

Содержание

Участники издания	6
Предисловие	7
Список сокращений	10
1. Терминология	12
2. История векторного представления электрического поля сердца	14
3. Вычислительная векторэлектрокардиография	26
3.1. Принципы цифровой электрокардиографии	26
3.2. Основная вычислительная процедура получения векторэлектрокардиограммы	29
3.3. Вычислительное преобразование электрокардиограммы в векторэлектрокардиограмму	34
3.4. Наиболее распространенные матрицы преобразования	35
3.4.1. Отведения Франка, матрица Kors	35
3.4.2. Отведения Франка, обратная матрица Dower	35
3.4.3. Отведения Франка, матрицы Guillem	36
3.4.4. Отведения Франка, матрица van Bommel (Willems)	37
3.4.5. Отведения Франка, матрица Edenbrandt	37
3.4.6. Отведения МакФи–Парунгао	38
3.4.7. Квазиортогональные преобразования	38
3.4.8. Система отведений EASI	39
3.5. Иные подходы к реконструкции ортогональных отведений	41
4. Качественный и количественный анализ векторэлектрокардиограммы	45
4.1. Системы координат для анализа показателей векторэлектрокардиограммы	45
4.2. Основные количественные показатели ортогональной электрокардиограммы	47
4.3. Параметры петель векторэлектрокардиограммы	48
4.4. Интегральные векторы и желудочковый градиент	50
4.5. Пространственный угол между векторами <i>QRS</i> и <i>T</i>	53
4.6. Показатели планарности петли <i>QRS</i>	55
4.7. Скоростные показатели петель <i>QRS</i> и <i>T</i>	57
4.8. Соотношение количественных показателей векторэлектрокардиограмм в разных системах отведений	59

5. Клинический анализ векторэлектрокардиограммы	61
5.1. Векторэлектрокардиограмма в норме	61
5.2. Концепция глобальной электрической гетерогенности миокарда	62
5.2.1. Оценка желудочкового градиента	63
5.2.2. Оценка пространственного угла $\angle sQRS-T$	65
5.2.3. Индекс планарности пространственной петли QRS	68
5.2.4. Скорость трассировки петель QRS и T	69
5.3. Процесс анализа и описания векторэлектрокардиограммы	70
6. Гипертрофия левого желудочка	72
6.1. Новая парадигма электрокардиографической диагностики гипертрофии левого желудочка	72
6.2. Векторкардиограмма при гипертрофии левого желудочка	73
6.3. Количественные критерии гипертрофии левого желудочка	75
6.4. Особенности пациентов с артериальной гипертензией с ложноположительными заключениями о наличии гипертрофии левого желудочка	75
6.5. Значение пространственного угла $QRS-T$ для оценки тяжести поражения сердца у пациентов с артериальной гипертензией	78
6.6. Ассоциации пространственного угла $QRS-T$ с клиническими, лабораторными и эхокардиографическими показателями у больных артериальной гипертензией	85
6.7. Особенности вычислительной векторэлектрокардиограммы у больных гипертонической болезнью, осложненной хронической сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса левого желудочка	87
6.8. Показатели вычислительной векторэлектрокардиографии у больных с аортальным стенозом	92
7. Гипертрофия правого желудочка	96
7.1. Изменения формы вычислительной векторэлектрокардиограммы при гипертрофии правого желудочка	96
7.2. Количественные критерии гипертрофии правого желудочка для ортогональной ЭКГ и вычислительной векторэлектрокардиограммы	98
7.3. Особенности вычислительной векторэлектрокардиограммы при разных формах прекапиллярной легочной гипертензии	99
7.4. Использование вычислительной векторэлектрокардиографии при динамическом наблюдении за пациентами с легочной гипертензией	101
8. Инфаркт, повреждение и ишемия миокарда на векторэлектрокардиограмме	104
8.1. Патологические механизмы изменений ЭКГ при некрозе и ишемии миокарда	104
8.2. Векторэлектрокардиограмма у больных инфарктом миокарда	110

8.3. Пространственный угол $QRS-T$ при хронической ишемической болезни сердца	116
9. Векторэлектрокардиография в выявлении пациентов с низкой фракцией выброса левого желудочка	119
9.1. Выявление подозрения на хроническую сердечную недостаточность в популяции при анализе векторэлектрокардиограммы . .	120
9.2. Выявление систолической дисфункции левого желудочка у пациентов с ишемической болезнью сердца	127
9.3. Показатели вычислительной векторэлектрокардиографии и параметры сократительной функции, деформации и работы миокарда	131
Заключение	137
А. Медицинские изделия с реализованной в них векторэлектрокардиографией	142
Б. Административные и организационные аспекты внедрения векторэлектрокардиографии	145
Список литературы	146

Предисловие

Учебно-методическое пособие суммирует более чем 40-летний опыт лаборатории ЭКГ отдела новых методов диагностики Института клинической кардиологии им. акад. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России в области разработки и применения методов анализа ортогональной, векторной и пространственной визуализации электрического поля сердца.

Термин «**векторкардиограмма**» (син. *векторэлектрокардиограмма*) определен в словарях как «проекция на плоскость кривой, описываемой в пространстве концом суммарного вектора электродвижущих сил, возникающих при деполяризации и реполяризации миокарда в процессе сердечного цикла»¹.

Данное издание призвано восполнить пробел специальной медицинской и учебно-методической литературы в области вычислительной векторэлектрокардиографии на русском языке. Монографии З.З. Дорофеевой [14], М.Б. Тартаковского [44], Ю.М. Балы и соавт. [5], М.И. Кечкера [19], В.И. Маколкина [22] были изданы в 1960-х — начале 1970-х годов, до широкого внедрения цифровых методов обработки векторкардиограммы. Эти публикации представляют, с точки зрения описанных в них технологий, исторический интерес, не отражая текущего, вычислительного, уровня реализации векторкардиограммы в современной векторкардиографической технике. В дальнейшем публикации по векторкардиографии на русском языке были представлены весьма лаконичными разделами в руководствах по кардиологии и по функциональной диагностике, например [6; 7; 21], либо журнальными статьями, посвященными частным вопросам применения векторкардиографии при решении диагностических задач, без систематического освещения многих аспектов темы. Несколько серьезных монографий, среди которых выделяется книга Л.И. Титомира и словацких коллег [45], а также другие публикации Л.И. Титомира посвящены теоретическим аспектам исследования и визуализации электрического поля сердца, но не клиническому применению метода.

Главы 1–4 посвящены истории, технике и общим принципам анализа вычислительных ортогональных и векторных векторкардиограмм. Глава 3 содержит некоторое количество сведений из векторной и матричной алгебры, для восприятия которых достаточно школьного курса математики. Эти сведения необходимы для понимания процедур получения ортогональных и векторных векторкардиограмм и способов оценки получаемых параметров. Они могут

¹ Энциклопедический словарь медицинских терминов: в 3 т. Около 60 000 терминов. Т. 1 / Гл. ред. Б.В. Петровский. М.: Советская энциклопедия, 1982. 464 с.

Энциклопедический словарь медицинских терминов. Издание 2-е в 1 т. 50 374 термина / Гл. ред. В.И. Покровский. М.: Медицина, 2001. 960 с

быть пропущены при ознакомительном чтении руководства, но их понимание исключительно важно для полноценного владения методом.

В главе 5 приведены общие сведения о принципах клинического использования современных критериев оценки векторных представлений электрокардиограмм, расширяющих традиционные горизонты электрокардиографической диагностики. Главы 6–9 включают литературный и собственный авторский материал о некоторых наиболее показательных и успешных клинических применениях метода. Книга содержит довольно подробный библиографический указатель из 266 источников.

Несмотря на некоторые черты научной коллективной монографии, книга задумана и написана как *цельное* учебно-методическое пособие для самостоятельного изучения или для использования в учебном процессе дополнительного профессионального образования врачей: кардиологов и функционалистов. Учебный характер издания заложен в структуре, стилистике изложения и последовательности подачи материала, подробном описании методических основ метода, в наличии вопросов для оценки усвоения материала в каждой из глав. Авторы уверены, что знакомство с возможностями современной вычислительной векторкардиографии, которая может быть получена без дополнительных затрат времени на регистрацию исходного сигнала, расширяет кругозор специалистов и может быть применено и в повседневной клинической работе по интерпретации электрокардиограмм.

Главы 1–4, предисловие и заключение написаны Д.В. Дроздовым при участии Е.В. Блиновой и Т.А. Сахновой (главы 2, 4), И.Л. Козловской (главы 3, 4) и Е.Ш. Кожемякиной (глава 3). Главы 5–9, включая подбор клинических наблюдений и иллюстраций к ним, написаны Т.А. Сахновой, Е.В. Блиновой. Д.В. Дроздов также осуществил общую научную редактуру всех глав, сбор и оформление материала приложений.

Эта книга во многом опирается на наследие проф. Г.В. Рябыкиной, в течение многих лет руководившей лабораторией ЭКГ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, и трудившегося в лаборатории на протяжении почти полувека д-ра техн. наук А.В. Соболева. Галина Владимировна стояла у истоков цифровизации электрокардиографической диагностики в Кардиоцентре, без ее системного вклада в этот процесс развитие вычислительных методов векторкардиографии и внедрение их в рутинную практику не состоялось бы или заметно замедлилось. Александр Владимирович обладал широчайшим кругозором, предложил и реализовал с коллегами ряд оригинальных методов анализа электрокардиограммы и векторэлектрокардиограммы, в частности, долевого принцип построения разделяющих диагностических функций. Хотя они не смогли принять участие в работе над этим изданием, их вклад неоспорим, а идеи во многом задали вектор развития исследований в области векторэлектрокардиографии, отраженный на страницах книги.

Выражаем искреннюю признательность руководителю отдела новых методов диагностики проф. А.Н. Рогозе за поддержку, внимание к деталям и помощь в организации работы по цифровизации электрокардиографических исследований. К сожалению, нет возможности поименно перечислить всех кол-

лег в Кардиоцентре, которые в разной степени оказывали содействие и проявляли интерес к нашей работе.

Авторы искренне благодарят В.Г. Трунова и Э.А.-И. Айду, сотрудников Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, за многолетнее плодотворное сотрудничество с лабораторией ЭКГ, результатами которого стали значительное количество совместных публикаций и разработка метода вычислительной реконструкции ортогональных отведений по МакФи–Парунгао [40; 108]. Среди коллег, которые используют вычислительную векторкардиографию в своей работе и продуктивные дискуссии с которыми дают большой импульс развитию нашей работы, хотелось бы с благодарностью персонально упомянуть Г.А. Муромцеву (Москва) и проф. Ю.Э. Терегулова (Казань).

С благодарностью отмечаем А.Ю. Юровского и его сотрудников из ООО «Атес Медика Софт», которые внесли существенный вклад в становление и использование вычислительной векторэлектрокардиографии в исследованиях Лаборатории. Большинство иллюстраций к клиническим примерам являются снимками экрана программы «EASY ECG», разработанной ООО «Атес Медика Софт».

Мы благодарим дизайнера А.М. Зимину за подготовку и обработку значительного количества иллюстраций в этой книге.

Необходимо подчеркнуть, что вычислительная векторкардиография не требует дополнительных затрат времени при регистрации сигнала, все вычисления выполняются без участия оператора и тоже не требуют затрат времени. А умение анализировать, хотя бы и визуально, форму векторных петель часто позволяет улучшить качество и полноту диагностики, особенно в сложных для оценки случаях. Примерами таких ситуаций могут быть сочетания гипертрофии или дилатации камер сердца с полной или неполной блокадой ножек пучка Гиса.

В настоящее время вычислительная векторэлектрокардиография реализована в ряде зарегистрированных в РФ медицинских изделий, и им можно активно пользоваться для диагностических целей. Информация о некоторых зарегистрированных медицинских изделиях с такой функцией приведена в приложении А.

Авторы уверены, что представление о возможностях вычислительной векторэлектрокардиографии будет полезно врачам функциональной диагностики и кардиологам, а также другим специалистам в области электрокардиографии.

*Д.В. Дроздов
Москва, сентябрь 2025 г.*

1. Терминология

В книге рассматривается и будет применяться термин «**вычислительная векторэлектрокардиография**» (вЭКГ). Наиболее существенными аргументами для использования именно этого термина являются:

- определение «*вычислительный*» однозначно указывает на процедуру получения ортогональных отведений электрокардиограммы (ЭКГ) для их дальнейшего представления, анализа, обработки;
- «*вектор*» указывает на применение векторной пространственной визуализации электрического вектора сердца в разные моменты сердечного цикла и специфических для такого представления параметров векторных петель и пороговых значений для оценивания изменений ЭКГ;
- «*электрокардиография*» подразумевает, что в качестве исходного сигнала используется традиционная ЭКГ в 12 общепринятых отведениях (ЭКГ12).

Поскольку вычислительный способ получения ортогональных отведений ЭКГ и векторкардиограммы (ВКГ) в настоящее время является доминирующим, для краткости ниже далеко не всегда будет использовано определение «*вычислительная*». По сути, этот способ получения ортогональных отведений ЭКГ (ЭКГ3) сейчас стал основным, и, по-видимому, уже не требуется специального дополнительного уточнения.

Строчная буква в начале используемого сокращения «вЭКГ» указывает на доминирование именно традиционной ЭКГ12 в формировании вЭКГ.

По сути, вЭКГ является дополнительным, хотя и весьма обширным по подходам и возможностям, методом визуализации и анализа традиционной ЭКГ12.

Вместе с тем в литературе можно встретить и другие термины, которые связаны с процессом получения и анализа вЭКГ. Это может ввести в заблуждение и создать прецеденты ошибочных обобщений вследствие смешения понятий.

Например, ортогональные отведения ЭКГ3, полученные из ЭКГ12, часто называют *синтезированными*, используя дословный перевод с английского *synthesized*. Очевидно, в данном случае дословный перевод оказывается не самым удачным, поскольку слово «*синтез*» в русском языке имеет иные смысловые оттенки, относящиеся к методологии научного познания (анализ и синтез, синтез как обобщение) или к химическим процессам получения сложных веществ соединением более простых молекул.

Для описания процесса вычислительного преобразования систем отведения G. Dower [109; 117] активно использовал термин *delivering*, который в контексте его работ лучше всего отражает перевод «*получение*». J. Kors [162; 201] часто использовал термин *reconstruction*, наиболее удачный перевод которого, по-видимому, «*реконструкция*» или «*восстановление*», «*воспроизведение*». Этот же термин применяется при описании получения ЭКГ12 из системы EASI (см. с. 39). Как видим, общей терминологии пока не устоялось.

Некоторые авторы и сейчас употребляют термин «*векторкардиография*» без уточнения «*электро-*» к современной процедуре вычислительного получения ЭКГ3. В ис-

торическом аспекте этот термин имеет иное содержание, а именно относится к отображению сигнала на плоскости, координатные оси которой задаются отведениями ЭКГ, специально зарегистрированными для этой цели (см. следующую главу).

Таким образом, чтобы подчеркнуть различие процедур регистрации и обработки, мы используем термин «вЭКГ» — *вычислительная векторэлектрокардиография*. Ниже мы будем различать вЭКГ — современный метод пространственной визуализации суммарного сердечного вектора (ССВ) путем реконструкции 12 общепринятых отведений — и ВКГ как исторический способ формирования векторных петель сердечного цикла при регистрации специальных систем отведений.

Также необходимо отметить, что с точки зрения съема сигнала с пациента, получение вЭКГ, в отличие от «классической» ВКГ, для получения которой необходимы специальные схемы наложения электродов, ничем не отличается от регистрации «обычной» ЭКГ12: электроды накладываются по общепринятой схеме на конечности и грудную клетку, не проводится регистрация дополнительных или специальных отведений и т. п., что является ее преимуществом.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Перечислите аргументы в пользу термина «*вычислительная векторэлектрокардиография*».
2. В чем отличие ВКГ и вЭКГ?
3. Почему дословный перевод «синтезированные отведения» неудачен?

6. Гипертрофия левого желудочка

6.1. Новая парадигма электрокардиографической диагностики гипертрофии левого желудочка

Несмотря на наличие более 30 ЭКГ-критериев ГЛЖ [66], чувствительность ЭКГ в выявлении ГЛЖ остается низкой, и, кроме того, неоднократно продемонстрировано, что ЭКГ-критерии ГЛЖ имеют низкие коэффициенты корреляции с массой миокарда левого желудочка (ММЛЖ) [211]. Также нельзя исключить, что широкое и часто необоснованное использование фильтрации ЭКГ приводит к снижению чувствительности амплитудных (вольтажных) критериев ГЛЖ [15].

В то же время накоплен большой фактический материал о важном независимом прогностическом значении ЭКГ-признаков ГЛЖ в отношении заболеваемости и смертности от ССЗ [211].

Международная группа экспертов в 2010 г. сформулировала новую концептуальную модель ЭКГ-диагностики ГЛЖ. В нескольких заявлениях, опубликованных этой группой, подчеркивается, что у больных АГ ЭКГ отражает не только структурные, анатомические изменения миокарда, но и протекающие в нем процессы электрического ремоделирования. В связи с этим интерпретация ЭКГ с подозрением на ГЛЖ должна быть направлена не на предсказание увеличения ММЛЖ, а на более точную оценку патофизиологических процессов, протекающих в миокарде, и прогнозирование возможных клинических исходов [214; 227; 232].

В 2023 г. был опубликован консенсус экспертов ISE/ISHNE¹ по ЭКГ-диагностике ГЛЖ [160], в котором еще раз подчеркивались недостатки классической парадигмы ЭКГ-диагностики ГЛЖ, основанной на вольтажных критериях.

Различные клинические состояния, связанные с ГЛЖ, могут вызывать разнообразные изменения электрических свойств миокарда, что приводит к различным изменениям комплекса *QRS*. Спектр изменений комплекса *QRS*, наблюдаемых у пациентов с ГЛЖ, весьма широк и может включать отклонение электрической оси сердца влево, блокаду передней ветви левой ножки пучка Гиса, неполную и полную БЛНПГ, формирование зубцов *Q* и фрагментацию комплекса *QRS*. Важно отметить, что, несмотря на увеличение ММЛЖ, комплекс *QRS* может оставаться в пределах нормы [103]. Новая парадигма подчеркивает, что роль ЭКГ заключается не в оценке размера левого желудочка при ГЛЖ, а в понимании основных электрофизиологических процессов, которые имеют решающее значение в отношении оценки сердечно-сосудистого риска.

¹ ISE/ISHNE — International Society of Electrocardiology и International Society for Holter Monitoring and Noninvasive Electrocardiology — Международное общество электрокардиологии и Международное общество холтеровского мониторирования и неинвазивной электрокардиологии. *Прим. авт.*

При формировании ГЛЖ в миокарде происходят существенные структурные изменения. Наблюдается увеличение кардиомиоцитов, ремоделирование целевых контактов и внеклеточного матрикса, включая диффузный и локализованный фиброз, появление областей воспаления. Дисбаланс между увеличенной ММЛЖ и кровоснабжением его может привести к развитию ишемии с дополнительным последующим повреждением миокарда. Изменения электрических свойств включают изменения формы и продолжительности потенциала действия, скорости проведения. Электрические свойства гипертрофированного миокарда различаются в зависимости от типа и тяжести гипертрофии, а также степени неоднородности структурных изменений, влияющих на генерацию и распространение импульса [78].

В идеале клиническая интерпретация должна использовать данные методов визуализации и изменения ЭКГ в качестве взаимодополняющей информации. Более глубокое понимание патофизиологических изменений при ГЛЖ потенциально может улучшить понимание связи изменений ЭКГ с развитием желудочковых аритмий и сердечной недостаточности, привести к более индивидуальному и целенаправленному назначению терапии и контролю ее эффективности.

Изменения ЭКГ, связанные с ГЛЖ, представляют собой маркеры измененных электрических свойств миокарда; они напрямую связаны с риском развития желудочковых аритмий и ухудшением сократительной способности левого желудочка. По мнению некоторых исследователей, в будущем сочетание оценки ММЛЖ по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) и изменений ЭКГ, связанных с ГЛЖ (амплитуда QRS , положение электрической оси сердца, наличие БЛНПГ, удлинение интервала $Q-T$, изменения $ST-T$), сможет быть использовано для разработки новых шкал сердечно-сосудистого риска.

При оценке вольтажных критериев ГЛЖ на конкретной ЭКГ необходимо учитывать и другие факторы, которые могут влиять на амплитуду комплекса QRS , а именно возраст, пол, расу пациента, ИМТ [115], и экстракардиальные факторы: эмфизему легких, гидроторакс, пневмоторакс и др. [66]; параметры фильтрации ЭКГ [15].

6.2. Векторкардиограмма при гипертрофии левого желудочка

При ГЛЖ петля QRS имеет ровный контур и увеличенный размер. В большинстве случаев она удлиненная. Начальные векторы имеют тенденцию смещаться влево, вперед и вниз. Основная часть петли QRS находится в левом заднем нижнем октанте. Конечная часть направлена назад. Продолжительность QRS немного увеличена. Тем не менее, в неосложненных случаях речь не идет о нарушении внутрижелудочкового проведения, что видно по скорости вектора. Максимальный вектор QRS направлен влево назад и обычно вниз. Его появление обычно несколько запаздывает, особенно при выраженной ГЛЖ.

Петля QRS в горизонтальной плоскости при ГЛЖ длиннее и уже, чем в норме. Ее размер увеличен. Направление записи, как и в норме, против часовой стрелки. Иногда, особенно при тяжелых формах ГЛЖ, петля QRS записывается в виде восьмерки. Изредка QRS записывается по часовой стрелке. Начальные векторы направлены вперед и влево. В результате этого начальная часть петли QRS непосредственно переходит в ее эфферентную часть. В редких случаях начальные векторы могут быть направлены назад. Основная часть петли QRS находится в левом заднем квадранте и лежит в большей степени сзади, чем в норме. Конечная часть часто также направлена влево и назад, являясь непосредственным продолжением афферентной части.

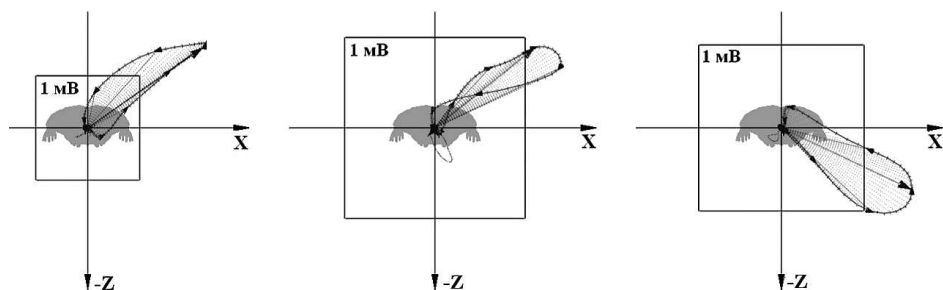


Рис. 25. Векторэлектрокардиограмма в горизонтальной плоскости при разных вариантах гипертрофии левого желудочка

Детальное описание вариантов петель *QRS* дано в тексте.

Максимальный вектор *QRS* направлен влево и назад. Время появления максимального вектора *QRS* — 0,05 с от начала *QRS* и больше.

В правой сагиттальной плоскости начальные векторы *QRS* направлены вперед и вниз, петля записывается по часовой стрелке, иногда в форме восьмерки и находится в нижнем заднем квадранте. Конечные моментные векторы направлены вверх.

Во фронтальной плоскости начальные векторы направлены влево и вниз, основная часть петли занимает более горизонтальное, чем в норме, положение, афферентная часть смещена вверх, в результате чего *QRS* записывается против часовой стрелки и становится шире, чем в норме. Конечная часть *QRS* направлена влево и вверх, являясь непосредственным продолжением афферентной части.

В горизонтальной плоскости могут регистрироваться разные варианты петли *QRS* (рис. 25):

- овальная или удлинённая петля с записью против часовой стрелки и моментным вектором 0,02 с, направленным вперед и влево;
- петля *QRS* в форме восьмерки, с записью проксимальной части против часовой стрелки и дистальной части по часовой стрелке и моментным вектором 0,02 с, направленным вперед влево;
- петля *QRS* с записью против часовой стрелки, направленная преимущественно вперед.

При ГЛЖ петля *QRS* заканчивается в точке, расположенной справа, спереди и сверху от ее начала. Таким образом, вектор *ST* направлен противоположно *QRS*, его амплитуда часто увеличена. В плоскостных проекциях вектор *ST* направлен вправо и вперед в горизонтальной плоскости, вперед и вверх — в правой сагиттальной, вправо и вверх — во фронтальной.

Петля *T* часто удлинена, но может быть широкой. При большом векторе *ST* она может быть незамкнута. При ГЛЖ, в отличие от нормы, петля *T* смещается вперед вправо и вверх. В тяжелых случаях она противоположна *QRS* и параллельна *ST*. Начальная часть петли *T* записывается медленно, направление записи может быть любым. Угол между максимальными векторами *QRS* и *T* приближается к 180°.

6.3. Количественные критерии гипертрофии левого желудочка

Показатель $R_x + S_z$

По логике и способу расчета, диагностической значимости является аналогом критерия Соколова–Лайона на ЭКГ12. Сумма значений амплитуды зубца R в отведении X и зубца S в отведении Z (больше 2,7 мВ) является одним из эффективных дифференциально-диагностических критериев в диагностике ГЛЖ. Пример см. на рис. 15 на с. 48, слева.

Модуль максимального вектора петли QRS

Показатель $\max QRS$ получают путем определения максимального из всех значений модулей моментных векторов петли QRS (см. с. 45, где приведен расчет модуля моментного вектора). Измеряется в милливольтгах (мВ). При развитии ГЛЖ значение параметра увеличивается до 1,8 мВ и больше.

6.4. Особенности пациентов с артериальной гипертензией с ложноположительными заключениями о наличии гипертрофии левого желудочка

В свете новой парадигмы ГЛЖ особый интерес представляют случаи ложноположительных и ложноотрицательных ЭКГ-заключений о наличии ГЛЖ, так как их тщательный анализ может способствовать более глубокому пониманию механизмов, влияющих на вольтаж ЭКГ у больных АГ.

Было обследовано 140 больных АГ, средний возраст — $59,8 \pm 12,0$ лет, 33,6% мужчин [27]. Анализировали критерий Соколова–Лайона, Корнельское произведение, сумму амплитуд зубца R в отведении X и зубца S в отведении Z и $\max QRS$. ММЛЖ вычислялась по формуле ASE.

Клинические значения систолического артериального давления (АД) составили 144 [130; 157] мм рт.ст., диастолического — 86 [80; 90] мм рт.ст.

На момент поступления в стационар 30 (21,4%) больных не принимали антигипертензивную терапию, 33 (23,6%) находились на монотерапии и 77 (55%) получали комбинированную антигипертензивную терапию.

Избыточная масса тела (ИМТ — 25 кг/м^2 и больше) имела у 118 (84%) пациентов; при этом у 65 (46%) больных присутствовало ожирение (ИМТ — 30 кг/м^2 и больше). В связи с этим при анализе ЭхоКГ показателей проводилась индексация ММЛЖ не только на площадь поверхности тела (ППТ), но и на рост в степени 2,7. Частота ГЛЖ в изучаемой группе с использованием различных критериев представлена в табл. 4.

В дальнейшем критериями ГЛЖ считались $\text{ММЛЖ}/\text{рост}^{2,7}$ больше $44 \text{ г/м}^{2,7}$ у женщин и больше $48 \text{ г/м}^{2,7}$ у мужчин.

У больных с увеличенным индексом $\text{ММЛЖ}/\text{рост}^{2,7}$ ЭКГ-критерии ГЛЖ превышали нормальные значения в 18 (27%) случаях, в ЭКГ-критерии ГЛЖ — в 24 (36%). У больных с нормальными значениями индекса $\text{ММЛЖ}/\text{рост}^{2,7}$ ЭКГ-критерии ГЛЖ превышали нормальные значения в 10 (14%) случаях, в ЭКГ-критерии ГЛЖ — в 29 (40%) случаях.

Таблица 4. Частота выявления гипертрофии левого желудочка в зависимости от метода и порога

Показатель	Порог	n	Доля, %
$SV_1 + RV_5 / v_6$	>3,5 мВ	5	3,6
$(SV_3 + R_{aVL}) \cdot QRS_d$	>244 мВ·мс	24	17
$R_X + S_Z$	>2,7 мВ	41	29
maxQRS	>1,8 мВ	44	31
ММЛЖ	>162 г (Ж) >224 г (М)	73	52
ММЛЖ/ППТ	>95 г/м ² (Ж) >115 г/м ² (М)	39	28
ММЛЖ/рост ^{2,7}	>44 г/м ^{2,7} (Ж) >48 г/м ^{2,7} (М)	67	48

Примечание. ППТ — площадь поверхности тела.

Среди пациентов с ложно положительными вЭКГ-заключениями о наличии ГЛЖ по сравнению с истинно отрицательными вЭКГ-заключениями о наличии ГЛЖ было больше мужчин (55% и 27%, $p < 0,05$); был выше уровень систолического АД (146 ± 23 и 137 ± 16 мм рт.ст., $p < 0,05$); чаще встречалась диастолическая дисфункция (90% и 68%, $p < 0,05$); была больше длительность QRS (100 ± 8 мс и 95 ± 8 мс, $p < 0,05$). Также отмечалась тенденция к большей величине конечного диастолического размера (КДР) левого желудочка ($5,04 \pm 0,37$ и $4,89 \pm 0,32$ см, $p < 0,1$) и к приему меньшего числа антигипертензивных препаратов (1,06 [0; 2] и 1,61 [1; 3], $p < 0,1$).

Показатель $R_X + S_Z$ имел умеренные прямые достоверные корреляции с ММЛЖ, ММЛЖ/ППТ, ММЛЖ/рост^{2,7}, КДР, длительностью QRS, систолическим АД (г от 0,3 до 0,4; $p < 0,01$) и слабую прямую достоверную корреляцию с диастолическим АД ($r=0,2$; $p=0,01$). Показатель maxQRS имел умеренные прямые достоверные корреляции с ММЛЖ/ППТ и QRS_d ($r=0,3$; $p < 0,01$) и слабую прямую достоверную корреляцию с ММЛЖ ($r=0,2$; $p=0,01$).

Показатели $R_X + S_Z$ и maxQRS достоверно отличались у пациентов с наличием (112 больных) и отсутствием (28 больных) диастолической дисфункции левого желудочка: $R_X + S_Z$ $2,44 \pm 0,63$ и $2,13 \pm 0,62$ мВ соответственно; $p=0,02$; maxQRS $1,74 \pm 0,45$ и $1,53 \pm 0,35$ мВ, соответственно; $p=0,02$.

Показатели $R_X + S_Z$ и maxQRS позволяли разделять группы больных с наличием и отсутствием диастолической дисфункции левого желудочка. При выявлении больных с диастолической дисфункцией левого желудочка пороговое значение $R_X + S_Z$ больше 2,45 мВ имело чувствительность 41% и специфичность 82% (площадь под ROC-кривой $0,65 \pm 0,05$); пороговое значение maxQRS > 1,76 мВ имело чувствительность 42% и специфичность 79% (площадь под ROC-кривой $0,63 \pm 0,05$). Кроме того, показатель $R_X + S_Z$ позволял разделять группы больных с САД больше и меньше 140 мм рт.ст. Пороговое значение $R_X + S_Z$ больше 2,59 мВ при выявлении больных с САД больше 140 мм рт.ст. имело чувствительность 42% и специфичность 85% (площадь под ROC-кривой — $0,67 \pm 0,05$).

В данной работе мы рассматривали вольтажные критерии ГЛЖ. Из вольтажных критериев ГЛЖ в популяции чаще всего превышают нормальные значения критерий Соколова–Лайона и Корнельский показатель. В популяционной когорте мужчин и женщин без явных ССЗ критерий Соколова–Лайона и/или Корнельский показатель превышали нормальные значения у 6,7% участников [112]. Чувствительность этих показателей у больных АГ, по данным разных исследований, составляет от 2 до 52% [211]. В нашей группе критерий Соколова–Лайона и/или Корнельское произведение превышали нормальные значения у 28 (20%) больных.

Известно, что вольтажные вЭКГ-критерии ГЛЖ обладают большей чувствительностью в выявлении ГЛЖ по сравнению с ЭКГ-критериями [135]. В нашей работе их чувствительность в выявлении увеличенного индекса ММЛЖ по сравнению с комбинацией критерия Соколова–Лайона и Корнельского произведения была на 9% больше, однако при этом возрастало и количество ложноположительных заключений. При этом необходимо отметить, что больные с ложноположительными вЭКГ-заключениями по сравнению с истинно отрицательными характеризовались более высокими значениями систолического АД, чаще имели диастолическую дисфункцию левого желудочка (90 и 68% соответственно). При этом у них имелась тенденция к более частому присутствию второго («псевдонормального») типа диастолической дисфункции — 9 (31%) больных с ложноположительными вЭКГ-заключениями и 5 (11%) больных с истинно отрицательными вЭКГ-заключениями, $p=0,07$. У больных с ложноположительными вЭКГ-заключениями имелась также тенденция к более высоким значениям КДР ЛЖ и к приему меньшего числа антигипертензивных препаратов.

Наши данные по диастолической функции левого желудочка согласуются с данными Ю.Э. Терегулова и соавт., которые продемонстрировали, что у больных гипертонической болезнью с нормальной геометрией левого желудочка диастолическая дисфункция достоверно чаще выявлялась при наличии ЭКГ- и вЭКГ-критериев ГЛЖ, чем при их отсутствии [36]. Сходные данные также были получены J.M. Креер [204]: у 185 пациентов (61% с АГ и 4% с ГЛЖ по данным ЭхоКГ) при многомерном логистическом регрессионном анализе с поправкой на одномерные предикторы диастолической дисфункции верхний квартиль Корнельского произведения (≥ 1595 мм·мс) был связан с 5,9-кратным увеличением шансов наличия диастолической дисфункции.

Диастолическую дисфункцию рассматривают как одно из проявлений поражения сердца у больных АГ, а также как важный фактор, приводящий к развитию сердечной недостаточности у этой категории пациентов [13]. ЭхоКГ-оценка диастолической функции является трудоемким процессом, требующим учета многих показателей, и в ряде случаев бывает сопряжена с объективными трудностями.

Механизмы взаимосвязи вЭКГ-критериев ГЛЖ с диастолической дисфункцией левого желудочка пока не ясны. Одним из механизмов развития диастолической дисфункции является фиброз миокарда, который, по данным ряда авторов, напротив, приводит к уменьшению вольтажа *QRS* [114]. Причиной увеличения вольтажа *QRS* у таких пациентов может быть замедление скорости проведения по миокарду желудочков. Также нельзя исключить, что в развитии диастолической дисфункции у них играют роль такие механизмы, как замедление расслабления левого желудочка и повышение остаточного напряжения кардиомиоцитов, однако эти вопросы требуют дальнейшего изучения.

Показатель R_x+S_z , отражающий отклонение электрического поля влево и назад, является векторкардиографическим аналогом Корнельского показателя. Поэтому наши данные об умеренных прямых корреляциях R_x+S_z с ММЛЖ и индексом ММЛЖ согласуются с данными работ, демонстрирующих подобные связи Корнельского показателя с индексом ММЛЖ.

В нашей работе больные с наличием вЭКГ-критериев ГЛЖ, как при нормальном, так и при увеличенном индексе ММЛЖ, характеризовались более высокими значениями длительности комплекса *QRS*. Возможным объяснением этого явления могут быть данные экспериментальных работ об увеличении вольтажа *QRS* при замедлении скорости проведения по миокарду желудочков [96].

Ключевые моменты

У больных АГ патологические значения вЭКГ-показателей $R_{\chi}+S_z$ и $\max QRS$ встречались достоверно чаще по сравнению с критерием Соколова–Лайона и Корнельским произведением.

Патологические значения показателей $R_{\chi}+S_z$ и $\max QRS$ встречались как при увеличенном, так и при нормальном индексе ММЛЖ.

вЭКГ-показатели позволяли разделять группы больных с наличием и отсутствием диастолической дисфункции левого желудочка, а также группы больных с нормальными и повышенными значениями систолического АД.

При наличии вЭКГ-критериев ГЛЖ у больных АГ целесообразно тщательно оценивать диастолическую функцию левого желудочка, а также контролировать уровень АД.

6.5. Значение пространственного угла $QRS-T$ для оценки тяжести поражения сердца у пациентов с артериальной гипертензией

Прогностическое значение вольтажных ЭКГ-критериев ГЛЖ в отношении общей смертности, смертности от ССЗ и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий как в общей популяции, так и у больных АГ в настоящее время подтверждено несколькими проведенными метаанализами [179; 180; 266].

В крупных исследованиях показано, что в общей популяции изменения сегмента ST и зубца T , характерные для ГЛЖ, являются сильным независимым предиктором смертности от всех причин [239], и по сравнению с другими ЭКГ-критериями ГЛЖ имеют наибольшую прогностическую силу и наиболее тесные связи с риском развития ИБС, ХСН и инсульта [157]. У пациентов с АГ в течение 10 лет наблюдения изменения сегмента ST и зубца T более чем в 2 раза увеличивали риск развития ИБС, а также были значимым предиктором развития других ССЗ [182]. С другой стороны, у больных АГ моложе 55 лет без ССЗ и сахарного диабета неспецифические минимальные изменения сегмента ST и зубца T на исходной ЭКГ при наблюдении в течение 16 лет не были связаны с повышенным риском сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности [189].

$\angle sQRS-T$ может быть использован для количественной оценки изменений сегмента ST и зубца T , характерных для ГЛЖ.

Возможности использования $\angle sQRS-T$ для оценки тяжести поражения сердца у больных АГ были оценены нами в группе 160 больных: 61 (38%) мужчины и 99 (62%) женщин в возрасте 58 [49; 67] лет, находившихся на лечении в Институте клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России (ИКК) [42]. Диагноз устанавливался согласно современным рекомендациям на основании комплексного клинико-инструментального обследования. В исследование не включались больные с ИБС, пороками сердца, а также состояниями, оказывающими значимое влияние на конфигурацию ЭКГ (блокады ножек пучка Гиса, предвозбуждение желудочков, электрокардиостимуляция желудочков).

Из историй болезни пациентов, находящихся в МИС, была отобрана для анализа следующая информация: диагноз (включая степень АГ, стадию АГ, степень общего сердечно-сосудистого риска; наличие сопутствующих церебро-vasкулярных заболеваний и сахарного диабета 2-го типа); длительность АГ, значения систолического