



УДК 616.12-008.318.1: 616.122: 611.141
DOI 10.17802/2306-1278-2025-14-1-60-73

ВЛИЯНИЕ ВАРИАНТНОЙ АНАТОМИИ ЛЕГОЧНЫХ ВЕН НА ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬ К РАЗВИТИЮ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ И ИСХОДЫ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Н.О. Бартош¹, В.А. Брюханов², В.Е. Милюков¹

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Островитянова, 1, Москва, Российская Федерация, 117997;

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119048

Основные положения

- В обзоре представлен анализ современной литературы, посвященной исследованиям вариантной анатомии легочных вен в качестве фактора, на основе которого прогнозируется предрасположенность к развитию фибрилляции предсердий, а также исход интервенционного лечения.

Резюме

В настоящем обзоре рассматривается роль вариантной анатомии легочных вен в предрасположенности к развитию фибрилляции предсердий. Обсуждается использование индивидуальной анатомии легочных вен в оценке исхода интервенционного лечения.

Ключевые слова

Фибрилляция предсердий • Вариантная анатомия легочных вен • Катетерная абляция • Рецидив ФП

Поступила в редакцию: 13.09.2024; поступила после доработки: 19.10.2024; принята к печати: 05.11.2024

THE INFLUENCE OF VARIANT ANATOMY OF THE PULMONARY VEINS ON THE SUSCEPTIBILITY TO THE DEVELOPMENT OF ATRIAL FIBRILLATION AND THE OUTCOMES OF INTERVENTIONAL TREATMENT (REVIEW)

N.O. Bartosh¹, V.A. Bryukhanov², V.E. Milyukov¹

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 1, Ostrovityanova St., Moscow, Russian Federation, 117997; ² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov" of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 8, bld. 2, Trubetskaya St., Moscow, Russian Federation, 119048

Highlights

- The review presents an analysis of the current literature on studies of variant pulmonary vein anatomy as a factor that predicts predisposition to atrial fibrillation, as well as the outcome of interventional treatment.

Abstract

This review examines the role of variant pulmonary vein anatomy in predisposition to the development of atrial fibrillation. The use of individual pulmonary vein anatomy in assessing the outcome of interventional treatment is discussed.

Keywords

Atrial fibrillation • Variant anatomy of pulmonary veins • Catheter ablation • Recurrence of AF

Received: 13.09.2024; received in revised form: 19.10.2024; accepted: 05.11.2024

Для корреспонденции: Валерий Александрович Брюханов, bryukhanov02@mail.ru, адрес: ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119048

Corresponding author: Valeriy A. Bryukhanov, bryukhanov02@mail.ru, address: 8, bld. 2, Trubetskaya St., Moscow, Russian Federation, 119048

Список сокращений

КА – катетерная абляция	ЛП – левое предсердие
ЛВ – легочные вены	ФП – фибрилляция предсердий

Введение

Среди подмножества заболеваний, связанных с нарушением ритма сердца, одним из наиболее часто встречаемых является фибрилляция предсердий (ФП), распространенность которого в общей популяции оценивается в 1–2% [1, 2]. Грозные тромбоэмболические осложнения в совокупности с увеличением заболеваемости ФП приводят к высоким медико-социальным затратам, повышению инвалидизации и смертности пациентов [3]. При этом, по данным популяционных исследований, распространенность ФП за последние 20 лет увеличилась на 30%, а к 2060 г. в Европейском союзе ожидается увеличение количества пациентов с данным диагнозом в более чем в два раза [4–6]. Авторами Фремингемского исследования сердца за 50-летний период наблюдения (с 1958 по 2007 г.) выявлено четырехкратное увеличение распространенности и трехкратный рост частоты возникновения ФП [7].

Одним из характерных осложнений данного вида аритмии является развитие кардиоэмболического инсульта, риск возникновения которого увеличивается почти пятикратно по сравнению с группой людей без нарушения сердечного ритма, что требует назначения пероральных антикоагулянтов в большинстве случаев проводимой терапии [1, 8]. Так, например, в репрезентативной выборке европейской части Российской Федерации установлено, что распространенность ФП составляет 2,04% (на момент 2017 г.) и подавляющее большинство (93,2%) пациентов нуждается в обязательном применении антикоагулянтов [9].

Согласно современным клиническим рекомендациям [1, 2], в тактике лечения ФП выделяют стратегии контроля частоты (воздержание от восстановления синусового ритма и применение ритм-урежающих препаратов) и контроля ритма (восстановление и сохранения синусового ритма).

Особый интерес представляет использование интервенционных методов лечения ФП, которые, по результатам исследования CAVANA (2022 г.), эффективнее фармакологического лечения по следующим параметрам: показатель качества жизни в течение 5 лет наблюдения (по шкале AFEQT у пациентов с длительно персистирующей формой ФП продемонстрировано значимое улучшение качества жизни на 3,1 балла (95% доверительный интервал –1,6...7,8) по сравнению только с медикаментозной

терапией) и снижение частоты возникновения первого рецидива – при длительно персистирующей форме на 36% (отношение рисков 0,64, 95% доверительный интервал 0,41–1,00), при пароксизмальной форме ФП на 51% (отношение рисков 0,49, 95% доверительный интервал 0,39, 0,62) [10].

Основным интервенционным методом лечения ФП является катетерная абляция легочных вен, принцип действия которой заключается в изоляции проводящих элементов в структуре легочных вен путем создания локальных участков фиброза. При этом стартовая терапия с использованием криобаллонной абляции приводит к меньшей частоте развития персистирующей формы аритмии (отношение рисков 1/4, 95% доверительный интервал 0,09–0,70) и в целом предсердных тахикардий в сравнении с антиаритмической лекарственной терапией [11].

Однако после катетерной абляции (КА) у значительного числа пациентов, составляющего, по данным литературы, от 30 до 50%, возникает рецидив ФП, что требует повторных и неоднократных вмешательств [12, 13].

К основным факторам, предрасполагающим к рецидивированию ФП после КА, относят женский пол, персистирующую форму ФП, увеличение размеров левого предсердия, а также наличие триггеров аритмии вне легочных вен [14, 15]. По мнению ряда авторов, основной причиной рецидивов аритмии после КА служит восстановление элементов проведения возбуждения и автоматизма в миоцитах мышечных муфт легочных вен (ЛВ), но патогенез данного явления остается до конца не изученным [16, 17].

Другим потенциальным фактором, влияющим на прогноз интервенционного лечения, может быть вариантная анатомия легочных вен, которую можно оценить с помощью современных методов лучевой диагностики. По данным современных исследований, вариантная анатомия легочных вен встречается примерно у 30% населения [18]. Таким образом, перед проведением интервенционных вмешательств целесообразно изучать анатомию легочных вен индивидуально у каждого пациента для правильного картирования области, а также определения тактики абляции. Однако в литературе можно встретить разрозненные данные о предрасположенности того или иного варианта строения легочных вен к ФП, что может иметь практическое

значение в профилактической медицине, стратификации риска, а также в прогнозировании лечения.

Цель настоящего обзора заключается в анализе результатов современных исследований, посвященных оценке влияния вариантной анатомии ЛВ на предрасположенность к развитию ФП и исходы интервенционного лечения. Выделение предрасполагающих генетических и анатомических вариантов расположения ЛВ может служить потенциальным прогностическим фактором оценки успешности лечения предсердных аритмий.

Анатомия легочных вен

Легочные вены представляют собой сосуды, которые доставляют насыщенную кислородом кровь из легких в левое предсердие [19].

В процессе эмбриогенеза в первые два месяца внутриутробного развития сосудистое русло легких образуется из спланхнического сплетения [5], которое не имеет связи с сердцем, однако соединяется с передними кардинальными и желточно-брыжеечными венами. При этом происходит формирование общей легочной вены [19, 20] и далее по мере развития эмбриона общая легочная вена соединяется с выпячиванием левого предсердия. Лишь позднее (после 8-й недели гестационного срока) возникают четыре хорошо дифференцированные легочные вены, по две из которых приходится на каждое легкое [19–22]. При образовании этого присоединения связи спланхнического сплетения, т. е. кардинальных и желточно-брыжеечных вен с предсердием, прекращают существовать (после 8-й недели гестационного срока) [19, 21].

Аномалии, возникающие в процессе эмбриогенеза, могут привести к изменению диаметра или количества легочных вен [20, 21]. Аномалии количества легочных вен проявляются их уменьшением до трех или двух или появлением добавочных легочных вен с нормальным или аномальным дренажом [4].

Стоит отметить, что, по данным ряда исследований [23–25], легочные вены имеют независимое происхождение от левого предсердия (дифференцируясь из клеток Shox2), что проявляется наличием автоматизма как в миокарде мышечных муфт, так и в мышечном слое легочных вен. По данным W. Ye и коллег (2015), совместная экспрессия Shox2 – Nkx2-5 регулирует развитие легочных вен аналогично тому, как при эмбриональном развитии происходит формирование синоатриального узла, при этом экспрессия Nkx2-5 способствует подавлению автоматизма в клетках мышечного слоя легочных вен [25].

В норме человек имеет четыре легочные вены, которые отводят кровь от определенных участков легких. При этом, правая верхняя легочная вена отводит кровь от верхней и средней доли правого

легкого, левая верхняя легочная вена отводит кровь от верхней доли левого легкого, и две нижние легочные вены отводят кровь от нижних долей, соответствующих легким [20, 21].

В современных гистологических исследованиях, выполненных под руководством T. Gupta (2020), установлено, что стенка легочной вены состоит из трех слоев, где самым внутренним слоем является интима, выстланная эндотелием, расположенным на прослойках соединительной ткани [25]. Далее идет средний слой, состоящий из миоцитов, после которого следует наружный слой адвентиции, представленный рыхлой соединительной тканью [26].

Важным элементом клинической анатомии ЛВ являются мышечные муфты, которые играют роль субстрата, инициирующего ФП [26–28]. Мышечные муфты представляют собой тонкие выпячивания миокарда левого предсердия, которые окружают дистальную часть легочных вен в области их отверстий [26, 27]. По данным S. Kugler и коллег (2018), в экстракардиальном миокарде мышечных муфт легочных вен обнаруживается высокая экспрессия белка Cx45 (connexin), которая характерна для узловых кардиомиоцитов, при этом T. Gupta и соавт. (2022) указали на то, что в клеточно-тканевой структуре муфт легочных вен определяются кластеры кардиомиоцитов, экспрессирующих HCN4, HCN1, которые также способствуют автоматизму [28, 29].

Типичная топографо-анатомическая архитектура сосудов, впадающих в левое предсердие, по данным исследований, наблюдается только в 70–85% случаев [30–32]. A. Bittner и соавт. (2011) наблюдали следующие варианты анатомии строения ЛВ:

- 1) левое общее устье (LCO): слияние левой верхней (LSPV) и левой нижней (LIPV) легочных вен проксимальнее тела предсердия независимо от длины основного ствола;
- 2) длинный общий ствол (LCT): длина общего ствола от LCO до бифуркации составляет ≥ 10 мм;
- 3) правое общее устье (RCO): слияние правой верхней (RSPV) и правой нижней (RIPV) легочных вен проксимальнее тела предсердия независимо от длины общего ствола;
- 4) правая средняя легочная вена (RSPV): добавочное, отдельное отверстие для средне-долевой вены;
- 5) правая верхняя легочная вена (RSPV): отдельное отверстие над RSPV.

В свою очередь M. Skowerski с коллегами (2018) определяют LCO при слиянии вен при расстоянии между бифуркацией вен и левым предсердием более 20 мм, однако в исследованиях M. Anselmino и соавт. (2011), J.A. Cabrera и соавт. (2008) представлено, что расстояние может варьироваться в пределах от 5 до 15 мм [31, 33, 34].

Обращает на себя внимание систематический обзор с метаанализом, выполненный М. Bonczar и соавт. (2022), включавший 73 исследования вариантной анатомии ЛВ [32]. Согласно наиболее часто встречаемым вариантам в литературе, авторы данной работы выделили следующие варианты анатомии ЛВ в своей классификации (рисунок):

1) классический тип по две ЛВ с левой и правой стороны (см. рис. А);

2) наличие общей легочной вены (слияние LSPV и LIPV) и двух ЛВ с правой стороны (см. рис. В);

3) наличие общей правой легочной вены (RCPV, образованная слиянием RSPV и/или RIPV) наряду с двумя левыми ЛВ (см. рис. С);

4) наличие дополнительной RMPV, расположенной между RSPV и RIPV (см. рис. D);

5) наличие дополнительных RMPV и дополнительной левой средней легочной вены LMPV (см. рис. E);

6) наличие LSPV, LIPV, LMPV и одной RCPV (см. рис. F);

7) наличие RSPV, RIPV, LSPV, LIPV и LMPV;

8) наличие RSPV, RIPV, RMPV и одной общей левой легочной вены;

9) наличие только LCPV и RCPV.

По результатам метаанализа, самый распространенный вариант – классический (70%), за которым следует тип с общим устьем для левосторонних ЛВ (17%), тип с общим устьем для правосторонних ЛВ (9%) и тип с дополнительной RMPV (8%).

С практической точки зрения наиболее удобный вариант классификации легочных вен предложен Е.М. Магом и соавт. (2004), который основан на количестве венозных устьев с каждой стороны и вариантах венозного оттока от легких [35]. Для описания каждого типа используются два или три буквенно-цифровых символа: прописная буква

обозначает сторону венозного оттока (L – левый, R – правый), цифра соответствует количеству венозных устьев на этой стороне, а строчная буква (если присутствует) указывает на конкретный вариант этого типа [35].

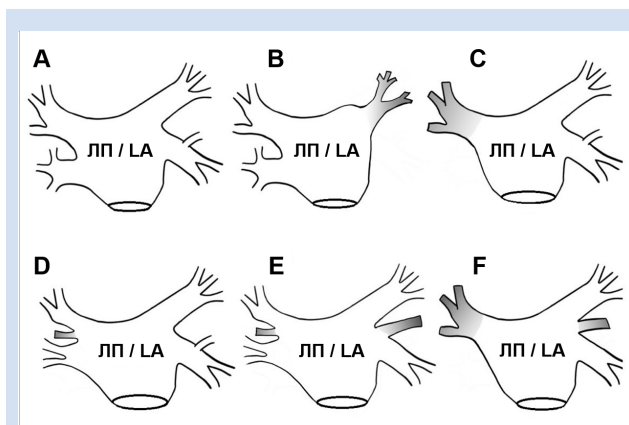
Роль легочных вен в развитии и поддержании ФП

При описании патогенеза развития ФП чаще всего выделяют два патоморфологического компонента: триггер, представляющий собой эктопический очаг генерации возбуждения, и субстрат, который будет поддерживать аритмию [1, 2].

Как продемонстрировано в исследовании М. Haïssaguerre и соавт. (1998), большинство эктопических очагов в стенках ЛП локализуется в области ЛВ (в оригинальном исследовании у 94% пациентов очаги спонтанной активации локализовывались в ЛВ), что сделало абляцию ЛВ «краеугольным камнем» инвазивного лечения ФП [2, 36]. Действительно, в ряде исследований установлено, что миоциты ЛВ обладают коротким рефрактерным периодом, демонстрируют малую продолжительность потенциала действия, а также экспрессируют HCN4, который отвечает за наличие автоматизма [29, 37–39]. Как установили S. Kugler и коллеги (2018), в кардиомиоцитах муфт ЛВ обнаружена экспрессия белка Sx45, который является специфичным для проводящей системы сердца и также экспрессируется в волокнах Пуркинье [28]. В то же время неоднородная структура гистологического строения ЛВ в виде чередования пучков соединительной ткани и миоцитов в области муфт способствует неоднородности проведения возбуждения по типу re-entry [40–42]. Таким образом, ЛВ в патогенезе ФП ответственны за роль как триггера, так и за роль субстрата, поддерживающего аритмию [38].

К развитию ФП могут predispose такие сопутствующие заболевания, как артериальная гипертензия, ишемическая кардиомиопатия, сахарный диабет, хроническая сердечная недостаточность, а также пожилой возраст [43]. Перечисленные факторы приводят к ремоделированию левого предсердия, сопровождающемуся увеличением фиброза в ткани предсердий, что формирует неоднородное анизотропное распределение волокон и, как следствие, способствует более медленной проводимости возбуждения [43, 44].

В исследовании S. Zahid и соавт. (2016) установлено, что у пациентов с персистирующей формой ФП формирование и поддержание роторов re-entry обнаруживается в участках с наиболее сильной плотностью фиброза [45]. Однако, как отметили С.Н. Roney и коллеги (2018), расположение ротора re-entry зависит не только от плотности фиброза, но и от определенных свойств тканевой структуры



Вариантная анатомия легочных вен

Примечание: А–F, см. пояснения в тексте. Рисунок выполнен в авторской модификации на основе данных М. Bonczar и коллег (2022) [32]. ЛП – левое предсердие.

Variant anatomy of the pulmonary veins

Note: A–F, see the explanations in the text. It is made in the author's modification based on the following literary sources: Bonczar Metal. (2022) [32]; LA – left atrium.

ЛВ – короткая продолжительность потенциала действия, циркулярное расположение фибротических волокон с эпикардиальной и эндокардиальной стороны отверстий ЛВ, а также от увеличения размеров левых верхней и нижней легочной вены, правой нижней легочной вены [38].

В доступной литературе нам удалось найти исследования, в которых также была изучена связь между анатомическими характеристиками муфт легочных вен и предрасположенностью к ФП. Так, R.J. Hassink и коллегами (2003) установлено, что у пациентов с ФП значительно более длинные муфты ЛВ ($10,4 \pm 4,8$ мм у пациентов с ФП по сравнению с $8,7 \pm 6,1$ мм у пациентов с синусовым ритмом) [46]. В исследовании J.Y. Chen и соавт. (2021) диаметр и объем ЛВ у пациентов с ФП был значительно выше, чем у лиц с синусовым ритмом ($21,08 \pm 4,57$ и $16,47 \pm 3,31$ мм, $p < 0,001$ против $7,70 \pm 3,28$ и $4,09 \pm 1,99$ см³, $p < 0,001$ соответственно), а предложенный авторами индекс площади муфт ЛВ (отношение площади каждой ЛВ к средней площади всех ЛВ) коррелировал с частотой развития ФП [47]. Также C.R. Ellis и коллегами (2018) установлено, что длина муфт ЛВ в верхних легочных венах больше (до 3 см в длину), чем в нижних, и коррелирует с мужским полом и индексом массы тела [48].

Отдельный интерес представляет анализ связи анатомии, количества и вариантов расположения ЛВ с предрасположенностью к ФП. По результатам исследования A. Bittner и соавт. (2011), проведенного с участием 166 пациентов, распространенность варианта с общим отверстием левых легочных вен (LCO) была значительно выше у пациентов с ФП по сравнению с контролем (33,7 против 19,9%, $p = 0,004$; отношение шансов 21/10) [30]. В свою очередь коллектив авторов во главе с M. Skowerski (2018) чаще обнаруживал наличие дополнительной средней правой ЛВ (RMPV) у пациентов с ФП, что было подтверждено в метаанализе I. Cheruiyot и коллег (2020), в котором дополнительно была выявлена корреляция с увеличением диаметра отверстия LCO и ФП [31, 49]. Однако в другом, более крупном метаанализе, выполненном M. Bonczar и соавт. (2022), напротив, статистически значимых различий по вариантам ЛВ между пациентами без ФП и с ФП не выявлено, за исключением варианта с одновременным наличием RCPV и LCPV [32].

В работе M.A. Housari и коллег (2023) впервые продемонстрирована разница вариантной анатомии ЛВ между пароксизмальной и персистирующей формами ФП: у пациентов с персистирующей ФП были больше отверстия ЛВ и более выражены углы расположения ЛВ (большая задняя ориентация LSPV, LIPV и RIPV, а также более высокая ориентация LSPV и RSPV) [50].

Влияние вариантной анатомии ЛВ на частоту рецидивирования ФП после интервенционного лечения

Несмотря на постепенное распространение и внедрение методов интервенционного лечения ФП, по данным 10-летнего наблюдения за пациентами с пароксизмальной формой ФП после абляции ЛВ, после однократного воздействия синусовый ритм наблюдался только у 58% обследованных [51]. При этом повторные нарушения ритма отмечены в 30–50% случаев после первой процедуры абляции, что подчеркивает потребность в изучении факторов, которые смогут прогнозировать рецидивирование аритмии [12, 13]. К таким прогностическим факторам относят размеры левого предсердия, позднее контрастное усиление на магнитной резонансной томографии (определяющее фиброз), толщину эпикардиальной жировой ткани и др. [52–54]. Тем не менее внедрение оценки данных параметров для прогнозирования рецидива нарушения ритма в клиническую практику не получило широкого распространения.

По результатам ряда исследований (табл. 1), увеличение площади поперечного сечения и объема ЛВ может прогнозировать вероятность рецидива ФП после абляции [55, 56]. Обращает на себя внимание, что в большинстве проанализированных нами исследований сообщалось о связи рецидивов ФП с увеличением правосторонних ЛВ [55, 57, 59, 60]. Как предполагают T. Furuu и коллеги (2020), близкое расположение правосторонних ЛВ к септопульмональному пучку (мышечный пучок, проходящий между правыми ЛВ) в условиях, когда их объем увеличивается при перегрузки объемом ЛП, может нарушать структуру данного пучка, способствуя рецидиву ФП [60]. Ряд авторов предполагают, что увеличение размеров ЛВ может создавать трудности в полноценной абляции устьев ЛВ, что сопровождается увеличением времени процедуры, а также способствуют электрическому и структурному ремоделированию, приводя к рецидиву ФП [62, 63]. Патогенез данного явления требует дальнейшего изучения. В метаанализе D. Qi и соавт. (2023), цель которого заключалась в изучении связи между анатомическими характеристиками ЛВ и рецидивом ФП после радиочастотной катетерной абляции, у данных пациентов диаметр ЛВ был значительно больше, чем в группе без рецидива ФП (средняя разница 0,33, 95% доверительный интервал 0,01–0,66, $p = 0,04$, $I^2 = 33,80\%$) [64].

Отдельного внимания заслуживает вопрос влияния ориентации ЛВ на исход катетерной абляции. В исследовании N. Szegedi и коллег (2022) вентро-каудальное расположение RSPV ассоциировалось с высоким риском рецидивирования ФП, по данным Y. Wang и соавт. (2024) изменение вертикального

угла RIPV также было связано с риском рецидивирования нарушения ритма [65, 66]. По результатам исследования S. Mamchur и соавт. (2022), более горизонтальное положение RIPV во фронтальной плоскости было связано с технической сложностью при проведении аблации, что требовало большего нанесения криоаппликаций [67].

Спорной следует считать связь между анатомическими вариантами количества и строения ЛВ и исходами после изоляции. Большинство исследований основываются на результатах исследования D. Schwartzman и соавт. (2004), в котором было

впервые описана предрасположенность LCPV к развитию ФП [68], поэтому в современной литературе наиболее изучаемым анатомическим фактором является LCPV (табл. 2). Ряд исследователей также считают, что такой фактор, как наличие LCPV, может прогнозировать рецидив ФП после интервенционных вмешательств, в особенности после криобаллонной аблации [69, 70, 72]. Т.Ю. Чичкова с коллегами (2019) продемонстрировали, что в отдаленном периоде наличие LCO приводит к снижению эффективности лечения в сравнении с группой типичной анатомии: до 23,1 против 84,9%

Таблица 1. Влияние изменения диаметра и объема ЛВ на исход аблации
Table 1. Effect of changes in diameters, volume of PV on the outcome of ablation

Литературный источник / Reference	Год / Year	Количество пациентов / Number of patients	Изучаемые факторы / Studied factors	Выводы / Conclusions
Desai Y. et al. [54]	2017	331	Диаметр ЛВ / Diameter PV	Увеличение диаметра ПВЛВ предсказывало рецидив ФП / An increase in the diameter of RSPV predicted a recurrence of AF (p = 0,05)
Guo F.Q. et al. [55]	2024	160	Объемы ЛП, ЛВ / LA and PV volumes	Увеличение объема ЛВ предсказывало рецидив ФП / An increase in PV volume predicted AF recurrence (p = 0,03)
Kiuchi K. et al. [56]	2015	69	Размеры ЛВ, ЛП / PV and LA sizes	Увеличение митрального перешейка и меньшая площадь поперечного сечения ПВЛВ предсказывали рецидив ФП / An increase in the mitral isthmus and a smaller cross-sectional area of RSPV predicted AF recurrence (p = 0,01 and p = 0,06)
Huang S.W. et al. [57]	2018	78	Влияние анатомии ЛВ на исход КБА / The influence of PV anatomy on the outcome of CBA	Вариантная анатомия ЛВ статистически значимо не влияла на исход КБА, большая продолжительность ФП и меньшее количество криоаппликаций правосторонних ЛВ ассоциировались с более высокой частотой рецидивов ФП / Variant PV anatomy did not statistically affect the outcome of CBA, a longer duration of AF and fewer cryoapplications of right-sided PV were associated with a higher frequency of AF recurrence (p = 0,016)
Li B. et al. [58]	2019	97	Влияние анатомии ЛВ на исход КБА / Influence of PV anatomy on the outcome of CBA	Большой диаметр и площадь поперечного сечения ПНЛВ ассоциировались с высоким риском рецидива ФП / A larger diameter and cross-sectional area of RIPV were associated with a high risk of AF recurrence (p < 0,05)
Furuya T. et al. [59]	2020	372	Влияние объемов и размеров ЛП, ЛВ / Influence of PV volumes and size	Увеличение правых ЛВ предсказывало рецидив у пациентов с персистирующей ФП / An increase in right PV predicts recurrence in patients with persistent AF (p < 0,05)
Boussoussou M. et al. [60]	2022	94	Влияние толщины ЛП и размеров ЛВ на исход первой изоляции ЛВ / Influence of PV thickness and PV dimensions on the outcome of the first PV isolation	Увеличение диаметра ПВЛВ ассоциировалось с меньшей частотой рецидива ФП / An increase in the diameter of the PSPV was associated with a lower incidence of AF recurrence (p = 0,04)
Guckel D. et al. [61]	2022	687	Влияние вариантной анатомии ЛВ на исход КБА / The effect of variant PV anatomy on the outcome of CBA	Увеличение поперечной площади сечения ЛВ ассоциировалось с риском рецидива у пациентов с пароксизмальной ФП / An increase in the cross-sectional area of PV is associated with the risk of recurrence in patients with paroxysmal AF (p < 0,001)
Isgandarova K. et al. [62]	2023	353	Влияние анатомии ЛВ на исход КБА / The influence of PV anatomy on the outcome of CBA	Увеличение поперечной площади сечения ЛВ ассоциировалось с риском рецидива у пациентов с пароксизмальной ФП / An increase in the cross-sectional area of PV is associated with the risk of recurrence in patients with paroxysmal AF (p < 0,001)

Примечание: таблица выполнена в авторской модификации на основе литературных источников [55–63]. КБА – криобаллонная аблация; ЛВ – легочные вены; ЛП – левое предсердие; ПНЛВ – правая нижняя легочная вена; ПВЛП – правая верхняя легочная вена; ФП – фибрилляция предсердий.
Note: The table is made in the author's modification based on literary sources [55–63]; CBA – cryoballoon ablation; PV – pulmonary veins; LA – left atrium; AF – atrial fibrillation, RIPV – right inferior pulmonary vein; RSPV – right superior pulmonary vein.

при криоаблации (отношение шансов 0,14, 95% до-
верительный интервал 0,03–0,6) и 82,4% при ради-
очастотной аблации (отношение шансов 0,16, 95%
доверительный интервал 0,05–0,5) [73]. Потенци-
альным объяснением данной взаимосвязи может
являться неполноценный контакт криобаллона с
легочным стволом, что создает сложности при вы-
полнении процедуры [72, 73].

В ряде исследований анатомический вариант с
наличием LCPV являлся прогностически благопри-
ятным фактором исхода с восстановлением сину-
сового ритма [69, 73]. Так, в систематическом об-
зоре с метаанализом, выполненном R.M. Ronsoni и
коллегами (2023) и включавшем 14 исследований
и 3 278 пациентов, установлено, что у лиц с LCO,
которым была выполнена криобаллонная аблация,
исход был хуже, в то время как выполнение радио-

частотной аблации пациентам с LCO ассоциирова-
лось с благоприятным прогнозом [74].

Ввиду малого количества пациентов и отсут-
ствия четкой стандартизации методологии прове-
дения исследований нельзя сделать точные выводы
о прогностических возможностях LCO/LCPV во
влиянии на исход аблации. Тем не менее в настоя-
щее время изучаются гены, которые могут предрас-
полагать к рецидивированию ФП, и, как продемон-
стрировали S. Choi и коллеги (2023), существуют
однонуклеотидные полиморфизмы, которые ответ-
ственны за наличие LCT и ассоциируются с реци-
дивом ФП после аблации [78].

Обсуждение

С увеличением средней продолжительности
жизни и выживаемости пациентов с хронически-

Таблица 2. Влияние анатомических вариантов количества и строения ЛВ на исход аблации Table 2. Effect of anatomical variants of the amount and structure of PV on the outcome of ablation				
Литературный источник / Reference	Год / Year	Количество пациентов / Number of patients	Метод аблации / Ablation method	Выводы / Conclusions
Hunter R.J. et al. [67]	2010	350	РЧА / RFA	Наличие ЛОЛВ снижало эффективность первой процедуры РЧА на 12,8% / The presence of LCPV reduced the effectiveness of the first RFA procedure by 12.8% (p = 0,033)
Kubala M. et al. [68]	2011	118	КБА первого поколения / CBA of the 1st generation	У пациентов с пароксизмальной формой ФП наличие ЛОЛВ ухудшало исход КБА через 13 мес. / In patients with paroxysmal AF, the presence of LCPV worsened the outcome of CBA after 13 months
McLellan A.J. et al. [69]	2014	102	РЧА / RFA	Наличие ЛОЛВ было связано с увеличением бремени без ФП (87 против 66% для нормальной анатомии) / The presence of LCPV was associated with an increased burden without AF (87% vs. 66% for normal anatomy; p = 0,03).
Beiert T. et al. [70]	2018	270	КБА второго поколения / CBA of the 2nd generation	Наличие ЛОЛВ было связано с уменьшением бремени без ФП после КБА второго поколения / The presence of LCPV was associated with a reduced burden without AF after second-generation CBA (p = 0,028)
Xu B. et al. [71]	2019	154	РЧА / RFA	Наличие ЛОЛВ предсказывало лучший исход после повторной процедуры РЧА (ЧСС 0,44; 95% ДИ 0,22–0,88; p = 0,02), в то же время наличие ЛОЛВ ассоциировалось с рецидивом ФП после первой процедуры / The presence of LCPV predicted a better outcome after the repeated procedure of the RFA (HR: 0.44; 95% CI: 0.22–0.88; p = 0.02). At the same time, the presence of LCPV was associated with a recurrence of AF after the first procedure
Larsen J.M. et al. [72]	2020	346	РЧА с датчиком силы контакта / RFA with the “Contact force” and CBA	Наличие ЛОЛВ было связано с тенденцией к более высокой частоте рецидивов (p = 0,06) как при РЧА, так и при КБА / The presence of LCPV was associated with a tendency to a higher recurrence rate (p = 0.06) in both RFA and CBA
Ronsoni R.M. et al. [73]	2021	254	РЧА / RFA	Наличие ЛОУ ассоциировалось с хорошим прогнозом после РЧА / The presence of LCO was associated with a good prognosis after RFA (p = 0,019)
Isgandarova K. et al. [74]	2023	358	КБА / CBA	Наличие ЛОЛВ (p < 0,001), а также ПОЛВ, ПСЛВ (p < 0,001) было связано с уменьшением бремени без ФП / The presence of LCPV (p < 0.001), as well as RCPV, RMPV (p < 0.001) was associated with reduced burden without AF

Примечание: таблица выполнена в авторской модификации на основе литературных источников [63, 69–76]. ДИ – доверительный интервал; КБА – криобаллонная аблация; ЛОЛВ – левая общая легочная вена; ЛОУ – левое общее соустье; ПОЛВ – правая общая легочная вена; ПСЛВ – правая средняя легочная вена; РЧА – радиочастотная аблация; ФП – фибрилляция предсердий; ЧСС – частота сердечных сокращений.

Note: The table is made in the author's modification based on literary sources [63, 69–76]; AF – atrial fibrillation; CBA – cryoballoon ablation; CI – confidence interval; HR – heart rate; LCO – left common ostium; LCPV – left common pulmonary vein; RCPV – right common pulmonary vein; RFA – radiofrequency ablation; RMPV – right middle pulmonary vein.

ми заболеваниями закономерно выросли заболеваемость и распространенность ФП, достигшая эпидемических масштабов [3]. Разработка новых методов профилактики и лечения данной аритмии является приоритетным направлением в снижении уровня заболеваемости, осложнений и экономической нагрузки на общественное здравоохранение.

В патогенезе ФП ведущая роль в развитии и поддержании нарушения ритма принадлежит легочным венам, в муфтах которых обнаружены эктопические очаги возбуждения [29, 36]. С точки зрения выявления предрасполагающих факторов в развитии ФП активно изучаются биомаркеры, которые с помощью методов визуализации сердечно-сосудистой системы смогут обеспечить дополнительное уточнение стратификации клинического риска для выявления групп лиц высокого риска возникновения и развития осложнений ФП [3].

По нашему мнению, основанному на анализе современной доступной медицинской литературы, потенциальным биомаркером может являться индивидуальная анатомия легочных вен. В популяции наблюдается впадение четырех легочных вен в левое предсердие примерно в 70% случаев [30–32]. В остальных же случаях можно выделить варианты объединения левых вен в общий ствол, наличие дополнительной средней вены с правой стороны и другие более редкие варианты [43].

При анализе литературы мы столкнулись с неопределенностью в классификации данных вариантов – начиная от разницы в использовании названий для варианта объединения левых легочных вен (*left common ostium*, *left common trunk*), заканчивая критериями отнесения того или иного варианта к определенному виду в классификации [39, 41, 42]. Стандартизация классификации, по нашему мнению, позволит увеличить эффективность систематизации накопленных результатов исследований.

Важным прогностическим вопросом также является предрасположенность к аритмиям того или иного вида строения легочных вен. В литературе можно встретить противоречивые данные как о предрасположенности объединения левых ЛВ к ФП, так и отсутствии статистически достоверной связи [38, 43, 49]. Существенным недостатком данных исследований является гетерогенность выборки, в частности отсутствие подразделения ФП на подтипы. Мы полагаем, что этот вопрос заслуживает дальнейшего изучения, так как данные электрофизиологических и генетических исследований указывают на предрасположенность к риску рецидивирования ФП после аблации при наличии общего ствола левых ЛВ, также отмечена более высокая оценка риска развития инсульта по шкале CHA₂DS₂VASc у пациентов с общей левой легочной веной [68, 78].

Кроме того, остается малоизученным вопрос

гистологической и иммуногистохимической верификации патологических очагов автоматизма и проведения возбуждения при разных вариантах строения легочных вен. Полагаем, что глубокое изучение экспрессии специфических белков проводящей системы в области левого ствола легочных вен может подтвердить или опровергнуть предрасположенность к нарушениям ритма.

Согласно современным руководствам и клиническим рекомендациям, изоляция легочных вен остается основным методом интервенционного лечения ФП [1, 2]. Данный вид вмешательства безопасен для пациентов и демонстрирует улучшение качества жизни больных, что привело к его широкому внедрению в клиническую практику за последние десятилетия.

Известно, что рецидивы ФП после аблации чаще наблюдаются при персистирующей форме, а также наиболее частой причиной первого рецидива является повторное восстановление элементов проводящей системы в устьях легочных вен в предсердиях [80].

При анализе литературы (см. табл. 2) мы чаще встречаем наблюдения, посвященные аблации общего левого ствола, в то время как другим вариантам уделялось меньшее внимание со стороны исследователей.

Результаты исследований, посвященных связи LCPV с риском рецидивирования ФП после аблации, остаются спорными: 1) наличие LCPV может прогнозировать рецидив ФП после интервенционных вмешательств, причем чаще всего отмечается положительная корреляционная связь с криобаллонной аблацией [73–75]; 2) наличие LCPV предсказывало прогностически благоприятный исход в восстановлении синусового ритма после радиочастотной аблации [71, 75, 76]. Также данную связь описывают R.M. Ronsoni и соавт. (2023) в метаанализе, включавшем 14 исследований и 3 278 пациентов [77]. Возможным объяснением данной связи является процедурная сложность выполнения аблации с использованием криогенной энергии, возникающая при нестабильном расположении катетера в широком отверстии LCO [67, 69]. По мнению S. Istratoaie и коллег (2019), меньшее количество легочных вен при наличии LCO (3 вены против 4 при нормальной анатомии) может объяснять успешность аблации в данном варианте [80]. Тем не менее неоднородность и малая выборка в данных исследованиях не позволяет сделать окончательный вывод. Также остается малоизученной связь RMPV с риском возвращения ФП после аблации.

Кроме связи вариантов расположения легочных вен исследователи изучают влияние размеров и объемов легочных вен на вероятность развития рецидивов ФП. С учетом данных последних исследований (см. табл. 1) такие факторы, как увеличение

диаметра и объема ЛВ, а также угол расположения ЛВ, могут влиять на вероятность рецидива ФП после аблации [55, 56, 64]. Пациентам с увеличенными размерами ЛВ может потребоваться нанесение большого количества точечных воздействий при аблации [64].

Таким образом, вариантная анатомия легочных вен, включающая разные типы их расположения и размеры, потенциально может быть фактором, прогнозирующем как предрасположенность к развитию ФП, так и исход интервенционного лечения. Для уточнения влияния общего левого легочного ствола на предрасположенность к нарушениям ритма необходимо проведение как иммуногистохими-

ческого и электрофизиологического исследования, так и крупных многоцентровых анализов исходов различных вариантов лечебной тактики.

Конфликт интересов

Н.О. Бартош заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.А. Брюханов заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.Е. Милуков заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Бартош Николай Олегович, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАО профессор кафедры топографической анатомии и оперативной хирургии имени академика Ю.М. Лопухина института анатомии и морфологии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0009-0004-9284-0732

Брюханов Валерий Александрович, студент института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-8445-3688

Милуков Владимир Ефимович, доктор медицинских наук, профессор и. о. заведующего кафедрой топографической анатомии и оперативной хирургии имени академика Ю.М. Лопухина института анатомии и морфологии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-8552-6727

Вклад авторов в статью

БНО – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

БВА – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МВЕ – вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Information Form

Bartosh Nikolay O., PhD, correspondent member of Russian Academy of Education, professor of the Department of Topographic Anatomy and Operative Surgery named after Academician U.M. Lopukhin, Institute of Anatomy and Morphology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0009-0004-9284-0732

Bryukhanov Valery A., student of Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov” of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-8445-3688

Milyukov Vladimir E., PhD, Professor Head of the Department of Topographic Anatomy and Operative Surgery named after Academician U.M. Lopukhin, Institute of Anatomy and Morphology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-8552-6727

Author Contribution Statement

MVE – contribution to the concept and design of the study, data analysis, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BNO – contribution to the concept and design of the study, data collection and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BVA – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Joglar JA, Chung MK, Armbruster AL, et al. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS Guideline for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/

American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol. 2024;83(1):109-279. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.08.017>

2. Аракелян МГ, Бокерия ЛА, Васильева Е.Ю, и др. Фибрилляция и трепетание предсердий. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021;26(7): 4594. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4594>
3. Kornej J, Börschel CS, Benjamin EJ, Schnabel RB. Epidemiology of Atrial Fibrillation in the 21st Century: Novel Methods and New Insights. *Circ Res.* 2020;127(1):4-20. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.316340>
4. Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke.* 2021;16(2): 217-21. <https://doi.org/10.1177/1747493019897870>
5. Wu J, Nadarajah R, Nakao YM, et al. Temporal trends and patterns in atrial fibrillation incidence: A population-based study of 3·4 million individuals. *Lancet Reg Health Eur.* 2022;17: 100386. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2022.100386>
6. Krijthe BP, Kunst A, Benjamin EJ, et al. Projections on the number of individuals with atrial fibrillation in the European Union, from 2000 to 2060. *Eur Heart J.* 2013;34(35): 2746-51. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs280>
7. Schnabel RB, Yin X, Gona P, et al. 50 year trends in atrial fibrillation prevalence, incidence, risk factors, and mortality in the Framingham Heart Study: a cohort study. *Lancet.* 2015;386(9989): 154-62. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61774-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61774-8)
8. Wolf PA, Abbott RD, Kannel WB. Atrial fibrillation as an independent risk factor for stroke: the Framingham Study. *Stroke.* 1991;22(8): 983-8. <https://doi.org/10.1161/01.str.22.8.983>
9. Мареев ЮВ, Поляков ДС, Виноградова НГ, и др. ЭПОХА: Эпидемиология фибрилляции предсердий в репрезентативной выборке Европейской части Российской Федерации. Кардиология. 2022;62(4): 12-9. <https://doi.org/10.18087/cardio.2022.4.n1997>
10. Monahan KH, Bunch TJ, Mark DB, et al. Influence of atrial fibrillation type on outcomes of ablation vs. drug therapy: results from CABANA. *Europace.* 2022;24(9): 1430-40. <https://doi.org/10.1093/europace/euac055>
11. Andrade JG, Deyell MW, Macle L, et al. Progression of Atrial Fibrillation after Cryoablation or Drug Therapy. *N Engl J Med.* 2023;388(2): 105-116. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2212540>
12. Kuck KH, Füllkranz A, Chun KR, et al. Cryoballoon or radiofrequency ablation for symptomatic paroxysmal atrial fibrillation: reintervention, rehospitalization, and quality-of-life outcomes in the FIRE AND ICE trial. *Eur Heart J.* 2016;37(38): 2858-65. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw285>
13. Marrouche NF, Brachmann J, Andresen D, et al. Catheter Ablation for Atrial Fibrillation with Heart Failure. *N Engl J Med.* 2018;378(5): 417-27. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1707855>
14. Wong GR, Nalliah CJ, Lee G, et al. Sex-Related Differences in Atrial Remodeling in Patients With Atrial Fibrillation: Relationship to Ablation Outcomes. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2022;15(1): e009925. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.009925>
15. Tsai TY, Lo LW, Cheng WH, et al. 10-Year Outcomes of Patients With Non-Paroxysmal Atrial Fibrillation Undergoing Catheter Ablation. *Circ J.* 2022;87(1): 84-91. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-22-0062>
16. Shah AN, Mittal S, Sichrovsky TC, et al. Long-term outcome following successful pulmonary vein isolation: pattern and prediction of very late recurrence. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2008;19(7): 661-7. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01101.x>
17. Maurer T, Kuck KH. The quest for durable lesions in catheter ablation of atrial fibrillation - technological advances in radiofrequency catheters and balloon devices. *Expert Rev Med Devices.* 2017;14(8): 621-31. <https://doi.org/10.1080/17434440.2017.1358086>
18. Bonczar M, Piątek-Koziej K, Wolska J, et al. Variations in human pulmonary vein ostia morphology: A systematic review with meta-analysis. *Clin Anat.* 2022;35(7): 906-26. <https://doi.org/10.1002/ca.23896>
19. Корниенко НА, Чаплыгина ЕВ, Каплунова ОА, и др. Развитие и аномалии легочных вен. Современные проблемы науки и образования. 2021;(2): 198. <https://doi.org/10.17513/spno.30731>
20. van den Berg G, Moorman AF. Development of the pulmonary vein and the systemic venous sinus: an interactive 3D overview. *PLoS One.* 2011;6(7): e22055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022055>
21. Douglas YL, Jongbloed MR, Deruiter MC, et al. Normal and abnormal development of pulmonary veins: state of the art and correlation with clinical entities. *Int J Cardiol.* 2011;147(1): 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.07.004>
22. Anderson RH, Brown NA, Moorman AF. Development and structures of the venous pole of the heart. *Dev Dyn.* 2006;235(1): 2-9. <https://doi.org/10.1002/dvdy.20578>
23. Moorman AF, Anderson RH. Development of the pulmonary vein. *Int J Cardiol.* 2011;147(1): 182. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.12.034>
24. Sun C, Zhang T, Liu C, et al. Generation of Shox2-Cre allele for tissue specific manipulation of genes in the developing heart, palate, and limb. *Genesis.* 2013;51(7): 515-22. <https://doi.org/10.1002/dvg.22397>
25. Ye W, Wang J, Song Y, et al. A common Shox2-Nkx2-5 antagonistic mechanism primes the pacemaker cell fate in the pulmonary vein myocardium and sinoatrial node. *Development.* 2015;142(14): 2521-32. <https://doi.org/10.1242/dev.120220>
26. Gupta T, Randhawa A, Sahni D. Histological evaluation of atrial muscle sleeve of pulmonary veins as relevant to trigger mapping and ablation. *Surg Radiol Anat.* 2020;42(11): 1271-77. <https://doi.org/10.1007/s00276-020-02473-z>
27. Dudkiewicz D, Słodowska K, Jasińska KA, et al. The clinical anatomy of the left atrial structures used as landmarks in ablation of arrhythmogenic substrates and cardiac invasive procedures. *Transl Res Anat.* 2021;23: 100102. <https://doi.org/10.1016/j.tria.2020.100102>
28. Kugler S, Nagy N, Rácz G, et al. Presence of cardiomyocytes exhibiting Purkinje-type morphology and prominent connexin45 immunoreactivity in the myocardial sleeves of cardiac veins. *Heart Rhythm.* 2018;15(2): 258-64. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.09.044>
29. Gupta T, Kaur M, Sahni D. Identification of novel pulmonary vein nodes as generators of ectopic arrhythmic foci for atrial fibrillation: an immunohistochemical proof. *Surg Radiol Anat.* 2022;44(1): 129-36. <https://doi.org/10.1007/s00276-021-02864-w>
30. Bittner A, Mönnig G, Vagt AJ, et al. Pulmonary vein variants predispose to atrial fibrillation: a case-control study using multislice contrast-enhanced computed tomography. *Europace.* 2011;13(10): 1394-1400. <https://doi.org/10.1093/europace/eur145>
31. Skowerski M, Wozniak-Skowerska I, Hoffmann A, et al. Pulmonary vein anatomy variants as a biomarker of atrial fibrillation - CT angiography evaluation. *BMC Cardiovasc Disord.* 2018;18(1): 146. <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0884-3>
32. Bonczar M, Piątek-Koziej K, Wolska J, et al. Variations in human pulmonary vein ostia morphology: A systematic review with meta-analysis. *Clin Anat.* 2022;35(7): 906-26. <https://doi.org/10.1002/ca.23896>
33. Anselmino M, Blandino A, Beninati S, et al. Morphologic analysis of left atrial anatomy by magnetic resonance angiography in patients with atrial fibrillation: a large single center experience. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2011;22(1): 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2010.01853.x>
34. Cabrera JA, Ho SY, Climent V, et al. The architecture of the left lateral atrial wall: a particular anatomic region with implications for ablation of atrial fibrillation. *Eur Heart J.* 2008;29(3): 356-62. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm606>
35. Marom EM, Herndon JE, Kim YH, McAdams HP. Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation. *Radiology.* 2004;230(3):824-829. [doi:10.1148/radiol.2303030315](https://doi.org/10.1148/radiol.2303030315)
36. Haïssaguerre M, Jaïs P, Shah DC, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med.* 1998;339(10): 659-66. <https://doi.org/10.1056/NEJM199809033391003>
37. Ehrlich JR, Cha TJ, Zhang L, et al. Cellular electrophysiology of canine pulmonary vein cardiomyocytes: action potential and ionic current properties. *J Physiol.* 2003;551(Pt 3): 801-13. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.046417>
38. Roney CH, Bayer JD, Cochet H, et al. Variability in pulmonary vein electrophysiology and fibrosis determines arrhythmia susceptibility and dynamics. *PLoS Comput Biol.* 2018;14(5): e1006166. Published 2018 May 24. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006166>
39. Ehrlich JR, Cha TJ, Zhang L, et al. Cellular electrophysiology

of canine pulmonary vein cardiomyocytes: action potential and ionic current properties. *J Physiol.* 2003; 551: 801-13. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.046417>

40. Hocini M, Ho SY, Kawara T, et al. Electrical conduction in canine pulmonary veins: electrophysiological and anatomic correlation. *Circulation.* 2002;105(20): 2442-48. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000016062.80020.11>

41. Saito T, Waki K, Becker AE. Left atrial myocardial extension onto pulmonary veins in humans: anatomic observations relevant for atrial arrhythmias. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2000;11(8): 888-94. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2000.tb00068.x>

42. Gottlieb LA, Belterman C, van Amersfoort S, et al. Proarrhythmic Structural and Functional Properties of the Atrial-Pulmonary Junction in the Absence of Remodeling. *Front Physiol.* 2021;12: 748203. Published 2021 Nov 24. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.748203>

43. Leventopoulos G, Koros R, Travlos C, et al. Mechanisms of Atrial Fibrillation: How Our Knowledge Affects Clinical Practice. *Life (Basel).* 2023;13(6): 1260. <https://doi.org/10.3390/life13061260>

44. Pan Y, Xu L, Yang X, et al. The common characteristics and mutual effects of heart failure and atrial fibrillation: initiation, progression, and outcome of the two aging-related heart diseases. *Heart Fail Rev.* 2022;27(3): 837-47. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10095-9>

45. Zahid S, Cochet H, Boyle PM, et al. Patient-derived models link re-entrant driver localization in atrial fibrillation to fibrosis spatial pattern. *Cardiovasc Res.* 2016;110(3): 443-54. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvw073>

46. Hassink RJ, Aretz HT, Ruskin J, et al. Morphology of atrial myocardium in human pulmonary veins: a postmortem analysis in patients with and without atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42(6): 1108-14. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(03\)00918-5](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(03)00918-5)

47. Chen JY, Wu HI, Chang KC. Pulmonary vein volume and myocardial sleeve extension estimated by 3D computed tomography and voltage mapping predict arrhythmogenic triggers of paroxysmal atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2021;62(1): 177-85. <https://doi.org/10.1007/s10840-020-00892-x>

48. Ellis CR, Saavedra P, Kanagasundram A, et al. Pulmonary Vein Sleeve Length and Association With Body Mass Index and Sex in Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018;4(3): 412-14. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2017.11.011>

49. Cheruiyot I, Munguti J, Olabu B, et al. A meta-analysis of the relationship between anatomical variations of pulmonary veins and atrial fibrillation. *Acta Cardiol.* 2020;75(1): 1-9. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1544204>

50. Housari MA, Miraglia V, Terasawa M, et al. Pulmonary Vein Remodeling Between Atrial Fibrillation Subtypes: A Matched Comparison Cardiac Computed Tomography-Based Study Between Patients With Paroxysmal and Persistent Atrial Fibrillation. *Am J Cardiol.* 2023;207: 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2023.08.151>

51. Cheng WH, Lo LW, Lin YJ, et al. Ten-year ablation outcomes of patients with paroxysmal atrial fibrillation undergoing pulmonary vein isolation. *Heart Rhythm.* 2019;16(9): 1327-33. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.03.028>

52. Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAAF study. *JAMA.* 2014;311(5): 498-506. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>

53. D'Ascenzo F, Corleto A, Biondi-Zoccai G, et al. Which are the most reliable predictors of recurrence of atrial fibrillation after transcatheter ablation?: a meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2013;167(5): 1984-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.05.008>

54. Canpolat U, Aytemir K, Yorgun H, et al. The Impact of Echocardiographic Epicardial Fat Thickness on Outcomes of Cryoballoon-Based Atrial Fibrillation Ablation. *Echocardiography.* 2016;33(6): 821-29. <https://doi.org/10.1111/echo.13193>

55. Desai Y, Levy MR, Irvanian S, et al. Clinical and anatomic predictors of need for repeat atrial fibrillation ablation. *World J Cardiol.* 2017;9(9): 742-48. <https://doi.org/10.4330/wjc.v9.i9.742>

56. Guo FQ, Zheng TT, Kou CG, et al. Cardiac computed tomography angiography-derived pulmonary vein volumetry as a predictor for atrial fibrillation recurrence after catheter ablation.

Quant Imaging Med Surg. 2024;14(3): 2213-24. <https://doi.org/10.21037/qims-23-1302>

57. Kiuchi K, Yoshida A, Takei A, et al. Topographic variability of the left atrium and pulmonary veins assessed by 3D-CT predicts the recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation. *J Arrhythm.* 2015;31(5): 286-92. <https://doi.org/10.1016/j.joa.2015.03.006>

58. Huang SW, Jin Q, Zhang N, et al. Impact of Pulmonary Vein Anatomy on Long-term Outcome of Cryoballoon Ablation for Atrial Fibrillation. *Curr Med Sci.* 2018;38(2): 259-67. <https://doi.org/10.1007/s11596-018-1874-5>

59. Li B, Ma H, Guo H, et al. Pulmonary vein parameters are similar or better predictors than left atrial diameter for paroxysmal atrial fibrillation after cryoablation. *Braz J Med Biol Res.* 2019;52(9): e8446. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20198446>

60. FURUYA T, TANNO K, KIKUCHI M, et al. Large Right Pulmonary Vein Is a Predictor of Atrial Fibrillation Recurrence after Pulmonary Vein Isolation in Patients with Persistent Atrial Fibrillation. *The Showa University journal of medical sciences.* 2020;32(4): 233-45. <https://doi.org/10.15369/sujms.32.233>

61. Boussoussou M, Szilveszter B, Vattay B, et al. The effect of left atrial wall thickness and pulmonary vein sizes on the acute procedural success of atrial fibrillation ablation. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2022;38(7): 1601-11. <https://doi.org/10.1007/s10554-022-02533-y>

62. Guckel D, Lucas P, Isgandarova K, et al. Impact of pulmonary vein variant anatomy and cross-sectional orifice area on freedom from atrial fibrillation recurrence after cryothermal single-shot guided pulmonary vein isolation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2022;65(1): 251-60. <https://doi.org/10.1007/s10840-022-01279-w>

63. Isgandarova K, Bergau L, El Hamriti M, et al. Impact of pulmonary vein anatomy and ostial dimensions on long-term outcome after single-shot device-guided cryoablation for paroxysmal atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2023;66(9): 2125-33. <https://doi.org/10.1007/s10840-023-01554-4>

64. Qi D, Zhang J. Relationship between anatomical characteristics of pulmonary veins and atrial fibrillation recurrence after radiofrequency catheter ablation: a systematic review and meta-analysis. *Front Cardiovasc Med.* 2023;10: 1235433. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1235433>

65. Szegedi N, Vecsey-Nagy M, Simon J, et al. Orientation of the right superior pulmonary vein affects outcome after pulmonary vein isolation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2022;23(4): 515-23. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab041>

66. Wang Y, Wu X, Liu N, et al. Correlation Analysis of Pulmonary Vein Anatomy and Paroxysmal Atrial Fibrillation Recurrence after Cryoballoon Ablation. *The Heart Surgery Forum.* 2024;27(3): E211-E221. <https://doi.org/10.59958/hsf.7057>

67. Mamchur S, Chichkova T, Khomenko E, Kokov A. Pulmonary Veins Morphometric Characteristics and Spatial Orientation Influence on Its Cryoballoon Isolation Results. *Diagnostics (Basel).* 2022;12(6):1322. Published 2022 May 26. doi:10.3390/diagnostics12061322

68. Schwartzman D, Bazaz R, Nosbisch J. Common left pulmonary vein: a consistent source of arrhythmogenic atrial ectopy. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2004;15(5): 560-66. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2004.03351.x>

69. Hunter RJ, Ginks M, Ang R, et al. Impact of variant pulmonary vein anatomy and image integration on long-term outcome after catheter ablation for atrial fibrillation. *Europace.* 2010;12(12):1691-1697. doi:10.1093/europace/euq322

70. Kubala M, Hermida JS, Nadji G, et al. Normal pulmonary veins anatomy is associated with better AF-free survival after cryoablation as compared to atypical anatomy with common left pulmonary vein. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2011;34(7): 837-43. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03070.x>

71. McLellan AJ, Ling LH, Ruggiero D, et al. Pulmonary vein isolation: the impact of pulmonary venous anatomy on long-term outcome of catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation. *Heart Rhythm.* 2014;11(4): 549-56. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2013.12.025>

72. Beiert T, Lodde PC, Linneborn LPT, et al. Outcome in patients with left common pulmonary vein after cryoablation with second-generation cryoballoon. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2018;41(1): 22-27. <https://doi.org/10.1111/pace.13247>

73. Чичкова ТЮ, Мамчур СЕ, Хоменко ЕА, Романова МП,

Коков АН. Влияние анатомии легочных вен на результаты их криобаллонной изоляции в лечении фибрилляции предсердий. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2019;8(4S):62-69. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-4S-62-69>

74. Xu B, Xing Y, Xu C, et al. A left common pulmonary vein: Anatomical variant predicting good outcomes of repeat catheter ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2019;30(5): 717-26. <https://doi.org/10.1111/jce.13876>

75. Larsen JM, Deyell MW, Macle L, et al. Impact of Left Common Pulmonary Veins in the Contact-Force vs. Cryoballoon Atrial Fibrillation Ablation (CIRCA-DOSE) Study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. Published online July 6, 2020. <https://doi.org/10.1111/jce.14652>

76. Ronsoni RM, Silvestrini TL, Essebag V, et al. Association of the left common ostium with clinical outcome after pulmonary vein isolation in atrial fibrillation. *Indian Pacing Electrophysiol J*.

2021;21(2): 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.ipej.2020.11.020>

77. Ronsoni RM, Silvestrini TL, Saffi MAL, et al. Impact of the left common ostium following pulmonary vein isolation in AF: Systematic review and meta-analysis. *J Arrhythm*. 2022;38(3): 287-98. <https://doi.org/10.1002/joa3.12710>

78. Choi S, Yang SY, Oh JK, et al. Left common trunkus pulmonary veins have genetic background and poor rhythm outcome after atrial fibrillation catheter ablation. *Europace*. 2023;25(Suppl 1): euad122.175. <https://doi.org/10.1093/europace/euad122.175>

79. Lee JM, Shim J, Park J, et al. The Electrical Isolation of the Left Atrial Posterior Wall in Catheter Ablation of Persistent Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol*. 2019;5(11): 1253-61. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2019.08.021>

80. Istratoaie S, Roşu R, Cismaru G, et al. The Impact of Pulmonary Vein Anatomy on the Outcomes of Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(11): 727. Published 2019 Nov 4. <https://doi.org/10.3390/medicina55110727>

REFERENCES

1. Joglar JA, Chung MK, Armbruster AL, et al. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS Guideline for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2024;83(1):109-279. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.08.017>

2. Arakelyan MG, Bockeria LA, Vasilieva EYu, 2020 Clinical guidelines for Atrial fibrillation and atrial flutter. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(7): 4594. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4594>

3. Kornej J, Börschel CS, Benjamin EJ, Schnabel RB. Epidemiology of Atrial Fibrillation in the 21st Century: Novel Methods and New Insights. *Circ Res*. 2020;127(1):4-20. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.120.316340>

4. Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: An increasing epidemic and public health challenge. *Int J Stroke*. 2021;16(2): 217-21. <https://doi.org/10.1177/1747493019897870>

5. Wu J, Nadarajah R, Nakao YM, et al. Temporal trends and patterns in atrial fibrillation incidence: A population-based study of 3·4 million individuals. *Lancet Reg Health Eur*. 2022;17: 100386. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2022.100386>

6. Krijthe BP, Kunst A, Benjamin EJ, et al. Projections on the number of individuals with atrial fibrillation in the European Union, from 2000 to 2060. *Eur Heart J*. 2013;34(35): 2746-51. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehd280>

7. Schnabel RB, Yin X, Gona P, et al. 50 year trends in atrial fibrillation prevalence, incidence, risk factors, and mortality in the Framingham Heart Study: a cohort study. *Lancet*. 2015;386(9989): 154-62. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61774-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61774-8)

8. Wolf PA, Abbott RD, Kannel WB. Atrial fibrillation as an independent risk factor for stroke: the Framingham Study. *Stroke*. 1991;22(8): 983-8. <https://doi.org/10.1161/01.str.22.8.983>

9. Российской Федерации. Кардиология. 2022;62(4): 12-9. [Mareev YuV, Polyakov DS, Vinogradova NG, et al. Epidemiology of atrial fibrillation in a representative sample of the European part of the Russian Federation. Analysis of EPOCH-CHF study. *Kardiologiya*. 2022;62(4): 12-9. (In Russ.). <https://doi.org/10.18087/cardio.2022.4.n1997>

10. Monahan KH, Bunch TJ, Mark DB, et al. Influence of atrial fibrillation type on outcomes of ablation vs. drug therapy: results from CABANA. *Europace*. 2022;24(9): 1430-40. <https://doi.org/10.1093/europace/euac055>

11. Andrade JG, Deyell MW, Macle L, et al. Progression of Atrial Fibrillation after Cryoablation or Drug Therapy. *N Engl J Med*. 2023;388(2): 105-116. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2212540>

12. Kuck KH, Fühnkrantz A, Chun KR, et al. Cryoballoon or radiofrequency ablation for symptomatic paroxysmal atrial fibrillation: reintervention, rehospitalization, and quality-of-life outcomes in the FIRE AND ICE trial. *Eur Heart J*. 2016;37(38): 2858-65. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw285>

13. Marrouche NF, Brachmann J, Andresen D, et al. Catheter Ablation for Atrial Fibrillation with Heart Failure. *N Engl J Med*. 2018;378(5): 417-27. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1707855>

14. Wong GR, Nalliah CJ, Lee G, et al. Sex-Related Differences in Atrial Remodeling in Patients With Atrial Fibrillation: Relationship to Ablation Outcomes. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2022;15(1): e009925. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.009925>

15. Tsai TY, Lo LW, Cheng WH, et al. 10-Year Outcomes of Patients With Non-Paroxysmal Atrial Fibrillation Undergoing Catheter Ablation. *Circ J*. 2022;87(1): 84-91. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-22-0062>

16. Shah AN, Mittal S, Sichrovsky TC, et al. Long-term outcome following successful pulmonary vein isolation: pattern and prediction of very late recurrence. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2008;19(7): 661-7. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01101.x>

17. Maurer T, Kuck KH. The quest for durable lesions in catheter ablation of atrial fibrillation - technological advances in radiofrequency catheters and balloon devices. *Expert Rev Med Devices*. 2017;14(8): 621-31. <https://doi.org/10.1080/17434440.2017.1358086>

18. Bonczar M, Piątek-Koziej K, Wolska J, et al. Variations in human pulmonary vein ostia morphology: A systematic review with meta-analysis. *Clin Anat*. 2022;35(7): 906-26. <https://doi.org/10.1002/ca.23896>

19. Kornienko NA, Chaplygina EV, Kaplunova OA, et al. Development and anomalies of the pulmonary veins. Modern problems of science and education. 2021;(2): 198 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.30731>

20. van den Berg G, Moorman AF. Development of the pulmonary vein and the systemic venous sinus: an interactive 3D overview. *PLoS One*. 2011;6(7): e22055. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022055>

21. Douglas YL, Jongbloed MR, Deruiter MC, et al. Normal and abnormal development of pulmonary veins: state of the art and correlation with clinical entities. *Int J Cardiol*. 2011;147(1): 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.07.004>

22. Anderson RH, Brown NA, Moorman AF. Development and structures of the venous pole of the heart. *Dev Dyn*. 2006;235(1): 2-9. <https://doi.org/10.1002/dvdy.20578>

23. Moorman AF, Anderson RH. Development of the pulmonary vein. *Int J Cardiol*. 2011;147(1): 182. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.12.034>

24. Sun C, Zhang T, Liu C, et al. Generation of Shox2-Cre allele for tissue specific manipulation of genes in the developing heart, palate, and limb. *Genesis*. 2013;51(7): 515-22. <https://doi.org/10.1002/dvg.22397>

25. Ye W, Wang J, Song Y, et al. A common Shox2-Nkx2-5 antagonistic mechanism primes the pacemaker cell fate in the pulmonary vein myocardium and sinoatrial node. *Development*. 2015;142(14): 2521-32. <https://doi.org/10.1242/dev.120220>

26. Gupta T, Randhawa A, Sahni D. Histological evaluation of atrial muscle sleeve of pulmonary veins as relevant to trigger mapping and ablation. *Surg Radiol Anat*. 2020;42(11): 1271-77. <https://doi.org/10.1007/s00276-020-02473-z>

27. Dudkiewicz D, Słodowska K, Jasińska KA, et al. The clinical anatomy of the left atrial structures used as landmarks

- in ablation of arrhythmogenic substrates and cardiac invasive procedures. *Transl Res Anat.* 2021;23: 100102. <https://doi.org/10.1016/j.tria.2020.100102>.
28. Kugler S, Nagy N, Rácz G, et al. Presence of cardiomyocytes exhibiting Purkinje-type morphology and prominent connexin45 immunoreactivity in the myocardial sleeves of cardiac veins. *Heart Rhythm.* 2018;15(2): 258-64. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.09.044>
29. Gupta T, Kaur M, Sahni D. Identification of novel pulmonary vein nodes as generators of ectopic arrhythmic foci for atrial fibrillation: an immunohistochemical proof. *Surg Radiol Anat.* 2022;44(1): 129-36. <https://doi.org/10.1007/s00276-021-02864-w>
30. Bittner A, Mönnig G, Vagt AJ, et al. Pulmonary vein variants predispose to atrial fibrillation: a case-control study using multislice contrast-enhanced computed tomography. *Europace.* 2011;13(10): 1394-1400. <https://doi.org/10.1093/europace/eur145>
31. Skowerski M, Wozniak-Skowerska I, Hoffmann A, et al. Pulmonary vein anatomy variants as a biomarker of atrial fibrillation - CT angiography evaluation. *BMC Cardiovasc Disord.* 2018;18(1): 146. <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0884-3>
32. Bonczar M, Piątek-Koziej K, Wolska J, et al. Variations in human pulmonary vein ostia morphology: A systematic review with meta-analysis. *Clin Anat.* 2022;35(7): 906-26. <https://doi.org/10.1002/ca.23896>
33. Anselmino M, Blandino A, Beninati S, et al. Morphologic analysis of left atrial anatomy by magnetic resonance angiography in patients with atrial fibrillation: a large single center experience. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2011;22(1): 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2010.01853.x>
34. Cabrera JA, Ho SY, Climent V, et al. The architecture of the left lateral atrial wall: a particular anatomic region with implications for ablation of atrial fibrillation. *Eur Heart J.* 2008;29(3): 356-62. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm606>
35. Marom EM, Herndon JE, Kim YH, McAdams HP. Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation. *Radiology.* 2004;230(3):824-829. [doi:10.1148/radiol.2303030315](https://doi.org/10.1148/radiol.2303030315)
36. Haïssaguerre M, Jaïs P, Shah DC, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med.* 1998;339(10): 659-66. <https://doi.org/10.1056/NEJM199809033391003>
37. Ehrlich JR, Cha TJ, Zhang L, et al. Cellular electrophysiology of canine pulmonary vein cardiomyocytes: action potential and ionic current properties. *J Physiol.* 2003;551(Pt 3): 801-13. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.046417>
38. Roney CH, Bayer JD, Cochet H, et al. Variability in pulmonary vein electrophysiology and fibrosis determines arrhythmia susceptibility and dynamics. *PLoS Comput Biol.* 2018;14(5): e1006166. Published 2018 May 24. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006166>
39. Ehrlich JR, Cha TJ, Zhang L, et al. Cellular electrophysiology of canine pulmonary vein cardiomyocytes: action potential and ionic current properties. *J Physiol.* 2003; 551: 801-13. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.046417>
40. Hocini M, Ho SY, Kawara T, et al. Electrical conduction in canine pulmonary veins: electrophysiological and anatomic correlation. *Circulation.* 2002;105(20): 2442-48. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000016062.80020.11>
41. Saito T, Waki K, Becker AE. Left atrial myocardial extension onto pulmonary veins in humans: anatomic observations relevant for atrial arrhythmias. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2000;11(8): 888-94. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2000.tb00068.x>
42. Gottlieb LA, Belterman C, van Amersfoort S, et al. Proarrhythmic Structural and Functional Properties of the Atrial-Pulmonary Junction in the Absence of Remodeling. *Front Physiol.* 2021;12: 748203. Published 2021 Nov 24. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.748203>
43. Leventopoulos G, Koros R, Travlos C, et al. Mechanisms of Atrial Fibrillation: How Our Knowledge Affects Clinical Practice. *Life (Basel).* 2023;13(6): 1260. <https://doi.org/10.3390/life13061260>
44. Pan Y, Xu L, Yang X, et al. The common characteristics and mutual effects of heart failure and atrial fibrillation: initiation, progression, and outcome of the two aging-related heart diseases. *Heart Fail Rev.* 2022;27(3): 837-47. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10095-9>
45. Zahid S, Cochet H, Boyle PM, et al. Patient-derived models link re-entrant driver localization in atrial fibrillation to fibrosis spatial pattern. *Cardiovasc Res.* 2016;110(3): 443-54. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvw073>
46. Hassink RJ, Aretz HT, Ruskin J, et al. Morphology of atrial myocardium in human pulmonary veins: a postmortem analysis in patients with and without atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42(6): 1108-14. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(03\)00918-5](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(03)00918-5)
47. Chen JY, Wu HI, Chang KC. Pulmonary vein volume and myocardial sleeve extension estimated by 3D computed tomography and voltage mapping predict arrhythmogenic triggers of paroxysmal atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2021;62(1): 177-85. <https://doi.org/10.1007/s10840-020-00892-x>
48. Ellis CR, Saavedra P, Kanagasundram A, et al. Pulmonary Vein Sleeve Length and Association With Body Mass Index and Sex in Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018;4(3): 412-14. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2017.11.011>
49. Cheruiyot I, Munguti J, Olabu B, et al. A meta-analysis of the relationship between anatomical variations of pulmonary veins and atrial fibrillation. *Acta Cardiol.* 2020;75(1): 1-9. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1544204>
50. Housari MA, Miraglia V, Terasawa M, et al. Pulmonary Vein Remodeling Between Atrial Fibrillation Subtypes: A Matched Comparison Cardiac Computed Tomography-Based Study Between Patients With Paroxysmal and Persistent Atrial Fibrillation. *Am J Cardiol.* 2023;207: 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2023.08.151>
51. Cheng WH, Lo LW, Lin YJ, et al. Ten-year ablation outcomes of patients with paroxysmal atrial fibrillation undergoing pulmonary vein isolation. *Heart Rhythm.* 2019;16(9): 1327-33. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.03.028>
52. Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, et al. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: the DECAAF study. *JAMA.* 2014;311(5): 498-506. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>
53. D'Ascenzo F, Corleto A, Biondi-Zoccai G, et al. Which are the most reliable predictors of recurrence of atrial fibrillation after transcatheter ablation?: a meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2013;167(5): 1984-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.05.008>
54. Canpolat U, Aytemir K, Yorgun H, et al. The Impact of Echocardiographic Epicardial Fat Thickness on Outcomes of Cryoballoon-Based Atrial Fibrillation Ablation. *Echocardiography.* 2016;33(6): 821-29. <https://doi.org/10.1111/echo.13193>
55. Desai Y, Levy MR, Iravanian S, et al. Clinical and anatomic predictors of need for repeat atrial fibrillation ablation. *World J Cardiol.* 2017;9(9): 742-48. <https://doi.org/10.4330/wjc.v9.i9.742>
56. Guo FQ, Zheng TT, Kou CG, et al. Cardiac computed tomography angiography-derived pulmonary vein volumetry as a predictor for atrial fibrillation recurrence after catheter ablation. *Quant Imaging Med Surg.* 2024;14(3): 2213-24. <https://doi.org/10.21037/qims-23-1302>
57. Kiuchi K, Yoshida A, Takei A, et al. Topographic variability of the left atrium and pulmonary veins assessed by 3D-CT predicts the recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation. *J Arrhythm.* 2015;31(5): 286-92. <https://doi.org/10.1016/j.joa.2015.03.006>
58. Huang SW, Jin Q, Zhang N, et al. Impact of Pulmonary Vein Anatomy on Long-term Outcome of Cryoballoon Ablation for Atrial Fibrillation. *Curr Med Sci.* 2018;38(2): 259-67. <https://doi.org/10.1007/s11596-018-1874-5>
59. Li B, Ma H, Guo H, et al. Pulmonary vein parameters are similar or better predictors than left atrial diameter for paroxysmal atrial fibrillation after cryoablation. *Braz J Med Biol Res.* 2019;52(9): e8446. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20198446>
60. FURUYA T, TANNO K, KIKUCHI M, et al. Large Right Pulmonary Vein Is a Predictor of Atrial Fibrillation Recurrence after Pulmonary Vein Isolation in Patients with Persistent Atrial Fibrillation. *The Showa University journal of medical sciences.* 2020;32(4): 233-45. <https://doi.org/10.15369/sujms.32.233>
61. Boussousou M, Szilveszter B, Vattay B, et al. The effect of left atrial wall thickness and pulmonary vein sizes on the acute procedural success of atrial fibrillation ablation. *Int J Cardiovasc*

Imaging. 2022;38(7): 1601-11. <https://doi.org/10.1007/s10554-022-02533-y>

62. Guckel D, Lucas P, Isgandarova K, et al. Impact of pulmonary vein variant anatomy and cross-sectional orifice area on freedom from atrial fibrillation recurrence after cryothermal single-shot guided pulmonary vein isolation. J Interv Card Electrophysiol. 2022;65(1): 251-60. <https://doi.org/10.1007/s10840-022-01279-w>

63. Isgandarova K, Bergau L, El Hamriti M, et al. Impact of pulmonary vein anatomy and ostial dimensions on long-term outcome after single-shot device-guided cryoablation for paroxysmal atrial fibrillation. J Interv Card Electrophysiol. 2023;66(9): 2125-33. <https://doi.org/10.1007/s10840-023-01554-4>

64. Qi D, Zhang J. Relationship between anatomical characteristics of pulmonary veins and atrial fibrillation recurrence after radiofrequency catheter ablation: a systematic review and meta-analysis. Front Cardiovasc Med. 2023;10: 1235433. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1235433>

65. Szegedi N, Vecsey-Nagy M, Simon J, et al. Orientation of the right superior pulmonary vein affects outcome after pulmonary vein isolation. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2022;23(4): 515-23. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab041>

66. Wang Y, Wu X, Liu N, et al. Correlation Analysis of Pulmonary Vein Anatomy and Paroxysmal Atrial Fibrillation Recurrence after Cryoballoon Ablation. The Heart Surgery Forum, 2024;27(3): E211-E221. <https://doi.org/10.5998/hsf.7057>

67. Mamchur S, Chichkova T, Khomenko E, Kokov A. Pulmonary Veins Morphometric Characteristics and Spatial Orientation Influence on Its Cryoballoon Isolation Results. Diagnostics (Basel). 2022;12(6):1322. Published 2022 May 26. doi:10.3390/diagnostics12061322

68. Schwartzman D, Bazaz R, Nosbisch J. Common left pulmonary vein: a consistent source of arrhythmogenic atrial ectopy. J Cardiovasc Electrophysiol. 2004;15(5): 560-66. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2004.03351.x>

69. Hunter RJ, Ginks M, Ang R, et al. Impact of variant pulmonary vein anatomy and image integration on long-term outcome after catheter ablation for atrial fibrillation. Europace. 2010;12(12):1691-1697. doi:10.1093/europace/euq322

70. Kubala M, Hermida JS, Nadji G, et al. Normal pulmonary veins anatomy is associated with better AF-free survival after cryoablation as compared to atypical anatomy with common left pulmonary vein. Pacing Clin Electrophysiol. 2011;34(7): 837-43. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03070.x>

71. McLellan AJ, Ling LH, Ruggiero D, et al. Pulmonary vein

isolation: the impact of pulmonary venous anatomy on long-term outcome of catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation. Heart Rhythm. 2014;11(4): 549-56. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2013.12.025>

72. Beiert T, Lodde PC, Linneborn LPT, et al. Outcome in patients with left common pulmonary vein after cryoablation with second-generation cryoballoon. Pacing Clin Electrophysiol. 2018;41(1): 22-27. <https://doi.org/10.1111/pace.13247>

73. Chichkova TYu, Mamchur SE, Khomenko EA, Romanova MP, Kokov AN. Impact of pulmonary vein anatomy on cryoballoon isolation results. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2019;8(4S):62-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-4S-62-69>

74. Xu B, Xing Y, Xu C, et al. A left common pulmonary vein: Anatomical variant predicting good outcomes of repeat catheter ablation for atrial fibrillation. J Cardiovasc Electrophysiol. 2019;30(5): 717-26. <https://doi.org/10.1111/jce.13876>

75. Larsen JM, Deyell MW, Macle L, et al. Impact of Left Common Pulmonary Veins in the Contact-Force vs. Cryoballoon Atrial Fibrillation Ablation (CIRCA-DOSE) Study. J Cardiovasc Electrophysiol. Published online July 6, 2020. <https://doi.org/10.1111/jce.14652>

76. Ronsoni RM, Silvestrini TL, Essebag V, et al. Association of the left common ostium with clinical outcome after pulmonary vein isolation in atrial fibrillation. Indian Pacing Electrophysiol J. 2021;21(2): 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.ipej.2020.11.020>

77. Ronsoni RM, Silvestrini TL, Saffi MAL, et al. Impact of the left common ostium following pulmonary vein isolation in AF: Systematic review and meta-analysis. J Arrhythm. 2022;38(3): 287-98. <https://doi.org/10.1002/joa3.12710>

78. Choi S, Yang SY, Oh JK, et al. Left common trunkus pulmonary veins have genetic background and poor rhythm outcome after atrial fibrillation catheter ablation. Europace. 2023;25(Suppl 1): euad122.175. <https://doi.org/10.1093/europace/euad122.175>

79. Lee JM, Shim J, Park J, et al. The Electrical Isolation of the Left Atrial Posterior Wall in Catheter Ablation of Persistent Atrial Fibrillation. JACC Clin Electrophysiol. 2019;5(11): 1253-61. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2019.08.021>

80. Istratoaie S, Roşu R, Cismaru G, et al. The Impact of Pulmonary Vein Anatomy on the Outcomes of Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. Medicina (Kaunas). 2019;55(11): 727. Published 2019 Nov 4. <https://doi.org/10.3390/medicina55110727>

Для цитирования: Бартош Н.О., Брюханов В.А., Милуков В.Е. Влияние вариантной анатомии легочных вен на предрасположенность к развитию фибрилляции предсердий и исходы интервенционного лечения (обзор литературы). Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2025;14(1): 60-73. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-1-60-73

To cite: Bartosh N.O., Bryukhanov V.A., Milyukov V.E. The influence of variant anatomy of the pulmonary veins on the susceptibility to the development of atrial fibrillation and the outcomes of interventional treatment (review). Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2025;14(1): 60-73. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-1-60-73