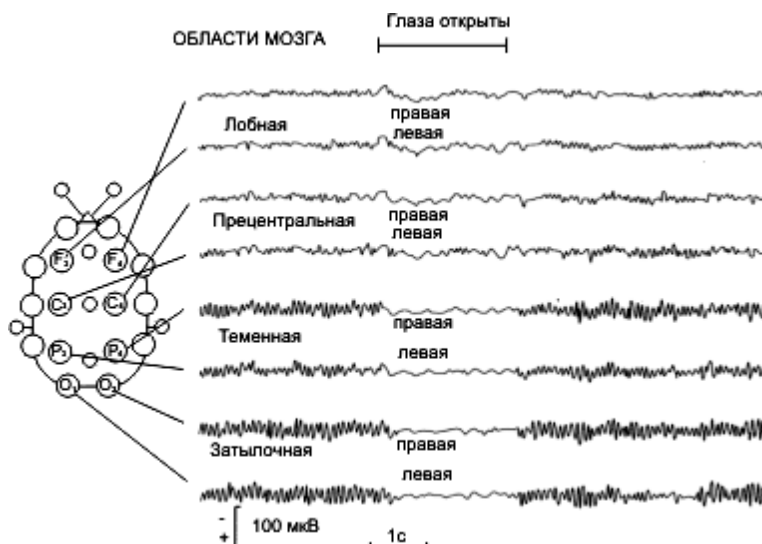


Рис. 4. Электроэнцефалограмма здорового бодрствующего человека в состоянии покоя. Одновременное отведение по восьми каналам

Регистрация и анализ ЭЭГ сигналов используется в диагностике функционального состояния мозга и его отдельных участков, в основном, путем топографического анализа амплитуд отдельных частотных компонент сигнала, называемых ритмами, на коротких записях.

Электроэнцефалография применяется при мониторинге активности центральной нервной системы, в частности, при определении глубины анестезии с помощью биспектрального анализа ЭЭГ сигнала, а также путем оценки вызванных аудиторных биопотенциалов мозга. ЭЭГ сигнал также находит применение в системах человек-машинных интерфейсов для передачи данных от человека-оператора к управляемому с помощью биосигналов автоматизированному машинному комплексу.

Электромиографический сигнал (ЭМГ) (Рис. 5) представляет собой изменение во времени электрического потенциала мышц. Регистрируется с помощью электродов накладываемых на кожу в проекции исследуемых мышц. Диапазон изменения амплитуды сигнала составляет 0,02...3,0 мВ, частотный диапазон составляет 0,1...1000 Гц.

Регистрация и обработка ЭМГ сигнала используется в диагностике функционального состояния нервно-мышечной проводимости, состояния опорно-двигательного аппарата в основном, путем анализа топографии и амплитуды сигнала на коротких записях. Используется при исследовании выраженности Н-рефлекса, также применяется при мониторинге нервно-мышечной проводимости во время наркоза.

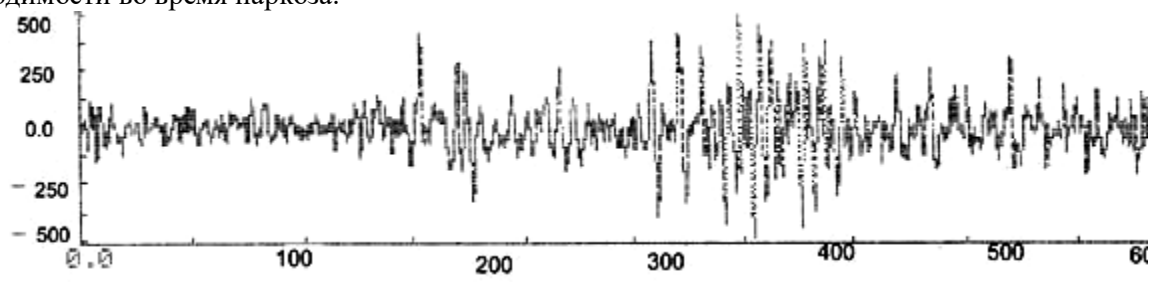


Рис. 5. Электромиограмма мышц, участвующих в разгибании голени

Фонокардиографический сигнал представляет собой изменение во времени акустических (звуковых) проявлений работы сердца. Регистрируется с помощью микрофона, накладываемого на грудь обследуемого в проекции сердца и преобразующего звуковые колебания в электрический сигнал. На рисунке 6 приведен фонокардиографический сигнал, зарегистрированный одновременно с ЭКГ сигналом. Диапазон изменения амплитуды фонокардиографического сигнала в зависимости от типа используемого микрофона составляет 0,1...2 мВ, частотный диапазон составляет 20...800 Гц.

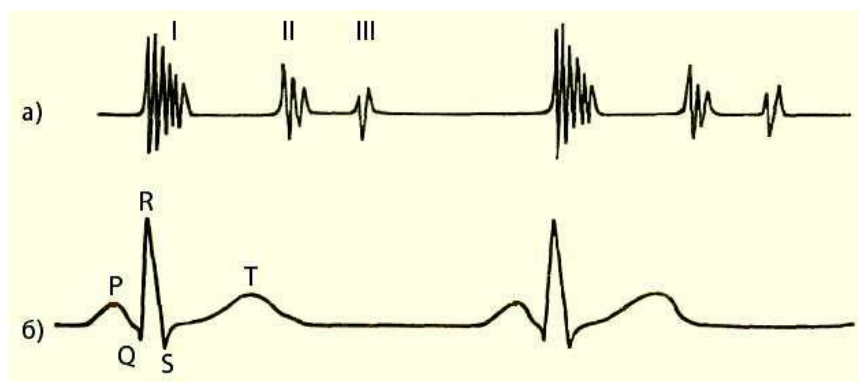


Рис. 6. Фонокардиограмма (а), электрокардиограмма (б); систолический (I), диастолический (II), желудочковый (III) тон.

Фонокардиография используется в кардиологической диагностике путем контурного визуального анализа сигнала на коротких записях, часто в совокупности с электрокардиографическими сигналами. В электронных стетоскопах используется для прослушивания сердечных тонов и выявления патологий в биомеханике сердца.

Вторая группа биосигналов требует для своей регистрации приложения к биологическим тканям внешних физических полей.

Реографический сигнал представляет собой изменение во времени электрического сопротивления участка биологической ткани, расположенного между измерительными электродами. Для регистрации реографического сигнала через участок исследуемых биологических тканей пропускается переменный электрический ток с частотой порядка сотен кГц и амплитудой не превышающей 1 мА. С помощью этого метода получают реограммы головного мозга (реоэнцефалограмма), сердца (реокардиограмма), магистральных сосудов, легких, печени, конечностей. Исследование реограмм применяют в диагностике заболеваний периферических кровеносных сосудов, сопровождающихся изменением их эластичности, сужением артерий и т.д.

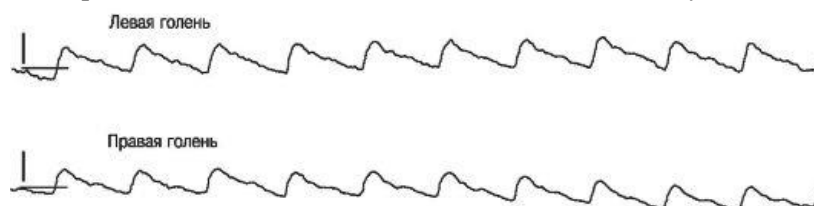


Рис. 7. Реограмма голени здорового человека

Фотоплетизмографический сигнал представляет собой изменение во времени объема кровеносного сосуда под действием пульсовых волн. Для регистрации фотоплетизмографического сигнала через исследуемый участок биологических тканей пропускается поток излучения оптического или инфракрасного диапазона. Величина сигнала измеряется как ослабление излучения, проходящего через исследуемый участок биологической ткани, содержащей кровеносный сосуд (или отраженного от участка, исследуемой биологической ткани). Амплитуда сигнала при использовании широкополосного фотоприемника составляет не менее 0,1 мВ. Частотный диапазон составляет 0,3...70 Гц.

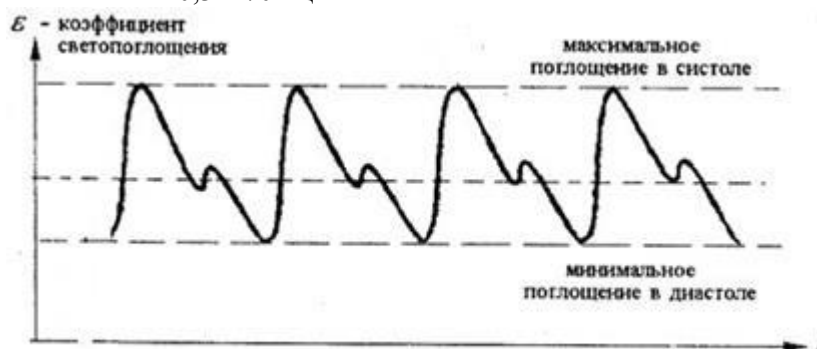


Рис. 8. Фотоплетизмограмма

Методы фотоплетизмографии используются в кардиологической практике для определения параметров периферического кровотока, например, с целью определения эластических свойств сосудов. В клиническом мониторинге используется при построении пульсоксиметров для неинвазивного мониторинга степени насыщения крови кислородом.

Необходимо отметить, что здесь приведен далеко не полный набор биосигналов, которые широко используются в современной медицине, перечень которых достаточно широк и позволяет исследовать различные органы, ткани и состояния организма.

Контрольные вопросы:

- 1) Понятие биосигнала.
- 2) Дайте определение следующим понятиям: биологический электрод; токосъемная поверхность; потенциальный электрод; нулевой электрод; нейтральный электрод; артефакты; разностные и синфазные помехи; мультипликативные помехи.
- 3) Типы биосигналов.
- 4) Сегменты и интервалы ЭКГ.
- 5) Стандартные отведения ЭКГ.
- 6) Электроэнцефалограмма.
- 7) Фотоплетизмографический сигнал

Список литературы

1. Методика компьютерной диагностики. – Режим доступа: <http://oberon-aurum.ru/user-artical-50.php>
2. Калакутский Л. И. Измерительные преобразователи показателей сердечного ритма систем контроля состояния человека / Л. И. Калакутский, А. А. Федотов, С. А. Акулов // электрон. учеб. пособие, Самара, 2012, 1 эл. опт. диск.
3. Федотов А.А. Математическое моделирование и анализ погрешностей измерительных преобразователей биомедицинских сигналов / А.А. Федотов, С.А. Акулов // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 282 с.
4. Kaiser W, Findeis M. Artifact Processing During Exercise Testing // Journal of Electrocardiology. – 1999. – Vol 32, Supplement. – P. 212-219.