

ВОЛЬТАЖНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ У БОЛЬНЫХ
С ПЕРСИСТИРУЮЩЕЙ ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ

В.Ю.Цивковский, А.В.Чапурных, В.Б.Нижниченко

*ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» управления делами президента РФ, Москва,
ул. Маршала Тимошенко, д. 15.*

Цель. Оценка влияния сопутствующих заболеваний и аритмического анамнеза на вольтажные характеристики левого предсердия у пациентов с персистирующей фибрилляцией предсердий (ФП).

Материал и методы исследования. В исследование было включено 50 пациентов с персистирующей ФП, направленных на первичную радиочастотную абляцию. Всем пациентам выполнялось вольтажное картирование левого предсердия. Вольтажные карты состояли как минимум из 2000 точек, среднее количество точек 2128 ± 104 . Области с амплитудой биполярного сигнала 0,1–0,5 мВ относили к области низкого вольтажа (НВ), области с амплитудой биполярного сигнала менее 0,1 мВ расценивали, как область очень низкого вольтажа. Для каждой карты был рассчитан НВ% и процент очень низкого вольтажа.

Результаты. Мы выявили статистически значимую заметную корреляцию НВ% с возрастом ($p < 0,001$, $r = 0,720$), женским полом ($p = 0,016$) и длительностью анамнеза на момент старта персистирования ($p < 0,001$, $r = 0,503$). На основании полученных нами данных для прогнозирования НВ% была разработана оригинальная шкала. Шкала включает: возраст, женский пол, длительность аритмического анамнеза на момент старта персистирования. При возрасте более 65 лет присваивался 1 балл, пациентам женского пола присваивался 1 балл, при длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирования более 4 месяцев 1 балл, в остальных случаях 0 баллов. Количество баллов по данной шкале показало высокую корреляцию с НВ% ($p < 0,001$, $r = 0,768$). Шкала получила название ВЖД-ритм (Возраст, Женский пол, Длительность анамнеза на момент старта персистирования).

Заключение. Возраст, женский пол, и длительность аритмического анамнеза на момент старта персистирования являются предикторами процента сниженного вольтажа левого предсердия у пациентов с персистирующей ФП. Предложенная оригинальная шкала ВЖД-ритм может использоваться для прогнозирования объема сниженного вольтажа у пациентов с персистирующей ФП.

Ключевые слова: фибрилляция предсердий; радиочастотная абляция; высокоплотное картирование; снижение вольтажа левого предсердия

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: отсутствует.

Рукопись получена: 11.02.2025 **Исправленная версия получена:** 09.06.2025 **Принята к публикации:** 25.06.2025

Ответственный за переписку: Цивковский Виктор Юрьевич, E-mail: tsivkov@gmail.com

В.Ю.Цивковский - ORCID ID 0009-0007-5470-4969, А.В.Чапурных - ORCID ID 0000-0001-5517-855X, В.Б.Нижниченко - ORCID ID 0000-0003-2329-8156

Для цитирования: Цивковский ВЮ, Чапурных АВ, Нижниченко ВБ. Вольтажные характеристики левого предсердия у больных с персистирующей фибрилляцией предсердий. *Вестник аритмологии*. 2025;32(3): 5-13. <https://doi.org/10.35336/VA-1468>.

LEFT ATRIAL VOLTAGE CHARACTERISTICS IN PATIENTS WITH PERSISTENT ATRIAL
FIBRILLATION

V.Yu.Tsivkovskii, A.V.Chapurnykh, V.B.Nizhnichenko

Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, 15 Marshala Timoshenko str.

Aim. The aim of the study was to assess the impact of comorbidities and duration of arrhythmic anamnesis on the results of left atrium voltage mapping in patients with persistent atrial fibrillation (AF).

Methods. The study enrolled 50 patients who underwent the first radiofrequency ablation of persistent AF. Left atrium endocardial voltage maps were obtained using a 3D electroanatomical mapping system during AF. The voltage maps consisted of at least 2,000 points, with an average of $2,128 \pm 104$ points. Low-voltage areas (LVA) were defined as < 0.5 mV. The percentage of LVA% and very LVA% were calculated.

Results. We found a statistically significant correlation of LVA% with age ($p < 0.001$, $r = 0.720$), female sex ($p = 0.016$), and the duration of arrhythmic history at the time of the start of persistence ($p < 0.001$, $r = 0.503$). Based on the data obtained, an original scale was developed to predict LVA%. The scale includes age, female sex, and the duration of arrhyth-

mic history at the start of persistence. A score of 1 point was assigned for an age over 65 years, 1 point for female gender, and 1 point for a duration of arrhythmic history over 4 months; otherwise, 0 points were given. The total score on of the scale showed a high correlation with LVA% ($p < 0.001$, $r = 0.768$). The scale was named AFD-rhythm (Age, Female Sex, Duration of arrhythmic anamnesis at the Start of Persistence).

Conclusions. Age, female sex, and the duration of arrhythmic anamnesis at the start of persistence are predictors of LVA% of the left atrium in patients with persistent atrial fibrillation. The original AFD-rhythm scale can be used to predict the percentage of left atrium low voltage in patients with persistent AF.

Key words: atrial fibrillation; radiofrequency ablation; high-density mapping; left atrial low voltage

Conflict of Interest: none.

Funding: none.

Received: 11.02.2025 **Revision received:** 09.06.2025 **Accepted:** 25.06.2025

Corresponding author: Tsivkovskii Viktor, E-mail: tsivkov@gmail.com

V.Yu.Tsivkovskii - ORCID ID 0009-0007-5470-4969, A.V.Chapurnykh - ORCID ID 0000-0001-5517-855X, V.B.Nizhnichenko - ORCID ID 0000-0003-2329-8156

For citation: Tsivkovskii VYu, Chapurnykh AV, Nizhnichenko VB. Left atrial voltage characteristics in patients with persistent atrial fibrillation. *Journal of Arrhythmology*. 2025;32(3): 5-13. <https://doi.org/10.35336/VA-1468>.

Идентификация эктопии легочных вен (ЛВ), как триггера фибрилляции предсердий (ФП), представленная в работах M.Naissaguerre et al. (1998), привела к разработке метода изоляции ЛВ, который на сегодняшний день имеет первый класс показаний при выполнении радиочастотной абляции (РЧА) ФП [1]. Однако вскоре стало понятно, что эктопическая активность может локализоваться не только в области ЛВ, триггер-индуцируемая пароксизмальная ФП трансформируется в субстрат-зависимую персистирующую и длительно персистирующую аритмию. Это подтверждается работами J.Seitz et al. (2017) которые показали, что абляция триггеров ФП вне ЛВ без изоляции ЛВ приводила к свободе от аритмии у 85% пациентов в течение 18 месяцев наблюдения [2].

В то же время, эмпирическое выполнение дополнительных линейных абляций и модификация субстрата, производимые с целью лечения субстрат-зависимой ФП, изученные в исследовании STAR-AF II, не выявили снижения частоты рецидивов ФП по сравнению с классической антральной изоляцией ЛВ [3]. Исследователи сделали вывод, что пациент-специфическая абляция субстрата требует более глубокого понимания.

Одним из механизмов трансформации аритмии является распространение фиброза левого предсердия (ЛП) и его аритмогенный эффект. Золотым стандартом визуализации распространения фиброза миокарда является магнитно-резонансная томография (МРТ) с поздним захватом гадолиния, что обеспечивает не прямое изучение распространенности фиброза в ЛП [4]. В применении этого метода есть множество ограничений - от стоимости исследования до наличия противопоказаний к его проведению, да и сам метод оказался невоспроизводим при его выполнении в различных исследовательских центрах [5]. R.S.Oakes et al. (2009) удалось установить корреляцию объема позднего захвата гадолиния с низковольтажными зонами при электроанатомическом картировании [6]. В последующем было установлено, что площадь низковольтажных зон, напрямую коррелирует с частотой рецидивов ФП [7].

Было предложено большое количество шкал, позволяющих прогнозировать процент областей сниженного вольтажа в ЛП. Однако, в ходе исследований, подтверждающих эффективность шкал, электроанатомическое картирование выполнялось на синусовом ритме после выполнения кардиоверсии, у пациентов с персистирующей ФП, что могло повлиять на результаты картирования. В то же время изучению факторов, влияющих на амплитудные характеристики предсердного сигнала на фоне ФП, уделено мало внимания.

Целью данного исследования явилась оценка влияния сопутствующих заболеваний и аритмического анамнеза на результаты вольтажного картирования ЛП у пациентов с персистирующей ФП.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование было включено 50 пациентов с персистирующей ФП, направленных на первичную РЧА. Средний возраст больных составил $67,10 \pm 9,49$ лет, 36 мужчин (72%) и 14 женщин (28%). У всех пациентов аритмия была клинически значима и проявлялась ощущениями постоянного или преходящего учащенного сердцебиения и/или снижением толерантности к физической нагрузке. Наличие ФП у всех пациентов документировано на электрокардиограмме и холтеровском мониторинге электрокардиограммы.

Для каждого пациента была определена общая длительность аритмического анамнеза, длительность персистирования и длительность аритмического анамнеза на момент начала персистирования. Длительность аритмического анамнеза составила $50,38 \pm 10,00$ месяцев, при длительности персистирования $17,03 \pm 3,76$ месяцев, а длительность анамнеза на момент старта персистирования $32,5 \pm 8,21$ месяцев.

Вольтажные карты ЛП строили с применением системы навигационного картирования CARTO 3 (Biosense Webster, США). Картирование выполняли мультиэлектродным катетером PentaRay (Biosense Webster, США) с использованием функции «tissue

proximity», с расстоянием точек от анатомической модели предсердия не более 5 мм, с применением модуля confidence со следующими параметрами: стабильность положения катетера 6 мм, плотность электроанатомических точек 1 мм. Все вольтажные карты состояли как минимум из 2000 точек, среднее количество точек 2128 ± 104 . После картирования проводили анализ вольтажных карт, определение областей сниженного вольтажа и подсчет процента областей сниженного вольтажа.

Области с амплитудой биполярного сигнала более 0,5 мВ были определены как области нормального вольтажа, зоны с амплитудой биполярного сигнала 0,1–0,5 мВ относили к области низкого вольтажа, а области с амплитудой биполярного сигнала менее 0,1 мВ как область очень низкого вольтажа. Вышеописанные пороги сниженного вольтажа выбраны на основании проведенных ранее многочисленных исследований. Так в ряде работ был предложен порог сниженного вольтажа в 0,5 мВ [8–10]. В настоящее время этот порог является наиболее распространенным в литературе. В исследовании Y.Lin et al. (2014) значение вольтажа менее 0,1 мВ определено как «плотный рубец» [11].

Для каждой карты был рассчитан процент низкого вольтажа (НВ%) и очень низкого вольтажа (ОНВ%). При подсчете процента областей низкого вольтажа определяли площадь карты ЛП. Использовали функцию «area measurement», которая рассчитывает общую площадь карты ЛП, из общей площади вычитали площадь кольца митрального клапана и устьев ЛВ. Измерение площади кольца митрального клапана и устьев ЛВ представлено на рис. 1. После чего рассчитывалась площадь областей сниженного вольтажа, так же с использованием функции «area measurement» (рис. 2). На основании построенной анатомической модели ЛП, после исключения ЛВ, рассчитывали его объем, включая ушко ЛП.

Нами был проведен корреляционный анализ связи НВ% и ОНВ% с полом, возрастом, длительностью аритмического анамнеза, длительностью персистирующего, длительностью анамнеза на момент старта персистирующего, ассоциированными заболеваниями (атеросклерозом коронарных артерий, толщиной межжелудочковой перегородки (как маркера гипертрофии

миокарда левого желудочка), сахарным диабетом, величиной индекса массы тела, уровнем скорости клубочковой фильтрации (СКФ)), передне-задним размером ЛП измеренном при эхокардиографии, индексом размера ЛП, фракцией выброса левого желудочка, скоростью изгнания из ушка ЛП измеренной при предоперационной чреспищеводной эхокардиографии а так же с объемом ЛП измеренном на основании построенной карты ЛП.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.6.3 (разработчик - ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 - Q3). Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента корреляции Пирсона (при нормальном распределении сопоставляемых показателей), с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при распределении, отличном от нормального). Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами установлена статистически значимая высокая корреляция НВ% с возрастом ($p < 0,001$, $r = 0,720$), женским полом ($p = 0,016$) и средняя корреляция с длительностью анамнеза на момент старта персистирующего ($p < 0,001$, $r = 0,503$). Мы выявили статистически значимую, слабую связь НВ% с уровнем СКФ ($p = 0,002$, $r = -0,336$), объемом ЛП, измеренном при построении карты ЛП ($p = 0,019$, $r = 0,330$), индексом размера ЛП ($p < 0,001$, $r = 0,432$) и скоростью изгнания из ушка ЛП ($p = 0,023$, $r = -0,335$).

Мы не выявили корреляции НВ% с длительностью персистирующего ($p = 0,728$), толщиной межжелудочковой перегородки ($p = 0,976$), индексом массы тела ($p = 0,814$), наличием атеросклероза коро-

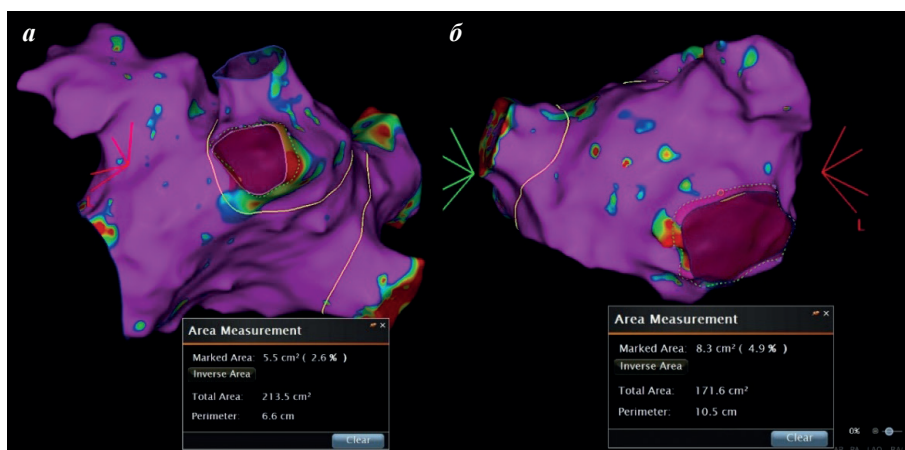


Рис. 1. Вольтажное картирование левого предсердия: а - расчёт площади устьев левой нижней легочной вены, б - кольца митрального клапана.

нарных артерий ($p=0,058$), сахарного диабета ($p=0,192$), фракцией выброса левого желудочка ($p=0,125$), переднезадним размером ЛП ($p=0,213$).

При анализе ОНВ% нами выявлена статистически значимая корреляция с возрастом ($p<0,001$, $r=0,656$) и женским полом ($p=0,039$), слабая связь ОНВ% с уровнем СКФ ($p=0,013$, $r=-0,357$) и длительностью анамнеза аритмии на момент старта персистирувания ($p<0,003$, $r=0,410$), а также очень слабая связь с индексом размера ЛП ($p=0,048$, $r=-0,276$).

Мы не выявили корреляции ОНВ% с длительностью персистирувания ($p=0,567$), толщиной МЖП ($p=0,876$), индексом массы тела ($p=0,900$), наличием атеросклероза коронарных артерий ($p=0,055$), сахарного диабета ($p=0,098$), фракцией выброса левого желудочка ($p=0,300$), переднезадним размером ЛП ($p=0,481$), объемом ЛП ($p=0,618$) и скоростью изгнания из ушка ЛП ($p=0,371$).

Таким образом наибольшую степень корреляции с ОНВ% и ОНВ% показали: возраст, женский пол, длительность аритмического анамнеза на момент старта персистирувания, уровень СКФ. На основании полученных нами данных для прогнозирования ОНВ% была разработана оригинальная шкала. Эта шкала включает: возраст, женский пол, длительность аритмического анамнеза на момент старта персистирувания.

Для выбора пороговых значений возраста и длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирувания был проведен ROC-анализ. Для каждой переменной построена ROC-кривая. Площадь под кривой использовалась для оценки дискриминирующей способности показателей. Оптимальные пороговые значения определялись с использованием критерия Юдена (J), рассчитываемого по формуле: $J = \text{чувствительность} + \text{специфичность} - 1$. Точка, соответствующая максимальному значению индекса Юдена, рассматривалась как оптимальный диагностический порог. Для бинаризации исходной переменной использован порог ОНВ%=35%, так как медианное значение ОНВ% составляет 35,57%, кроме того, значение 35% является границей выраженного фиброза по шкале Utah. Наилучшее значение индекса Юдена для возраста достигается при пороге 65 лет, для длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирувания достигается при пороге 4 месяца. ROC-кривые представлены на рис. 3, значения чувствительности, специфичности и индекса Юдена в табл. 1.

При возрасте более 65 лет присваивался 1 балл, пациентам женского пола присваивался 1 балл, при длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирувания более 4 месяцев 1 балл, в остальных случаях 0 баллов. Количество баллов по данной шкале показало высокую корреляцию с ОНВ% ($p<0,001$, $r=0,778$). Шкала получила название ВЖД-ритм (Возраст, Женский пол, Длительность анамнеза на момент старта персистирувания).

Приведен график регрессионного анализа взаимосвязи количества баллов по шкале и ОНВ% (рис. 4) и результаты корреляционного анализа взаимосвязи факторов, включенных в шкалу и количества баллов по шкале и ОНВ% (табл. 2). Так же количество баллов по

данной шкале показало среднюю корреляцию с ОНВ% ($p<0,001$, $r=0,597$).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Существуют разнообразные шкалы для прогнозирования процента низкого вольтажа в ЛП, которые включают в себя различные факторы. Шкала DR-FLASH, в которую входят: сахарный диабет, почечная дисфункция, персистирующее течение ФП, переднезадний размер ЛП более 45 мм, возраст более 65 лет, женский пол и артериальная гипертензия, показала высокую эффективность для прогнозирования наличия областей сниженного вольтажа [12-14].

Для прогнозирования рецидивов ФП после РЧА у пациентов, перенесших первичное и повторное вмешательство, была разработана шкала APPLE. В нее вошли: возраст более 65 лет, персистирующая форма

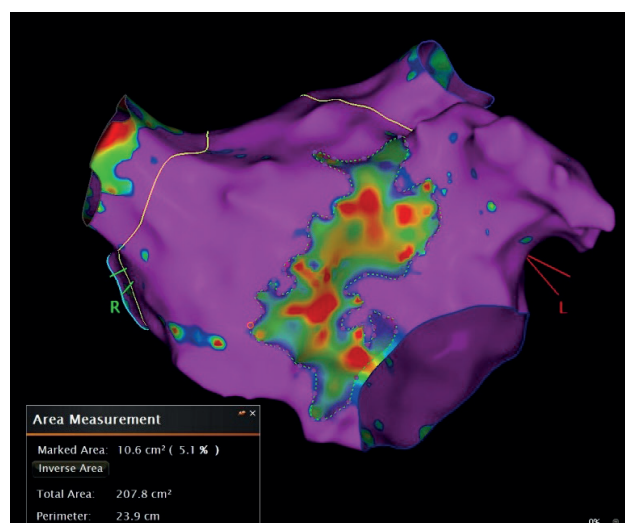


Рис. 2. Расчёт площади области сниженного вольтажа.

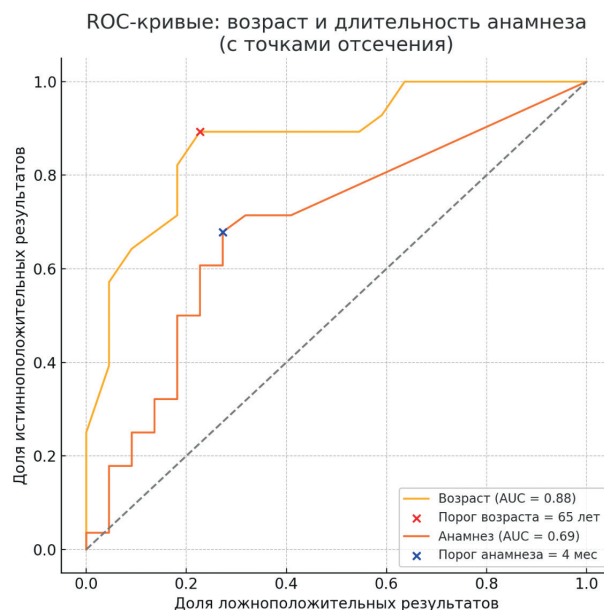


Рис. 3. ROC-кривые для определения точки разделения возраста и длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирувания относительно ОНВ%

ФП, снижение СКФ менее <60 мл/мин/1,73м², переднезадний размер ЛП более 42 мм, фракция выброса левого желудочка менее 50%. Эта шкала предоставила возможность прогнозирования областей сниженного вольтажа [12]. В табл. 3 представлены встречающиеся в литературе шкалы для прогнозирования распространения областей низкого вольтажа.

Важным моментом является то, что в ходе исследований, подтверждающих эффективность шкал, электроанатомическое картирование выполнялось на синусовом ритме. Пациентам с персистирующей и длительно персистирующей ФП выполнялась кардиоверсия, а затем проводилось вольтажное картирование на синусовом ритме или предсердной стимуляции. Однако A.Lahuerta et al. (2022) показали, что результаты вольтажного картирования на ФП и на синусовом ритме после кардиоверсии у одного и того же пациента значительно отличаются [15]. Исследование N.A.Qureshi et al. (2019) показало, что корреляция между областями низкого вольтажа, выявленными при эндокардиальном картировании и областями фиброза, диагностированными при МРТ с поздним захватом гадолиния, значительно повышается при картировании во время ФП по

Таблица 1.

Значения при оптимальном пороге чувствительности, специфичности и индекса Юдена при оптимальном пороге

Показатель	Чувствительность	Специфичность	Индекс Юдена
Возраст ≥ 65 лет	0,89	0,77	0,67
Анамнез ≥ 4 мес	0,68	0,73	0,41

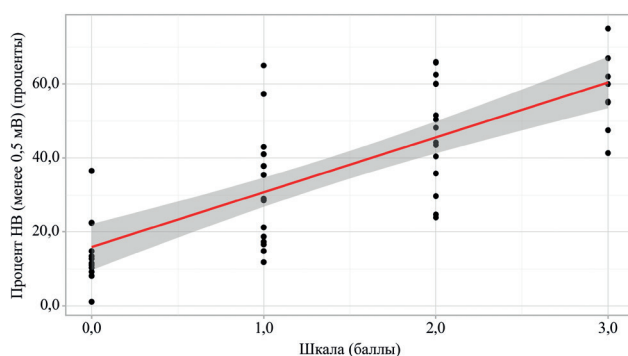


Рис. 4. График регрессионной функции, характеризующий зависимость НВ% от количества баллов по оригинальной шкале.

Таблица 2.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязи факторов, включенных в шкалу и количества баллов по шкале и НВ%

Показатель	ρ	p
Возраст	0,720	$<0,001$
Женский пол		0,016
Длительность анамнез аритмии*	0,503	$<0,001$
Количество баллов по шкале	0,778	$<0,001$

Примечание: * - на момент старта персистирувания

сравнении с картированием на синусовом ритме [16]. Так же в работе J.Chen et al. (2019) продемонстрировано что большинство аритмогенных областей ЛП (области пространственно-временной дисперсии и продолженной активности) совпадает по локализации с областями сниженного вольтажа, выявленными при картировании на ФП что говорит о важности исследования областей сниженного вольтажа даже вне связи с фиброзом предсердия [15].

Кроме того, в подобного рода исследованиях пациенты с неэффективной кардиоверсией или с рецидивом ФП сразу после восстановления ритма исключались из исследования. В одном из исследований доля таких пациентов составила 12,9% [17]. На наш взгляд исключение из анализа таких пациентов с более тяжелым течением аритмии может серьезно повлиять на результаты исследования. Одним из важных факторов, оказывающих влияние на результаты вольтажного картирования, является электрическая кардиоверсия и тот факт, что картирование проводится сразу после ее выполнения.

Как было отмечено выше, результаты вольтажного картирования на ФП и синусовом ритме у одного и того же пациента значительно отличаются и на настоящий момент не до конца понятно картирование на каком ритме более соответствует реальной картине фиброза ЛП. На наш взгляд вышеупомянутые факторы такие как картирование на синусовом ритме сразу после выполненной кардиоверсии и исключение из анализа пациентов с неэффективной кардиоверсией говорят о том, что вольтажное картирование на аритмии у пациентов с персистирующей ФП видится более рациональным.

В нашем исследовании при высокоплотном картировании среднее количество проанализированных электрограмм составило более 2000 на карту ЛП. При этом в более ранних исследованиях их количество составляло около 200, что не соответствует представлениям о высокоплотном картировании и может повлиять на результаты исследования [18-20]. Также в некоторых исследованиях использовалось картирование разными типами электродов (3,5 мм аблационным и мультиэлектродным катетером) [12, 13, 18, 19, 21]. E.Anter et al. (2015) показали, что при картировании областей сохранного вольтажа амплитуда биполярного сигнала была одинаковой при использовании различного типа катетеров, но при картировании областей сниженного вольтажа общая площадь областей вольтажа $<0,5$ мВ, измеренная с использованием мультиэлектродных катетеров с диаметром электрода 1 мм, была меньше, чем площадь, измеренная с использованием аблационного катетера 3,5 мм [9, 22].

Наиболее дискуссионным остается вопрос различий в результатах картирования на синусовом ритме и ФП. Ранее упомянутые работы показали существенную разницу в результатах последовательного вольтажного картирования на ФП и синусовом ритме у одного и того же пациента с использованием порогового значения НВ 0,5 и 0,3 мВ [14, 16]. Это говорит о необходимости поиска разных порогов низкого вольтажа для картирования на ФП и синусовом ритме.

Предпринято большое количество попыток определить порог сниженного вольтажа для картирования на фоне ФП, в результате которых предлагались разные значения порогового вольтажа от 0,24 до 0,35 мВ, которые могут соответствовать порогу 0,5 мВ при синусовом ритме [16, 23, 24]. Однако прийти к единому значению порогового вольтажа на данный момент не удалось. Как отмечают в своей работе D.Nairn et al. (2023), при использовании новых пороговых значений соответствие областей сниженного вольтажа между синусовым ритмом и ФП остается умеренным, с большей выявляемостью сниженного вольтажа при картировании во время ФП [24].

На наш взгляд ввиду критичной разницы в направлении распространения возбуждения и скорости распространения импульса на синусовом ритме и ФП невозможно подобрать порог вольтажа, при котором вольтажные карты на синусовом ритме и ФП будут соответствовать друг другу. Поэтому определять предикторы областей низкого вольтажа для картирования на синусовом ритме и ФП, вероятно стоит отдельно друг от друга.

Опираясь на вышеупомянутые исследования, определившие порогом сниженного вольтажа 0,5 мВ, а также исследование N.A.Qureshi et al. (2019) показавшее, что картирование на ФП дает более высокую корреляцию с результатами МРТ с поздним захватом гадолиния, мы использовали пороги 0,5 мВ и 0,1 мВ для определения предикторов низкого вольтажа [16]. При этом не было отмечено существенной разницы в результатах корреляционного анализа с использованием порога для низкого и очень низкого вольтажа.

Снижение вольтажа левого предсердия и возраст

ФП является наиболее распространенной возраст-ассоциированной аритмией, и старение человека обычно связано с повышенным риском развития ФП [25]. Эта проблема описывалась в экспериментах на животных и исследованиях с небольшой выборкой, в которых сообщалось о возрастных изменениях электрофизиологических свойств клеток и нарушениях проводимости [25, 26].

Связь между фиброзом ЛП и возрастом была продемонстрирована при гистологических анализах образцов, полученных на вскрытии и при хирургических операциях на открытом сердце. Анализ ткани предсердий продемонстрировал корреляцию между фиброзом предсердий и ФП в анамнезе. Авторы показали отсутствие значительного фиброза у контрольных пациентов аналогичного возраста без ФП в анамнезе [27, 28].

Исследования, касающиеся корреляции между фиброзом ЛП и возрастом, противоречивы. При исследовании аутопсийного материала P.G.Platonov et al. (2011) не обнаружили никакой корреляции между возрастом и распространенностью фиброза ЛП [28]. В клиническом исследовании H.Cochet et al. (2015) возраст являлся предиктором фиброза, диагностированным при МРТ с гадолинием [29]. В нашем исследовании возраст показал наиболее сильную корреляцию с процентом сниженного вольтажа ЛП.

Снижение вольтажа левого предсердия и пол

Исследование EORP-AF показало различия, связанные с полом, в эпидемиологии, клиническом ведении и лечении ФП [30]. Было показано, что у женщины

Таблица 3.

Шкалы прогнозирования распространения областей сниженного вольтажа в левом предсердии

Название шкалы	Параметры	Количество точек при картировании ЛП	Картирующий катетер
DR-FLASH [12, 13]	СД, ХБП, ПерсФП, ЛП > 45 мм, возраст > 65 лет, женский пол, АГ	>1000; 144±76	SmartTouch (Biosense Webster), TactiCath (Abbot), мультиэлектродный циркулярный катетер
APPLE [11, 18]	Возраст > 65, ПерсФП, СКФ < 60 мл/мин/1,73 м ² , ЛП > 43 мм, ФВ < 50%	>1000; >200	SmartTouch (Biosense Webster), TactiCath (Abbot), Мультиэлектродный циркулярный катетер
(m)APPLE [19]	Возраст > 65, ПерсФП, СКФ < 60 мл/мин/1,73 м ² , иОЛП ≥ 39 мл/м ² , ФВ ЛП < 31%	>1000	SmartTouch (Biosense Webster), TactiCath (Abbot), Мультиэлектродный циркулярный катетер
SPEED [21]	Женский пол, ПерсФП, возраст > 70 лет, proBNP > 400 пг/м, СД	≥100 (3,5-мм аблационный катетер), ≥1000 мультиэлектродный катетер	3,5-мм аблационный или мультиэлектродный катетер Biosense Webster /Boston Scientific/Abbot
ZAQ [20]	Возраст > 65 лет, женский пол, иОЛП 57 мл/м ²	>200	TactiCath (Abbot), ThermoCool SmartTouch (Biosense Webster)
ANP [43]	Возраст > 65 лет, NT-proBNP ≥ 17 нг/мл, Перс ФП	>1000	Reflexion Spiral (Abbot), Lasso (Biosense Webster)
ATLAS [45]	Возраст > 60 лет, женский пол, ПерсФП, курение, иОЛП (1 балл за каждые 10 мл/м ²)	2876 ± 1058	PentaRay (Biosense Webster)

Примечание: ЛП - левое предсердие; СД - сахарный диабет; ХБП - хроническая болезнь почек; ПерсФП - персистирующая фибрилляция предсердий; АГ - артериальная гипертензия; СКФ - скорость клубочковой фильтрации; ФВ - фракция выброса; иОЛП - индексированный объем левого предсердия.

с ФП имеют в 1,3-2,0 раза более высокий риск рецидива ФП после РЧА [31-33]. Исследование FIRE and ICE продемонстрировало, что женский пол ассоциирован с почти 40% увеличением рецидивов предсердных аритмий после изоляции ЛВ [34]. Другие исследования показали, что несмотря на то, что частота рецидивов аритмии после РЧА у женщин выше, в ходе повторных процедур реконнекции ЛВ у женщин наблюдались реже чем у мужчин [35, 36]. Это может быть объяснено большим количеством не венозных триггеров ФП, которые могут быть связаны с областями сниженного вольтажа. В ранее проведенных исследованиях женский пол был независимым предиктором фиброза ЛП [37-39]. Это наблюдение связано с прямым гендерно-зависимым эффектом, основанном на различиях во влиянии половых гормонов на неблагоприятное ремоделирование ЛП и фиброз. В нашем исследовании мы наблюдали, что женский пол коррелирует с повышенным процентом областей сниженного вольтажа ЛП.

Снижение вольтажа левого предсердия и длительность аритмического анамнеза

Интересным является наблюдение о взаимосвязи длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирующего и НВ%. Пациенты, имевшие историю пароксизмального течения аритмии перед тем, как «перейти» в персистирующее имели больший НВ% чем пациенты первым проявлением аритмии у которых явилось персистирующее. Это может с одной стороны указывать на различные механизмы персистирующего ФП, с другой стороны на необходимость более раннего вмешательства для контроля синусового ритма и минимизации распространения областей сниженного вольтажа, которые влияют на дальнейший прогноз течения аритмии и эффективность хирургического лечения. Так же полученные данные говорят о том, что распространение областей сниженного вольтажа является в большей степени результатом пароксизмов ФП, предшествовавших персистирующему, а длительность персистирующего аритмии вносит меньший вклад в распространение сниженного вольтажа.

Наши данные об отсутствии связи длительности персистирующего и снижения вольтажа согласуются с данными других исследований [40]. Мы не встретили работ, исследовавших корреляцию длительности аритмического анамнеза на момент старта персистирующего и НВ%. В данной работе впервые обращено внимание на длительность течения ФП предшествующую персистирующему и на ее влияние на распространенность сниженного вольтажа.

Снижение вольтажа левого предсердия и ассоциированные заболевания

Согласно полученным нами данным, ассоциированные заболевания не оказывают влияния на процент областей очень низкого вольтажа. Это согласуется с результатами некоторых исследований не продемонстрировавших связи ассоциированных заболеваний со снижением вольтажа ЛП у пациентов с персистирующим течением ФП [40]. В то же время исследования, изучавшие эффективность ранее предложенных шкал, показали их значимость в прогнозировании распространения областей сниженного вольтажа ЛП [12]. В экспериментальных моделях на животных была показана связь артериальной гипертензии и фиброза ЛП [41]. Кроме того, в эксперименте на животных выявлено влияние ожирения на развитие фиброза ЛП, и обратное развитие фиброза при снижении веса [42].

Отдельно стоит выделить почечную дисфункцию, так как уровень СКФ показал статистически значимую, умеренную связь как с НВ%, так и с ОНВ%. Встречаются данные как о связи уровня СКФ с распространением сниженного вольтажа, так и об отсутствии такой связи [43, 44]. Вероятно, такая неубедительная корреляция связана с тем, что в исследуемой группе встречались лишь пациенты с умеренным снижением СКФ (средний уровень СКФ 61,8), в то время как ни у одного из наших пациентов не было IV и V стадий хронической болезни почек.

Нами разработана оригинальная шкала ВЖД-ритм для прогнозирования объема сниженного вольтажа у пациентов с персистирующей ФП. Данная шкала прогнозирует процент сниженного вольтажа для пациентов с ФП, картирование у которых выполнялось на аритмии. Как упоминалось выше, исследования показали корреляцию между объемом низковольтажных зон и рецидивами ФП после РЧА [7]. На основании этого можно сделать предположение что разработанная нами шкала может прогнозировать эффективность РЧА ФП. Однако это утверждение требует подтверждения в дальнейших исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возраст, женский пол, и длительность аритмического анамнеза на момент старта персистирующего являются предикторами объема сниженного вольтажа ЛП у пациентов с персистирующей ФП. Предложенная оригинальная шкала ВЖД-ритм может использоваться для прогнозирования объема сниженного вольтажа у пациентов с персистирующей ФП.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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>.
2. Seitz J, Bars C, Théodore G, et al. AF Ablation Guided by Spatiotemporal Electrogram Dispersion Without Pulmonary Vein Isolation: A Wholly Patient-Tailored Approach. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69(3): 303-21. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.10.065>.
3. Verma A, Jiang CY, Betts TR, et al. Approaches to catheter ablation for persistent atrial fibrillation. *N Engl J Med.* 2015;372(19): 1812-22. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1408288>.
4. Marrouche NF, Naccarelli GV, Akoum Y, et al. Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation: The DECAAF Study. *JAMA.* 2014;312(17): 1805-14. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3>.
5. Sramko M, Peichl P, Wichterle D, et al. Clinical value of assessment of left atrial late gadolinium enhancement

- in patients undergoing ablation of atrial fibrillation. *Int J Cardiol.* 2015;179: 351-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.11.072>.
6. Oakes RS, Badger TJ, Kholmovski EG, et al. Detection and quantification of left atrial structural remodeling with delayed-enhancement magnetic resonance imaging in patients with atrial fibrillation. *Circulation.* 2009;119(13): 1758-67. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.811877>.
 7. Yamaguchi T, Tsuchiya T, Nagamoto Y, et al. Long-term results of pulmonary vein antrum isolation in patients with atrial fibrillation: an analysis in regard to substrates and pulmonary vein reconnections. *Europace.* 2014;16(5): 511-20. <https://doi.org/10.1093/europace/eut265>.
 8. Sanders P, Morton JB, Kistler PM, et al. Electrophysiological and electroanatomic characterization of the atria in sinus node disease: Evidence of diffuse atrial remodeling. *Circulation.* 2004;109(11): 1514-22. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000121734.47409.AA>.
 9. Anter E, Tschabrunn CM, Josephson ME. High-resolution mapping of scar-related atrial arrhythmias using smaller electrodes with closer interelectrode spacing. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2015;8(3): 537-45. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002737>.
 10. Saghy L, Callans DJ, Garcia F, et al. Is there a relationship between complex fractionated atrial electrograms recorded during atrial fibrillation and sinus rhythm fractionation? *Heart Rhythm.* 2012;9(2): 181-8. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2011.09.062>.
 11. Lin Y, Yang B, Garcia FC, et al. Comparison of left atrial electrophysiologic abnormalities during sinus rhythm in patients with different type of atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2014;39(1): 57-67. <https://doi.org/10.1007/s10840-013-9838-y>.
 12. Kornej J, Schumacher K, Dinov B, et al. Prediction of electro-anatomical substrate and arrhythmia recurrences using APPLE, DR-FLASH and MB-LATER scores in patients with atrial fibrillation undergoing catheter ablation. *Sci Rep.* 2018;8(1): 12686. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31133-x>.
 13. Kosiuk J, Dinov B, Kornej J, et al. Prospective, multicenter validation of a clinical risk score for left atrial arrhythmogenic substrate based on voltage analysis: DR-FLASH score. *Heart Rhythm.* 2015;12(9): 2207-12. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.07.003>.
 14. Andrés Lahuerta A, Roberto C, Saiz FJ, et al. Atrial low voltage areas: A comparison between atrial fibrillation and sinus rhythm. *Cardiol J.* 2022;29(2): 252-62. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2021.0125>.
 15. Chen J, Arentz T, Cochet H, et al. Extent and spatial distribution of left atrial arrhythmogenic sites, late gadolinium enhancement at magnetic resonance imaging, and low-voltage areas in patients with persistent atrial fibrillation: comparison of imaging vs. electrical parameters of fibrosis and arrhythmogenesis. *Europace.* 2019;21(10): 1484-93. <https://doi.org/10.1093/europace/euz159>.
 16. Qureshi NA, Kim SJ, Cantwell CD, et al. Voltage during atrial fibrillation is superior to voltage during sinus rhythm in localizing areas of delayed enhancement on magnetic resonance imaging: An assessment of the posterior left atrium in patients with persistent atrial fibrillation. *Heart Rhythm.* 2019;16(9): 1357-67. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.05.032>.
 17. Kiedrowicz RM, Wielusinski M, Wojtarowicz A, et al. Predictors of the voltage derived left atrial fibrosis in patients with long-standing persistent atrial fibrillation. *Cardiol J.* 2022;29(4): 660-9. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0069>.
 18. Kornej J, Büttner P, Sommer P, et al. Prediction of electro-anatomical substrate using APPLE score and biomarkers. *Europace.* 2019;21(1): 54-9. <https://doi.org/10.1093/europace/euy120>.
 19. Seewöster T, Kosich F, Sommer P, et al. Prediction of low-voltage areas using modified APPLE score. *Europace.* 2021;23(4): 575-80. <https://doi.org/10.1093/europace/eaab311>.
 20. D'Ambrosio G, Romano S, Allothman O, et al. Computed tomography-derived left atrial volume index, sex, and age to predict the presence and the extent of left atrial low-voltage zones in patients with atrial fibrillation: The ZAQ score. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020;31(4): 895-902. <https://doi.org/10.1111/jce.14391>.
 21. Matsuda Y, Masuda M, Asai M, et al. A new clinical risk score for predicting the prevalence of low-voltage areas in patients undergoing atrial fibrillation ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020;31(12): 3150-8. <https://doi.org/10.1111/jce.14761>.
 22. Гасимова НЗ, Шабанов ВВ, Сафонов НВ, и др. Многоконтактное картирование в лечении различных нарушений ритма сердца. Вестник аритмологии. 2024;31(1): 110-122 [Gasimova NZ, Shabanov VV, Safonov NV, et al. Multipolar mapping in the management of different arrhythmias. *Journal of Arrhythmology.* 2024;31(1): 110-122] <https://doi.org/10.35336/VA-1297>.
 23. Rodríguez-Mañero M, Valderrábano M, Baluja A, et al. Validating Left Atrial Low Voltage Areas During Atrial Fibrillation and Atrial Flutter Using Multielectrode Automated Electroanatomic Mapping. *JACC Clin Electrophysiol.* 2018;4(12): 1541-52. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2018.08.015>.
 24. Nairn D, Eichenlaub M, Lehrmann H, et al. Spatial correlation of left atrial low voltage substrate in sinus rhythm versus atrial fibrillation: The rhythm specificity of atrial low voltage substrate. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2023;34(8): 1613-21. <https://doi.org/10.1111/jce.15984>.
 25. Anyukhovskiy EP, Sosunov EA, Plotnikov A, et al. Cellular electrophysiologic properties of old canine atria provide a substrate for arrhythmogenesis. *Cardiovasc Res.* 2002;54: 462-9. [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(02\)00271-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(02)00271-7).
 26. Gramley F, Lorenzen J, Knackstedt C, et al. Age-related atrial fibrosis. *Age.* 2009;31: 27-38. <https://doi.org/10.1007/s11357-008-9077-9>.
 27. Kainuma S, Masai T, Yoshitatsu M, et al. Advanced left-atrial fibrosis is associated with unsuccessful maze operation for valvular atrial fibrillation. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2011;40(1): 61-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.11.008>.
 28. Platonov PG, Mitrofanova LB, Orshanskaya V, et al. Structural abnormalities in atrial walls are associated with presence and persistency of atrial fibrillation but not with age. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58(21): 2225-32. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.05.032>.

org/10.1016/j.jacc.2011.05.061.

29. Cochet H, Mouries A, Nivet H, et al. Age, atrial fibrillation, and structural heart disease are the main determinants of left atrial fibrosis detected by delayed-enhanced magnetic resonance imaging in a general cardiology population. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2015;26: 484-92. <https://doi.org/10.1111/jce.12651>.
30. Lip GY, Laroche C, Boriani G, et al. Sex-related differences in presentation, treatment, and outcome of patients with atrial fibrillation in Europe: a report from the Euro Observational Research Programme Pilot survey on Atrial Fibrillation. *Europace.* 2015;17: 24-31. <https://doi.org/10.1093/europace/euu155>.
31. Xiaocheng C, Qiongwen H, Lei G, et al. Sex-related differences in catheter ablation of atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. *Europace.* 2019;21(10): 1509-18. <https://doi.org/10.1093/europace/euz179>.
32. 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). <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.009925>.
33. Kerr CR, Humphries K. Gender-related differences in atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol.* 2005;46: 1307-8. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.07.007>.
34. Kuck KH, Brugada J, Schlüter M, et al. The FIRE AND ICE Trial: What We Know, What We Can Still Learn, and What We Need to Address in the Future. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(24). <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.010777>.
35. Tanaka N, Inoue K, Kobori A, et al. Sex differences in atrial fibrillation ablation outcomes: insights from a large-scale multicentre registry. *Europace.* 2020;22(9): 1345-57. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa104>.
36. Sugumar H, Nanayakkara S, Chieng D, et al. Arrhythmia recurrence is more common in females undergoing multiple catheter ablation procedures for persistent atrial fibrillation: Time to close the gender gap. *Heart Rhythm.* 2020;17(5 Pt A):692-98. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.12.013>.
37. Akoum N, Mahnkopf C, Kholmovski EG, et al. Age and sex differences in atrial fibrosis among patients with atrial fibrillation. *Europace.* 2018;20(7): 1086-92. <https://doi.org/10.1093/europace/eux260>.
38. Huo Y, Gaspar T, Pohl M, et al. Prevalence and predictors of low voltage zones in the left atrium in patients with atrial fibrillation. *Europace.* 2018;20(6): 956-62. <https://doi.org/10.1093/europace/eux082>.
39. Wu N, Liu W, Yang G, et al. Sex difference in atrial scar prevalence: What can we learn from the STABLE-SR-III trial? *Heart Rhythm.* 2024;21(7): 1001-07. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2024.02.020>.
40. Ammar-Busch S, Buiatti A, Tatzber A, et al. Predictors of low voltage areas in persistent atrial fibrillation: is it really a matter of time? *J Interv Card Electrophysiol.* 2020;57: 345-52. <https://doi.org/10.1007/s10840-018-0471-7>.
41. 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/eh280>.
42. Mahajan R, Lau DH, Brooks AG, et al. Electrophysiological, Electroanatomical, and Structural Remodeling of the Atria as Consequences of Sustained Obesity. *J Am Coll Cardiol.* 2015;66: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.04.058>.
43. Matsuda Y, Masuda M, Asai M, et al. Impact of Renal Dysfunction on Left Atrial Low-Voltage Areas in Patients With Atrial Fibrillation. *Circ J.* 2019;83(5): 985-90. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-1277>.
44. Seewöster T, Büttner P, Zeynalova S, et al. Are the atrial natriuretic peptides a missing link predicting low-voltage areas in atrial fibrillation? Introducing the novel biomarker-based atrial fibrillation substrate prediction (ANP) score. *Clin Cardiol.* 2020;43(7): 762-68. <https://doi.org/10.1002/clc.23378>.
45. Kiedrowicz RM, Wielusiński M, Wojtarowicz A, et al. Atrial fibrillation risk scores to evaluate left atrial substrate based on voltage analysis in long-standing persistent type of arrhythmia. *Kardiologia Pol.* 2021;79(5): 525-30. <https://doi.org/10.33963/kp.15902>.