

<https://doi.org/10.35336/VA-1523>

<https://elibrary.ru/EGMYJJ>

АНАЛИЗ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ У ПАЦИЕНТОВ С ПОСТОЯННОЙ
ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ ПРИ РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ
СОКРАЩЕНИЙ И ФРАКЦИИ ВЫБРОСА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО
НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

А.Б.Корнеев

*ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7/9, Северо-Западный центр диагностики и лечения аритмий, Россия,
Санкт-Петербург, пр. Луначарского, д.40, к.4*

Цель. Постоянная форма фибрилляции предсердий (ФП) требует контроля частоты сердечных сокращений (ЧСС), однако оптимальный уровень ЧСС остаётся предметом дискуссий. Гемодинамические параметры, такие как среднее гемодинамическое артериальное давление (СГАД) и доля недостаточно гемодинамически эффективных сердечных сокращений (НГЭСС), определенные по пульсовому артериальному давлению (ПАД), могут дать представление о гемодинамических особенностях ФП при разной ЧСС и фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ).

Материал и методы исследования. В исследование включены 135 пациентов с постоянной ФП (37-90 лет, класс симптомности согласно модифицированной шкале mEHRA 1-2A). У каждого пациента методом «разгруженной артерии» определялось систолическое артериальное давление (АД), диастолическое АД и ПАД на каждом ударе сердца в течение 15 минут с использованием системы «Кардиотехника-САКР» (НАО «Инкарт», Санкт-Петербург). Также на каждом сердечном цикле были определены показатели СГАД и его вариабельности в виде двух независимых характеристик - Average Real Variability (ARV) и Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD) (средняя реальная вариабельность и квадратичный корень из среднего квадрата последовательных разностей).

Результаты. Процент НГЭСС, определенных для каждого пациента как отклонения от среднего ПАД, принятого за 1 («заметные» <0,75, «выраженные» <0,5, «сильные» <0,25) достоверно увеличивался с ростом ЧСС и в диапазонах (60-89 и >110 уд/мин), но не 90-110 уд/мин., был выше у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ (<50%), чем у пациентов с сохранённой ФВ ЛЖ (≥50%) (p<0,05). Выявлены значимые индивидуальные различия в НГЭСС у лиц с одинаковой средней ЧСС в группах 60-89 и 90-110 уд/мин для лиц как с сохранённой, так и сниженной ФВ ЛЖ. СГАД снижалось по мере роста ЧСС; при ЧСС >110 уд/мин СГАД у группы сниженной ФВ ЛЖ составило 80,4±12,3 мм рт.ст. в сравнении с 94,1±14,1 мм рт.ст. у группы с сохранённой ФВ ЛЖ (p<0,05). При увеличении ЧСС СГАД статистически значимо не менялось ни у пациентов с сохранённой, ни со сниженной ФВ ЛЖ, и межгрупповых различий во всех диапазонах ЧСС также не выявлено (p>0,05).

Заключение. Контроль ЧСС при постоянной ФП должен быть индивидуализированным, гемодинамически ориентированным и учитывать ФВ ЛЖ. Beat-to-beat-мониторинг позволяет выявить оптимальную ЧСС, минимизирующую НГЭСС и вариабельность СГАД с поддержанием его в пределах принятых референтных значений, особенно у пациентов с ослабленной сократительной функцией миокарда.

Ключевые слова: постоянная фибрилляция предсердий; артериальное давление на каждом сердечном сокращении; гемодинамика; недостаточно эффективные сердечные сокращения; среднее гемодинамическое артериальное давление; вариабельность артериального давления; частота сердечных сокращений; RMSSD; ARV

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: отсутствует.

Рукопись получена: 08.07.2025 **Исправленная версия получена:** 20.09.2025 **Принята к публикации:** 25.09.2025

Ответственный за переписку: Корнеев Александр Борисович, E-mail: korneew1995@yandex.ru

А.Б.Корнеев - ORCID ID 0000-0002-6796-8302

Рукопись участвовала в конкурсе на лучшую научную работу молодых ученых по клинической и фундаментальной аритмологии в рамках XI Всероссийского съезда аритмологов.

Для цитирования: Корнеев А.Б. Анализ гемодинамических особенностей у пациентов с постоянной фибрилляцией предсердий при разных диапазонах частоты сердечных сокращений и фракции выброса левого желудочка с помощью непрерывного неинвазивного мониторинга артериального давления. *Вестник аритмологии.* 2025;32(4): 22-29. <https://doi.org/10.35336/VA-1523>.

HEMODYNAMIC CHARACTERISTICS IN PATIENTS WITH PERMANENT ATRIAL FIBRILLATION ACROSS DIFFERENT HEART RATE RANGES AND LEFT VENTRICULAR EJECTION FRACTION LEVELS USING CONTINUOUS NON-INVASIVE BLOOD PRESSURE MONITORING

A.B.Korneev

FSBI St. Petersburg State University, Russia, Saint-Petersburg, 7/9 Universitetskaya emb.; North-West Center for Diagnosis and Treatment of Arrhythmias, Russia, Saint-Petersburg, 40/4 Lunacharsky Ave.

Aim. Permanent atrial fibrillation (AF) requires rate control. However, the optimal heart rate (HR) remains a matter of debate. Hemodynamic parameters such as mean arterial pressure (MAP) and the proportion of hemodynamically ineffective beats (HIB), derived from pulse pressure (PP), may provide insight into the hemodynamic characteristics of AF at different HRs and left ventricular ejection fractions (LVEF).

Methods. The study included 135 patients with permanent AF (aged 37-90 years, symptom class 1-2A according to the mEHRA scale). For each patient, beat-to-beat systolic BP, diastolic BP, and PP were measured using the "volume clamp" method over a 15-minute period with the "Cardiotechnika-SAKR" system (Incart, Saint Petersburg). On each cardiac cycle, MAP and its variability were calculated using two independent metrics: Average Real Variability (ARV) and Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD).

Results. The percentage of HIBs, defined per patient as deviations from the mean PP, considered as 1 («mild» <0.75, «moderate» <0.5, «severe» <0.25) - significantly increased with higher HR. Across all HR ranges (60-89 and >110 bpm), except 90-110 bpm, HIBs were more frequent in patients with reduced LVEF (<50%) than in those with preserved LVEF (≥50%) (p<0.05). Significant inter-individual differences in HIBs were observed among patients with similar average HRs within both the 60-89 and 90-110 bpm groups, in both preserved and reduced LVEF subgroups. MAP decreased with increasing HR; at HR >110 bpm, MAP was 80.4 ± 12.3 mmHg in the reduced LVEF group versus 94.1 ± 14.1 mmHg in the preserved LVEF group (p<0.05). With rising HR, MAP did not change significantly in either preserved or reduced LVEF groups, and no between-group differences were found across HR ranges (p>0.05).

Conclusion. Heart rate control in permanent AF should be individualized, hemodynamically guided, and account for LVEF. Beat-to-beat monitoring enables identification of the optimal HR that minimizes HIBs and MAP variability while maintaining MAP within accepted reference values, particularly in patients with impaired contractile function.

Keywords: permanent atrial fibrillation, beat-to-beat blood pressure, «volume clamp» method, hemodynamics, hemodynamically ineffective beats, mean arterial pressure, blood pressure variability, heart rate, RMSSD, ARV

Conflict of Interest: none.

Funding: none.

Received: 08.07.2025 **Revision received:** 20.09.2025 **Accepted:** 25.09.2025

Corresponding author: Korneev Alexander, E-mail: korneew1995@yandex.ru

A.B.Korneev - ORCID ID 0000-0002-6796-8302

The manuscript participated in the competition for the best scientific work of young scientists in clinical and fundamental arrhythmology within the framework of the XI All-Russian Congress of Arrhythmologists.

For citation: Korneev A.B. Hemodynamic characteristics in patients with permanent atrial fibrillation across different heart rate ranges and left ventricular ejection fraction levels using continuous non-invasive blood pressure monitoring. *Journal of Arrhythmology*. 2025;32(4): 22-29. <https://doi.org/10.35336/VA-1523>.

Фибрилляция предсердий (ФП) - наиболее распространённая форма сердечной аритмии, характеризующаяся хаотической электрической активностью в предсердиях, что приводит к их неэффективным сокращениям. Заболевание оказывает значительное влияние на качество жизни пациентов и связано с повышенным риском инсульта, сердечной недостаточности и смертности. С ростом продолжительности жизни и увеличением распространённости факторов риска, таких, как гипертония, ожирение и сахарный диабет, частота встречаемости ФП неуклонно возрастает [1-4]. Постоянная форма данной аритмии подразумевает единственно доступный терапевтический подход - контроль частоты сердечных сокращений (ЧСС). Нахождение оптимальной ЧСС для пациентов с ФП являлось предметом многих исследований, основополагающими из которых в контексте данной

проблематики являются RACE II, AFFIRM и AF-CHF [5-7]. Именно эти исследования стали основой для формирования известных для каждого практикующего кардиолога принципов, указанных в действующих российских клинических рекомендациях и европейских методических документах: достижение ЧСС не более 110 уд/мин для бессимптомных пациентов и менее 80 уд/мин - для лиц с выраженной симптоматикой. Эти рекомендации актуальны для лиц без сердечной недостаточности (СН), в то время, как для пациентов с её наличием предпочтительнее поддержание ЧСС на уровне ниже 100 уд/мин.

Несмотря на активные дискуссии и опубликованные пост-анализы по этим исследованиям, подчеркивающие недостатки существующих подходов, данные диапазоны ЧСС остаются целевыми для практикующего кардиолога, хоть и не с самым высоким

классом рекомендаций [1, 2, 8-10]. Вероятным решением в определении оптимальной ЧСС может быть обращение к гемодинамическим характеристикам ФП при помощи прибора регистрации артериального давления (АД) на каждом сердечном сокращении, который более известен как инструмент для сопровождения вегетативных (автономных) тестов, но также зарекомендовал себя с точки зрения точной регистрации АД при ФП с привязкой периферических значений к полученным по результатам синхронного измерения в плече на другой руке методом Короткова [11, 12]. Определение количества так называемых «недостаточно гемодинамически эффективных» сердечных сокращений (НГЭСС), которые по своей сути являются результатом инструментальной объективизации хорошо известной характеристики физикального обследования - дефицита пульса, и оценка среднего гемодинамического АД (СГАД), отражающего степень непрерывной периферической перфузии, могут дать представление о гемодинамических особенностях ФП при разной ЧСС.

Таким образом, целью данного исследования являлся анализ гемодинамических изменений у пациентов с постоянной фибрилляцией предсердий при разной частоте сердечных сокращений и фракции выброса левого желудочка.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование было включено 135 пациентов возрастом от 37 до 90 лет (мужчин - 84, женщин - 51) с постоянной неклапанной ФП без признаков внутрисердечных нарушений проводимости (QRS <120 мс по данным электрокардиографии (ЭКГ)) и классом симптомности по шкале mEHRA, соответствовавшим 1 (отсутствие симптомов) или 2А (слабо выраженные симптомы, не мешающие повседневной жизни). Клиническое исследование было проведено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации и одобрено локальным этическим комитетом при медицинском центре. Всеми больными было подписано письменное информированное согласие на участие в исследовании. Клиническая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Исследование имело наблюдательный, гипотезо-генерирующий характер. В него были последовательно включены все пациенты, соответствующие критериям, которые обращались в клинику в период с 09.2023 по 12.2024. Априорный расчёт необходимого объёма выборки не проводился.

Определение гемодинамических показателей

Каждому пациенту в течение 15 минут методом «разгруженной артерии» проводилась непрерывная регистрация систолического, диастолического и пульсового артериального давления (ПАД) на каждом сердечном сокращении с синхронной регистрацией ЭКГ в 12 отведениях при помощи системы «Кардиотехника-САКР» (НАО «Инкарт», Санкт-Петербург, патенты на изобретение N RU 2694737 C1, В.В.Пивоваров с соавт. и RU 2698447 C1, В.В.Пивоваров с соавт.) [13-15].

Среднее гемодинамическое АД

СГАД отражает устойчивый уровень перфузии тканей в системе большого круга кровообращения и в среднем составляет около 100 мм рт.ст. (нормальный диапазон 70-100 мм рт.ст.) [16]. Поскольку изменение АД в артериях является сложной периодической функцией, СГАД равно не полусумме максимального (систолического) и минимального (диастолического) давлений, а среднему из бесконечно малых изменений давления от максимального до минимального в течение одного сердечного цикла [17]. Поэтому при автоматизированных расчетах СГАД на каждом сердечном цикле использовалась следующая формула:

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

где $p_{\text{ср}}$ - СГАД за интервал времени; $p(t)$ - мгновенное давление в момент времени t ; t_1, t_2 - начальное и конечное время сердечного цикла; $\Delta t = t_2 - t_1$ - длительность сердечного цикла.

Вариабельность среднего гемодинамического АД

Вариабельность СГАД в данной работе оценивалась с использованием двух независимых показателей: ARV и RMSSD. Оба индекса рассчитывались на основании данных о СГАД, полученных для каждого пациента по каждому сердечному циклу. Показатель ARV отражает среднее абсолютное изменение СГАД между последовательными ударами сердца и чувствителен к уровню краткосрочной нестабильности давления, не завися от его абсолютного значения [18]. Формально он рассчитывался как среднее

Таблица 1.

Клинические характеристики и медикаментозная терапия пациентов

Параметр	Количество
Гипертоническая болезнь, n (%)	131 (97,0)
Ишемическая болезнь сердца, n (%)	27 (20,0)
Инфаркт миокарда в анамнезе, n (%)	9 (6,7)
ОНМК в анамнезе, n (%)	8 (5,9)
Сахарный диабет 2 типа, n (%)	22 (16,3)
Медикаментозная терапия	
иАПФ / БРА / АРНИ	112 (83,0)
Бета-блокаторы, %	130 (96,3)
AMP, %	33 (24,4)
SGLT2-ингибиторы, %	51 (37,8)
Статины, %	90 (66,7)
Метформин, %	22 (16,3)
НОАК, %	131 (97,0)

Примечание: ОНМК - острое нарушение мозгового кровообращения; иАПФ - ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента; БРА - блокаторы рецепторов ангиотензина II; АРНИ - антагонисты рецепторов ангиотензина и ингибиторы неприлизина; AMP - антагонисты минералокортикоидных рецепторов; SGLT2 - натрий-глюкозный котранспортер 2; НОАК - новые оральные антикоагулянты.

арифметическое от модуля разности между соседними измерениями:

$$ARV = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |MAP_{i+1} - MAP_i|$$

где ARV - средняя реальная вариабельность (Average Real Variability) СГАД, отражающая среднюю абсолютную разницу между последовательными измерениями; N - общее число измерений СГАД (МАР) за анализируемый период; MAP_i - значение СГАД на i-м измерении; $|MAP_{i+1} - MAP_i|$ - абсолютное значение разницы между соседними измерениями СГАД.

В свою очередь, RMSSD - корень из среднего квадрата разностей между последовательными значениями СГАД, более чувствителен к резким флуктуациям и часто используется в вариабельностном анализе вегетативной регуляции [19]:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (MAP_{i+1} - MAP_i)^2}$$

где RMSSD - квадратный корень из среднего квадрата последовательных разностей (Root Mean Square of Successive Differences), показатель кратковременной вариабельности СГАД; N - общее число измерений СГАД (МАР) за анализируемый период; MAP_i - значение СГАД при i-м измерении; $(MAP_{i+1} - MAP_i)^2$ - квадрат разности между соседними измерениями СГАД.

Перед межгрупповым сравнением проверялись статистические предпосылки: нормальность распределения - критерием Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий - тестом Левена. При нормальном распределении и гомогенности дисперсий применялся однофакторный дисперсионный анализ ANOVA (для ≥ 3 групп) или t-тест. При нарушении нормальности выполнялась проверка непараметрическими аналогами - использовался тест Краскала-Уоллиса или Манна-Уитни. Критерием статистической значимости считалось значение $p < 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам 15-минутного исследования АД на каждом сердечном сокращении были получены

средние значения систолического, диастолического и ПАД. Среднее ПАД было принято за индивидуальную норму для каждого пациента (за «1»). Отклонения от 1 стали ранжироваться на «заметные», «выраженные» и «сильные». Таким образом по итогам записи для каждого пациента автоматически программным обеспечением вычислялся процент сердечных сокращений, которые соответствовали значению менее 0,75, менее 0,5 и менее 0,25 от среднего ПАД, принятого за 1. Так определялись разной степени НГЭСС. Иначе этот подход можно охарактеризовать как определение процента сердечных сокращений, которые на 25%, 50% и 75% менее эффективны, чем индивидуальное среднее ПАД, принятое за 100%.

Недостаточно эффективные сердечные сокращения

Из 135 пациентов у 33-х было выявлено снижение ФВ ЛЖ менее 50%, а у 102 пациентов ФВ ЛЖ была больше или равна 50%. Абсолютные значения ФВ ЛЖ по группам составили $68,29 \pm 11,05\%$ и $43,67 \pm 4,74\%$. Пациенты были стратифицированы по диапазонам средней ЧСС (60-89, 90-110 и >110 уд/мин), что позволило проанализировать влияние ЧСС на количество НГЭСС. Это разграничение отражает как физиологические закономерности наполнения и выброса, так и клинически значимые пороги контроля ЧСС, рекомендованные в российских и международных руководствах по ведению пациентов с ФП. Группы с сохраненной ФВ ЛЖ и сниженной ФВ ЛЖ были сравнены между собой по вышеуказанным диапазонам ЧСС.

Процент НГЭСС достоверно увеличивался с ростом ЧСС в обеих группах пациентов ($p < 0,001$). (табл. 2). Вместе с тем пациенты со сниженной ФВ ЛЖ в целом демонстрировали статистически значимо более высокую долю НГЭСС по сравнению с пациентами с сохраненной ФВ ЛЖ в диапазонах ЧСС 60-89 и >110 уд/мин. В диапазоне ЧСС 60-89 уд/мин. процент «заметных» НГЭСС составил $17,8 \pm 8,5\%$ в группе ФВ ЛЖ $<50\%$ в сравнении $10,5 \pm 5,9\%$ в группе с сохраненной ФВ ЛЖ ($p < 0,001$). Доля «выраженных» НГЭСС также была выше при сниженной ФВ ЛЖ: средние значения составили $7,3 \pm 6,0\%$ при сниженной и $3,6 \pm 4,0\%$ при сохраненной ФВ ЛЖ соответственно ($p = 0,004$). Различия в проценте «сильных» отклонений не достигло статистической значимости: $3,8 \pm 4,9\%$ против $2,2 \pm 3,0\%$; $p = 0,09$.

Таблица 2.

Параметры НГЭСС пациентов с сохраненной и сниженной ФВ ЛЖ при разных диапазонах ЧСС (n=135)

ФВ, %	ЧСС, уд/мин	n	НГЭСС, %			СГАД, мм рт.ст.	СО АД, мм рт.ст.	p*
			Заметные	Выраженные	Сильные			
≥ 50	60-89	60	$10,5 \pm 5,9$	$3,6 \pm 4,0$	$2,1 \pm 2,9$	101 ± 15	$5,9 \pm 1,6$	$<0,001$
	90-110	28	$21,1 \pm 6,9$	$13,1 \pm 7,2$	$8,8 \pm 6,4$	96 ± 13	$6,2 \pm 1,6$	
	>110	14	$38,5 \pm 7,0$	$28,3 \pm 9,9$	$20,2 \pm 9,7$	94 ± 14	$6,3 \pm 1,8$	
<50	60-89	16	$17,8 \pm 8,5$	$7,3 \pm 6,0$	$3,7 \pm 4,6$	95 ± 14	$6,1 \pm 2,6$	$<0,001$
	90-110	11	$22,2 \pm 9,0$	$12,6 \pm 9,2$	$7,4 \pm 8,2$	98 ± 12	$5,7 \pm 0,7$	
	>110	6	$48,2 \pm 4,7$	$42,1 \pm 7,1$	$34,4 \pm 8,6$	80 ± 12	$6,3 \pm 1,5$	

Примечание: здесь и далее НГЭСС - недостаточно гемодинамически эффективные сердечные сокращения, ФВ ЛЖ - фракция выброса левого желудочка, ЧСС - частота сердечных сокращений, СГАД - среднее гемодинамическое артериальное давление, СО - стандартное отклонение, * - однофакторный ANOVA.

При ЧСС 90-110 уд/мин статистически значимых различий между группами не зафиксировано ни по одному из показателей ($p>0,5$). Существенные различия в НГЭСС наблюдались и при ЧСС >110 уд/мин: $48,2\pm4,7\%$ «заметных» в группе сниженной ФВ ЛЖ в сравнении с $38,5\pm7,0\%$ в группе сохраненной ФВ ЛЖ ($p=0,006$), процент «выраженных» НГЭСС составил $42,07\pm6,52\%$ в сравнении с $28,29\pm9,56\%$ ($p=0,006$), а доля «сильных» отклонений достигала $34,4\pm8,6\%$ и $20,2\pm9,7\%$, соответственно ($p=0,005$).

С учётом наличия выборок с нарушением нормальности распределения, проверка статистических различий была дополнительно проведена с использованием непараметрических критериев (тесты Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни). Существенных расхождений с ранее полученными результатами выявлено не было.

Среднее гемодинамическое АД

При анализе СГАД в зависимости от ЧСС как у пациентов с сохраненной, так и со сниженной ФВ ЛЖ статистически значимых различий выявлено не было (табл. 2). В обеих подгруппах распределение данных отклонялось от нормального, и была нарушена гомогенность дисперсий, в связи с чем для оценки различий использовались непараметрические методы. По результатам теста Краскела-Уоллиса, с увеличением ЧСС значения СГАД значимо не изменялись ни у пациентов с сохраненной ФВ ЛЖ ($p=0,087$), ни у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ ($p=0,081$). При сравнении значений СГАД между двумя группами ФВ во всех диапазонах ЧСС статистически значимых различий также не было выявлено (тест Манна-Уитни, $p=0,075-0,65$).

Максимальные индивидуальные значения СГАД в группе сохраненной ФВ ЛЖ достигали $126,5$ мм рт.ст. при ЧСС 60-89 уд/мин. и $123,0$ мм рт.ст. при ЧСС 90-110 уд/мин. В группе со сниженной ФВ ЛЖ максимальные значения СГАД также превышали 120 мм рт.ст., но только при ЧСС до 110 уд/мин; при ЧСС >110 уд/мин ни у одного пациента СГАД не превышало 100 мм рт.ст. Более того, именно в этой подгруппе фиксировались профили гипоперфузии (СГАД - SD <70 мм рт.ст.).

Вариабельность среднего гемодинамического АД

При синусовом ритме вариабельность СГАД остаётся относительно стабильной и незначительной. Однако при ФП из-за выраженной нерегулярности сердечных сокращений наблюдается существенное увеличение вариабельности СГАД. Это обстоятельство, вероятно, имеет даже большее клиническое значение, чем общее повышение или понижение уровня СГАД. Именно резкие, пусть и кратковременные, эпизоды гипоперфузии, свойственные ФП, могут оказывать неблагоприятное влияние на перфузию жизненно важных органов.

Использование сразу двух показателей вариабельности (ARV и RMSSD) позволяет более полно описать характер краткосрочных колебаний гемодинамики. В данной работе они были рассчитаны для всех пациентов и дополнительно стратифицированы по диапазонам средней ЧСС (60-89, 90-110 и >110 уд/мин), что обеспечило комплексный анализ динамической стабильности АД в зависимости от функционального состояния миокарда.

Результаты анализа показали, что ARV и RMSSD существенно различались в зависимости от ЧСС, но только у пациентов с сохраненной ФВ ЛЖ (табл. 3). У данной категории наблюдалось статистически значимое увеличение как ARV ($p<0,001$), так и RMSSD ($p<0,001$) при переходе от ЧСС 60-89 уд/мин к диапазонам 90-110 и >110 уд/мин. Наибольшие значения вариабельности были зафиксированы при тахикардии (>110 уд/мин): ARV составил $6,0\pm2,3$ мм рт.ст., RMSSD - $7,3\pm2,8$ мм рт.ст. В то же время у пациентов с сниженной ФВ ЛЖ аналогичная зависимость отсутствовала: ни ARV ($p=0,85$), ни RMSSD ($p=0,98$) не демонстрировали статистически значимого изменения между диапазонами ЧСС. При сравнении групп с сохраненной и сниженной ФВ ЛЖ в каждом из трёх диапазонов ЧСС статистически значимых различий не выявлено (все $p>0,05$), за исключением более высокой вариабельности СГАД у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ при ЧСС 60-89 уд/мин (ARV: $p=0,004$, RMSSD: $p=0,01$).

Проверка чувствительности с применением непараметрических тестов полностью воспроизвела выявленные различия: все ключевые сравнения сохранили статистическую значимость при уровне $\alpha=0,05$, что подтверждает надёжность и устойчивость полученных результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящем исследовании впервые сопоставлены гемодинамические характеристики, определенные непрерывно на каждом сердечном цикле при постоянной ФП не только с ЧСС, но и с функцией левого желудочка. Полученные данные позволяют уточнить, почему «универсальные» целевые диапазоны ЧСС, предложенные в крупных контролируемых исследованиях (AFFIRM, RACE II, AF-CHF), нередко оказываются клинически несостоятельными.

Недостаточно гемодинамически эффективные сердечные сокращения

ПАД с физиологической точки зрения является, пусть и косвенно, отражением ударного объема и сосудистого тонуса, а потому его динамика в условиях ФП может служить интегральным маркером эффек-

Таблица 3.

Показатели вариабельности среднего АД пациентов

ФВ ЛЖ, %	ЧСС, уд/мин	n	ARV \pm SD, мм рт.ст.	RMSSD \pm SD, мм рт.ст.
$\geq 50\%$	60-89	60	$4,0\pm1,2$	$5,3\pm1,6$
	90-110	28	$4,8\pm1,5$	$6,4\pm1,9$
	>110	14	$6,0\pm2,3$	$7,3\pm2,8$
$<50\%$	60-89	16	$5,3\pm2,3$	$6,8\pm2,9$
	90-110	11	$5,5\pm1,7$	$6,9\pm1,9$
	>110	6	$5,9\pm1,6$	$7,1\pm1,8$

Примечание: ARV - среднее абсолютное изменение; SD - стандартное отклонение; RMSSD - квадратный корень из среднего квадрата последовательных разностей.

тивности сердечного цикла, отражая как качество механической активации желудочков, так и степень периферического сопротивления. Несмотря на то, что диапазоны НГЭСС исходно были выбраны эмпирически, они вполне успешно отражают закономерности variability гемодинамического ответа при ФП, позволяя количественно оценить степень снижения эффективности сердечных сокращений в зависимости от частоты ритма и состояния сократительной функции миокарда. Число НГЭСС возрастало пропорционально ЧСС, однако выраженность этого феномена была значительно выше у пациентов со сниженной ФВ ЛЖ - разница наблюдалась уже при диапазоне ЧСС 60-89 уд/мин и становилась максимальной при тахикардии >110 уд/мин (например, «сильные» НГЭСС $34,4 \pm 8,6\%$ против $20,2 \pm 9,7\%$; $p=0,005$). Эти результаты указывают на дополнительный вклад снижения насосной функции сердца в гемодинамику ФП: нерегулярность ритма сочетается со сниженной сократимостью, что значительно увеличивает долю сокращений с малым ударным объемом и, следовательно, риск периферической гипоперфузии.

Несмотря на наличие общих тенденций, были выявлены существенные индивидуальные девиации от общих очевидных закономерностей. Так среди пациентов с сохраненной ФВ ЛЖ в подгруппе с ЧСС 60-89 уд/мин, при схожем среднем значении ЧСС (~83 уд/мин по данным 15-минутного мониторинга), наблюдались выраженные различия в доле НГЭСС: у одного пациента показатели могли составлять 30,9% «заметных», 20,2% «выраженных» и 13,3% «сильных» сокращений, тогда как у другого - лишь 9,8%, 1,6% и 0,1% соответственно. Аналогичная картина наблюдалась и в подгруппе с ЧСС 90-110 уд/мин: при сопоставимом среднем значении ЧСС (~100 уд/мин за 15 минут наблюдения) у одного пациента доля НГЭСС достигала 26,2% «заметных», 22,9% «выраженных» и 20,3% «сильных» сокращений, тогда как у другого эти показатели составляли лишь 10,0%, 5,0% и 3,1% соответственно. Сходные индивидуальные различия в показателях НГЭСС отмечались и в группе пациентов со сниженной ФВ ЛЖ при тех же диапазонах ЧСС. Однако при ЧСС свыше 110 уд/мин подобных выраженных межиндивидуальных различий в НГЭСС не наблюдалось ни у пациентов с сохраненной, ни со сниженной ФВ ЛЖ. Этот феномен, вероятно, и является причиной тех трудностей, с которыми сталкиваются исследователи при попытке выявить, какой подход к контролю ЧСС является наиболее оптимальным - «мягкий» или «строгий». По всей видимости, индивидуальная структура ритма ФП оказывает значимое влияние на гемодинамику при сопоставимых значениях ЧСС, и это особенно важно учитывать при ЧСС ниже того порога, после которого она становится неконтролируемой, и количество НГЭСС стремительно возрастает вне зависимости от особенностей ритмической организации. Именно в диапазоне ЧСС ниже 110 уд/мин наблюдается наибольший вклад индивидуальных различий в структуре ритма в формирование variability гемодинамического ответа, тогда как при превышении этого порога влияние нерегулярности сглаживается за счёт общей дестабилизации сердеч-

ного цикла и снижения ударного объема практически каждого сокращения.

Хотелось бы отметить, что полученные данные не предлагаются в качестве «целевых» значений НГЭСС. Их следует рассматривать как индивидуальные характеристики и использовать для динамического мониторинга. Для выработки универсальных терапевтических целей необходимы крупные проспективные исследования, связывающие эти метрики с клиническими исходами.

Среднее гемодинамическое АД

В отличие от систолического и диастолического давления, которые могут значительно колебаться, СГАД отличается относительной стабильностью. И.П.Павлов относил этот показатель к числу гомеостатических констант организма. Данный параметр отражает устойчивый уровень перфузии тканей, не учитывая пульсации давления.

Для ФП, особенно при её хроническом течении, типична активация симпатoadренальной системы, выступающей в роли компенсаторного механизма на фоне снижения сердечного выброса. Следствием этого является периферическая вазоконстрикция, увеличение общего периферического сопротивления сосудов и рост диастолического АД. СГАД главным образом зависит именно от диастолического АД, поэтому при значительном его повышении СГАД также возрастает. Это особенно выражено при высокой ЧСС, когда укорочение диастолы ограничивает время опорожнения артериального русла, способствуя сохранению повышенного давления в фазу диастолы. Таким образом, в условиях ФП СГАД может оставаться высоким или даже повышаться, несмотря на снижение ударного объема, что отражает дисбаланс между центральной гемодинамикой и периферическим сопротивлением.

Полученные данные подтверждают относительную устойчивость данного показателя, независимо от уровня ЧСС и состояния сократительной функции миокарда. У пациентов с сохраненной ФВ ЛЖ в ряде случаев имела тенденция к повышению СГАД, что может отражать усиление симпатической активации, повышение сосудистого тонуса и сохранённые резервы адаптации. Достижение СГАД >120 мм рт.ст. у отдельных пациентов может иметь патофизиологические последствия, включая увеличение постнагрузки и, как следствие, ремоделирование сосудистой стенки.

У пациентов со сниженной ФВ ЛЖ СГАД имело тенденцию к снижению с увеличением ЧСС, однако это изменение не достигло статистической значимости ($p=0,075$). При ЧСС >110 уд/мин ни один из пациентов не демонстрировал уровень СГАД >100 мм рт.ст., что может свидетельствовать о критической уязвимости данной популяции к тахикардии при ФП.

Вариабельность СГАД

Анализ ARV и RMSSD показал, что у пациентов с сохраненной ФВ вариабельность СГАД возрастает по мере увеличения ЧСС ($p<0,001$), тогда как у группы сниженной ФВ сравнимых изменений не выявлено. Вероятное объяснение - в условиях сниженной насосной функции вариация давления ограничивается «потолком» низкого выброса, тогда как у группы сохраненной

ФВ ЛЖ колебания пред- и постнагрузки при высокой ЧСС более выражены. Еще одним объяснением отсутствия нарастания вариабельности СГАД при увеличении ЧСС в группе сниженной ФВ ЛЖ может являться ангиосклероз, выраженная ригидность сосудистой стенки и снижение податливости артериального русла, что ограничивает амплитуду колебаний давления при изменениях ударного объема. Таким образом, медикаментозное снижение ЧСС с точки зрения уменьшения вариабельности СГАД в группе пациентов со сниженной ФВ ЛЖ вероятно будет иметь меньше смысла, чем у лиц с сохраненной ФВ ЛЖ. Однако, мониторинг абсолютных значений СГАД останется актуальным.

Ограничения исследования

Ограничением исследования является небольшая выборка пациентов со сниженной ФВ ЛЖ, в особенности в подгруппе с ЧСС >110 уд/мин. Кроме того, участники получали различные терапевтические комбинации, которые могут по-разному влиять на периферическую вазорегуляцию и вариабельность давления. Несмотря на последовательный характер включения, выборка сформирована в одном специализированном центре и не охватывает пациентов с выраженной симптоматикой ФП (mEHRA ≥2B) или тяжелой ХСН (NYHA IV). Поэтому экстраполяция результатов на популяции с более высоким симптоматическим бременем и/или декомпенсированной сердечной недостаточностью требует осторожности и подтверждения в будущих исследованиях. Отдельный расчёт статистической мощности не проводился; в связи с этим результаты, полученные в малочисленных подгруппах (n<10), следует рассматривать как описательные и интерпретировать с осторожностью.

Стратификация по типу и дозе лекарств не проводилась, что потенциально вносит систематическую

ошибку. Использование отечественной системы «Кардиотехника-САКР» с её алгоритмическими особенностями привязки периферических значений АД к значениям, зарегистрированным параллельно в плече другой руки, не позволяет с полной уверенностью экстраполировать полученные данные на другие системы, использующие метод «разгруженной артерии» [20]. В то же время это отражает уникальность использованной системы, которая единственная из подобных известных систем позволяет получить точные значения АД при ФП благодаря заложенным математическим алгоритмам привязки к тонам Короткова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В западной клинической практике, по всей видимости, давно отказались от использования такого показателя физикального обследования пациента, как дефицит пульса, выдвигая тезис о его низкой клинической пользе [21]. Отчасти с этим можно согласиться, поскольку физикально дефицит пульса определяется субъективно, в зависимости от индивидуальной тактильной чувствительности. С появлением метода неинвазивной регистрации АД на каждом сердечном сокращении появляется возможность объективизации этого показателя; мониторинг АД на каждом ударе сердца позволяет определить наиболее оптимальную, скорректированную по НГЭСС, СГАД и вариабельности СГАД ЧСС для каждого пациента индивидуально. Полученные данные отражают целесообразность индивидуализированного, гемодинамически ориентированного контроля ЧСС при ФП, особенно у пациентов с ослабленной насосной функцией сердца, и обосновывают внедрение мониторинга давления на каждом сердечном цикле в клиническую практику для оптимизации терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян МГ, Бокерия ЛА, Васильева ЕЮ и др. Фибрилляция и трепетание предсердий. Клинические рекомендации 2020 // *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(7):4304-4364. [Arakelyan MG, Bokeria LA, Vasileva EYu, et al. Atrial fibrillation and atrial flutter. Clinical guidelines 2020. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(7): 4304-4364. (In Russ).] <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4594>.
2. Van Gelder IC, Rienstra M, Bunting KV, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2024;45(36):3314-414. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae176>.
3. Школьников МА, Шубик ЮВ, Шальнова СА, и др. Сердечные аритмии у лиц пожилого возраста и их ассоциация с характеристиками здоровья и смертностью. *Вестник аритмологии*. 2007;(49): 5-13. [Schkolnikova MA, Shubik YuV, Shalnova SA, et al. Cardiac arrhythmias in the elderly and their association with health characteristics and mortality. *Journal of Arrhythmology*. 2007;(49):5-13. (In Russ.).]
4. Яковенко ТВ, Шубик ЮВ, Костюк ГП, Крятова ТВ. Качество жизни пациентов с различными формами фибрилляции предсердий и влияние на него лечения нозогенных психических реакций. *Вестник аритмологии*. 2008;(51): 36-39. [Yakovenko TV, Shubik YuV, Kostyuk GP, Kryatova TV. Quality of life of patients with various forms of atrial fibrillation and the effect of treatment of nosogenic mental reactions on it. *Journal of Arrhythmology*. 2008;(51): 36-39. (In Russ.).]
5. Van Gelder IC, Groenveld HF, Crijns HJ, et al. Lenient versus strict rate control in patients with atrial fibrillation. *N Engl J Med*. 2010;362(15): 1363-1373. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1001337>.
6. Wyse DG, Waldo AL, DiMarco JP, et al. A comparison of rate control and rhythm control in patients with atrial fibrillation. *N Engl J Med*. 2002;347(23): 1825-1833. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa021328>.
7. Roy D, Talajic M, Nattel S, et al. Rhythm control versus rate control for atrial fibrillation and heart failure. *N Engl J Med*. 2008;358(25): 2667-2677. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0708789>.
8. Groenveld HF, Tijssen JGP, Crijns HJGM, et al. Rate control efficacy in permanent atrial fibrillation: successful and failed strict rate control against a background of lenient rate control. Data from RACE II. *J Am Coll Cardiol*. 2013;61(7): 741-748. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.016>.

jacc.2012.11.038.

9. Mulder BA, Van Veldhuisen DJ, Crijns HJGM, et al. Lenient versus strict rate control in patients with atrial fibrillation and heart failure: a post-hoc analysis of the RACE II study. *Eur J Heart Fail.* 2013;15(12): 1311-1318. <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hft093>.

10. Passman R. Rate control for permanent atrial fibrillation: a RACE (II) worth running? *J Am Coll Cardiol.* 2013;61(7): 749-751. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.11.039>.

11. Корнеев АБ, Медведев ММ, Шубик ЮВ. Пожилой пациент с синкопальными состояниями: клинический случай. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина.* 2024;19(2): 108-117. [Korneev AB, Medvedev MM, Shubik YuV. Elderly patient with syncope states: a clinical case. *Vestn Sankt Peterbg Univ Med.* 2024;19(2): 108-117. (In Russ)] <https://doi.org/10.21638/spbul1.2024.201>.

12. Шубик ЮВ, Пивоваров ВВ, Зайцев ГК и др. Измерение артериального давления на каждом ударе сердца при фибрилляции предсердий: новый шаг к персонализации лечения пациента. *Вестник аритмологии.* 2021;28(1): 23-32. [Shubik Yu.V., Pivovarov V.V., Zaitsev G.K., et al. Beat-to-beat blood pressure measurement in atrial fibrillation: a new step towards personalized patient care. *Journal of Arrhythmology.* 2021;28(1): 23-32. (In Russ).] <https://doi.org/10.35336/VA-2021-1-23-32>.

13. Penaz J. Patentova Listina. CISLO 133205. 1969.

14. Пивоваров ВВ, Зайцев ГК, Тихоненко ВМ, Кормилицын АЮ. Устройство для определения артериального давления в плече на каждом сердечном сокращении. Патент на изобретение RU 2694737 C1. Дата регистрации: 10.12.2018. [Pivovarov VV, Zaitsev GK, Tichonenko VM, Kormilytsin AYU. A device for measuring blood pressure in the shoulder at each heartbeat. Patent for invention RU 2694737 C1. Date of registration: 10.12.2018. (In Russ.).]

15. Пивоваров ВВ, Зайцев ГК, Тихоненко ВМ, Кормилицын АЮ. Способ определения артериального давления в плече на каждом сердечном сокращении. Патент на изобретение RU 2698447 C1. Дата регистрации: 10.12.2018. [Pivovarov VV, Zaitsev GK, Tichonenko VM, Kormilytsin AYU. Method for measuring blood pressure in the shoulder at each heartbeat. Patent for invention RU 2698447 C1. Date of registration: 10.12.2018. (In Russ.).]

16. Gao Q, Lin Y, Xu R, et al. Association between mean arterial pressure and clinical outcomes among patients with heart failure. *ESC Heart Fail.* 2023;10(4): 2362-2374. doi.org/10.1002/ehf2.14401.

17. Самойлов ВО. Медицинская биофизика: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: СпецЛит; 2013. 591 с. [Samoylov V.O. Medical Biophysics: Textbook for Universities. 3rd ed., rev. and enl. St. Petersburg: SpecLit; 2013. 591 p. (In Russ.).]

18. Tan Z, Meng H, Dong D, et al. Blood pressure variability estimated by ARV is a predictor of poor short-term outcomes in a prospective cohort of minor ischemic stroke. *PLoS One.* 2018;13(8): e0202317. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202317>.

19. Lohman T, Sible I, Shenasa F, et al. Reliability of beat-to-beat blood pressure variability in older adults. *Sci Rep.* 2024;(14): 18-38. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71183-y>.

20. Пивоваров ВВ, Тихоненко ВМ, Кормилицын АЮ, Зайцев ГК. Система «Кардиотехника-САКР» для измерения в каждом сердечном цикле истинного артериального давления в плече при его высокой вариабельности. *Поликлиника.* 2019;(1): 30-32. [Pivovarov VV, Tichonenko VM, Kormilytsin AYU, Zaitsev GK. System «Cardiotechnika-SAKR» for measuring in each cardiac cycle true blood pressure in the shoulder with its high variability. Outpatient hospital. 2019;(1): 30-32 (In Russ.).]

21. Snow T. Consultant radiologist. *BMJ.* 1996; Apr 6;312(7033): 865.