

УДК 616.12

DOI: <https://doi.org/10.17816/cardar233537>

Научная статья



Диагностическая ценность индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ при дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* и формой блокады левой ножки пучка Гиса

М.П. Чмелевский, М.А. Буданова, Д.А. Степанов, Е.С. Жабина, Т.Э. Тулинцева

Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. Дифференциальная диагностика аритмий с широкими комплексами *QRS* остается сложной и до конца не решенной проблемой в клинической практике. После десятилетий тщательных исследований было предложено множество различных критериев и алгоритмов, но многие из них являются недостаточно точными и эффективными в реальных клинических условиях. Один из подходов дифференциальной диагностики таких аритмий — оценка на ЭКГ скоростей распространения возбуждения по миокарду желудочков на основе соотношения амплитуд начальной и конечной части комплекса *QRS*, в частности с помощью использования индекса медленного проведения.

Цель. Изучение возможности использования индекса медленного проведения в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* с последующим детальным сравнительным анализом диагностической ценности этого критерия во всех 12 отведениях ЭКГ и сопоставлением полученных значений диагностической точности с электрофизиологической точки зрения.

Материалы и методы. В исследование было включено 280 одиночных широких комплексов *QRS* с формой блокады левой ножки пучка Гиса), выявленных при односуточном и многосуточном мониторинге ЭКГ у случайно выбранных 28 пациентов. Для детального анализа проводилось сопоставление исходной 12-канальной ЭКГ и отдельных масштабируемых графиков ЭКГ для выбранных отведений с последующим измерением абсолютных значений суммарных амплитуд в течение начальных (V_i) и конечных (V_f) 40 мс широких *QRS* комплексов. Для качественной и количественной оценки диагностической значимости использовался ROC-анализ с определением информативности диагностического теста на основании чувствительности, специфичности и диагностической точности. При сравнении площадей ROC-кривых статистически значимыми принимались значения $p < 0,001$.

Результаты. Согласно полученным значениям чувствительности, специфичности и диагностической точности все 12 отведений расположились в следующем порядке по мере уменьшения диагностической ценности индекса медленного проведения: aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4, II, aVR, V6, V3 и I. При этом в первых шести ЭКГ-отведениях диагностическая точность была стабильно выше 90 %, постепенно уменьшаясь в последующих шести отведениях с 89 до 67 % соответственно ($p < 0,001$ для всех отведений).

Заключение. Результаты данного исследования показали, что индекс медленного проведения может использоваться в любых отведениях ЭКГ как критерий дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами *QRS* и формой блокады левой ножки пучка Гиса. Также проведенное исследование продемонстрировало важность всестороннего подхода к анализу формы комплекса *QRS* и необходимость последовательного детального анализа существующих критериев дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами *QRS* в разных клинических группах пациентов.

Ключевые слова: дифференциальная диагностика; широкие комплексы *QRS*; блокада левой ножки пучка Гиса.

Как цитировать:

Чмелевский М.П., Буданова М.А., Степанов Д.А., Жабина Е.С., Тулинцева Т.Э. Диагностическая ценность индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ при дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* и формой блокады левой ножки пучка Гиса // Cardiac Arrhythmias. 2023. Т. 3, № 1. С. 17–30. DOI: <https://doi.org/10.17816/cardar233537>

DOI: <https://doi.org/10.17816/cardar233537>

Research article

Diagnostic value of Slow Conduction Index in differential diagnosis of wide *QRS* complex arrhythmias with left bundle branch block morphology

Mikhail P. Chmelevsky, Margarita A. Budanova, Danila A. Stepanov, Ekaterina S. Zhabina, Tatiana E. Tulintseva

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

BACKGROUND: Differential diagnosis of arrhythmias with wide *QRS* complexes remains an unresolved problem in clinical practice. After decades of careful research, many different criteria and algorithms have been proposed, but many of them are not quite accurate and effective in real clinical conditions. One of the approaches is to use ECG to estimate the speed of propagation of excitation through the ventricular myocardium. The estimation is based on the ratio of the amplitudes of the initial and final parts of the *QRS* complex, in particular, using the slow conduction index.

AIM: To study the possibility of using the slow conduction index in the differential diagnosis of arrhythmias with wide *QRS* complexes and to carry out a detailed comparative analysis of the diagnostic value of this criterion in all 12 ECG leads with evaluation and comparison of the obtained values of diagnostic accuracy.

MATERIALS AND METHODS: The study included 280 single wide *QRS* complexes with a form of left bundle branch block (LBBB) detected during one-day and multi-day ECG monitoring in randomly selected 28 patients. For a detailed analysis, a comparison of the original 12-lead ECG and individual scalable ECG graphs for selected leads was carried out, followed by measurement of the absolute values of the total amplitudes during the initial and final 40 ms wide *QRS* complexes. For a qualitative and quantitative assessment of diagnostic significance, ROC analysis was used to determine the informative value of a diagnostic test based on sensitivity (Sn), specificity (Sp) and diagnostic accuracy (Acc).

RESULTS: According to the obtained values of Sn, Sp and Acc, all 12 leads were arranged in the following order as the diagnostic value of the slow conduction index decreased: aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4, II, aVR, V6, V3 and I. In the first six ECG leads, Acc was consistently above 90%, gradually decreasing in the next six leads from 89% to 67%, respectively ($p < 0.001$ for all leads).

CONCLUSIONS: The results of this study showed that the slow conduction index can be used in any ECG leads as a criterion for the differential diagnosis of arrhythmias with wide *QRS* complexes with a form of LBBB. The study also demonstrated the importance of a comprehensive approach to the analysis of the form of the *QRS* complex and the need for a consistent detailed analysis of the existing criteria for the differential diagnosis of arrhythmias with wide *QRS* complexes in different clinical groups of patients.

Keywords: differential diagnosis; wide *QRS* complex; left bundle branch block.

To cite this article:

Chmelevsky MP, Budanova MA, Stepanov DA, Zhabina ES, Tulintseva TE. Diagnostic value of Slow Conduction Index in differential diagnosis of wide *QRS* complex arrhythmias with left bundle branch block morphology. *Cardiac Arrhythmias*. 2023;3(1):17–30. DOI: <https://doi.org/10.17816/cardar233537>

Received: 15.02.2023

Accepted: 07.03.2023

Published: 31.03.2023

ВВЕДЕНИЕ

Дифференциальная диагностика аритмий с широкими комплексами *QRS* остается сложной и до конца нерешенной проблемой в клинической практике [1, 2]. Электрокардиография (ЭКГ) и холтеровское мониторирование ЭКГ являются ключевыми инструментами интерпретации данных в дифференциальной диагностике таких аритмий. После десятилетий тщательных исследований было предложено множество различных критериев и алгоритмов, но большинство из них являются недостаточно точными и эффективными при использовании в реальных клинических условиях [3, 4]. Это подтверждается научными публикациями и отдельными клиническими наблюдениями, которые демонстрируют недостаточную эффективность большинства этих алгоритмов [5, 6].

Основной проблемой в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами является необходимость анализа взаимоотношений предсердного и желудочкового ритмов для поиска признаков АВ диссоциации и других критериев желудочковой тахикардии (ЖТ), когда качественная визуализация волн предсердной активности в значительной степени затруднена. В связи с этим часто невозможно использовать данный подход и возникает необходимость оценки формы широких комплексов *QRS* (так называемых морфологических признаков), характерных для ЖТ или аберрантного желудочкового проведения. Несмотря на постоянно увеличивающееся количество алгоритмов оценки формы комплексов *QRS*, большинство из них показывает невысокую диагностическую точность при повторных исследованиях на разных группах пациентов [5]. Причины этого заключаются не только в высокой степени субъективности анализа амплитудно-временных характеристик разными исследователями, но и в невозможности учитывать индивидуальные особенности распространения волны возбуждения по миокарду с использованием данных алгоритмов при аритмиях с широкими комплексами *QRS*.

Фактически все амплитудно-временные критерии можно условно разделить на 3 группы. В 1-ю группу входят признаки, характеризующие форму отдельных зубцов *QRS* комплексов. Во 2-ю группу входят признаки, определяющие продолжительность отдельных составляющих частей *QRS* комплексов, а в 3-ю — характеристики, направленные на определение скорости изменения амплитуды начальной и конечной частей *QRS* комплексов и их соотношения. При этом почти все амплитудно-временные критерии, входящие в первые две группы, показывают относительно невысокую диагностическую точность при повторных исследованиях на клинически разных группах пациентов [5]. По всей видимости, одной из причин, приводящих к таким результатам, является наличие структурных изменений миокарда и выраженная разница в индивидуальных соотношениях формы грудной клетки и расположения сердца, которые в значительной степени влияют на амплитудные

характеристики отдельных элементов *QRS* комплекса и их продолжительность.

Как мы указывали в предыдущей нашей публикации [7], одним из подходов, призванных решить эти проблемы, является оценка на ЭКГ скоростей распространения возбуждения по миокарду желудочков на основе соотношения амплитуд начальной и конечной части комплекса *QRS*. Наиболее известным критерием для анализа этого показателя является индекс медленного проведения, предложенный A. Vereckeи и соавт. [8]. Данный критерий позволяет проводить дифференциальную диагностику аритмий с широкими комплексами *QRS* на основе анализа соотношения абсолютных значений суммарной амплитуды комплекса *QRS* за первые и последние 40 мс, которая рассчитывается в каждом отдельно взятом отведении ЭКГ. Такой подход в значительной степени уменьшает субъективность оценки морфологии широких *QRS* разными специалистами, особенно в сложных случаях аритмий с формой комплекса в виде блокады левой ножки пучка Гиса (ЛНПГ).

Одной из особенностей использования индекса медленного проведения является необходимость выбора отведения ЭКГ с широкими комплексами по типу RS согласно оригинальной концепции авторов предложенного критерия [8]. При этом выбор такого отведения ЭКГ, особенно при наличии нескольких похожих, является в значительной степени произвольным, что может приводить к противоречивым результатам. В то же время в ряде других случаев отсутствие формы комплекса по типу RS приводит к формальной невозможности использования индекса медленного проведения в практической работе. Такие особенности применения данного критерия, с нашей точки зрения, являются существенными ограничениями. В связи с этим в нашей предыдущей публикации мы представили результаты исследования, которые показали принципиальную возможность использования индекса медленного проведения в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* в любом отведении ЭКГ без необходимости поиска бифазного широкого комплекса с формой по типу RS [7]. Кроме этого, было показано, что диагностическая ценность этого критерия была достаточно высокой в отведениях II, III, aVL, aVF, V1, V2, V4, V5 (8 из 12). Вместе с тем при внимательном изучении полученных результатов становится очевидным, что необходимо подробное сравнение диагностической ценности индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ, а также детальный анализ полученных некорректных значений. Также требуется оценка результатов с точки зрения анализа взаимоотношения полученных диагностических характеристик и электрофизиологических особенностей распространения волны возбуждения по миокарду.

Цель работы — продолжение предыдущего исследования по изучению возможности использования индекса медленного проведения в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* и детальный сравнительный анализ диагностической ценности этого

критерия во всех 12 отведениях ЭКГ с оценкой и сопоставлением полученных значений точности, а также рассмотрение всех полученных результатов с электрофизиологической точки зрения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Регистрация и обработка данных

Методика регистрации и обработки данных ЭКГ для последующего исследования были подробно описаны в предыдущей публикации [7]. В данной работе дополнительно проводился детальный анализ морфологических характеристик *QRS* и последовательное сопоставление суммарной амплитуды широких желудочковых комплексов в течение начальных и конечных 40 мс в тех случаях и отведениях ЭКГ, когда использование индекса медленного проведения приводило к ошибочным результатам. Для этого осуществлялось сопоставление исходной 12-канальной ЭКГ и отдельных масштабируемых графиков ЭКГ для выбранных отведений с последующим измерением абсолютных значений суммарных амплитуд в течение начальных (V_1) и конечных (V_6) 40 мс широких *QRS* комплексов.

Построение масштабируемых графиков ЭКГ

Для построения отдельных масштабируемых графиков проводился экспорт данных ЭКГ из формата PhysioNet в текстовом виде, которые затем импортировались в электронные таблицы Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США). Амплитудно-временные значения ЭКГ синхронизировались в 12 отведениях согласно частоте дискретизации исходного сигнала. После нахождения границ *QRS* перед его началом и после окончания откладывались значения 100–120 мс, которые использовались в виде точек, между которыми визуализировалась ЭКГ в отдельно выбранном отведении с помощью встроенных инструментов создания графиков Microsoft Excel. В результате для этих отведений ЭКГ строились 2-мерные диаграммы, на которых временная шкала откладывалась по оси абсцисс (X) с масштабом, соответствующим минимальному значению частоты дискретизации исходной записи. Амплитуда ЭКГ откладывалась по оси ординат (Y) с автоматическим масштабированием согласно исходным значениям потенциалов комплекса *QRS*. После этого на каждом графике ЭКГ по временной шкале откладывались 40 мс от начала и конца широкого комплекса *QRS* и измерялась сумма абсолютных значений амплитуд по всем точкам смены полярности направления волны в течение каждого из этих временных интервалов с последующим сравнением полученных результатов.

Статистический анализ

Методика статистического анализа также подробно описана в нашей предыдущей публикации [7].

В данной работе проводилось детальное изучение диагностической ценности индекса медленного проведения

на основе сравнения результатов ROC-анализа. Для оценки и сравнения площадей ROC-кривых (AUC — Area Under Curve) во всех 12 отведениях использовался непараметрический подход по методу ДеЛонги – Кларк – Пирсона [9]. Дальнейшее сопоставление площадей под кривыми проводилось на основании стандартной ошибки, рассчитанной по методике Хэнли и Макнила [10, 11], и точного 95 % доверительного интервала на основе биномиального распределения [12]. Для сравнения результатов исходные значения $p < 0,05$ принимались статистически значимыми. Диаграммы разницы площадей ROC-кривых визуализировались с использованием цветовой шкалы для каждого отведения ЭКГ (6 из 12) на одном графике.

Для дополнительного анализа результатов проводилось построение диаграммы разницы площадей (AUC difference) ROC-кривых и соответствующих им уровней значимости p по аналогии с методикой создания и анализа коррелограмм [13]. Для визуализации изменений этих значений использовалась цветовая схема в формате RYG (Red – Yellow – Green).

Рассчитанные значения чувствительности (ЧВ), специфичности (СП) и диагностической точности (ДТ) для всех 12 отведений ЭКГ сопоставлялись между собой и для наглядности визуализировались в виде цветных группированных столбчатых гистограмм.

После анализа количества проведенных сравнений с оценкой уровня p и расчета вероятности неверного заключения в отношении хотя бы одной из гипотез, значительно превышающей исходный уровень значимости ($p < 0,05$), было принято решение о проведении коррекции полученных значений на множественное тестирование с использованием поправки Бонферрони [14]. В результате окончательно статистически значимыми принималось значения $p < 0,001$. Оценка полученных диаграмм разниц площадей (AUC difference) ROC-кривых проводилась соответственно этому окончательно принятому уровню статистической значимости.

Полный статистический анализ был проведен с использованием программ Statistica v.12 (Statsoft Inc., США), SPSS v.23 (IBM Corp., США) и MedCalc Statistical Software v.20.115 (MedCalc Software Ltd, Бельгия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Диагностическая ценность индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ

Согласно полученным значениям ЧВ, СП и ДТ, все 12 отведений расположились в следующем порядке по мере уменьшения диагностической ценности индекса медленного проведения: aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4, II, aVR, V6, V3 и I. При этом в первых шести ЭКГ отведениях ДТ была стабильно выше 90 %, постепенно уменьшаясь в последующих шести отведениях с 89 до 67 %, соответственно (рис. 1). Все полученные значения были статистически значимыми ($p < 0,001$).

Сравнение полученных значений диагностической ценности индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ

Сопоставление ROC-кривых показало, что диагностическая ценность индекса медленного проведения

незначительно отличается в отведениях aVL, V2, aVF, V5, III, V1, в то время как в отведениях V4, II, aVR, V6, V3 и I она выражено снижается (рис. 2).

Согласно диаграмме разницы площадей ROC-кривых, не было обнаружено значимых различий в диагностической ценности индекса медленного проведения

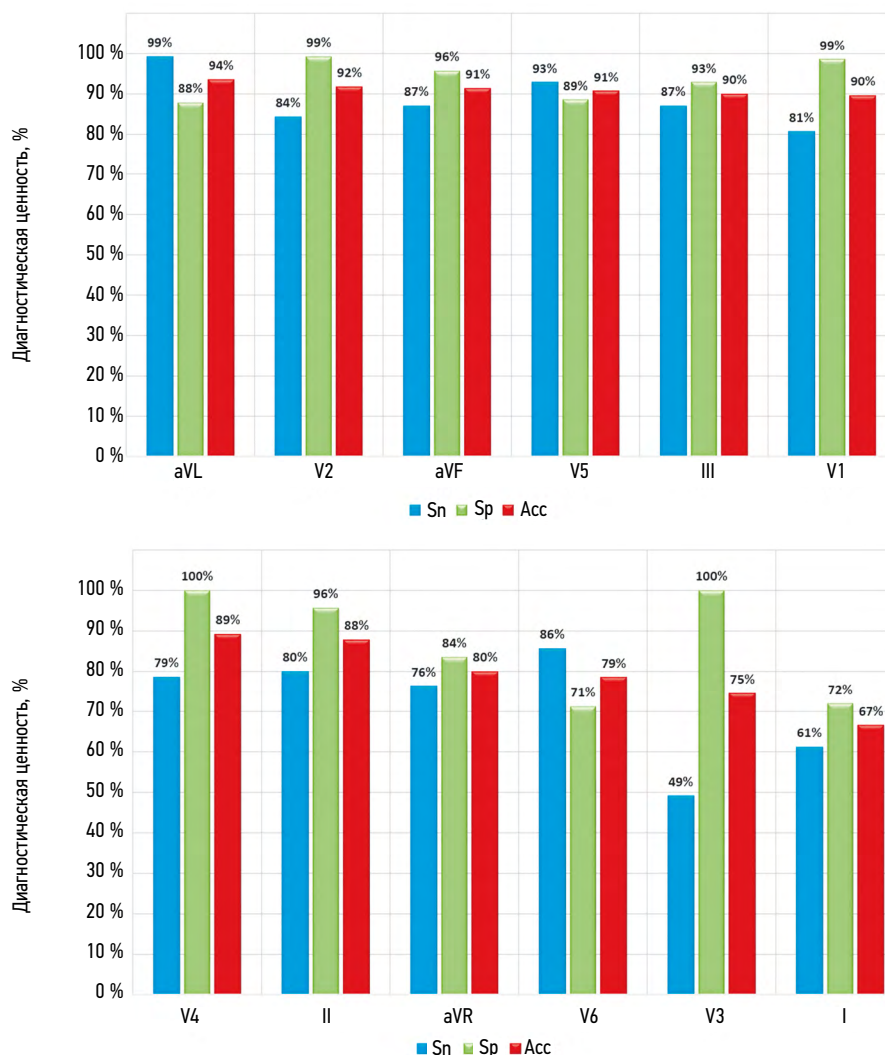


Рис. 1. Гистограмма значений чувствительности (Sn), специфичности (Sp) и диагностической точности (Acc) индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ

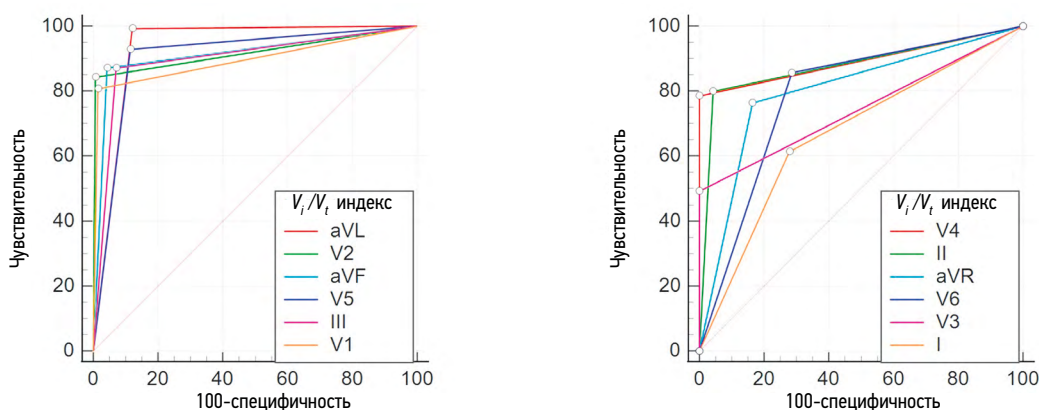


Рис. 2. Графики сопоставления ROC-кривых, показывающие разницу в диагностической ценности индекса медленного проведения для всех 12 отведений ЭКГ. Пороговые критерии отсекаются показаны круглым маркером на каждой ROC-кривой

для первых 8 отведений (aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4 и II), в то время как остальные отведения (aVR, V6, V3 и I) статистически значимо отличались от них (рис. 3).

Оценка полученных некорректных значений индекса медленного проведения в отдельных отведениях ЭКГ

При детальном рассмотрении полученных результатов было обнаружено, что в ряде случаев использование индекса медленного проведения привело к ошибкам

в дифференциальной диагностике широких QRS комплексов. Данные случаи были выделены и отобраны для последующего анализа. Так, в результате рассмотрения некоторых ЭКГ с наджелудочковыми экстрасистолами (НЖЭ) и абберантным проведением по типу блокады ЛНПГ оказалось, что в одном из отведений (aVL) использование полученных значений индекса медленного проведения ($V_i / V_t < 1$) привело к ошибочной диагностике

Диаграмма разницы площадей		0,94	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,80	0,79	0,75	0,67
		Разница площадей											
max	отведения	aVL	V2	aVF	V5	III	VI	V4	II	aVR	V6	V3	I
0,94	aVL		0,018	0,021	0,029	0,036	0,039	0,043	0,057	0,136	0,150	0,189	0,268
0,92	V2	0,407		0,004	0,011	0,018	0,021	0,025	0,018	0,096	0,111	0,150	0,229
0,91	aVF	0,268	0,884		0,007	0,014	0,018	0,021	0,036	0,114	0,129	0,168	0,246
0,91	V5	0,226	0,620	0,776		0,007	0,011	0,014	0,029	0,107	0,121	0,161	0,239
0,90	III	0,049	0,482	0,100	0,785		0,004	0,007	0,021	0,100	0,114	0,154	0,232
0,90	VI	0,078	0,239	0,312	0,671	0,671		0,004	0,018	0,096	0,111	0,150	0,229
0,89	V4	0,059	0,336	0,310	0,545	0,754	0,873		0,014	0,093	0,107	0,146	0,225
0,88	II	0,012	0,385	0,011	0,190	0,194	0,385	0,516		0,079	0,093	0,132	0,211
0,80	aVR	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,014	0,054	0,132
0,79	V6	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,576		0,039	0,118
0,75	V3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,076	0,218		0,079
0,67	I	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,023	
min		min	Уровень значимости p										max

Рис. 3. Диаграмма разницы площадей (AUC difference) ROC-кривых (правый верхний треугольник) и соответствующего уровня значимости p (p -value) (левый нижний треугольник), характеризующих различия в диагностической ценности индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ. Отведения (lead) расположены сверху вниз (крайний левый столбец) и слева направо (верхняя строка) в направлении уменьшения их диагностической ценности в соответствии с рассчитанным абсолютным уровнем площади (AUC) под ROC-кривой. Цветовая палитра диаграммы отражает изменения абсолютных значений разницы площадей от минимума (зеленый) до максимума (красный) и уровней значимости p от максимума (зеленый) до минимума (красный). Разницы площадей ROC-кривых с соответствующим им уровнем значимости $p < 0,001$ обозначены красным шрифтом на белом фоне



Рис. 4. Пример ЭКГ пациента с НЖЭ и абберантным проведением по типу блокады ЛНПГ. Границы всех комплексов QRS обозначены короткими красными вертикальными линиями. Границы выбранного для анализа широкого комплекса QRS выделены сплошными красными вертикальными линиями в 12 отведениях ЭКГ. Зеленым цветом выделены отведения, в которых расчет индекса медленного проведения показал корректные результаты в дифференциальной диагностике ($V_i / V_t > 1$), а красным цветом выделены отведения с ошибочными результатами ($V_i / V_t < 1$) для данного случая

желудочковых экстрасистол (ЖЭ), в то время как во всех остальных отведениях использование данного критерия показало корректные результаты (рис. 4). Анализ масштабированного графика ЭКГ в отведении aVL показал, что значения V_i и V_f 40 мс комплекса QRS составили 94 мкВ и 316 мкВ соответственно (рис. 5). Аналогично,

в результате рассмотрения некоторых ЭКГ с ЖЭ и формой блокады ЛНПГ было обнаружено, что в отдельных отведениях (aVR) использование полученных значений индекса медленного проведения ($V_i / V_f > 1$) привело к ошибочной диагностике НЖЭ, тогда как во всех остальных отведениях использование данного критерия

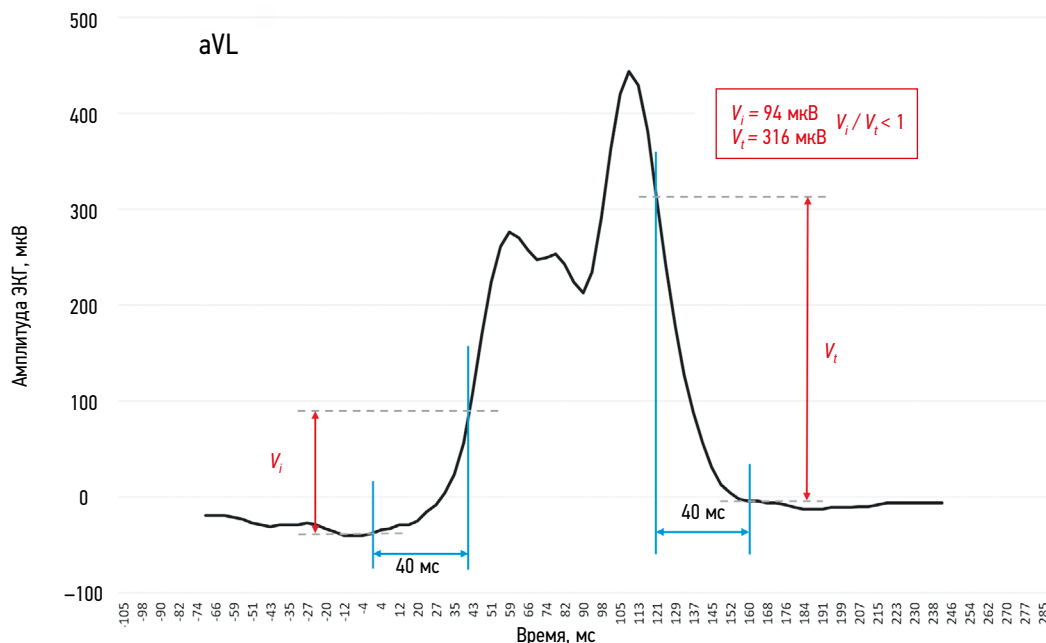


Рис. 5. Масштабированный график ЭКГ в отведении aVL и определение абсолютных значений амплитуд начальных (V_i) и конечных (V_f) 40 мс широкого комплекса QRS для случая с НЖЭ и aberrantным проведением по типу блокады ЛНПГ, где расчет индекса медленного проведения (V_i / V_f) показал ошибочные результаты ($V_i / V_f < 1$) в дифференциальной диагностике

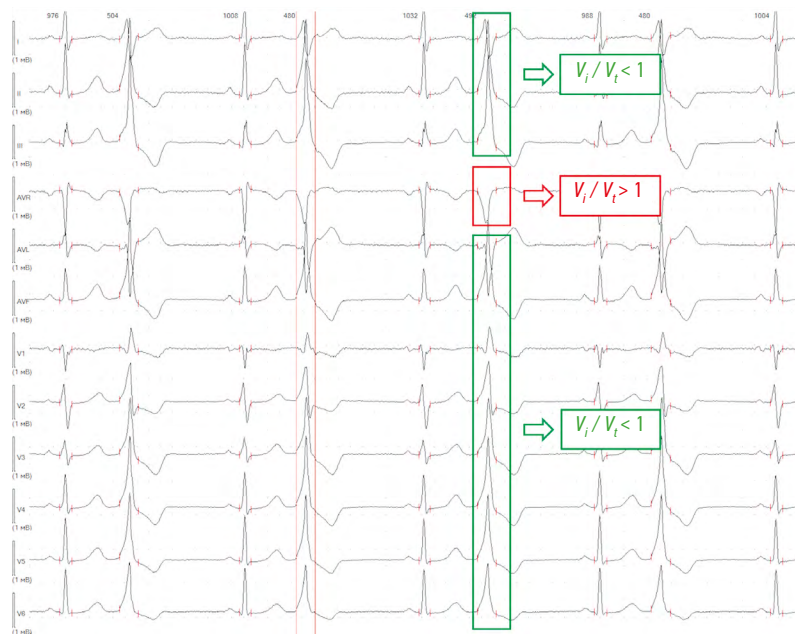


Рис. 6. Пример ЭКГ пациента с ЖЭ и формой блокады ЛНПГ. Границы всех комплексов QRS обозначены короткими красными вертикальными линиями. Границы выбранного для анализа широкого комплекса QRS выделены сплошными красными вертикальными линиями в 12 отведениях ЭКГ. Зеленым цветом выделены отведения, в которых расчет индекса медленного проведения показал корректные результаты в дифференциальной диагностике ($V_i / V_f < 1$), а красным цветом выделены отведения с ошибочными результатами ($V_i / V_f > 1$) для данного случая

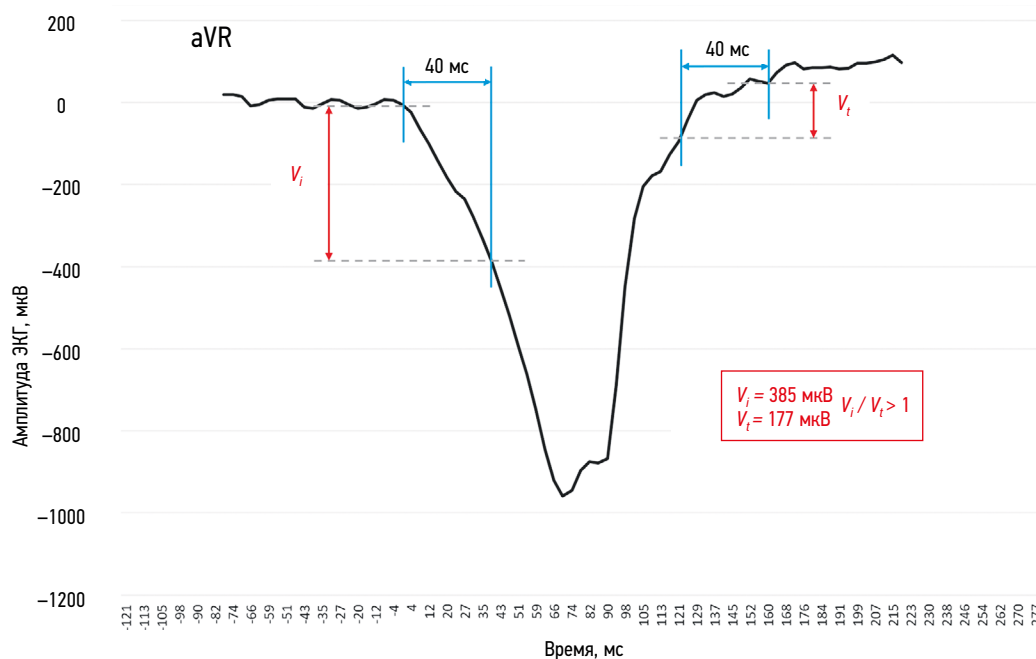


Рис. 7. Масштабированный график ЭКГ в отведении aVR и определение абсолютных значений амплитуд начальных (V_i) и конечных (V_f) 40 мс широкого комплекса QRS для случая с ЖЭ и формой блокады ЛНПГ, где расчет индекса медленного проведения (V_i/V_f) показал ошибочные результаты ($V_i/V_f > 1$) в дифференциальной диагностике

показало корректные результаты (рис. 6). Анализ масштабированного графика ЭКГ в отведении aVR показал, что значения V_i и V_f 40 мс комплекса QRS составили 385 мкВ и 177 мкВ соответственно (рис. 7).

Дальнейшее изучение полученных результатов показало, что частота встречаемости таких случаев с некорректными значениями индекса медленного проведения и ошибочными результатами дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами QRS прямо пропорциональна показанным на рисунке 1 значениям диагностической точности данного критерия в каждом отведении ЭКГ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основные результаты

Проведенное исследование показало, что диагностическая ценность индекса медленного проведения не отличается значимо в отведениях aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4 и II, в то время как для остальных отведений aVR, V6, V3 и I она выражено снижается (см. рис. 1 и 3). Данные факты еще раз подтверждают результаты предыдущей работы [7], которые показали принципиальную возможность использования этого диагностического критерия в любых отведениях ЭКГ. Кроме этого, было показано, в каких именно отведениях использование индекса медленного проведения приводит к наилучшим результатам в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами QRS и формой блокады ЛНПГ.

Анализ результатов сравнения значений диагностической ценности индекса медленного проведения в 12 отведениях ЭКГ

Детальный анализ цветных группированных столбчатых гистограмм, отображающих значения диагностической ценности, показал, что разброс значений ЧВ и СП в отведениях aVL, V2, aVF, V5 и III не превышает 10 % при уровне ДТ от 94 до 90 % соответственно (см. рис. 1). Данный факт свидетельствует о значительной устойчивости индекса медленного проведения к изменению морфологии широких комплексов QRS в виде блокады ЛНПГ в качестве критерия дифференциальной диагностики таких аритмий. Это подтверждается непосредственным сопоставлением формы ROC-кривых в этих отведениях (см. рис. 2), а также последовательным попарным сравнением разницы их площадей (AUC) и соответствующих уровней значимости p (см. рис. 3). Для остальных отведений V1, V4, II, aVR, V6, V4 и I разброс значений ЧВ и СП значительно увеличивается, достигая 51 % в отведении V3, а значения ДТ соответственно начинают выражено снижаться с 89 до 67 %. В свою очередь, это может говорить о значительной чувствительности индекса медленного проведения к изменению формы широких комплексов QRS в этих отведениях. При этом последовательное попарное сравнение разницы площадей (AUC) и соответствующих им уровней значимости p для отведений aVR, V6, V3 и I на рис. 3 показывает, что разница в значениях диагностической ценности достигает принятого в данном исследовании уровня статистической значимости ($p < 0,001$). Данные факты подтверждают, что эти

отведения не являются лучшим выбором для использования индекса медленного проведения в качестве критерия дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами *QRS* и формой блокады ЛНПГ.

В целом, анализ цветовой палитры диаграммы разницы площадей ROC-кривых показывает постепенное значимое и выраженное снижение диагностической ценности индекса медленного проведения из ее центральной части в сторону правой и нижней границ, в то время как в верхне-центральной части диаграммы такая значимая разница отсутствует.

Анализ случаев некорректной дифференциальной диагностики широких QRS комплексов при расчете индекса медленного проведения в некоторых отдельных ЭКГ-отведениях

Согласно полученным результатам, использование индекса медленного проведения в ряде случаев привело к ошибочным результатам в дифференциальной диагностике широких *QRS* комплексов. В качестве наиболее иллюстративных случаев были отобраны ЭКГ одного из пациентов с НЖЭ и аберрантным проведением по типу блокады ЛНПГ и показано, что в одном из отведений (*aVL*) рассчитанный индекс медленного проведения некорректно указывает на желудочковый генез этих широких *QRS* ($V_i / V_t < 1$) комплексов, в то время как в остальных 11 отведениях все диагностируется корректно (см. рис. 4). При рассмотрении масштабированного графика ЭКГ в отведении *aVL* оказалось, что абсолютное значение V_i в три раза меньше, чем соответствующее значение V_t конечных 40 мс (см. рис. 5). Причина этого заключается, по всей видимости, в том, что первые 20 мс комплекса *QRS* практически изоэлектричны и значительное нарастание амплитуды начинается только с 30-й мс. Однако это не означает, что в течение первых 20 мс возбуждение по миокарду распространяется медленно. В данном случае такие индивидуальные анатомические особенности этого пациента, как расположение сердца в грудной клетке и ее форма относительно регистрирующих отведений, а также электрофизиологические особенности хода возбуждения по миокарду являются причинами, что основной вектор первых 20 мс деполяризации направлен почти перпендикулярно отведению *aVL*, что приводит к изоэлектричной форме этого участка ЭКГ.

Аналогичная ситуация возникает при рассмотрении другого выбранного случая с ЖЭ с формой блокады ЛНПГ, когда в одном из отведений (*aVR*) рассчитанный индекс медленного проведения некорректно указывает на суправентрикулярный генез широких *QRS* ($V_i / V_t > 1$), в то время как в остальных 11 отведениях этот критерий корректно диагностирует ЖЭ (см. рис. 6). При рассмотрении масштабированного графика ЭКГ в отведении *aVR* оказывается, что абсолютное значение V_i 40 мс комплекса *QRS* более чем в два раза превышает соответствующее значение V_t

(см. рис. 7). Аналогично предыдущему случаю, при анализе конечной части комплекса *QRS* становится очевидным, что последние 30 мс являются почти изоэлектричными. Причины этого, по всей видимости, такие же, как и в описанной выше ситуации с некорректной диагностикой ЖЭ в отведении *aVL* у пациента с НЖЭ и аберрантным проведением по типу блокады ЛНПГ.

При анализе остальных случаев некорректных результатов дифференциальной диагностики оказалось, что в подавляющем большинстве случаев причины аналогичны описанным выше. С нашей точки зрения, данные факты свидетельствуют в пользу того, что при произвольном выборе одного из 12 отведений ЭКГ для расчета индекса медленного проведения могут спонтанно появляться ошибочные результаты. В связи с этим для использования данного критерия при дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами *QRS* необходимо выбирать отведения ЭКГ с наибольшей диагностической ценностью.

Оценка результатов использования индекса медленного проведения в связи с электрофизиологическими особенностями распространения возбуждения по миокарду

Как было показано выше, применение индекса медленного проведения в некоторых случаях может давать неправильные результаты при дифференциальной диагностике широких комплексов *QRS*. В связи с этим возникает вопрос: являются ли данные ошибочные результаты случайными или при этом все-таки имеются какие-либо определённые закономерности? Попытка ответить на этот вопрос приводит к пониманию необходимости сначала более подробно рассмотреть электрофизиологические основы использования индекса медленного проведения.

Оригинальный алгоритм А. Vereckei основан исключительно на гипотезе различий в направлении и скорости начальной и конечной активации миокарда во время желудочковых и суправентрикулярных аритмий с аберрантным проведением [8]. Электрофизиологическое обоснование критерия индекса медленного проведения заключается в том, что во время аритмий с широкими *QRS* вследствие НЖЭ начальная активация межжелудочковой перегородки (происходящая либо слева направо, либо справа налево в зависимости от типа блокады ножки пучка Гиса) происходит со скоростью незначительно медленнее, чем при нормальном проведении волны возбуждения по системе Гиса – Пуркинье, а внутривентрикулярная задержка проведения, вызывающая расширение комплекса *QRS*, происходит в средней и конечной его частях. В результате нарастание амплитуды начальной части комплекса *QRS* будет происходить более быстро, чем конечной. Соответственно, индекс медленного проведения составляет значение больше 1 ($V_i / V_t > 1$) во время суправентрикулярных тахикардий с аберрантным проведением. При аритмиях

с широкими *QRS* вследствие ЖЭ более медленное распространение волны возбуждения по сократительному миокарду происходит до тех пор, пока импульс не достигает системы Гиса – Пуркинье, после чего остальная часть миокарда активируется быстрее. В результате нарастание амплитуды начальной части комплекса *QRS* происходит значительно медленнее, поэтому индекс медленного проведения составляет значение меньше 1 ($V_i / V_t < 1$) во время ЖТ. По мнению авторов, это предположение должно быть верным независимо от механизма возникновения ЖТ, наличия или отсутствия структурного заболевания сердца [3]. Вместе с тем возможно наличие и другого предположения, которое заключается в том, что крутизна начальной части широкого комплекса *QRS* прямо пропорциональна скорости проведения распространяющейся в желудочках волны возбуждения [3].

Критический анализ электрофизиологических основ этих гипотез показывает, что данные предположения, с нашей точки зрения, лишь отчасти отражают реальные взаимоотношения между формой комплекса *QRS* и характером распространения волны возбуждения по желудочкам сердца. Во-первых, гипотеза о том, что степень нарастания амплитуды начальной части комплекса *QRS* прямо пропорциональна скорости проведения возбуждения в желудочках, основывается на значительно упрощенном представлении о форме и однородности фронта волны возбуждения. В действительности, как было показано в экспериментальных исследованиях при возникновении различных блокад проведения, форма волны возбуждения может в значительной степени варьировать и разделяться на несколько фронтов [15–18]. Во-вторых, согласно используемой дипольной модели ЭКГ, распространение возбуждения может описываться векторной теорией в виде зависимости амплитудно-временных характеристик комплекса *QRS* от нахождения регистрирующих электродов на поверхности тела по отношению к фронту волны возбуждения в желудочках сердца [19]. Однако данная зависимость не является линейной и также подразумевает использование значительно упрощенной дипольной модели, в то время как ЭКГ является суммарным отражением электрической активности сердца [20, 21]. Таким образом, величина амплитуды начальной и конечной частей комплекса *QRS* не является непосредственными и прямым отражением характера распространения волны возбуждения в желудочках.

Помимо этого, важно отметить, что оригинальная концепция использования индекса медленного проведения для дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами *QRS*, предложенная авторами, предполагает только оценку соотношения показателей амплитуд начальной и конечной частей комплекса *QRS* (V_i / V_t) относительно друг друга. При этом не только сами значения амплитуд, но и абсолютная величина этого соотношения не используются в анализе, что приводит к потере значительной части информации, так как эти значения также отражают особенности изменения амплитуды *QRS* как косвенные

характеристики скорости и направление распространения волны возбуждения по миокарду. Также следует добавить, что оценка данных параметров на участках начальной и конечной частей комплекса *QRS* продолжительностью 40 мс без наличия очевидного электрофизиологического обоснования вызывает значительное число вопросов.

Таким образом, некорректные результаты дифференциальной диагностики широких комплексов *QRS* при использовании индекса медленного проведения являются, по всей видимости, проявлением ограничений данного критерия как характеристики, реально отражающей ход и характер распространения волны возбуждения по желудочкам сердца. Эти ограничения носят скорее систематический, нежели случайный, характер и приводят к пониманию необходимости более глубокого и детального анализа взаимосвязи поверхностной ЭКГ и электрофизиологических особенностей проведения возбуждения по миокарду.

Анализ использованной методики и оценка результатов исследования в связи с ранее опубликованными данными

В своей оригинальной работе авторы предложенного критерия индекса медленного проведения показали, что их алгоритм в целом превосходил алгоритм P. Brugada по значениям диагностической точности (90,3 против 84,8 %, соответственно) [3]. При этом преимущество алгоритма A. Vereckeй было в основном обусловлено значительно лучшей общей точностью тестирования критерия V_i / V_t на 4-м шаге по сравнению с 4-м этапом алгоритма P. Brugada (82,2 против 68 % соответственно). Предложенный позже A. Vereckeй и соавт. алгоритм дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами *QRS* на основании только одного отведения aVR показал, что общая точность тестирования новых критериев была аналогична точности первого алгоритма A. Vereckeй и превосходила точность алгоритма P. Brugada (91,5 против 90,7 и 85,5 % соответственно) [22].

Однако при анализе последующих публикаций оказалось, что независимые оценки разных исследовательских групп не воспроизвели такие высокие диагностические характеристики, описанные в оригинальных работах A. Vereckeй и соавт. [23–28]. Например, одна из групп показала, что при независимой проверке алгоритма A. Vereckeй результаты выявили высокую ЧВ, но очень низкую СП (29 %) [26].

С нашей точки зрения, опубликованные данные показывают, что использованный алгоритм проверялся на различных группах пациентов, а также разными исследователями без использования общего стандартизированного подхода. Более того, анализ ЭКГ и расчет индекса медленного проведения проводился в ручном режиме без применения современных цифровых методов обработки информации. К тому же становится очевидным, что при этом использовался субъективный метод выбора разных отведений ЭКГ для расчета индекса медленного проведения по первому исходному алгоритму A. Vereckeй.

При использовании нового алгоритма отведения aVR степень субъективности, по всей видимости, была меньше, однако наличие разных групп пациентов и отсутствие цифровых методов регистрации и обработки ЭКГ не позволяют объективно сравнивать результаты опубликованных ранее исследований. К похожим выводам приходят и другие научные группы, которые провели подробный анализ результатов использования различных алгоритмов и рассмотрели наиболее вероятные ошибки и ограничения разных критериев дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами QRS [29].

В связи с этим необходимо отметить, что методика расчета индекса медленного проведения имеет крайне важное значение. Во-первых, выбранные для анализа ЭКГ должны исходно регистрироваться в цифровом виде с высокой частотой дискретизации, а не на бумажном носителе со скоростью 25 мм/с, как это часто описывается во множестве публикаций. Во-вторых, необходим детальный анализ начальной и конечной частей комплекса QRS и оценка характеристик его формы в разных отведениях ЭКГ. Именно поэтому использованная нами в данном исследовании методика анализа ЭКГ была исходно разработана с учетом всех вышеперечисленных особенностей. Более того, данная методика оценки всех показателей была подвергнута тщательному ретроспективному анализу, а полученные результаты подробно исследовались с использованием современных цифровых методов обработки информации и возможностью детального масштабирования ЭКГ.

Также становится очевидным, что одной из важных составляющих любого исследования по дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами QRS является анализ ЭКГ во всех 12 отведениях. С нашей точки зрения, предложенный A. Verecke и соавт. алгоритм использования одного отведения aVR имеет существенные недостатки, так как полностью игнорирует всю остальную информацию из других 11 отведений ЭКГ. В связи с этим полученные высокие значения диагностической точности алгоритма A. Verecke и соавт. в их оригинальном исследовании вызывают закономерные сомнения, несмотря на достаточно большую группу пациентов, использованную для анализа. К тому же более поздние публикации по независимой оценке этого алгоритма различными исследовательскими группами показали достаточно низкую специфичность этих критериев. В нашей работе мы также получили подтверждение этих данных, так как результаты проведенного исследования показывают, что отведение aVR не являлось наилучшим выбором для расчета индекса медленного проведения при дифференциальной диагностике аритмий с широкими QRS. Более того, мы показали, что в ряде случаев именно в отведении aVR расчет индекса медленного проведения приводит к некорректному результату вследствие конечной изоэлектричной части широкого комплекса QRS. С нашей точки зрения, это также является еще одним подтверждением

необходимости анализа всех отведений ЭКГ при дифференциальной диагностике таких аритмий.

Оценка репрезентативности и ограничения проведенного исследования

Возможные ограничения данного исследования были подробно описаны в нашей предыдущей публикации [7]. Вместе с тем необходимо отметить важность определения границ применимости критерия индекса медленного проведения с электрофизиологической и анатомической точек зрения. Так, анализ более поздних публикаций показывает, что авторы разных исследований также отмечали определенные ограничения при использовании индекса медленного проведения как критерия дифференциальной диагностики [6, 28–30]. В частности, указывалось, что болезни миокарда могут приводить к изменениям скоростей распространения возбуждения в сегментах желудочков и в результате к некорректным значениям индекса медленного проведения [3]. Например, в случае наличия локальных фиброзных изменений миокарда данный критерий в его текущем виде вряд ли может использоваться в дифференциальной диагностике аритмий с широкими комплексами QRS. Такие ситуации, по всей видимости, требуют дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании была проанализирована диагностическая ценность индекса медленного проведения во всех 12 отведениях ЭКГ, а также выполнен подробный анализ полученных результатов и некорректных значений этого критерия с электрофизиологической и клинической точек зрения.

Результаты данной работы показали, что индекс медленного проведения может использоваться в любых отведениях ЭКГ как критерий дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами QRS с формой блокады ЛНПГ. Согласно полученным значениям ЧВ, СП и ДТ все 12 отведений последовательно расположились по мере уменьшения диагностической ценности индекса медленного проведения с 94 до 67 % в следующем порядке: aVL, V2, aVF, V5, III, V1, V4, II, aVR, V6, V3 и I. При этом в первых 4 отведениях (aVL, V2, aVF, V5 и III) уровень ДТ составил от 94 до 90 %, соответственно.

Также проведенное исследование продемонстрировало важность всестороннего подхода к анализу формы комплекса QRS и необходимость последовательного детального анализа существующих критериев дифференциальной диагностики аритмий с широкими комплексами QRS в разных клинических группах пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства Здравоохранения Российской Федерации в рамках Государственного задания на осуществление научных исследований и разработок по теме «Создание алгоритмов

ведения пациентов с нарушениями ритма сердца с применением технологий объяснимого искусственного интеллекта при анализе больших данных (big data), полученных с помощью телеметрических методов» (номер регистрации НИОКТР в ЕГИСУ 123021000126-0) [31].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abedin Z. Differential diagnosis of wide QRS tachycardia: A review // *J Arrhythm.* 2021. Vol. 37, No. 5. P. 1162–1172. DOI: 10.1002/joa3.12599
2. Медведев М.М. Дифференциальная диагностика тахикардий с широкими комплексами QRS: от «классических» признаков к первым алгоритмам // *Вестник аритмологии.* 2019. Vol. 26, No. 3. С. 48–56. DOI: 10.35336/VA-2019-3-48-56
3. Vereckei A. Current algorithms for the diagnosis of wide QRS complex tachycardias // *Curr Cardiol Rev.* 2014. Vol. 10, No. 3. P. 262–276. DOI: 10.2174/1573403x10666140514103309
4. Kashou A.H., Evenson C.M., Noseworthy P.A., et al. Differentiating wide complex tachycardias: A historical perspective // *Indian Heart J.* 2021. Vol. 73, No. 1. P. 7–13. DOI: 10.1016/j.ihj.2020.09.006
5. Kashou A.H., Noseworthy P.A., DeSimone C.V., et al. Wide Complex Tachycardia Differentiation: A Reappraisal of the State-of-the-Art // *J Am Heart Assoc.* 2020. Vol. 9, No. 11. e016598. DOI: 10.1161/JAHA.120.016598
6. May A.M., Brenes-Salazar J.A., DeSimone C.V., et al. Electrocardiogram algorithms used to differentiate wide complex tachycardias demonstrate diagnostic limitations when applied by non-cardiologists // *J Electrocardiol.* 2018. Vol. 51, No. 6. P. 1103–1109. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2018.09.015
7. Chmelevsky M.P., Budanova M.A., Treshkur T.V. Differential Diagnostics of Wide QRS Complex Arrhythmias with Left Bundle Branch Block Morphology Using Slow Conduction Index // *Cardiac Arrhythmias.* 2022. Vol. 2, No. 3. P. 49–59. DOI: 10.17816/cardar112593
8. Vereckei A., Duray G., Szenasi G., et al. Application of a new algorithm in the differential diagnosis of wide QRS complex tachycardia // *Eur Heart J.* 2007. Vol. 28, No. 5. P. 589–600. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl473
9. DeLong E.R., DeLong D.M., Clarke-Pearson D.L. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach // *Biometrics.* 1988. Vol. 44, No. 3. P. 837–845.
10. Hanley J.A., McNeil B.J. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve // *Radiology.* 1982. Vol. 143, No. 1. P. 29–36. DOI: 10.1148/radiology.143.1.7063747
11. Hanley J.A., Hajian-Tilaki K.O. Sampling variability of nonparametric estimates of the areas under receiver operating characteristic curves: an update // *Acad Radiol.* 1997. Vol. 4, No. 1. P. 49–58. DOI: 10.1016/s1076-6332(97)80161-4
12. Hilgers R.A. Distribution-free confidence bounds for ROC curves // *Methods Inf Med.* 1991. Vol. 30, No. 2. P. 96–101.
13. Friendly M. Corrggrams: Exploratory Displays for Correlation Matrices // *The American Statistician.* 2002. Vol. 56, No. 4. P. 316–324. DOI: 10.1198/000313002533
14. Dunn O.J. Multiple Comparisons among Means // *Journal of the American Statistical Association.* 1961. Vol. 56, No. 293. P. 52–64. DOI: 10.1080/01621459.1961.10482090
15. Auricchio A., Fantoni C., Regoli F., et al. Characterization of left ventricular activation in patients with heart failure and left bundle-branch block // *Circulation.* 2004. Vol. 109, No. 9. P. 1133–1139. DOI: 10.1161/01.CIR.0000118502.91105.F6
16. Fantoni C., Kawabata M., Massaro R., et al. Right and left ventricular activation sequence in patients with heart failure and right bundle branch block: a detailed analysis using three-dimensional non-fluoroscopic electroanatomic mapping system // *Journal of Cardiovascular Electrophysiology.* 2005. Vol. 16, No. 2. 112–119; discussion 120–121. DOI: 10.1046/j.1540-8167.2005.40777.x
17. Tan N.Y., Witt C.M., Oh J.K., Cha Y.M. Left Bundle Branch Block: Current and Future Perspectives // *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology.* 2020. Vol. 13, No. 4. e008239. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.008239
18. Vijayaraman P., Panikkath R., Mascarenhas V., Bauch T.D. Left bundle branch pacing utilizing three dimensional mapping // *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019. Vol. 30, No. 12. P. 3050–3056. DOI: 10.1111/jce.14242
19. Geselowitz D.B. Dipole theory in electrocardiography // *Am J Cardiol.* 1964. Vol. 14, P. 301–306. DOI: 10.1016/0002-9149(64)90072-4
20. Versaci M., Angiulli G., La Foresta F. A Modified Heart Dipole Model for the Generation of Pathological ECG Signals // *Computation.* 2020. Vol. 8, No. 4. P. 92. DOI: 10.3390/computation8040092
21. Westwood J.D. *Medicine meets virtual reality 17 – NextMed: design for/the well being.* Amsterdam: Washington DC: IOS Press, 2009. P. 477.
22. Vereckei A., Duray G., Szénási G., et al. New algorithm using only lead aVR for differential diagnosis of wide QRS complex tachycardia // *Heart Rhythm.* 2008. Vol. 5, No. 1. P. 89–98. DOI: 10.1016/j.hrthm.2007.09.020
23. Jastrzebski M., Sasaki K., Kukla P., et al. The ventricular tachycardia score: a novel approach to electrocardiographic diagnosis of ventricular tachycardia // *Europace.* 2016. Vol. 18, No. 4. P. 578–584. DOI: 10.1093/europace/euv118
24. Chen Q., Xu J., Gianni C., et al. Simple electrocardiographic criteria for rapid identification of wide QRS complex tachycardia: The new limb lead algorithm // *Heart Rhythm.* 2020. Vol. 17, No. 3. P. 431–438. DOI: 10.1016/j.hrthm.2019.09.021
25. Jastrzebski M., Kukla P., Czarnańska D., Kawecka-Jaszcz K. Comparison of five electrocardiographic methods for differentiation of wide QRS-complex tachycardias // *EP Europace.* 2012. Vol. 14, No. 8. P. 1165–1171. DOI: 10.1093/europace/eus015

26. Kaiser E., Darrieux F.C.C., Barbosa S.A., et al. Differential diagnosis of wide QRS tachycardias: comparison of two electrocardiographic algorithms // *EP Europace*. 2015. Vol. 17, No. 9. P. 1422–1427. DOI: 10.1093/europace/euu354
27. Baxi R.P., Hart K.W., Vereckei A., et al. Vereckei criteria as a diagnostic tool amongst emergency medicine residents to distinguish between ventricular tachycardia and supra-ventricular tachycardia with aberrancy // *Journal of Cardiology*. 2012. Vol. 59, No. 3. P. 307–312. DOI: 10.1016/j.jcc.2011.11.007
28. Szelényi Z., Duray G., Katona G., et al. Comparison of the "real-life" diagnostic value of two recently published electrocardiogram methods for the differential diagnosis of wide QRS complex tachycardias // *Acad Emerg Med*. 2013. Vol. 20, No. 11. P. 1121–1130. DOI: 10.1111/acem.12247
29. Медведев М.М., Парижский А.Б. Почему «не работают» электрокардиографические алгоритмы дифференциальной диагностики тахикардий с широкими комплексами QRS // *Вестник аритмологии*. 2020. Т. 27, № 2. P. 54–66. DOI: 10.35336/VA-2020-2-54-66
30. Vereckei A., Miller J.M. Classification of pre-excited tachycardias by electrocardiographic methods for differentiation of wide QRS-complex tachycardias // *EP Europace*. 2012. Vol. 14, No. 11. 1674; author reply 1674–1675. DOI: 10.1093/europace/eus110
31. ЕГИСУ НИОКТР [Электронный ресурс]. Создание алгоритмов ведения пациентов с нарушениями ритма сердца с применением технологий объяснимого искусственного интеллекта при анализе больших данных (big data), полученных с помощью телеметрических методов. Регистрационный номер 123021000126-0. Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова. 2023 [дата обращения: 11.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://rosnid.ru/nioctr/detail/18QYKT1WFLZRDAIM06P301DI>.

REFERENCES

1. Abedin Z. Differential diagnosis of wide QRS tachycardia: A review. *J Arrhythm*. 2021;37(5):1162–1172. DOI:10.1002/joa3.12599
2. Medvedev M.M. Differential diagnosis of tachycardia with wide QRS complexes: from «classical» signs to the first algorithms. *Journal of Arrhythmology*. 2019;26(3):48–56. (In Russ.). DOI: 10.35336/VA-2019-3-48-56
3. Vereckei A. Current algorithms for the diagnosis of wide QRS complex tachycardias. *Curr Cardiol Rev*. 2014;10(3):262–276. DOI: 10.2174/1573403x10666140514103309
4. Kashou AH, Evenson CM, Noseworthy PA, et al. Differentiating wide complex tachycardias: A historical perspective. *Indian Heart J*. 2021;73(1):7–13. DOI: 10.1016/j.ihj.2020.09.006
5. Kashou AH, Noseworthy PA, DeSimone CV, et al. Wide Complex Tachycardia Differentiation: A Reappraisal of the State-of-the-Art. *J Am Heart Assoc*. 2020;9(11):e016598. DOI: 10.1161/JAHA.120.016598
6. May AM, Brenes-Salazar JA, DeSimone CV, et al. Electrocardiogram algorithms used to differentiate wide complex tachycardias demonstrate diagnostic limitations when applied by non-cardiologists. *J Electrocardiol*. 2018;51(6):1103–1109. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2018.09.015
7. Chmelevsky MP, Budanova MA, Treshkur TV. Differential Diagnostics of Wide QRS Complex Arrhythmias with Left Bundle Branch Block Morphology Using Slow Conduction Index. *Cardiac Arrhythmias*. 2022;2(3):49–59. DOI: 10.17816/cardar112593
8. Vereckei A, Duray G, Szenasi G, et al. Application of a new algorithm in the differential diagnosis of wide QRS complex tachycardia. *Eur Heart J*. 2007;28(5):589–600. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl473
9. DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*. 1988;44(3):837–845.
10. Hanley JA, McNeil BJ. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*. 1982;143(1):29–36. DOI: 10.1148/radiology.143.1.7063747
11. Hanley JA, Hajian-Tilaki KO. Sampling variability of non-parametric estimates of the areas under receiver operating characteristic curves: an update. *Acad Radiol*. 1997;4(1):49–58. DOI: 10.1016/s1076-6332(97)80161-4
12. Hilgers RA. Distribution-free confidence bounds for ROC curves. *Methods Inf Med*. 1991;30(2):96–101.
13. Friendly M. Corgrams: Exploratory Displays for Correlation Matrices. *The American Statistician*. 2002;56(4):316–324. DOI: 10.1198/000313002533
14. Dunn OJ. Multiple Comparisons among Means. *Journal of the American Statistical Association*. 1961;56(293):52–64. DOI:10.1080/01621459.1961.10482090
15. Auricchio A, Fantoni C, Regoli F, et al. Characterization of left ventricular activation in patients with heart failure and left bundle-branch block. *Circulation*. 2004;109(9):1133–1139. DOI: 10.1161/01.CIR.0000118502.91105.F6
16. Fantoni C, Kawabata M, Massaro R, et al. Right and left ventricular activation sequence in patients with heart failure and right bundle branch block: a detailed analysis using three-dimensional non-fluoroscopic electroanatomic mapping system. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2005;16(2):112–119; discussion 120–121. DOI:10.1046/j.1540-8167.2005.40777.x
17. Tan NY, Witt CM, Oh JK, Cha YM. Left Bundle Branch Block: Current and Future Perspectives. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2020;13(4):e008239. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.008239
18. Vijayaraman P, Panikkath R, Mascarenhas V, Bauch TD. Left bundle branch pacing utilizing three dimensional mapping. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2019;30(12):3050–3056. DOI:10.1111/jce.14242.
19. Geselowitz DB. Dipole theory in electrocardiography. *Am J Cardiol*. 1964;14:301–306. DOI: 10.1016/0002-9149(64)90072-4
20. Versaci M, Angiulli G, La Foresta F. A Modified Heart Dipole Model for the Generation of Pathological ECG Signals. *Computation*. 2020;8(4):92. DOI: 10.3390/computation8040092

21. Westwood JD. *Medicine meets virtual reality 17: NextMed design for the well being*. Amsterdam, Washington DC: IOS Press; 2009. P. 477.
22. Vereckei A, Duray G, Szénási G, et al. New algorithm using only lead aVR for differential diagnosis of wide QRS complex tachycardia. *Heart Rhythm*. 2008;5(1):89–98. DOI: 10.1016/j.hrthm.2007.09.020
23. Jastrzebski M, Sasaki K, Kukla P, et al. The ventricular tachycardia score: a novel approach to electrocardiographic diagnosis of ventricular tachycardia. *Europace*. 2016;18(4):578–584. DOI: 10.1093/europace/euv118
24. Chen Q, Xu J, Gianni C, et al. Simple electrocardiographic criteria for rapid identification of wide QRS complex tachycardia: The new limb lead algorithm. *Heart Rhythm*. 2020;17(3):431–438. DOI: 10.1016/j.hrthm.2019.09.021
25. Jastrzebski M, Kukla P, Czarnecka D, Kawecka-Jaszcz K. Comparison of five electrocardiographic methods for differentiation of wide QRS-complex tachycardias. *Europace*. 2012;14(8):1165–1171. DOI: 10.1093/europace/eus015
26. Kaiser E, Darrieux FCC, Barbosa SA, et al. Differential diagnosis of wide QRS tachycardias: comparison of two electrocardiographic algorithms. *Europace*. 2015;17(9):1422–1427. DOI: 10.1093/europace/euu354
27. Baxi RP, Hart KW, Vereckei A, et al. Vereckei criteria as a diagnostic tool amongst emergency medicine residents to distinguish between ventricular tachycardia and supra-ventricular tachycardia with aberrancy. *Journal of Cardiology*. 2012;59(3):307–312. DOI: 10.1016/j.jcc.2011.11.007
28. Szelényi Z, Duray G, Katona G, et al. Comparison of the "real-life" diagnostic value of two recently published electrocardiogram methods for the differential diagnosis of wide QRS complex tachycardias. *Acad Emerg Med*. 2013;20(11):1121–1130. DOI: 10.1111/acem.12247
29. Medvedev MM, Parizhskiy AB. Why "don't work" electrocardiographic algorithms for differential diagnostics of wide QRS tachycardia. *Journal of Arrhythmology*. 2020;27(2):54–66. DOI: 10.35336/VA-2019-3-48-56
30. Vereckei A, Miller JM. Classification of pre-excited tachycardias by electrocardiographic methods for differentiation of wide QRS-complex tachycardias. *Europace*. 2012;14(11):1674; author reply 1674–1675. DOI:10.1093/europace/eus110
31. EGISU NIOKTR (Unified State information system for accounting the results of research, development and technological work) [Internet]. Sozdanie algoritmov vedeniya patsientov s narusheniyami ritma serdtsa s primeneniem tekhnologii obyasnimogo iskusstvennogo intellekta pri analize bolshikh dannykh (big data), poluchennykh s pomoshch'yu telemetricheskikh metodov. Registration number 123021000126-0. Almazov National Medical Research Centre. 2023. (In Russ.). [cited 2023 April 11]. Available from: <https://rosrid.ru/nioktr/detail/18QYKT1WFLZRDAIM06P301DI>

ОБ АВТОРАХ

***Михаил Петрович Чмелевский**, старший научный сотрудник; eLibrary SPIN: 6445-1447; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-4437>; e-mail: boxmch@gmail.com

Мargarita Александровна Буданова, научный сотрудник; eLibrary SPIN: 1890-7821; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7189-8773>; e-mail: budanovamargarita@gmail.com

Данила Александрович Степанов, младший научный сотрудник; eLibrary SPIN: 9013-5135; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7032-8800>; e-mail: daniel36611b@gmail.com

Ekaterina Сергеевна Жабина, научный сотрудник; eLibrary SPIN: 5964-5382; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9001-8743>; e-mail: zhabina-ekaterina@mail.ru.

Татьяна Эдуардовна Тулицева, старший научный сотрудник; eLibrary SPIN: 6076-0246; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6843-302X>; e-mail: tulinta@mail.ru

AUTHORS INFO

***Mikhail P. Chmelevsky**, senior scientific researcher; eLibrary SPIN: 6445-1447; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-4437>; e-mail: boxmch@gmail.com

Margarita A. Budanova, scientific researcher; eLibrary SPIN: 1890-7821; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7189-8773>; e-mail: budanovamargarita@gmail.com

Danila A. Stepanov, junior scientific researcher; eLibrary SPIN: 9013-5135; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7032-8800>; e-mail: daniel36611b@gmail.com

Ekaterina S. Zhabina, PhD, scientific researcher; eLibrary SPIN: 5964-5382; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9001-8743>; e-mail: zhabina-ekaterina@mail.ru

Tatiana E. Tulintseva, PhD, senior scientific researcher; eLibrary SPIN: 6076-0246; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6843-302X>; e-mail: tulinta@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author