

Бругада-подобные изменения ЭКГ, вызванные фильтрацией сигнала

Д. В. Дроздов, К. М. Н., С. Н. С.

Лаборатория медицинского приборостроения ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», г. Москва

Brugada-like ECG changes caused by signal filtering

D.V. Drozdov

Laboratory of Medical Instruments, Moscow Institute of Physics and Technology, Russia

Резюме

В статье приводятся литературный обзор клинических наблюдений, в которых ЭКГ картина Синдрома Бругада была вызвана фильтрацией ЭКГ. Рассматриваются причины искажений ЭКГ при фильтрации и связь этих искажений с параметрами фильтров стабилизации изолинии — фильтров высоких частот. При регистрации характерного ЭКГ паттерна синдрома Бругада необходимо убедиться, что полоса пропускания электрокардиографа не ограничена в области нижних частот включением фильтра: частота среза при регистрации сигнала выше 0,05 Гц, что эквивалентно постоянной времени 3,2 с и более.

Ключевые слова: синдром Бругада, Фенокопии Бругада, бругада-подобные изменения, фильтрация ЭКГ, стабилизация изолинии, фильтры высоких частот.

Summary

Clinical observations in which the ECG pattern of Brugada Syndrome was caused by ECG filtration are reviewed in the article. The causes of ECG distortion during filtering are considered. The relationship of these distortions with the parameters of anti-drift filters (high-pass filters) are considered also. It is necessary to make sure that the bandwidth of the electrocardiograph is not limited at low frequency (not less than 0.05 Hz, that equivalent time constant at 3.2s or more) in all cases of the Brugada syndrome pattern.

Key words: Brugada Syndrome, Brugada phenocopies, Brugada-like ECG changes, ECG filtering, drift removing, high pass filters.

Синдром Бругада (СБ), описанный в [1] и активно изучаемый в настоящее время, ассоциирован с высоким риском внезапной аритмической смерти. В силу этого обстоятельства выявление на ЭКГ признаков СБ имеет существенное прогностическое значение.

В последние годы накоплены наблюдения, в которых ЭКГ признаки СБ не были ассоциированы с другими признаками классического СБ, включающего, кроме характерной ЭКГ картины, мутации в гене SCN5A и других; наличие или отсутствие блокады правой ножки пучка Гиса; характерный семейный анамнез; синкопе, судороги или ночные диспноэ, как клинические проявления аритмий; периодическое удлинение интервала PR; пароксизмы полиморфной желудочковой тахикардии или фибрилляции желудочков [2, 3, 4].

В статье рассматриваются опубликованные в разных источниках наблюдения изменений ЭКГ, которые сходны с ЭКГ картиной СБ, но обусловлены влиянием фильтров высоких частот (стабилизации изоэлектрической линии). По клинической значимости такие случаи, очевидно, сильно отличаются от СБ и их дифференцирование от истинного СБ практически значимо для выбора тактики лечения пациентов. Описание представленных случаев базируется на литературных источниках, и не может быть представлено более подробно, чем описано в оригиналах.

Вероятно первой из таких публикаций является короткое сообщение [5]. Описан случай пациентки 55 лет,

не предъявлявшей жалоб на какие-либо проявления аритмий и получавшей терапию антагонистом рецепторов ангиотензина II (вероятно, по поводу гипертонической болезни). При рутинной регистрации ЭКГ у нее был выявлен подъем сегмента ST в отведениях V_1 и V_2 , что первоначально трактовалось как СБ тип 2. Авторами было обращено внимание, что регистрация ЭКГ была выполнена с ограничением полосы пропускания в области нижних частот от 0,5 Гц. При регистрации ЭКГ с принятой в настоящее время полосой пропускания (от 0,05 Гц) подъем сегмента ST не достигал диагностических величин (на рис. 1 представлено сравнение ЭКГ в отведениях V_1 и V_2). Авторы предположили и подтвердили путем повторной регистрации ЭКГ, что ЭКГ проявления СБ были вызваны неадекватной работой фильтра высоких частот¹ в кардиографе. Авторы предположили, что фильтры с линейной фазовой характеристикой должны в меньшей степени вызывать искажения положения сегмента ST.

Весьма показателен случай, описанный J. Ruta и соавт. [6]. Ввиду сочетания ЭКГ картины СБ с характерной клиникой данный случай приводится подробно.

26-летний пациент страдал повторными головокружениями. В анамнезе в детском возрасте отмечался эпизод потери сознания. Во время работы произошел обморок и пациент был доставлен в районную больницу. На ЭКГ в приемном отделении выявлена синусовая брадикардия

¹Обратим внимание, что фильтры принято классифицировать по той области частот электрического сигнала, на которые они не оказывают влияния. Фильтры высоких частот (high-pass filter) пропускают высокие частоты сигнала, не оказывая на них влияния, но при этом уменьшают амплитуду низкочастотных компонентов сигнала. Применительно к ЭКГ низкочастотным является дрейф изолинии. Фильтры высоких частот используются для стабилизации изолинии. Прим. авт.

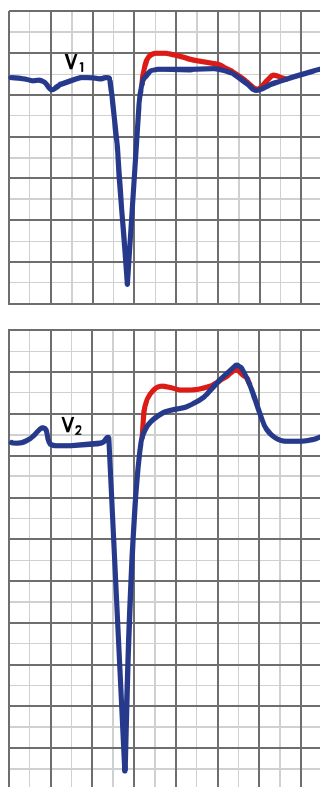


Рисунок 1. Искажения положения сегмента ST у пациентки 55 лет. Объяснения в тексте. По материалам [5].

Синий — ЭКГ с полосой пропускания от 0,05 Гц, красный — искажения ЭКГ после фильтрации фильтром высоких частот.

58 уд/мин, подъем сегмента ST на 1–2 мм в отведениях V_1 – V_3 и признаки гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ): признак Соколова-Лайона $S_{V_2} + R_{V_5} = 58$ мм). Пациент был выписан по его настоянию до завершения обследования.

Через непродолжительное время дома случилась повторная потеря сознания. Пациент был доставлен в районную больницу. На ЭКГ при поступлении зафиксирован подъем сегмента ST на 3–5 мм в отведениях V_1 – V_3 . В связи с подозрением на острый коронарный синдром была проведена коронароангиография. Морфологических изменений коронарных артерий не выявлено. Биохимические маркеры некроза миокарда также не обнаружены. Лабораторные показатели в целом были в пределах нормы. Ультразвуковое исследование сердца не выявило какой-либо

патологии. Был диагностирован СБ и пациент был направлен в специализированную клинику для генетического обследования и имплантации кардиовертера-дефибриллятора.

В специализированном центре во время анализа серии ЭКГ, выполненных пациенту ранее и зарегистрированных в центре, было сделано предположение, что смещение сегмента ST является артефактом вследствие использования фильтра стабилизации изолинии в конкретной модели электрокардиографа (BTL-08LC). В клинике, в которой находился пациент, имелся сходный прибор BTL-08LT того же производителя. На этом электрокардиографе были зарегистрированы ЭКГ с нижней частотой полосы пропускания 0,05 и 1,5 Гц (такая установка фильтра зафиксирована на части анамнестических ЭКГ). При изменении частоты среза фильтра стабилизации изолинии с 0,05 на 1,5 Гц ЭКГ внезапно изменялась (рис. 2), на зарегистрированных с фильтрацией сигнала ЭКГ закономерно наблюдалась картина СБ.

На ЭКГ с рекомендуемой в настоящее время полосой пропускания от 0,05 Гц зафиксирована лишь синусовая брадикардия 52 уд/мин, признаки ГЛЖ, без значимого смещения сегмента ST во всех отведениях. Пациент направлен на амбулаторное неврологическое обследование.

Сделан вывод, что смещения сегмента ST, зафиксированные на ряде записей ЭКГ у пациента, обусловлены воздействием фильтров высоких частот (стабилизации изолинии).

В данном случае у пациента совпали по времени характерные жалобы с аномальной формой ЭКГ, обусловленной ненужной стабилизацией изолинии. Жалобы трактовались, как проявления нарушений

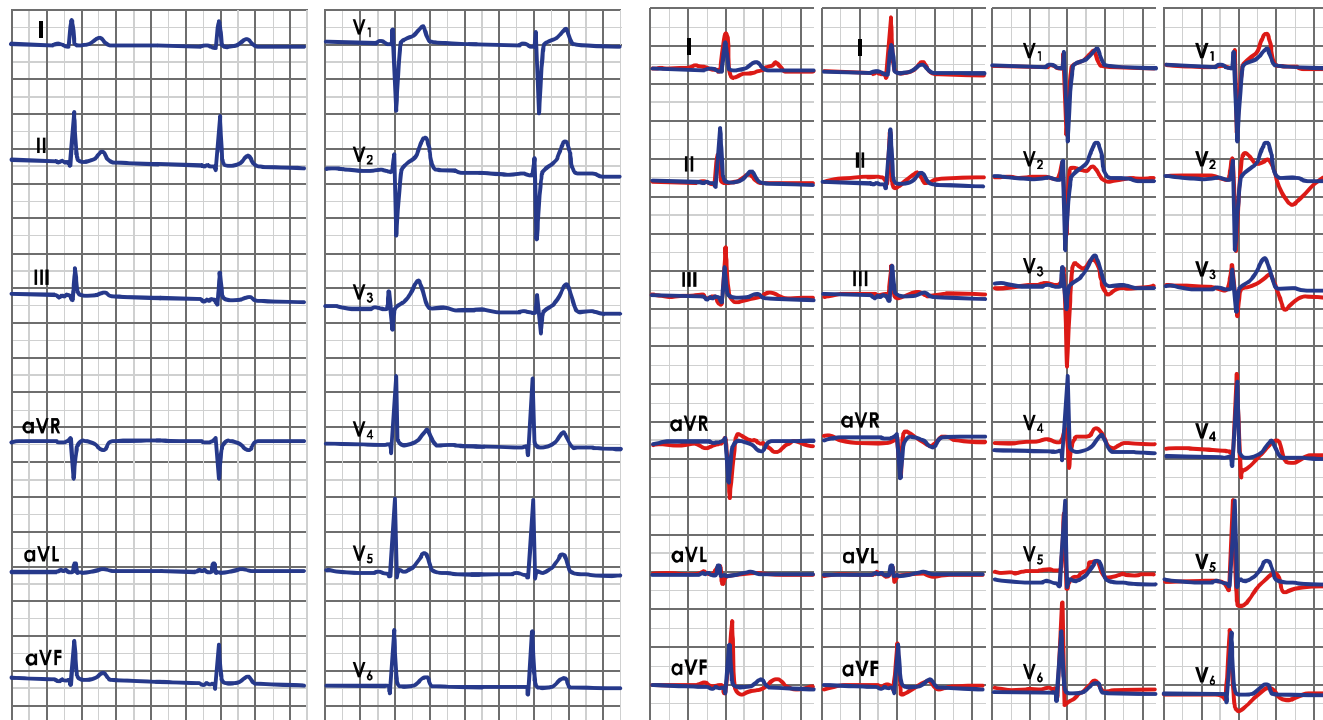


Рисунок 2. Искажения положения сегмента ST у пациента 26 лет. Объяснения в тексте. По материалам [6].

Слева — ЭКГ без искажений положения сегмента ST, зарегистрированная с полосой пропускания от 0,05 Гц.

Справа — 2 варианта искажений сегмента ST при ограничении полосы пропускания. Синий — ЭКГ с полосой пропускания от 0,05 Гц, красный — искажения ЭКГ после фильтрации на двух разных электрокардиографах. Изменения конфигурации QRS в отведении V_3 связаны, скорее всего, со смещением электрода. Слева 2 столбца отведения I, II, III, aVR, aVL, aVF, справа 2 столбца отведения V_1 – V_6 .

Рисунок 3. Искажения положения сегмента ST у пациента 20 лет. Объяснения в тексте. По материалам [7]. Синий — ЭКГ с полосой пропускания от 0,08 Гц, красный — искажения ЭКГ после фильтрации. Изменения формы QRS в V_3 носят, скорее всего, позиционный характер. Отведения V_1 – V_3 .

ритма, а изменения ЭКГ — как СБ. Такое сочетание, само по себе маловероятное, в конкретном случае чуть было не повлекло за собой тактическую ошибку в виде проведения небезопасной операции по имплантации кардиовертера-дефибриллятора.

Опубликовано [7] наблюдение 20-летнего пациента, обратившегося к семейному врачу по поводу атипичной (для стенокардии) боли в грудной клетке. На ЭКГ зафиксирована синусовая брадикардия с ЧСС 47 уд/мин и подъем сегмента ST в V_1 – V_3 на 3–5 мм, что трактовалось как вероятный СБ или признаки ишемии миокарда. ЭКГ была зарегистрирована в полосе от 0,1 до 40 Гц. Однако при регистрации ЭКГ с полосой пропускания от 0,08 до 150 Гц диагностически значимого смещения ST не было выявлено, что привело к снятию предварительных диагнозов (рис. 3). Во время обследования пациенту был проведен тест с блокатором Na-каналов флекаинидом, его результат был отрицательным.

В обсуждении случая авторы подчеркивают, что подъем сегмента ST может также вызываться установкой грудных электродов C_{1-3} выше их стандартных позиций. Следует подчеркнуть, что нижняя частота полосы пропускания 0,1 Гц не сильно отличается от 0,08 Гц, а различия в результатах регистрации ЭКГ связаны, весьма вероятно, с различиями в реализации фильтров высоких частот.

При анализе ЭКГ в данном случае обращает на себя внимание отличие конфигурации комплекса QRS между двумя записями. Наиболее вероятно, что отличие форм комплексов вызвано различной (ошибочной в одной из записей) установкой электродов на грудной клетке. Следует отметить, что ошибки в расположении электродов также достаточно часто встречаются на практике.

На интернет-ресурсе Brugada Phenocopy [8] J. García-Niebla рассматривает возможность искажения положения сегмента ST под воздействием фильтров стабилизации изолинии [8]. На приведенной в публикации иллюстрации (обработка которой представлена рис. 4) показано возможное влияние фильтра, работающего в режиме реального времени с частотой среза 0,5 Гц по сравнению с ЭКГ зарегистрированной в полосе от 0,05 Гц. Делается вывод, что искажение положения сегмента ST будут наблюдаться далеко не во всех случаях и зависят от «рисунка» ЭКГ в соответствующих отведениях.

В статье [9] изменения ЭКГ в виде подъема сегмента ST в правых грудных отведениях при ограничении полосы регистрации ЭКГ в области нижних частот на уровне 0,5–1,5 Гц трактовались как «симуляция передне-перегородочного инфаркта миокарда». Существенно, что подъем сегмента ST относительно истинного уровня в правых грудных отведениях при полосе пропускания от 1 Гц наблюдались у 60%, а при от 1,5 Гц — у 100% обследованных 20 здоровых добровольцев.

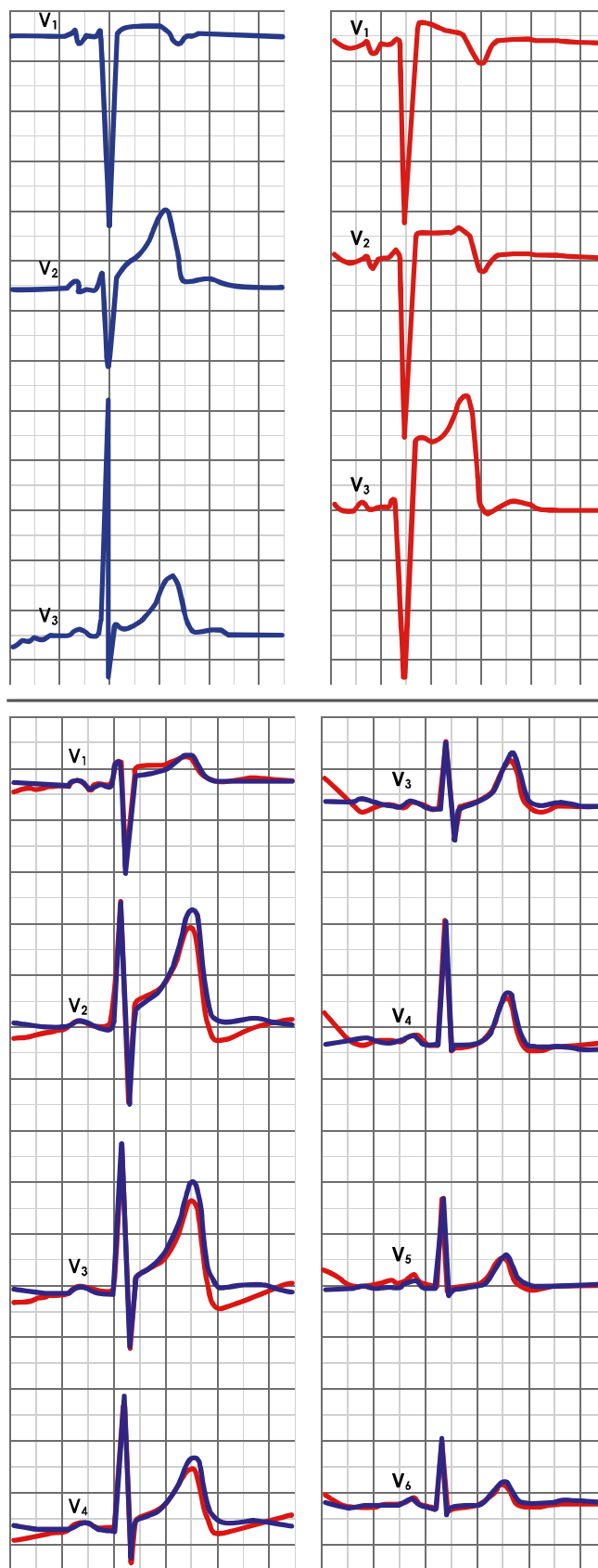


Рисунок 4. Возможность подъема и депрессии сегмента ST под влиянием фильтра высоких частот с частотой среза 0,5 Гц. По материалам [8]. Синий — ЭКГ, зарегистрированная с полосой пропускания от 0,05 Гц. Красный — с полосой от 0,5 Гц. Слева — отведения V_1 – V_4 , подъем сегмента ST при фильтрации в V_1 , справа — отведения V_3 – V_6 , незначительная депрессия сегмента ST в отведении V_4 .

Таким образом, в литературе имеется ряд независимых наблюдений, в которых доказана возможность искажения положения сегмента ST, сходного с ЭКГ паттерном СБ, под воздействием фильтров высоких частот с частотой среза выше 0,05 Гц. Такие ситуации достойны обсуждения.

Обсуждение

В настоящее время различают собственно синдром Бругада и фенокопии Бругада (ФБ) [10, 11]. Последние характеризуются [12] рядом признаков:

1. На ЭКГ регистрируется картина СБ 1 или 2 типа;
2. Имеется сердечная или внесердечная патология, которая может являться причиной ЭКГ изменений (электролитные нарушения, ацидоз, пневмоторакс, ТЭЛА, деформации грудной клетки и т. п.);
3. Купирование изменений ЭКГ по мере разрешения основной патологии;
4. Низкая вероятность истинного СБ по результатам оценки семейного анамнеза и отсутствию характерной клиники;
5. Отрицательные провокационные тесты с блокаторами Na каналов (аймалин, флекаинид, прокаинамид и т. п.);
6. Провокационные тесты можно не учитывать, если в течение последних 96 часов проводилось вмешательство на правом желудочке и его выносящем тракте;
7. Отрицательные результаты генетического обследования (однако мутации генов выявляются далеко не в каждом случае истинного СБ).

Для диагностики ФБ первые 5 признаков являются обязательными [10, 12].

Разграничение СБ и ФБ, при фактической неразличимости ЭКГ картины, клинически обосновано различной прогностической значимостью этих состояний вследствие различий в морфологическом субстрате. Оно также необходимо для выбора тактики лечения в конкретном случае [13].

Рассмотренные клинические наблюдения не укладываются ни в картину СБ, ни в картину ФБ. Изменения ЭКГ, сходные с ЭКГ картиной 1 или 2 типа СБ, в этих наблюдениях были обусловлены фильтрацией ЭКГ в низкочастотной области, а «связь» с жалобами и иными клиническими проявлениями носила не причинно-следственный, а случайный характер.

Для обозначения таких случаев логично использовать термин «Бругада-подобные» изменения ЭКГ, подчеркивая как схожесть рисунка ЭКГ с СБ, так и принципиальное отличие от СБ и ФБ одновременно.

Отличие состоит в том, что при выполнении записи ЭКГ у того же пациента с рекомендованной полосой пропускания ЭКГ от 0,05 Гц значимого смещения сегмента ST не обнаруживается. При этом у пациентов также не обнаруживается реальной связи изменений ЭКГ с тем или иным морфологическим субстратом или клиническим состоянием для подъема сегмента ST в правых грудных отведениях. Именно этот термин использован в заголовке статьи и тексте.

Для обозначения таких случаев D. Anselm и A. Baranchuk [14] предложили использовать термин «модуляция ЭКГ». По мнению автора статьи этот термин неудачный, поскольку модуляции сигнала в общепринятом понимании не происходит, а возникают характерные, вызванные применением фильтров высоких частот, искажения сигнала ЭКГ.

Учитывая, что записи, очевидно, были выполнены на разных аппаратах в разных клиниках и странах, причину искажений ЭКГ нельзя объяснить неисправностью какого-то конкретного электрокардиографа или иными причинами, связанными с конкретным прибором или местом регистрации ЭКГ.

Во всех проанализированных случаях регистрация ЭКГ производилась с ограничением полосы пропускания в области нижних частот, которое применяется для стабилизации изoeлектрической линии. Именно фильтрация сигнала и явилась причиной искажения ЭКГ с формированием характерной ЭКГ картины. Таким образом, несмотря на очевидно низкую частоту таких наблюдений, вероятно, есть какие-то общие особенности как в реализации фильтров, так и индивидуальных особенностях ЭКГ пациентов, которые привели к столь выраженным искажениям сигнала.

Общей существенной особенностью рисунка ЭКГ в рассмотренных случаях была большая амплитуда зубцов S в правых грудных отведениях (обычно трактуемая в рамках ГЛЖ). Этот фактор, как представляется, оказался решающим для формирования подъема сегмента ST в правых грудных отведениях во всех перечисленных случаях.

Также обращает на себя внимание, что во всех рассмотренных случаях на ЭКГ отсутствовало расширение комплекса QRS, что нехарактерно для СБ и большинства случаев ФБ.

Подробный анализ свойств ЭКГ фильтров не является предметом обсуждения в статье, однако ряд соображений будут полезны в контексте концепции Бругада-подобной ЭКГ.

Известно, что фильтры высоких частот с частотой среза 0,5–1,5 Гц могут оказывать влияние на положение сегмента ST [15–17]. Значимость влияния зависит от свойств фильтра: фильтры, работающие в реальном времени, в большей степени искажают положение и форму ST, чем фильтры, работающие в режиме офлайн. В случае офлайн фильтров возникает возможность спроектировать их так, чтобы уменьшить фазовые искажения сигнала, сформировать конечно-импульсную характеристику фильтра.

Делалось предположение [5, 15], что фильтры высоких частот с линейной фазовой характеристикой существенно меньше искажают форму сегмента ST по сравнению с фильтрами с неконтролируемой фазовой характеристикой. Различия в реализации ЭКГ фильтров в разных кардиографах, скорее всего, приводят к тому, что Бругада-подобные искажения ЭКГ наблюдаются на практике нечасто, при очевидно неудачной реализации фильтра или стечении каких-то факторов.

В связи с этим необходимо отметить еще два существенных момента:

- при регистрации нескольких ЭКГ весьма вероятно смещение электродов относительно закрепленных в стандартах и рекомендациях позиций;
- при наличии высокого зубца R фильтр высоких частот может вызывать депрессии сегмента ST.

Смещение электродов относительно анатомических ориентиров (фактически, технический брак записи) в серии ЭКГ может привести к изменению конфигурации комплекса QRS. Изменения конфигурации QRS, даже при одинаковых характеристиках фильтров высоких частот, может приводить к различным по форме изменениям сегмента ST. Это может ошибочно трактоваться как динамика ЭКГ. Отметим, что и в представленных наблюдениях можно предположить смещение электродов относительно точек установки, по крайней мере в 2 рассмотренных случаях.

Можно предположить, что причиной применения фильтров при записи ЭКГ в представленных наблюдениях был дрейф сигнала, вероятно, наблюдавшийся до регистрации ЭКГ конкретному пациенту и приведший к постоянному включению медперсоналом фильтра в кардиографе. Дрейф может быть вызван разными причинами, наиболее общей и вероятной из которых является неудовлетворительное состояние электродов. Включение фильтра стабилизации изолинии не устраняет причину неудовлетворительной регистрации сигнала, а маскирует ее следствие. В части случаев при совпадении с рядом условий результатом фильтрации может стать искажение положения сегмента ST, в том числе и Бругада-подобное. Если у пациента имеется «подходящая» клиника, то ошибочные диагностические выводы весьма вероятны.

Выводы

1. При обнаружении на ЭКГ признаков СБ, вне зависимости от имеющихся клинических проявлений и данных анамнеза, прежде всего целесообразно провести повторную регистрацию сигнала без использования фильтров стабилизации изoeлектрической линии (фильтров высоких частот) или убедиться, что нижняя частота полосы пропускания электрокардиографа при регистрации ЭКГ с признаками СБ была не выше 0,05 Гц, требуемых современными стандартами.
2. В имеющихся наблюдениях Бругада-подобный подъем сегмента ST не сопровождался расширением комплекса QRS и часто был сопряжен с вольтажными признаками ГЛЖ. Вероятно, что комбинация этих трех признаков — продолжительность QRS в пределах нормы, большой размах QRS, подъем сегмента ST в правых грудных отведениях — должна настаивать в отношении артефакта записи, а не ЭКГ картины СБ или ФБ.

3. При регулярном обследовании пациентов с большим размахом комплекса QRS и при необходимости включения фильтров стабилизации изолинии целесообразно использовать электрокардиографы со специально спроектированными фильтрами высоких частот, вызывающими минимальное смещение сегмента ST по сравнению с нефильтрованным сигналом.
4. Есть вероятность ложной депрессии сегмента ST при стабилизации изолинии, особенно в отведениях со значительной амплитудой зубца R.

Конфликт интересов не декларируется.

Список литературы

1. Brugada P., Brugada J. Right bundle branch block, present ST segment elevation and sudden cardiac death: A distinct clinical and electrocardiographic syndrome // *J. Amer. Coll. Cardiol.* — 1992. — Vol. 20. — P. 1391–1396.
2. Бокерия Л. А., Ревшвили А. Ш., Проничева И. В. Синдром Бругада клинико-диагностические критерии и лечение // *Анналы аритмологии*. — 2005. — Т. 2. — №. 4.
3. Wilde A. A. et al. Proposed diagnostic criteria for the Brugada syndrome // *European Heart Journal*. — 2002. — Vol. 23. — No. 21. — P. 1648–1654.
4. Brugada, R., Campuzano, O., Sarquella-Brugada, et al. Brugada syndrome // *Methodist DeBakey cardiovascular journal*. — 2014. — Vol. 10. — No. 1. — P. 25–28.
5. Garcia-Niebla J., Serra-Autonell G., de Luna A. B. Brugada Syndrome Electrocardiographic Pattern as a Result of Improper Application of a High Pass Filter // *American Journal of Cardiology*. — 2012. — Vol. 110. — No. 2. — P. 318–320.
6. Ruta J., Kawinski J., Ptaszynski P., Kaczmarek, K. Abnormal filter setting or Brugada syndrome? // *Kardiologia Pol.* — 2013. — Vol. 71. — No. 11. — P. 1192–1193.
7. Garcia-Niebla J., Serra-Autonell G., Fiol M., de Luna A. B. Brugada electrocardiographic pattern: Reality or fiction? // *Journal of electrocardiology*. — 2014. — Vol. 47. — No. 3. — P. 362–363.
8. Garcia-Niebla J. Brugada Phenocopy and High Pass Filter // *Brugada Phenocopy* [Электронный ресурс]. — Режим доступа <http://www.brugadaphenocopy.com/brp-and-high-pass-filter.html> [дата обращения 23.11.18]
9. Burri H., Sunthorn H., Shah D. Simulation of anteroseptal myocardial infarction by electrocardiographic filters // *Journal of Electrocardiology*. — 2006. — Т. 39. — №. 3. — С. 253–258.
10. Baranchuk A., Nguyen T., Ryu M. et al. Brugada phenocopy: new terminology and proposed classification // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. — 2012. — Vol. 17. — No. 4. — P. 299–314.
11. Anselm D. D., Evans J. M., Baranchuk A. Brugada phenocopy: A new electrocardiogram phenomenon // *World journal of cardiology*. — 2014. — Vol. 6. — No. 3. — P. 81–86.
12. Качарова К. Г., Смирнова Э. М., Дупляков Д. В. Фенокопия Бругада: обзор литературы и представление клинического случая // *Кардиология: Новости. Мнения. Обучение*. — 2016. — №. 1 (8). — С. 35–40.
13. Ревшвили А. Ш., Проничева И. В., Закальминская Е. В. и др. Молекулярно-генетические и клинические особенности синдрома Бругада и его фенокопий // *Вестник аритмологии*. — 2008. — №. 54. — С. 10–14.
14. Anselm D. D., Baranchuk A. Brugada phenocopy: redefinition and updated classification // *American Journal of Cardiology*. — 2013. — Vol. 111. — No. 3. — P. 453.
15. Дроздов Д. В. Неочевидные причины диагностических ошибок в электрокардиографии. — М.: Медицина, 2014. — 216 с. — ISBN 978-5-98495-026
16. Buendía-Fuentes F., Arnau-Vives M. A., Arnau-Vives A., et al. High-band-pass filters in electrocardiography: source of error in the interpretation of the ST segment // *ISRN cardiology*. — 2012. — Vol. 2012. — P. 1–10.
17. Isaksen J., Leber R., Schmid R., et al. The first-order high-pass filter influences the automatic measurements of the electrocardiogram // *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2016 IEEE International Conference on.* — IEEE, 2016. — P. 784–788.

Для цитирования. Дроздов Д. В. Бругада-подобные изменения ЭКГ, вызванные фильтрацией сигнала // *Медицинский алфавит. Серия «Современная функциональная диагностика»*. — 2019. — Т. 1. — 8(383). — С. 21–25.