

<https://doi.org/10.35336/VA-1469><https://elibrary.ru/WFXXPW>

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

М.М.Медведев^{1,2}, А.Б.Парижский²¹Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7/9;²НАО Институт кардиологической техники «ИНКАРТ», Россия, Санкт-Петербург, Выборгское ш., д. 22А.

Сравниваются результаты записи одного и того же электрокардиосигнала различными аппаратами, обсуждается роль фильтрации в отображении фрагментированных комплексов QRS.

Ключевые слова: электрокардиограмма; электрокардиографы; цифро-аналоговый преобразователь; качество регистрации сигнала; фильтрация; фрагментированный комплекс QRS

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: отсутствует.

Рукопись получена: 23.02.2025 **Исправленная версия получена:** 25.02.2025 **Принята к публикации:** 26.02.2025

Ответственный за переписку: Медведев Михаил Маркович, E-mail: mikhmed@mail.ru.

М.М.Медведев - ORCID ID 0000-0003-4903-5127, А.Б.Парижский - ORCID ID 0009-0004-7018-9360

Для цитирования: Медведев ММ, Парижский АБ. К вопросу об оценке качества регистрации электрокардиосигнала. *Вестник аритмологии*. 2025;32(1): e15-e21. <https://doi.org/10.35336/VA-1469>.

ON THE QUESTION OF ASSESSING THE QUALITY OF ELECTROCARDIAC SIGNAL REGISTRATION

M.M.Medvedev^{1,2}, A.B.Parizhskiy²¹Saint-Petersburg State University, Russia, Saint-Petersburg, 7/9 Universitetskaya emb.;²NJSC Institute of Cardiology Engineering «INCART», Russia, Saint-Petersburg, 22A Viborgskoye h.

The results of recording the same electrocardiogram by different devices are compared, the role of filtration in displaying fragmented QRS complexes is discussed.

Keywords: electrocardiogram; electrocardiographs; digital-to-analog converter; signal recording quality; filtration; fragmented QRS complex

Conflict of interest: none.

Funding: none.

Received: 23.02.2025 **Revision received:** 25.02.2025 **Accepted:** 26.02.2025

Corresponding author: Medvedev Mikhail, E-mail: mikhmed@mail.ru.

M.M.Medvedev - ORCID ID 0000-0003-4903-5127, A.B.Parizhskiy - ORCID ID 0009-0004-7018-9360

For citation: Medvedev MM, Parizhskiy AB. On the question of assessing the quality of electrocardiac signal registration. *Journal of arrhythmology*. 2025;32(1): e15-e21. <https://doi.org/10.35336/VA-1469>.

В последние годы, когда обсуждение пациентов, результатов их обследования и лечения, перенесено из обходов заведующего отделением и/или профессора, а также консилиумов в чаты, группы и каналы; все чаще приходится обсуждать электрокардиограммы (ЭКГ), представленные в виде «фото» на смартфоне. Как правило, это фотографии ЭКГ, зарегистрированных на бумагу или представленных на дисплее компьютера. Понятно, что процесс фотографирования несмотря на высочайшее качество фото современных смартфонов, не улучшает качество отображения ЭКГ. Вместе с тем, складывается впечатление, что и исходные ЭКГ, зафиксированные как на бумажном, так и на электронном носителе не всегда адекватно передают все особенности электрокардиосигнала.

С другой стороны, все используемые ЭКГ-аппараты должны соответствовать ГОСТу и проходить регулярные проверки. Поэтому не совсем понятно, почему ЭКГ, зарегистрированные разными приборами, каждый из которых соответствует ГОСТу все же различаются и, иногда, весьма существенно. Раньше, в эпоху аналоговых ЭКГ-аппаратов, судить о качестве регистрации можно было на основании формы милливольта. Оно определялось, главным образом, самим способом регистрации. Наилучшее качество было при фото и струйной записи, что было связано с минимальной инерционностью струнных и иных гальванометров, а также с отсутствием их прямого контакта с движущейся бумагой. У «перьевых» ЭКГ аппаратов на качество записи влияли масса пера, определявшая

его инерцию, а также трение пера о бумагу. Оно было различным у чернильно- и термopiшущих аппаратов. Для повышения качества регистрации перьевыми ЭКГ-аппаратами использовали различные подходы: от подачи на перо низкоамплитудных высокочастотных (50 Гц) колебаний, до нанесения на бумагу воскового слоя, который плавился под действием высокой температуры пера.

В конце прошлого века произошла замена аналоговых ЭКГ-аппаратов на цифровые и характер регистрации ЭКГ кардинально изменился: теперь усиленный, оцифрованный и обработанный ЭКГ сигнал распечатывается принтерами, лишенными инерционности и трения «пера о бумагу». В цифровых ЭКГ-аппаратах, нажимая кнопку милливольт, вы подаете принтеру команду напечатать сигнал известной формы и амплитуды, который, как правило, ничего не говорит об особенностях регистрации ЭКГ-сигнала. Произшедшая цифровая трансформация сопровождалась повсеместным внедрением фильтров, «улучшающих» качество ЭКГ. На самом деле фильтры, способные уменьшать или полностью устранять сетевую наводку, мышечные шумы и колебания изолинии лишь создают видимость повышения качества и за счет этого существенно облегчают процесс регистрации ЭКГ-сигнала. При этом они неизбежно изменяют ЭКГ-сигнал, причем в разной степени в разных устройствах. Этого влияния можно избежать если записывать в память устройства нативный (не фильтрованный) сигнал, а фильтры включать или выключать при его просмотре и распечатке. К сожалению, этой опцией (даже если она существует) пользуются не многие.

Вопросы фильтрации ЭКГ-сигнала детально освещены как в рекомендациях АНА/ACC/HRS, так и в российских [1, 2]. Рекомендации АНА/ACC/HRS требуют обеспечить полосу пропускания ЭКГ-сигнала от 0,05 до 150 Гц, а в педиатрической практике - увеличения верхней границы диапазона до 250 Гц. Четко указано, что применение иных фильтров, как увеличивающих нижнюю границу полосы пропускания до 0,5 Гц, так и снижающих верхнюю, например, до 40 Гц недопустимо. К сожалению, выполнение этих рекомендаций не является строго обязательным для производителей медицинской техники. Поэтому авторы рекомендаций АНА/ACC/HRS пишу о том, что при использовании «неоптимальных» фильтров они должны «сбрасываться» после каждой регистрации ЭКГ с тем, чтобы медицинский персонал устанавливал их заново, тем самым подтверждая, что принимает искажение ЭКГ-сигнала фильтрами [1].

Каким же образом можно сравнить результаты регистрации ЭКГ-сигнала разными аппаратами. Складывается впечатление, что стандартная проверка с использованием тестовых сигналов, которая, весьма вероятно, проводится при выключенных фильтрах не дает желаемого результата. Возможно, оптимальным было бы проведение исследования, когда у пациентов выполняется регистрация ЭКГ с одних и тех же электродов разными ЭКГ-аппаратами и при разных способах фильтрации сигнала. Понятно, что с ростом числа сравниваемых устройств будет возрастать трудоем-

кость такого исследования, его проведение потребует разрешения этического комитета, заполнения форм информированного согласия и т.д. Полученные результаты будут ограничены особенностями ЭКГ обследованных пациентов.

Иные возможности предоставляет устройство, созданное в НАО «Инкарт», которое позволяет записывать цифровой ЭКГ-сигнал, а затем выводить его через цифро-аналоговый преобразователь в «формате пациента», то есть для подключения устройств со стандартным кабелем отведений для регистрации ЭКГ в двенадцати общепринятых отведениях. Представляем первый опыт использования данного устройства для сравнения особенностей регистрации ЭКГ разными аппаратами.

В качестве тестового сигнала мы выбрали фрагмент записи холтеровского мониторинга ЭКГ (ХМ ЭКГ) в 12 общепринятых отведениях пациентки А., обследование и лечение которой обсуждалось на страницах журнала «Вестник аритмологии» [3, 4]. Этот выбор был связан с наличием различных волн Р и комплексов QRS. Для уменьшения влияния мышечных шумов был использован сигнал, записанный во время ночного сна, начиная с четырех часов ночи. В качестве «отправной точки» мы сравнили низкоамплитудные фрагментированные комплексы QRS, зарегистрированные в отведении II при их регистрации разными устройствами (рис. 1). Нужно подчеркнуть, что термин «низкоамплитудные» мы используем здесь лишь для обозначения фрагментированных комплексов, чья амплитуда существенно меньше, чем у нефраgmentированных.

На рис. 1а представлен фрагмент исходного ХМ ЭКГ, загруженного в устройство для последующего вывода в «формате пациента». Два комплекса QRS II стандартного отведения «вырезаны» из ЭКГ-примера, включенного в заключение после его конвертации в формат PDF. Эта и все последующие записи представлены со «скоростью лентопротяжки» 50 мм/с в масштабе 1 мВ = 2 см. Все фильтры кроме фильтра зашкалов (который при таком качестве записи, естественно, не работает) выключены. Первый из двух комплексов QRS амплитудой около одного милливольт обладает выраженной фрагментацией. Именно ее динамику при выводе этого кардиосигнала на другие устройства мы и планируем оценить.

На рис. 1б представлен тот же фрагмент, что и на рис 1а, выведенный на такой же монитор системы «Кардиотехника» как и тот, на котором был записан исходный сигнал. Результат нельзя назвать идентичным исходному. Отмечается уменьшение амплитуды обсуждаемого комплекса QRS и умеренное снижение его фрагментации. Это может быть связано как с преобразованием сигнала из цифрового в аналоговый и обратно, так и с невысокой частотой дискретизации (256 отсчетов в секунду). Очевидно, что для последующих исследований нужно будет подбирать ЭКГ-сигнал, записанный при частоте дискретизации 1024 отсчета в секунду. При анализе данного сигнала влияние частоты дискретизации на конечный результат можно будет оценить при его выводе на современные ЭКГ аппараты

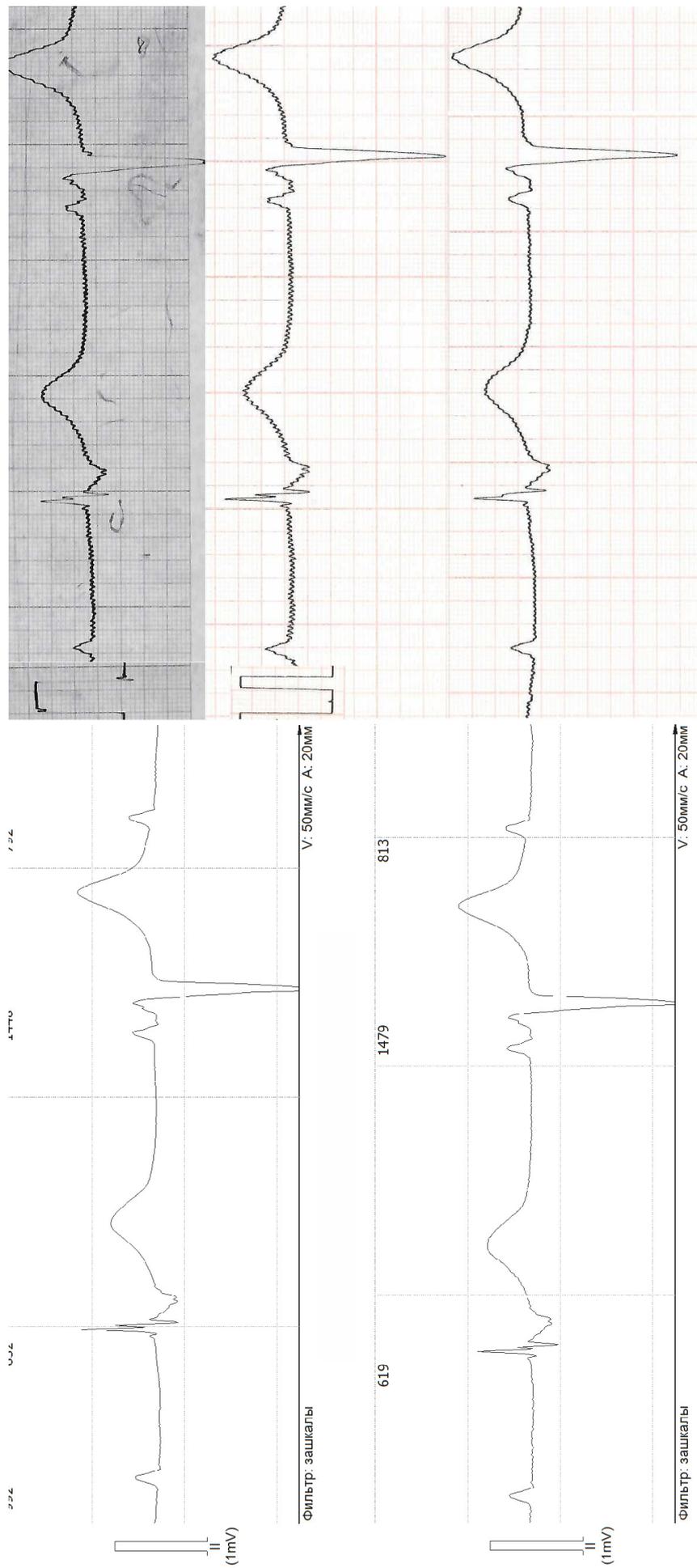


Рис. 1. Результаты регистрации одного и того же фрагмента ЭКГ-сигнала больной А. разными устройствами: а - исходный ЭКГ-сигнал, записанный с помощью холтеровского монитора «Кардиотехника», б - ЭКГ сигнал, выведенный в «формате пациента» и записанный в другой холтеровский монитор «Кардиотехника», в - тот же сигнал, зарегистрированный одноканальным терминирующим аналоговым ЭКГ-аппаратом «Салют» 1974 года выпуска, г - результат регистрации на трехканальном цифровом электрокардиографе Siemens-31S с выключенными фильтрами, д - последствия фильтрации. Объяснения в тексте.

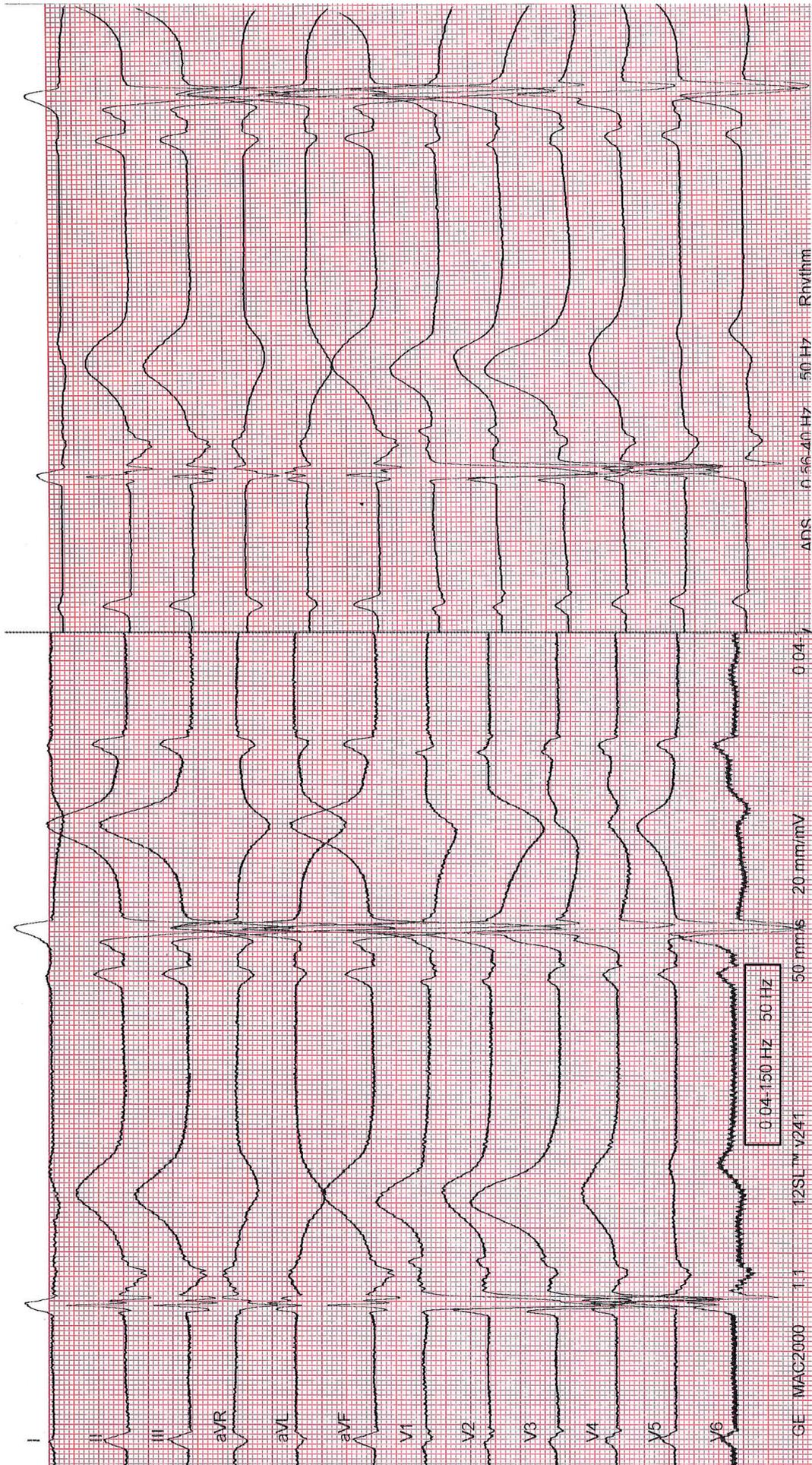


Рис. 2. Результаты регистрации ЭКГ-сигнала больной А. на современном цифровом ЭКГ-аппарате: а - при «оптимальной» фильтрации с полосой пропускания 0,05-150 Гц, б - при использовании иных фильтров. Объяснения в тексте.

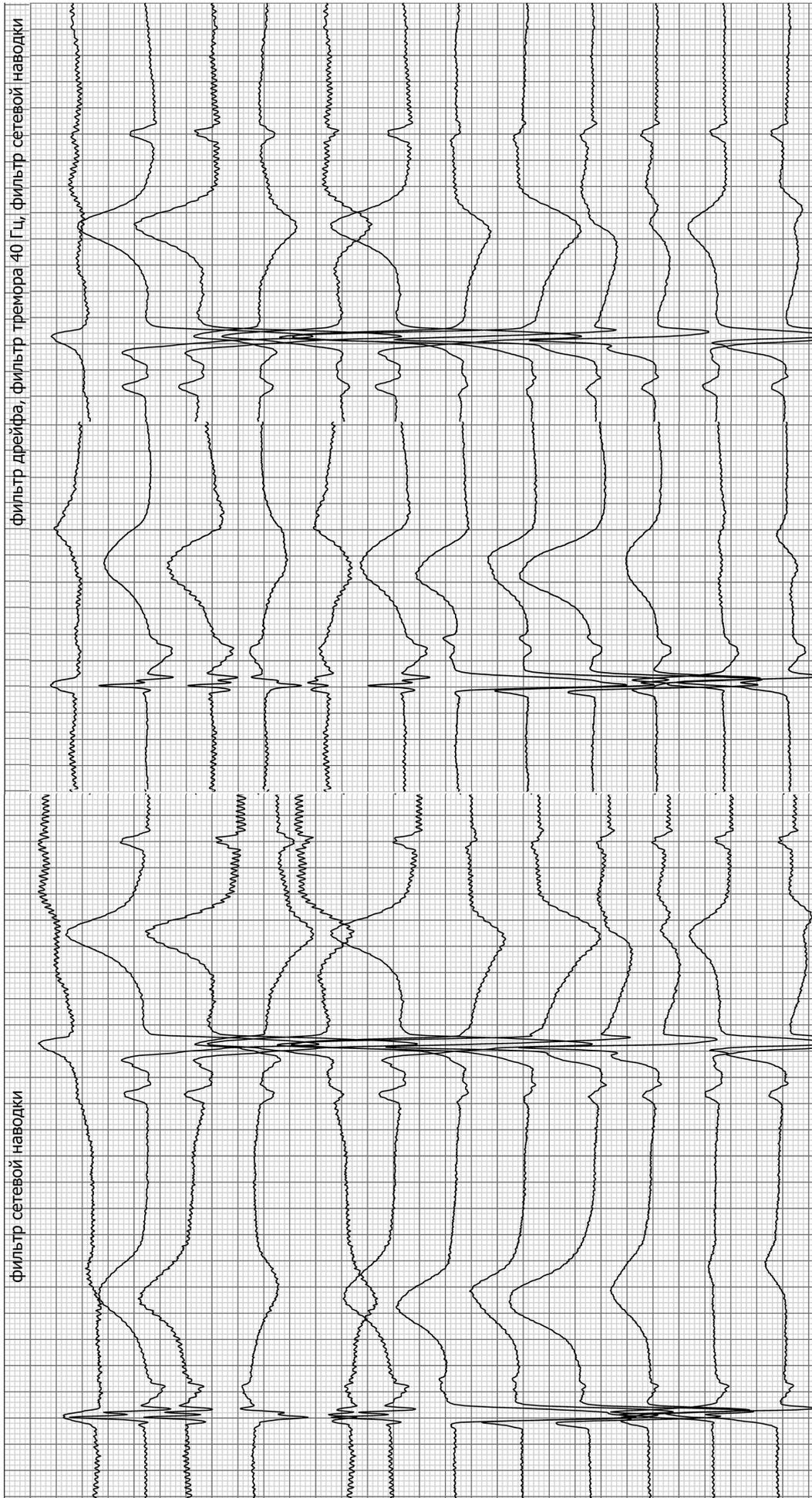


Рис. 3. Результаты регистрации ЭКГ-сигнала больной А. на широко распространенном компьютерном электрокардиографе: а - с применением только фильтра сетевой наводки, б - при использовании разных фильтров. Объяснения в тексте.

(см. ниже). Необходимо подчеркнуть, что в дальнейшем мы будем сравнивать результаты вывода сигнала на различные устройства главным образом не с исходным сигналом, а с его отображением на рис. 1б.

Результат «экспорта» обсуждаемого фрагмента ХМ ЭКГ в одноканальный термопишущий аналоговый ЭКГ-аппарат «Салют» 1974 года выпуска представлен на рис. 1в. Обращает внимание, что несмотря на максимальное усиление (которое в этом аппарате регулируется плавно) оно не достигает масштаба $1 \text{ мВ} = 2 \text{ см}$. Кроме того явно уменьшилось расстояние между комплексами, что говорит об уменьшении скорости лентопротяжки. Каких-либо фильтров в этом ЭКГ-аппарате нет. Нужно подчеркнуть, что фрагментированный комплекс QRS уменьшился по амплитуде (причем не только за счет изменения масштаба), но почти не изменился по конфигурации в сравнении с рис. 1б. На наш взгляд это говорит о том, что старый аналоговый ЭКГ аппарат демонстрирует весьма достойное качество записи. Изменение ее амплитудных характеристик, несомненно, требует отдельного изучения.

На рис. 1г,д представлен тот же фрагмент ЭКГ, при регистрации на трехканальном цифровом электрокардиографе Siemens-31S, выпущенном в начале 90-х годов. На записи с выключенными фильтрами (рис. 1г) имеется умеренная сетевая наводка, вероятно, связанная с особенностями помещения (запись на разные аппараты производилась в разных помещениях) и с заземлением самого аппарата. Фрагментированный комплекс QRS подобен рассмотренным ранее. При включении фильтра 35 / 50 Гц сетевая наводка резко уменьшается, но при этом снижается амплитуда фрагментированного комплекса QRS, изменяется его начальная часть и на нисходящем колене зубца R «зазубренность» переходит в «сглаженность». На наш взгляд, это достаточно серьезное изменение ЭКГ-сигнала.

Результаты регистрации ЭКГ сигнала больной А. на современном цифровом ЭКГ-аппарате представлены на рис. 2 а,б. При выводе записанного сигнала на аппараты, предоставляющие синхронную запись двенадцати общепринятых отведений, мы не стремились к регистрации одного и того же фрагмента при разных условиях фильтрации. На рис. 2а отражена запись ЭКГ-сигнала при оптимальной фильтрации, соответствующей требованиям рекомендаций [1]. Фрагментированный комплекс QRS в отведении II близок к исходному, его амплитуда соответствует

таковой на рис. 1в,г и превышает амплитуду на рис. 1б,д. При включенных «не оптимальных» фильтрах (рис. 2б) фрагментация и амплитуда таких комплексов QRS выражено снижается, причем отмечается следующая закономерность: чем меньше амплитуда комплекса QRS, тем больше она снижается. Это хорошо видно на примере отведения III.

Результат импорта ЭКГ-сигнала в широко распространенный отечественный компьютерный ЭКГ-аппарат представлен в виде фрагментов, сохраненных в формате PDF. Необходимо отметить, что зарегистрировать ЭКГ при всех выключенных фильтрах нам не удалось и работающий на этом аппарате персонал подтвердил, что никогда не выключает фильтры. Пришлось регистрировать фрагменты при включенном фильтре сетевой наводки. Его работа заслуживает отдельного изучения так как амплитуда сохраняющейся сетевой наводки выражено варьирует во времени. Амплитуда комплекса QRS в отведении II при регистрации с включенным сетевым фильтром (рис. 3а) соответствует таковой исходного комплекса (рис. 1 а), что возможно связано с высокой частотой дискретизации, позволяющей прописать зубцы полностью. Аппарат хорошо передает фрагментацию комплекса QRS, но в силу не вполне понятных нам причин отмечается выраженное уменьшение амплитуды следующих за фрагментированным комплексом QRS ретроградно проведенных волн Р. Этот феномен, несомненно, требует подтверждения в других аналогичных комплексах и дальнейшего изучения. После включения всех фильтров (рис. 3б) значительно уменьшается амплитуда фрагментированных комплексов QRS, существенно меняется их конфигурация, кроме того, изменяется и форма волн Т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное сравнение особенностей регистрации одного и того же ЭКГ-сигнала разными устройствами продемонстрировало выраженные различия, которые были преимущественно обусловлены характером используемых фильтров. В рамках данного пилотного исследования мы изучали лишь возможность выполнения такого сравнения, причем применительно только к высокочастотным элементам ЭКГ (к комплексам QRS с выраженной фрагментацией). Очевидно, что характер регистрации иных элементов ЭКГ, в том числе, и другими устройствами требует отдельного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kligfield P, Gettes LS, Bailey JJ, et al. American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; American College of Cardiology Foundation; Heart Rhythm Society. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: the electrocardiogram and its technology a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society endorsed by the International

Society for Computerized Electrocardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49(10): 1109-27. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.01.024>.

2. Дроздов ДВ, Макаров ЛМ, Баркан ВС. и др. Регистрация электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям 2023. Методические рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2023;28(10): 5631. [Drozdov DV, Makarov LM, Barkan VS, Gazashvili TM, Efimova VP, Zhuk MYu, Irtyuga OB, Kalinin LA, Kovalev IA, Komolyatova VN, Parmon EV, Rogoza AN, Struchkov PV, Tatarinova AA, Teregulov

YuE, Treshkur TV, Shutov DV. Resting 12-lead electrocardiography for adults and children. 2023 Guidelines. Russian Journal of Cardiology. 2023;28(10):5631. (In Russ.]. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5631>.

3. Медведев ММ. Необычные результаты холтеровского мониторирования больной. *Вестник аритмологии*. 2023; 30(1): e12-e14. [Medvedev MM. Unconventional results of the Holter monitoring in a patient. *Journal of Arrhythmology*. 2023;30(1): e12-e14 (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2023-1-12>.

4. Прокопенко АВ, Морозов АА, Иваницкий ЭА, Медведев М.М. Корригированная транспозиция магистральных артерий с полной атриовентрикулярной блокадой и проведением по дополнительному пути. *Вестник аритмологии*. 2023;30(2): 33-36. [Prokopenko AV, Morozov AA, Ivanitsky EA, Medvedev MM. Corrected transposition of the great arteries with complete atrioventricular block and accessory pathway. *Journal of Arrhythmology*. 2023;30(2): 33-36 (In Russ.)] <https://doi.org/10.35336/VA-2023-2-14>.