

УДК 615.47:681.2

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

С.П. Желудько, Г.М. Алдонин

Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники, г. Красноярск

E-mail: ald@rtf.kgtu.runnet.ru, zheludko@trk7.ru

Полифункциональный анализ кардиосигналов представляет большой интерес для дифференциальной диагностики нормы и патологии сердечно-сосудистой системы. Фрактальный анализ сигналов сердечно-сосудистой системы отражает её структурную организацию.

Ключевые слова:

Полифункциональный анализ, сердечно-сосудистая система, фракталы, структурный анализ.

Большой объем информации и сложность экспериментальных исследований требуют использования специализированных измерительных комплексов и компьютерных технологий, позволяющих резко увеличить возможности исследований, повысить их достоверность и минимизировать рутинные процедуры в эксперименте.

На кафедре приборостроения и телекоммуникаций Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета разработана серия аппаратно-программных комплексов (АПК) на базе микрокардиомониторов (МКМ) и персонального компьютера (ПК), использующих традиционные методы и методы синергетического анализа функционального состояния. Цель проектирования аппаратно-программных средств мониторинга функционального со-

стояния организма (ФСО) — обеспечение многофункционального совместного анализа сигналов различных датчиков, позволяющих получить дополнительно более полную картину ФСО [1].

Для АПК холтеровского типа разработан микрокардиомонитор МКМ-07 (рис. 1, б) предназначен для длительного наблюдения автономно и в режиме *on-line* КИ кардиоритма (КР), электрокардиосигналов (ЭКС), пульсовой волны (ПВ) кровотока и фонокардиосигнала (ФКС) и накопления кардиоинтервалов и биосигналов в режиме *off-line* в запоминающем устройстве (на основе мультимедийной карты памяти ММС) с параллельной записью лево- и правополушарного омега-потенциала (ОП) с помощью омега-тестера ОТ-01 (рис. 1, в).

Функциональная схема АПК приведена на рис. 2, общий вид — на рис. 1, а.

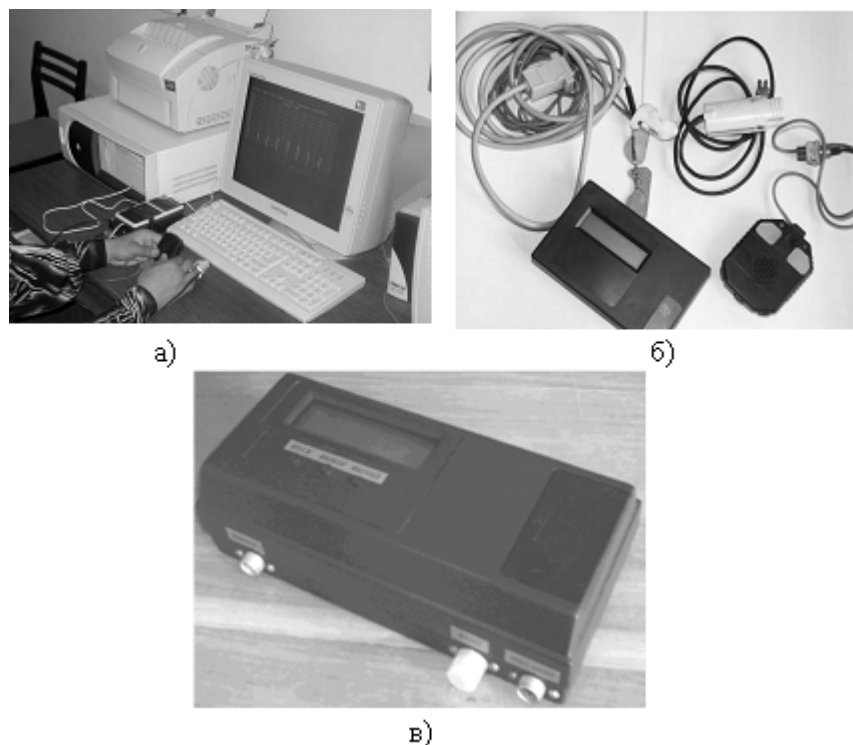


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс (а), рекордер МКМ-07 (б) и омега-тестер ОТ-01 (в)

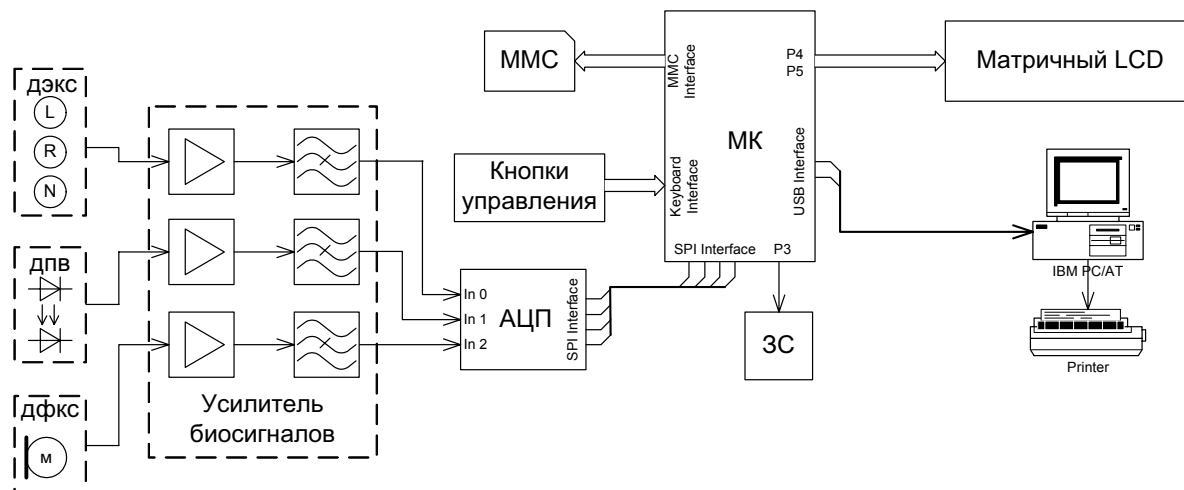


Рис. 2. Функциональная схема АПК

Комплекс содержит три канала (рис. 2):

- ЭКС – датчик-преобразователь электрокардиосигнала (ДЭКС) (самоклеющиеся хлорсеребряные электроды) и усилитель ЭКС.
- ПВ – датчик-преобразователь пульсовой волны (ДПВ) (фотоэлектрический датчик) и усилитель сигнала ПВ.
- ФКС – датчик-преобразователь фонокардиосигнала (ДФКС – электрретный микрофон) и усилитель ФКС.

Цифровая часть МКМ-07 содержит многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), однокристалльный микроконтроллер (МК) со встроенными ПЗУ и ОЗУ; матричный жидкокристаллический дисплей (LCD); звуковую сигнализацию пульса (ЗС); кнопки управления прибором; съемную мультимедийную карту памяти (MMC).

Полученные данные накапливаются в буфере хранения данных, а затем, в зависимости от выбранного режима работы комплекса, могут передаваться в ПК, посредством *USB* интерфейса, либо записываться в *MMC*. Данные, записанные на карту памяти, могут быть считаны ПК также через *USB*-интерфейс, либо посредством другого внешнего устройства чтения карты памяти *MMC*. Дальнейшая обработка выполняется в ПК.

Полученные аппаратной частью данные, формируются в файлы. Используя средства телекоммуникаций эту информацию можно передать в любую точку, где производится обработка этих данных и формируется электронная база данных. Отчет может отправляться по адресу, указанному отправителем файла, и выводиться на принтер ПК. *LCD* отображает оперативную и статусную информацию о работе аппаратной части комплекса.

В режиме измерения кардиоинтервалов и скорости распространения ПВ, на дисплей выводятся результаты измерения. Применение *USB*-интерфейса позволяет проводить измерения с использованием питания ПК, в режиме *on-line*.

На базе МКМ-07 был разработан МКМ-08, отличающимися особенностями которого являются наличие графического дисплея и интерфейса *RS-232*. Графический дисплей дает возможность отображать биосигналы.

Измерительно-регистрирующий блок ОТ-01 (рис. 1, в) осуществляет динамическую регистрацию омега-потенциала по двум каналам, регистрирует, хранит в памяти и отображает измеренные значения на дисплее прибора. ПК выполняет процедуру ввода информации из кардиомонитора МКМ-03 и омега-тестера ОТ-01 и сохранение индивидуальных данных пациента в базе данных, проводит анализ сердечного ритма и ОП с целью дальнейшей интерпретации функционального состояния организма и степени его адаптации к условиям окружающей среды.

АПК имеет как устоявшиеся классические методы анализа (Фурье-анализ, статистические параметры, скаттерограмма и др.), так и новые, ранее практически не встречавшиеся (фрактальная размерность, скейлинговые характеристики, вейвлет-анализ и др.) [2]. Также имеется широкий набор сервисных функций и возможность ведения базы данных (БД) пациентов.

Было разработано программное обеспечение АПК «Диагностика» в среде ОС *MS Windows 95-XP*.

Программный модуль для анализа ОП позволяет выводить на экран ЭВМ значения омега-потенциала в виде графика в реальном времени (причем ОП правого и левого полушарий отображаются разными цветами), заносить считанную из регистрирующего блока запись в базу данных, выводить из базы данных выбранную запись на экран. Структурная схема ОТ-1 представлена на рис. 3.

АПК позволяет контролировать основные сигналы сердечно-сосудистой системы и состояние левого и правого полушария головного мозга. Для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы можно использовать информацию, содержащуюся в форме, а соответственно и в спектрах

электро-кардиосигналов, пульсовой волны и фонокардиосигнала. ЭКС, снимаемый с электродов, отражает состояние электропроводящей системы сердца, форма ПВ – состояние кровеносной системы, а ФКС – мышечной системы сердца, рис. 4.

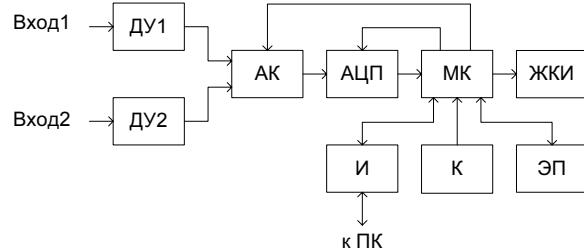
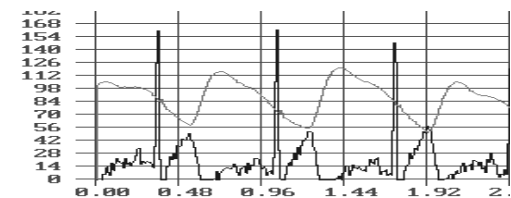
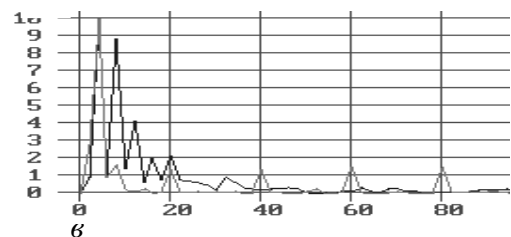


Рис. 3. Структурная схема измерительно-регистрирующего блока ОТ-01 (ДУ1, ДУ2 – дифференциальные усилители; АК – аналоговый коммутатор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; И – интерфейс; МК – микроконтроллер; К – клавиатура; ЖКИ – жидкокристаллический индикатор; ЭП – энергонезависимая память)

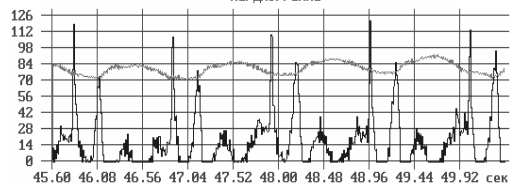


а



б

Пациент: 0014 12-09-2005 14:40 I N-44 ЕКГРВ-sid_4a
Кардиограмма



а

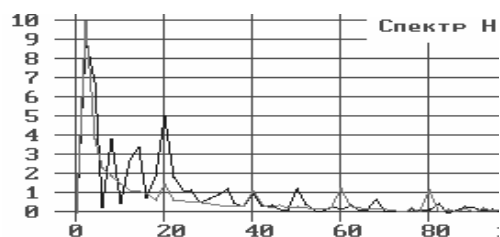


Рис. 4. Совместная запись ЭКС и ПВ (а), ЭКС и ФКС (б) и их спектры (в) I – здорового и II – пациента с инфарктом миокарда

Совместный анализ этих сигналов позволяет получать дополнительную информацию о норме и патологии функционального состояния организма.

Особое значение имеет структурный анализ биопроцессов и биосигналов. Структурную целостность и устойчивость можно оценить, определяя скейлинговые характеристики скелетных функций вейвлет-диаграмм и меру их гармоничности, как меру конфликтности их внутренних циклов (рис. 5; табл. 1, 2).

Таблица 1. Скейлинги по узлам скелетона ПВ

$i \setminus j$	0.800	0.661	0.631	0.640
1	0,656	0,727	0,791	0,803
2	0,714	0,937	0,789	0,800
3	0,333	0,840	0,800	0,750
4	0,800	0,761	0,750	0,830
5	0,650	0,625	0,555	0,760
6	0,615	0,800	0,840	0,631
7	0,750	0,500	0,666	0,500
$\bar{S}_c$	0,646	0,670	0,686	0,714
σ	0,080	0,057	0,035	0,010

Таблица 2. Скейлинги по узлам скелетона ЭКГ

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
1	0,550	0,560	0,450	0,690	0,570
2	0,660	0,610	0,770	0,530	0,310
3	0,570	0,590	0,610	0,420	0,540
4	0,620	0,650	0,510	0,820	0,750
5	0,650	0,620	0,680	0,550	0,610
6	0,750	0,530	0,410	0,670	0,530
$\bar{S}_c$	0,620	0,590	0,570	0,610	0,550
σ	0,027	0,016	0,046	0,050	0,053

Проделанные обширные экспериментальные исследования показывают наличие главных признаков структурной устойчивости для биопроцессов и биосигналов в норме:

- Спектральная характеристика вида $1/f^\beta$ (β в пределах от 0,8 до 1,2).
- Фрактальная структура сигналов с самоподобием, близким к «золотому сечению».
- Наличие пространственно-временной симметрии в биопроцессах и биосигналах, отражающих морфологическое единство функциональных систем в виде ветвящихся структур, и процессов, происходящих в них.

В последние годы особое внимание привлекает изучение медленных электрических процессов головного мозга, в частности омега-потенциала, которые могут служить для оценки функционального состояния центральной нервной системы человека. Учитывая огромную роль, которую играет центральная нервная система в регуляции системной деятельности организма, очень важно для понимания природы различных отклонений ОП наблюдение за мозговыми процессами совместно с кардиоинтервалограммой (КИГ).

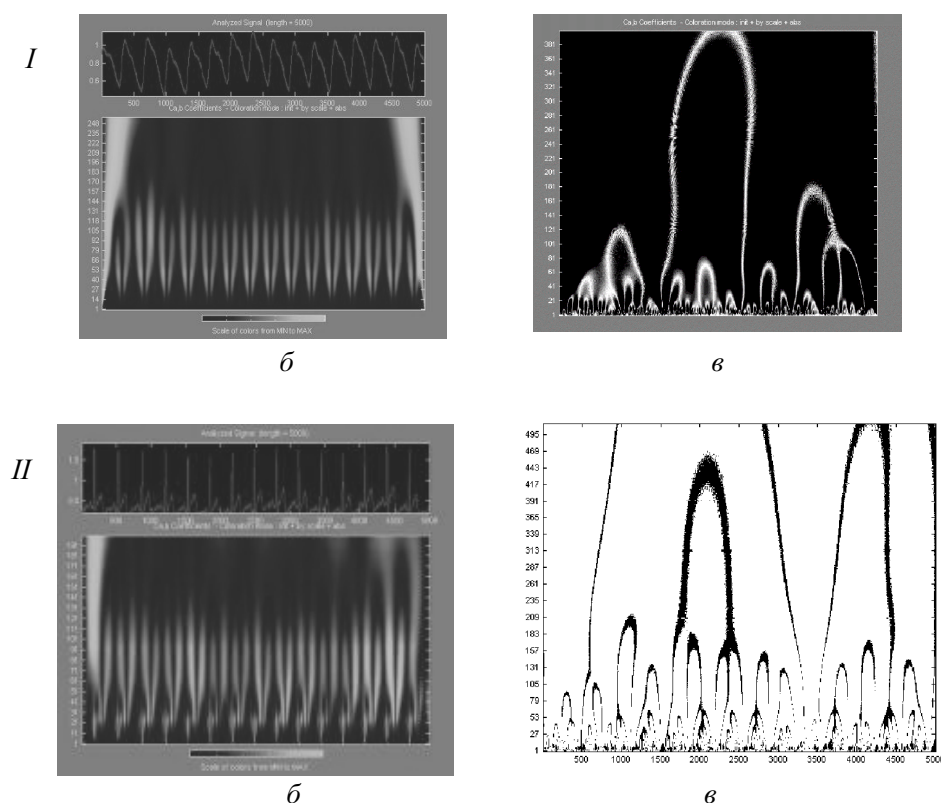


Рис. 5. ПВ (I), вейвлет-анализ ПВ (б), скелетон ПВ (в), электрокардиограмма (ЭКГ) (II), вейвлет-анализ ЭКГ (б), скелетон ЭКГ (в)

На рис. 6 видно, что у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями (по показателям омегаметрии) отмечается снижение показателей омега-потенциала по правому полушарию относительно левого полушария, что говорит о снижении функциональной активности и работоспособности правого полушария. У больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями выявлена межполушарная асимметрия.

Дифференциация полушариями образного и логического мышления отражается в соответствующем уровне их ОП. Снижение функциональной активности правого полушария, межполушарная асимметрия по показателям омегаметрии объективно раскрывают проблему регуляции эмоций у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями. Из полученных графиков видно, что у здорового испытуемого в течение второй части сеанса психотерапии кривые, отражающие изменение потенциала левого и правого полушарий головного мозга выравниваются. У пациента с сердечно-сосудистой недостаточностью напротив в ходе всей второй стадии наблюдается расхождение потенциалов левого и правого полушарий. Все перечисленное выше говорит о том, что существует прямая связь между омега-потенциалом и кардиосигналом. Эффект психотерапии отчетливо проявляется в выравнивании лево- и правополушарного омега-потенциала, рис. 6, б.

Выводы

Наряду с традиционными методами анализа функционального состояния на персональном компьютере по абсолютным, статистическим и спектральным характеристикам сигналов, используемым в существующих диагностических системах, в предлагаемых АПК обеспечиваются возможности структурного анализа на основе вейвлет-преобразования и деревьев Кейли, обеспечивающего более глубокую и достоверную диагностику функционального состояния организма.

В АПК для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы можно использовать совместную информацию, содержащуюся в форме, а, соответственно, и в спектрах электрокардиосигналов, пульсовой волны и фонокардиосигнала.

С помощью вейвлет-анализа может быть получена идентификация состояния нормы, преморбидности (предболезни) и различных форм патологии состояния сосудистой и проводящей систем.

АПК обладает достаточной универсальностью и доступностью для широкого применения как в клинической практике, так и в амбулаторных и бытовых условиях и предназначен для автоматизации работы врача — специалиста по функциональной диагностике, кардиолога, терапевта, физиолога, психолога, специализирующихся в области оценке психофизиологического состояния пациента.

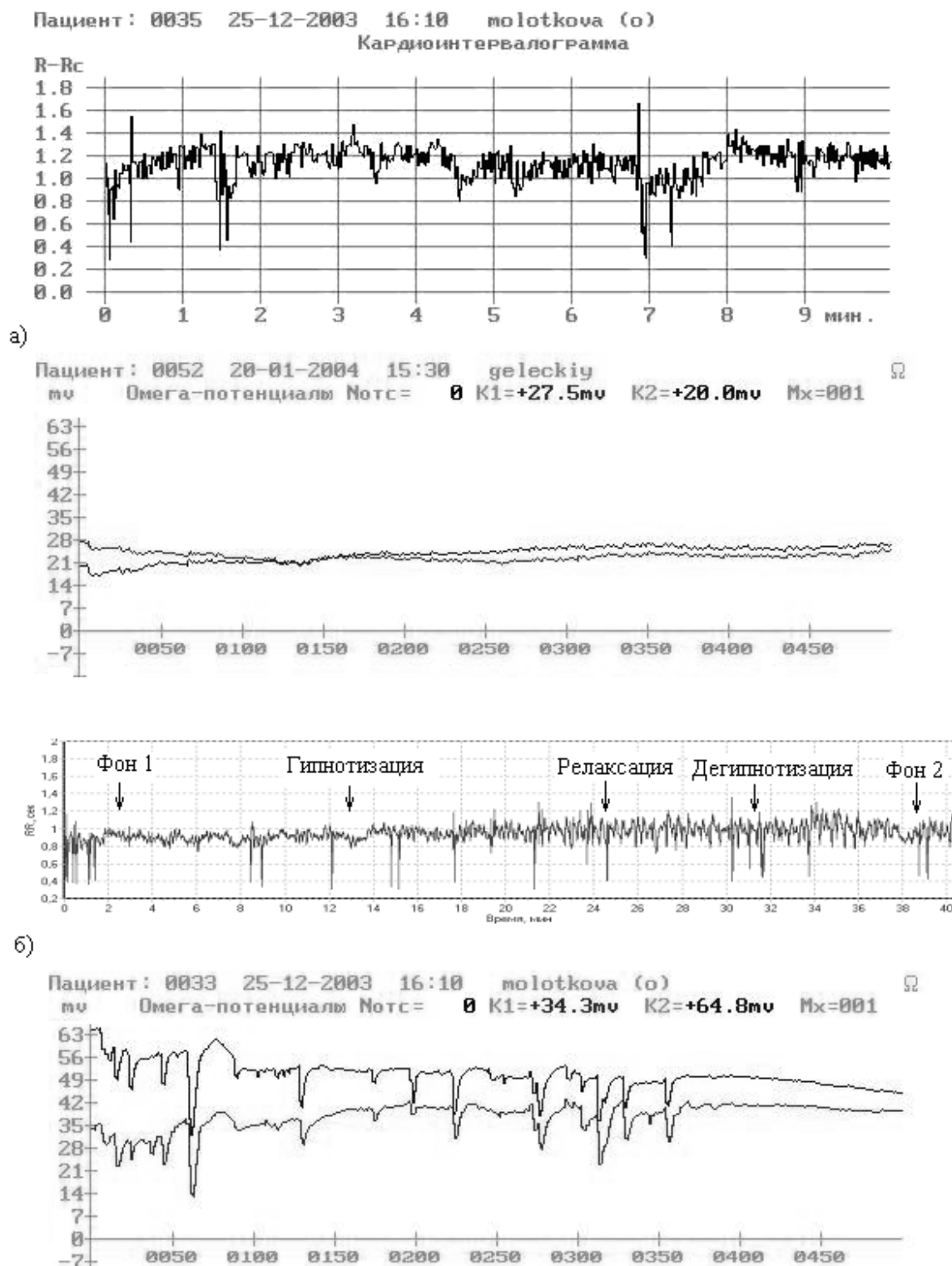


Рис. 6. КИГ и омега-потенциалы здорового (а) и больного (б) пациента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алдонин Г.М. Робастность в природе и технике. – М.: Радио и связь, 2003.
- Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
- Олемский А.И., Флат А.Я. Использование концепции фракталов в физике конденсированной среды // Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163. – № 12. – С. 6-9.

Поступила 30.05.2008 г.