



# Роль рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце

© Хубулава Г.Г., Быстров Э.В., Титов Н.С., Буненков Н.С.,  
Комок В.В.\*<sup>†</sup>, Немков А.С.

ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова”  
Минздрава России; 197022 Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8, Российская Федерация

**Введение.** Рентгенологическая навигация в современной кардиохирургии – это революционная технология, которая позволяет значительно повысить точность и безопасность оперативных вмешательств на сердце. В настоящее время навигация под непосредственным рентгенологическим контролем при операциях по восстановлению хорд митрального клапана применяется лишь при имплантации хорд по методике ChordArt. Кроме данного способа имплантации митральных неохорд, рентгенологическая навигация применяется при таких способах коррекции митральной регургитации, как MitraClip и транскатетерное протезирование митрального клапана (TMVR).

**Цель исследования:** провести систематический анализ научных данных, касающихся применения рентгенологической навигации при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации; определить рентгенологические проекции, позволяющие наиболее точно визуализировать структуры сердца, необходимые для имплантации неохорд.

**Материал и методы.** Проведен анализ исследований, посвященных применению рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце. Поиск был осуществлен в базах данных PubMed и Elibrary с 2009 по 2024 г. по следующим ключевым словам: “митральный клапан”, “митральная регургитация”, “рентгенологическая навигация”, “сердечно-сосудистая хирургия”, “трансапикальное восстановление хорды”, “транскатетерные вмешательства”, “коронарный синус”, “огибающая артерия”, “MitraClip”, “TMVR – Transcatheter Mitral Valve Repair” (транскатетерное восстановление митрального клапана) при помощи операторов И, ИЛИ.

**Результаты.** Проанализировано 257 статей, 65 из которых использованы для составления обзора. В ходе проведенного анализа было выявлено, что основным методом визуализации инструментов в положениях сердца при вмешательствах на митральном клапане является интраоперационная рентгеноскопия. Были определены наиболее приемлемые проекции для выполнения операции по трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце.

**Заключение.** Результаты проведенного анализа показали, что рентгенологическая навигация – неотъемлемый метод интраоперационной навигации, который должен применяться при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце.

**Ключевые слова:** митральный клапан; митральная регургитация; рентгенологическая навигация; сердечно-сосудистая хирургия; трансапикальное восстановление хорды; транскатетерные вмешательства; коронарный синус; огибающая артерия; MitraClip; TMVR

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Хубулава Г.Г., Быстров Э.В., Титов Н.С., Буненков Н.С., Комок В.В., Немков А.С. Роль рентгенологической навигации при трансапикальной имплантации митральных неохорд при значимой митральной регургитации на работающем сердце. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (4): 48–57.  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1546>

**Поступила в редакцию:** 10.03.2025. **Принята к печати:** 17.06.2025. **Опубликована online:** 13.10.2025.



# The role of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart

© Gennady G. Khubulava, Eduard V. Bystrov, Nikita S. Titov, Nikolai S. Bunenkov, Vladimir V. Komok\*, Alexander S. Nemkov

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation; 6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg 197022, Russian Federation

**Introduction.** X-ray navigation in modern cardiac surgery is a revolutionary technology that allows to increase the accuracy and safety of cardiac surgeries significantly. Currently, navigation under direct X-ray control in surgeries to restore the mitral valve chords is used only when implanting chords using the ChordArt method. In addition, X-ray navigation and external implantation of the mitral neochord are used in such methods of mitral regurgitation correction as MitraClip and transcatheter mitral valve replacement (TMVR).

**The objective.** To systematically review the scientific evidence on the use of radiographic navigation in mitral valve interventions in case of significant mitral regurgitation. To identify radiographic projections that allow the most accurate visualization of cardiac structures required for neochords implantation.

**Materials and methods.** An analysis of studies devoted to the use of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart was performed. The search was performed in the PubMed and Elibrary databases from 2009 to 2024 using the following keywords: "mitral valve", "mitral regurgitation", "X-ray navigation", "cardiovascular surgery", "transapical chord repair", "transcatheter interventions", "coronary sinus", "circumflex artery", "MitraClip", "TMVR – Transcatheter Mitral Valve Repair" using AND, OR operators.

**Results.** A total of 257 articles were analyzed, 65 of which were used to compile the review. The analysis revealed that the main method of visualizing instruments in the heart cavities during interventions on the mitral valve is intraoperative fluoroscopy. The most acceptable projections for performing surgery on transapical implantation of mitral neochords in case of significant mitral regurgitation on a beating heart were determined.

**Conclusion.** The results of the conducted analysis showed that X-ray navigation is an integral method of intraoperative navigation, which should be used during transapical implantation of mitral neochords in case of significant mitral regurgitation on a beating heart.

**Keywords:** mitral valve; mitral regurgitation; X-ray navigation; cardiovascular surgery; transapical implantation of neochords; transcatheter interventions; coronary sinus; circumflex artery; MitraClip; TMVR

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Khubulava G.G., Bystrov E.V., Titov N.S., Bunenkov N.S., Komok V.V., Nemkov A.S. The role of X-ray navigation in transapical implantation of mitral neochords for significant mitral regurgitation on the beating heart. *Medical Visualization*. 2025; 29 (4): 48–57. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1546>

Received: 10.03.2025.

Accepted for publication: 17.06.2025.

Published online: 13.10.2025.

## Введение

Рентгенологическая навигация представляет собой инновационный метод визуализации в кардиохирургической практике, обеспечивающий точное определение локализации и управление инструментами в процессе оперативных вмешательств на сердце. Этот метод позволяет хирургам интегрировать рентгеновские изображения в реальном времени с другими технологиями визуализации, что способствует повышению безопасности и точности выполняемых операций.

Недостаточность митрального клапана – второй по частоте клапанный порок сердца (после аортального стеноза), который ассоциирован со

значительным ухудшением качества жизни пациентов и высокой смертностью, и если раньше в структуре причин изолированной митральной недостаточности на первом месте стояла хроническая ревматическая болезнь сердца, то сейчас доминируют синдромы, для которых характерна дисплазия митрального клапана [1].

Исходя из этого, необходим поиск новых методов коррекции гемодинамически значимой митральной регургитации, особенно у пациентов пожилого возраста с коморбидным фоном. Применение минимально инвазивных методов лечения митральной недостаточности позволяет снизить риск periоперационных осложнений, а также



уменьшить время нахождения пациента в стационаре и время его восстановления после операции. Одним из таких методов лечения является трансапикальная имплантация неохорд на работающем сердце, где в качестве одного из методов визуализации инструментов в полостях сердца выступает интраоперационная рентгеноскопия [2, 3].

**Цель исследования:** провести анализ публикаций, касающихся применения рентгенологической навигации при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации на работающем сердце, и определить рентгенологические проекции, в которых основные интересующие хирурга анатомические ориентиры будут находиться в наиболее удобном положении при имплантации митральных неохорд.

## Материал и методы

Произведен систематический запрос научных источников по базам данных PubMed и Elibrary с использованием таких ключевых терминов для поиска, как “рентгенологическая навигация”, “вентрикулография”, “сердце”, “интервенционная кардиология”, “сердечно-сосудистая хирургия”, “кардиохирургия”, “транскатетерное восстановление хорды”, “трансапикальное восстановление хорды”, а также один из терминов “митральный клапан”, “митральная регургитация”, “коронарный синус”, “огибающая артерия”, “MitraClip”, “TMVR” при помощи операторов И, ИЛИ. Были установлены следующие фильтры: клинические исследования, обзоры литературы, метаанализы, систематические обзоры; года публикации – с 2009 по 2024 г.; язык публикаций – английский. Начальной точкой для включения научных данных в систематический обзор является 2009 г., так как публикации, датируемые годами ранее, не содержали в полном объеме информации, необходимой для включения в обзор.

При отборе научных данных в систематический обзор были включены следующие темы исследований:

- хирургическое лечение митральной регургитации по таким методикам трансапикальной имплантации неохорд, как NeoChord DS 1000, Harpoon TDS-5, MitralStich [4];
- применение других транскатетерных методик коррекции митральной регургитации, таких как MitraClip, TMVR, ChordArt, Valtech V-Chordal Transfemoral, Pipeline [4, 5];
- применение интраоперационной рентгеноскопии в качестве метода навигации при таких вмешательствах, как постановка электрода кардиостимулятора в коронарный синус, венозная

ангиография сердца, коронароангиография, в том числе с определением рентгенографических проекций для визуализации структур сердца;

- трансвенозная имплантация в коронарный синус левожелудочкового электрода при сердечной ресинхронизирующей терапии;
- визуализация коронарного синуса сердца и огибающей ветви левой коронарной артерии и использование их в качестве навигации при транскатетерных вмешательствах на митральном клапане.

## Результаты исследования

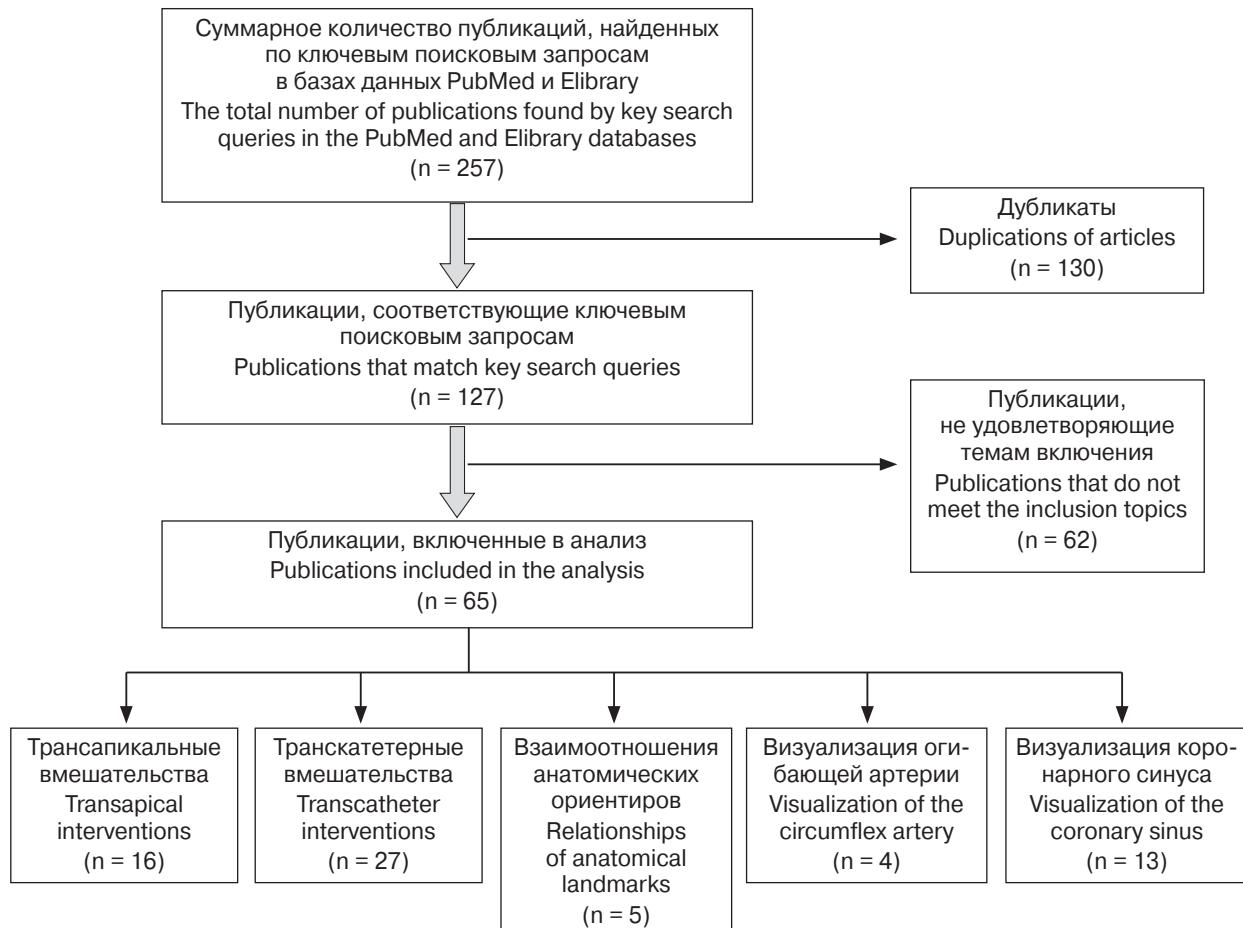
После удаления дублирующих данных было найдено 127 публикаций, соответствующих ключевым поисковым запросам, из которых в общей сложности 65 публикаций удовлетворяли темам включения. Выбранные исследования разделены по следующим группам (рис. 1):

- рентгенологическая навигация при трансапикальных вмешательствах на митральном клапане (n = 16);
- рентгенологическая навигация при транскатетерных вмешательствах на митральном клапане (n = 27);
- анатомическое взаимоотношение митрального клапана, коронарного синуса и огибающей артерии (n = 5);
- рентгенологические проекции, применяемые для визуализации огибающей артерии при коронарной ангиографии (n = 4);
- визуализация коронарного синуса при катетеризации и контрастировании венозного русла сердца (n = 13).

## Обсуждение

В проанализированных публикациях при вмешательствах на митральном клапане при значимой митральной регургитации рентгенологическая навигация применяется с целью определения контроля манипуляций хирургическими инструментами и их расположения в камерах сердца. Рентгенологическая навигация, в отличие от 2D- и 3D-чреспищеводной эхокардиографии, позволяет с высокой точностью определить положение относительно левых камер сердца кончика иглы для пункции створок в случае трансапикальной имплантации митральных неохорд на работающем сердце [4–8].

Применение рентгенологической навигации при транскатетерных и трансапикальных методах восстановления митральных хорд и реконструкции митрального клапана ограничено только лишь возможностями контроля навигации инструментов в полостях сердца [9].



**Рис. 1.** Схема PRISMA – алгоритм поиска научных данных для систематического обзора.

**Fig. 1.** Chart PRISMA – a literature search algorithm for a systematic review.

Показатели, приведенные ниже, представляются наиболее значимыми при трансапикальной имплантации митральных неохорд на работающем сердце:

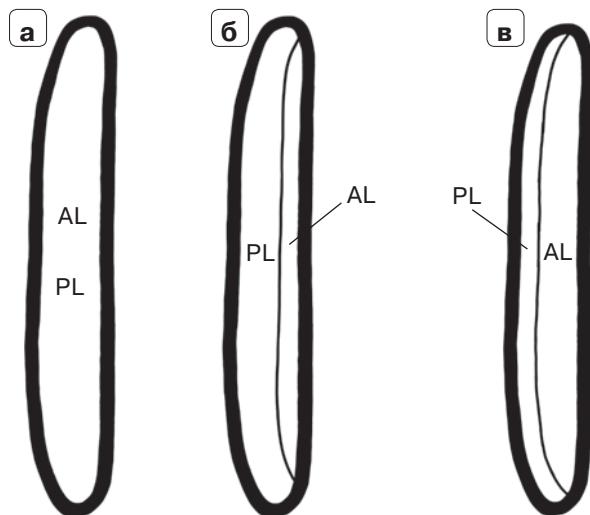
- 1) рентгенологические проекции для визуализации митрального клапана;
- 2) рентгенологические проекции для визуализации коронарного синуса;
- 3) рентгенологические проекции для визуализации ствола левой коронарной артерии и огибающей артерии.

#### **Рентгенологические проекции для визуализации митрального клапана**

Основными углами склонения С-дуги во фронтальной плоскости, применимыми для визуализации митрального клапана при его восстановлении, являются: правая косая проекция (RAO) 20–30° и левая косая проекция (LAO) 20–50°. При смещении краиально (CRA) на 10–20° при повороте ротационной ангиографической установки RAO 20–

30° створки митрального клапана определяются внутри сердечного силуэта в поперечном сечении. В этом виде диаметр митрального кольца максимальный, однако в данной проекции происходит перекрывание сегментов створок. Увеличивая наклон С-дуги в краиальную сторону, створки митрального клапана визуализируются без перекрывания друг друга (рис. 2). Таким образом, данная проекция удобна в тех случаях, когда есть необходимость провести хирургические инструменты через отверстие клапана в левое предсердие в случае трансапикального доступа к клапану или в левый желудочек через транссептальный доступ и установить их на уровне самого митрального клапана, что находит применение при транскатетерном протезировании митрального клапана или при проведении процедуры MitraClip для визуализации траектории зажима, которая должна быть перпендикулярна кольцевой плоскости.

Вышеуказанных недостатков лишена проекция LAO 20–50° с небольшим каудальным наклоном



**Рис. 2.** Схема митрального клапана в проекции RAO 20–30°, CRA 10–20°. **а** – проекция RAO 20–30°, CRA 10°; **б** – проекция RAO 20–30°, CRA 15°; **в** – проекция RAO 20–30°, CRA 20°. AL – передняя створка митрального клапана; PL – задняя створка митрального клапана. Схема адаптирована и модифицирована из [10].

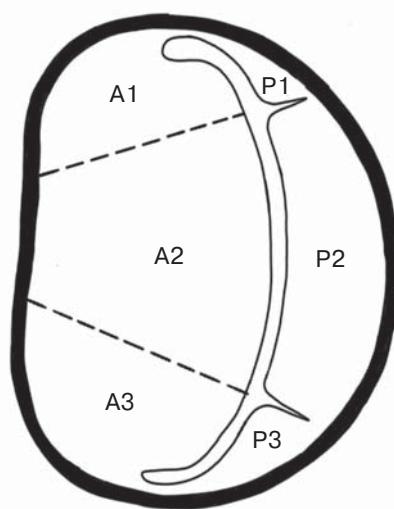
**Fig. 2.** Picture of the mitral valve in the RAO 20–30° CRA 10–20° projection. **a** – RAO 20–30° CRA 10° projection; **б** – RAO 20–30° CRA 15° projection; **в** – RAO 20–30° CRA 20° projection. AL – anterior leaflet of mitral valve; PL – posterior leaflet of mitral valve. The scheme is adapted and from [10].

(CAU) 20–30°. Эта рентгенологическая проекция располагается перпендикулярно митральному кольцу, таким образом показывая клапан в анфас со стороны левого желудочка (рис. 3). Граница митрального кольца полностью проецируется на рентгеновскую проекцию [10–15].

Следует отметить, что, несмотря на наилучшую визуализацию митрального клапана в данной проекции, она оптимальна для транскатетерных вмешательств, так как электронно-оптический преобразователь (ЭОП) С-дуги располагается над левой половиной грудной клетки и сердцем непосредственно. При вмешательствах с трансапикальным доступом ЭОП ограничивает манипуляции в операционном поле.

#### Рентгенологические проекции для визуализации коронарного синуса

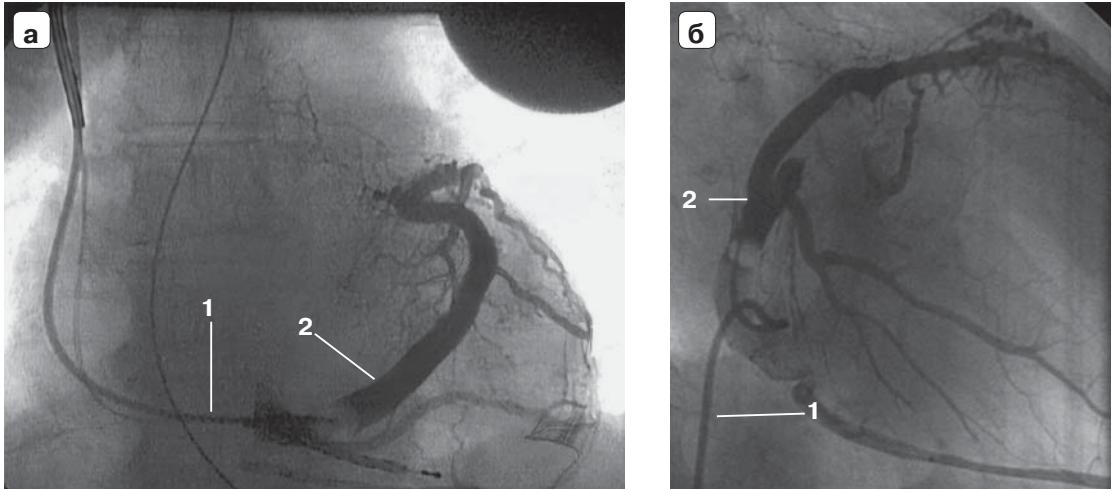
В исследовании о прогнозировании выбора углового наклона ангиографической установки для визуализации коронарного синуса при транскатетерной имплантации митрального клапана на основании предоперационной компьютерной томографии авторы пришли к следующим выводам:



**Рис. 3.** Схема митрального клапана в проекции LAO 20–50°, CAU 20–30°. A1 – латеральный сегмент передней створки митрального клапана; A2 – средний сегмент передней створки митрального клапана; A3 – медиальный сегмент передней створки митрального клапана; P1 – латеральный сегмент задней створки митрального клапана; P2 – средний сегмент задней створки митрального клапана; P3 – медиальный сегмент задней створки митрального клапана. Схема адаптирована и модифицирована из [8].

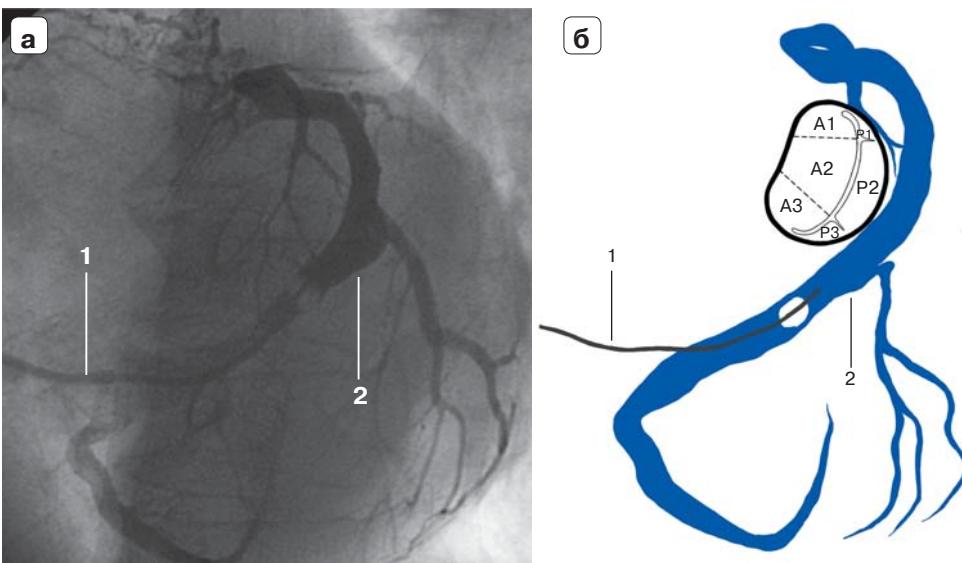
**Fig. 3.** Picture of the mitral valve in the LAO 20–50° CAU 20–30° projection. A1 – the lateral segment of anterior mitral leaflet; A2 – the middle segment of anterior mitral leaflet; A3 – the medial segment of anterior mitral leaflet; P1 – the lateral segment of posterior mitral leaflet; P2 – the middle segment of posterior mitral leaflet; P3 – the medial segment of posterior mitral leaflet. The scheme is adapted from [8].

учитывая асимметричное строение створок митрального клапана, ориентацию кольца клапана в передневерхнем направлении с выраженным наклоном вправо и анатомическую близость коронарного синуса, последний может являться дополнительным рентгенологическим ориентиром при визуализации митрального клапана посредством введения рентгеноконтрастного проводника или катетера в коронарный синус [16]. У всех пациентов в исследовании коронарный синус пересекал стенку левого предсердия со средним расстоянием  $13,2 \pm 3,7$  мм по направлению к плоскости кольца митрального клапана на уровне середины P2-сегмента задней створки митрального клапана. Затем коронарный синус приближался к плоскости кольца со средним расстоянием  $3,7 \pm 3,0$  мм в P3-сегменте. Имея представление о том, насколько близко (или далеко) находится коронарный синус от истинной кольцевой плоскости митрального клапана, можно определить угловой наклон ангиографической установки для визуализации коронарного синуса.



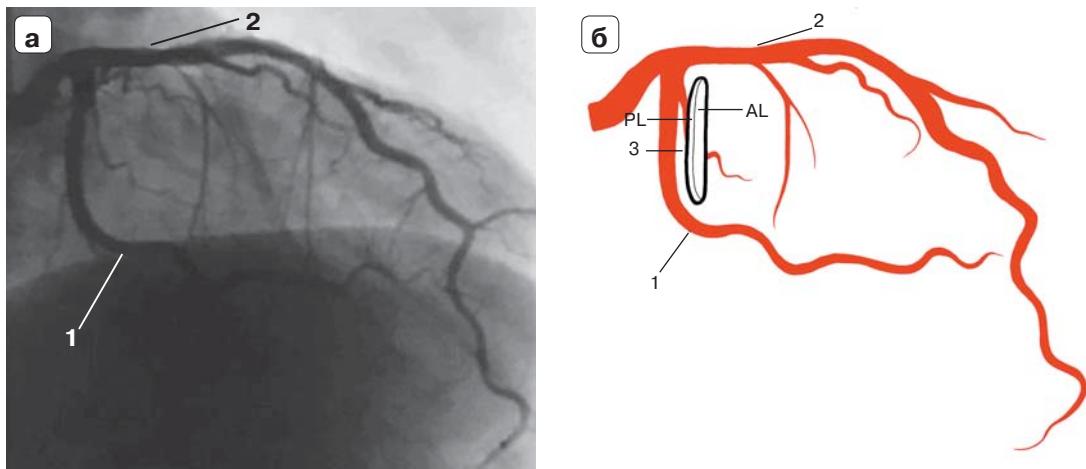
**Рис. 4.** Венозное русло сердца. **а** – венозная ангиограмма сердца, переднезадняя проекция; **б** – венозная ангиограмма сердца, проекция RAO 30°, CRA 10°; **в** – схема венозного русла сердца с митральным клапаном, проекция RAO 30°, CRA 10°. 1 – катетер в коронарном синусе; 2 – коронарный синус; 3 – схема митрального клапана; AL – передняя створка митрального клапана; PL – задняя створка митрального клапана. Ангиограмма адаптирована из [19].

**Fig. 4.** Venous system of the heart. **a** – venous angiography of the heart, anteroposterior projection; **b** – venous angiography of the heart, projection RAO 30° CRA 10°; **b** – Picture of the venous system of the heart with the mitral valve, projection RAO 30° CRA 10°. 1 – catheter in the coronary sinus; 2 – coronary sinus; 3 – Picture of the mitral valve; AL – anterior leaflet of mitral valve; PL – posterior leaflet of mitral valve. Angiogram adapted from [19].



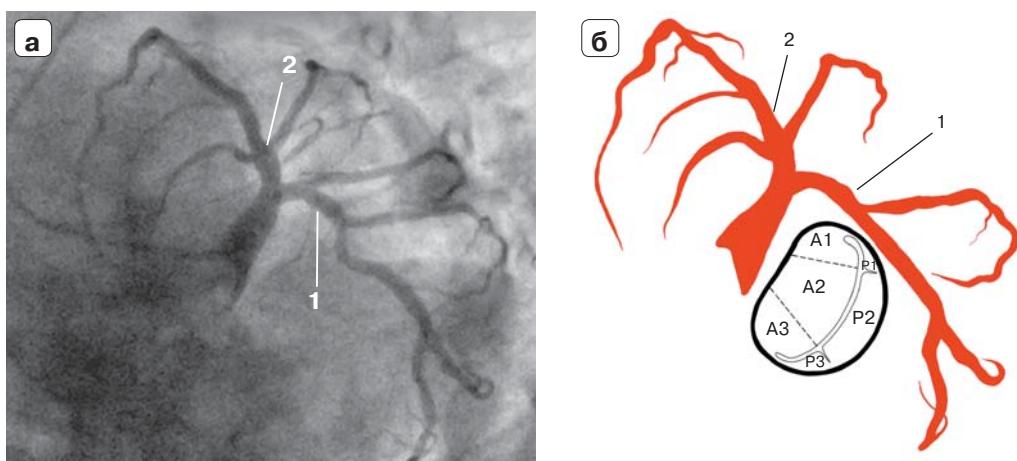
P1 – латеральный сегмент задней створки митрального клапана; P2 – средний сегмент задней створки митрального клапана; P3 – медиальный сегмент задней створки митрального клапана. Ангиограмма адаптирована из [19].

**Fig. 5.** Venous system of the heart. **a** – venous angiography of the heart, projection LAO 30° CAU 20°; **б** – Picture of the venous system of the heart with the mitral valve, projection LAO 30° CAU 20°. 1 – coronary catheter in the coronary sinus; 2 – coronary sinus; A1 – the lateral segment of anterior mitral leaflet; A2 – the middle segment of anterior mitral leaflet; A3 – the medial segment of anterior mitral leaflet; P1 – the lateral segment of posterior mitral leaflet; P2 – the middle segment of posterior mitral leaflet; P3 – the medial segment of posterior mitral leaflet. Angiogram adapted from [19].



**Рис. 6.** Рентгенологическая проекция RAO 25°, CRA 20°. **а** – коронароангиограмма сердца; **б** – схема левой коронарной артерии сердца с митральным клапаном. 1 – огибающая артерия сердца; 2 – передняя межжелудочковая артерия сердца; 3 – схема митрального клапана; AL – передняя створка митрального клапана; PL – задняя створка митрального клапана. Коронарограмма адаптирована из [24].

**Fig. 6.** X-ray projection of RAO 25°, CRA 20°. **a** – coronary angiography of the heart; **b** – Picture of the left coronary artery of the heart with the mitral valve. 1 – circumflex artery of the heart; 2 – anterior interventricular artery of the heart; 3 – Picture of the mitral valve; AL – anterior leaflet of mitral valve; PL – posterior leaflet of mitral valve. Coronary angiogram adapted from [24].



**Рис. 7.** Рентгенологическая проекция LAO 50°, CAU 30°. **а** – коронароангиограмма сердца; **б** – схема левой коронарной артерии сердца с митральным клапаном. 1 – огибающая артерия сердца; 2 – передняя межжелудочковая артерия сердца; A1 – латеральный сегмент передней створки митрального клапана; A2 – средний сегмент передней створки митрального клапана; A3 – медиальный сегмент передней створки митрального клапана; P1 – латеральный сегмент задней створки митрального клапана; P2 – средний сегмент задней створки митрального клапана; P3 – медиальный сегмент задней створки митрального клапана. Коронарограмма адаптирована из [26].

**Fig. 7.** X-ray projection of LAO 50° CAU 30°. **a** – coronary angiography of the heart; **b** – Picture of the left coronary artery of the heart with the mitral valve. 1 – circumflex artery of the heart; 2 – anterior interventricular artery of the heart; A1 – the lateral segment of anterior mitral leaflet; A2 – the middle segment of anterior mitral leaflet; A3 – the medial segment of anterior mitral leaflet; P1 – the lateral segment of posterior mitral leaflet; P2 – the middle segment of posterior mitral leaflet; P3 – the medial segment of posterior mitral leaflet. Coronary angiogram adapted from [26].



рального клапана, можно получить дополнительную информацию при развертывании имплантируемого устройства [16–18]. Были определены 3 проекции, наиболее часто используемые при визуализации коронарного синуса при вмешательствах на митральном клапане: так называемая TT-проекция (trigone-to-trigone) – проекция по линии, соединяющей левый и правый фиброзные треугольники, SL-проекция (septal-to-lateral-distance) – проекция по линии, перпендикулярной TT-линии, проходящей через A2- и P2-сегменты створок, и проекция, подобная виду митрального клапана *en face*. Проекции SL и TT были обнаружены в среднем при  $29,4 \pm 9,0^\circ$  RAO,  $20,1 \pm 8,7^\circ$  CRA и  $81,6 \pm 18,9^\circ$  RAO,  $56,7 \pm 8,0^\circ$  CAU соответственно (рис. 4). Проекция анфас для митрального клапана и коронарного синуса была обнаружена в среднем при  $52,4 \pm 9,3^\circ$  LAO,  $23,2 \pm 9,6^\circ$  CAU (рис. 5). Последняя проекция представляется наиболее значимой, поскольку коронарный синус огибает митральный клапан по кривой, аналогичной ходу самого кольца клапана [19, 20].

### Рентгенологические проекции для визуализации ствола левой коронарной артерии и огибающей артерии

Наиболее часто применяемыми проекциями для оптимальной визуализации основных ветвей левой коронарной артерии являются: для ствола левой коронарной артерии – переднезадняя (RAO  $10\text{--}15^\circ$  или LAO  $10\text{--}20^\circ$ , CRA  $20\text{--}30^\circ$ ), LAO  $30\text{--}50^\circ$ , CRA  $0\text{--}20^\circ$ , LAO  $40\text{--}50^\circ$ , CAU  $25\text{--}30^\circ$  (проекция-паук, "spider view"), для средней трети огибающей артерии – переднезадняя (RAO  $10\text{--}15^\circ$ , CAU  $20\text{--}30^\circ$ ), LAO  $15\text{--}20^\circ$ , CAU  $20\text{--}30^\circ$ , LAO  $40\text{--}50^\circ$ , CAU  $25\text{--}30^\circ$  (проекция-паук, "spider view"), RAO  $20\text{--}25^\circ$ , CAU  $0\text{--}25^\circ$  [21–25] (рис. 6).

Наиболее удобной для ориентации в левых камерах сердца при транскатетерных или трансапикальных вмешательствах на митральном клапане является левая косая проекция  $40\text{--}50^\circ$  с каудальной ангуляцией  $25\text{--}30^\circ$ , поскольку именно в этой проекции огибающая артерия на экране ангиографической установки проходит по кривой, огибающей снизу кольцо митрального клапана [25] (рис. 7).

### Заключение

Таким образом, в ходе проведенного систематического обзора были определены основные рентгенографические проекции, используемые при оперативных вмешательствах на митральном клапане. Наилучшими проекциями являются LAO  $20\text{--}50^\circ$ , CAU  $20\text{--}30^\circ$ , в которой митральный клапан

визуализируется в анфас со стороны левого желудочка, и RAO  $20\text{--}30^\circ$ , CRA  $10\text{--}20^\circ$ , в которой определяется вид митрального клапана сбоку в наибольшем диаметре.

Визуализация хирургических инструментов должна осуществляться посредством рентгенологической навигации во время оперативного вмешательства ввиду хорошего определения в камерах сердца необходимых инструментов. Для точного проведения этапов операции и получения устойчивой эффективности от вмешательства необходимо использовать определенные здесь наилучшие рентгенографические проекции, которые позволяют более точно и безопасно манипулировать инструментами на митральном клапане.

Трансапикальная имплантация митральных неохорд с использованием рентгенологической навигации является современным и эффективным методом лечения митральной недостаточности. Применение этой технологии позволяет значительно сократить травматичность операций, повысить их точность и уменьшить риск осложнений. Для проведения этой процедуры необходима гибридная ультразвуковая и рентгенологическая внутрисердечная навигация инструментов, при которой мягкие ткани клапанного аппарата визуализируются на рентгенологическом силуэте сердца.

### Участие авторов

Хубулава Г.Г. – ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Быстров Э.В. – обзор публикаций по теме статьи, написание текста.

Титов Н.С. – сбор и обработка данных, статистическая обработка данных.

Буненков Н.С. – концепция и дизайн исследования, участие в научном дизайне.

Комок В.В. – проведение исследования, подготовка и редактирование текста.

Немков А.С. – анализ и интерпретация полученных данных, подготовка, создание опубликованной работы.

### Authors' participation

Khubulava G.G. – responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Bystrov E.V. – review of publications, writing text.

Titov N.S. – collection and analysis of data, statistical analysis.

Bunenkov N.S. – concept and design of the study, participation in scientific design.

Komok V.V. – conducting research, text preparation and editing.

Nemkov A.S. – analysis and interpretation of the obtained data, preparation and creation of the published work.



## Список литературы [References]

1. Domenech B., Pomar J. L., Prat-González S. et al. Valvular Heart Disease Epidemics. *J. Heart Valve Dis.* 2016; 25 (1): 1–7. <https://doi.org/10.3390/medsci10020032>
2. Sengupta A., Alexis S.L., Zaid S. et al. Imaging the mitral valve: a primer for the interventional surgeon. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2021; 10 (1): 28–42. <https://doi.org/10.21037/acs-2020-mv-16>
3. Gheorghe L.L., Mobasseri S., Agricola E. et al. Imaging for Native Mitral Valve Surgical and Transcatheter Interventions. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2021; 14 (1): 112–127. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.021>
4. Zhang T., Dou Y., Luo R. et al. A review of the development of interventional devices for mitral valve repair with the implantation of artificial chords. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023; 1–17. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1173413>
5. Tabata N., Sugiura A., Tsujita K. et al. Percutaneous interventions for mitral and tricuspid heart valve diseases. *Cardiovasc. Interv. Ther.* 2020; 35 (1): 62–71. <https://doi.org/10.1007/s12928-019-00610-z>
6. Colli A., Zucchetta F., Torregrossa G. et al. Transapical off-pump mitral valve repair with Neochord Implantation (TOP-MINI): step-by-step guide. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2015; 4 (3): 295–297. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2225-319X.2015.05.01>
7. Colli A., Adams D., Fiocco A. et al. Transapical NeoChord mitral valve repair. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2018; 7 (6): 812–820. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.11.04>
8. Wunderlich N.C., Beigel R., Ho S.Y. et al. Imaging for Mitral Interventions: Methods and Efficacy. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (6): 872–901. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.02.024>
9. Fiocco A., Nadali M., Speziali G. et al. Transcatheter Mitral Valve Chordal Repair: Current Indications and Future Perspectives. *Front. Cardiovasc. Med.* 2019; 6: 1–10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2019.00128>
10. Faletra F.F., Pozzoli A., Agricola E. et al. Echocardiographic-fluoroscopic fusion imaging for transcatheter mitral valve repair guidance. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2018; 19 (7): 715–726. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jey067>
11. Spaziano M., Thériault-Lauzier P., Meti N. et al. Optimal fluoroscopic viewing angles of left-sided heart structures in patients with aortic stenosis and mitral regurgitation based on multislice computed tomography. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2016; 10 (2): 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.12.007>
12. Blanke P., Naoum C., Webb J. et al. Multimodality Imaging in the Context of Transcatheter Mitral Valve Replacement: Establishing Consensus Among Modalities and Disciplines. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2015; 8 (10): 1191–1208. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.08.004>
13. Biaggi P., Fernandez-Golfin C., Hahn R. et al. Hybrid Imaging During Transcatheter Structural Heart Interventions. *Curr. Cardiovasc. Imaging Rep.* 2015; 8 (33): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12410-015-9349-6>
14. Faletra F.F., Pedrazzini G., Pasotti E. et al. Side-by-side comparison of fluoroscopy, 2D and 3D TEE during percutaneous edge-to-edge mitral valve repair. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2012; 5 (6): 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.02.014>
15. Thériault-Lauzier P., Andalib A., Martucci G. et al. Fluoroscopic anatomy of left-sided heart structures for transcatheter interventions: insight from multislice computed tomography. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014; 7 (9): 947–957. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.06.002>
16. Blanke P., Dvir D., Naoum C. et al. Prediction of fluoroscopic angulation and coronary sinus location by CT in the context of transcatheter mitral valve implantation. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 2015; 9 (3): 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.02.007>
17. del Valle-Fernández R., Jelnin V., Panagopoulos G. et al. Insight into the dynamics of the coronary sinus/great cardiac vein and the mitral annulus: implications for percutaneous mitral annuloplasty techniques. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2009; 2 (6): 557–564. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.109.873281>
18. Rottländer D., Saal M., Öğütçü A. et al. Anatomy and Topography of Coronary Sinus and Mitral Valve Annulus in Functional Mitral Regurgitation. *Front. Cardiovasc. Med.* 2022; 22 (9): 1–10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.868562>
19. Gutleben K.J., Nölker G., Ritscher G. et al. Three-dimensional coronary sinus reconstruction-guided left ventricular lead implantation based on intraprocedural rotational angiography: a novel imaging modality in cardiac resynchronization device implantation. *Europace.* 2011; 13 (5): 675–682. <https://doi.org/10.1093/europace/eur004>
20. Duckett S.G., Ginks M.R., Knowles B.R. et al. Advanced image fusion to overlay coronary sinus anatomy with real-time fluoroscopy to facilitate left ventricular lead implantation in CRT. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2011; 34 (2): 226–234. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02940.x>
21. Empen K., Kuon E., Hummel A. et al. Comparison of rotational with conventional coronary angiography. *Am. Heart J.* 2010; 160 (3): 552–563. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2010.06.011>
22. Kočka V., Thériault-Lauzier P., Xiong T.Y. et al. Optimal Fluoroscopic Projections of Coronary Ostia and Bifurcations Defined by Computed Tomographic Coronary Angiography. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2020; 13 (21): 2560–2570. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.06.042>
23. Garcia J.A., Movassaghi B., Casserly I.P. et al. Determination of optimal viewing regions for X-ray coronary angiography based on a quantitative analysis of 3D reconstructed models. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2009; 25 (5): 455–462. <https://doi.org/10.1007/s10554-008-9402-5>
24. Рентгенэндоваскулярная хирургия: Национальное руководство: в 4 томах. Т. 2: Ишемическая болезнь сердца / Под ред. Б.Г. Алексяна. М.: Литтера, 2017. 792 с. Endovascular surgery: National guideline: Four-Volume Edition. Vol. 2: Ischemic heart disease / Ed. B.G. Alekyan. M.: Littera, 2017. 792 p. (In Russian)
25. Torres C.S., Sanders J.V.S., Martins de Brito H. et al. Anatomical relationship between mitral valve annulus and circumflex artery and its surgical implications. *Morphologie.* 2020; 104 (346): 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2020.03.003>
26. Меркулов Е.В., Миронов В.М., Самко А.Н. Коронарная ангиография, вентрикулография, шунтография. В иллюстрациях и схемах. М.: Медиа-Медика, 2011. 100 с. Merculov E.V., Mironov V.M., Samko A.N. Coronary angiography, ventriculography, shuntography. In illustrations and schemes. M.: Media-Medica, 2011. 100 p. (In Russian)



**Для корреспонденции\*:** Комок Владимир Владимирович – e-mail: vladimir\_komok@mail.ru

**Хубулава Геннадий Григорьевич** – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии, руководитель научно-клинического центра сердечно-сосудистой хирургии НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9242-9941>

**Быстров Эдуард Вячеславович** – студент VI курса лечебного факультета ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0003-4425-1186>

**Титов Никита Сергеевич** – клинический ординатор кафедры факультетской хирургии ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6302-0776>

**Буненков Николай Сергеевич** – канд. мед. наук, хирург ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4331-028X>

**Комок Владимир Владимирович** – канд. мед. наук, врач сердечно-сосудистый хирург НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3834-7566>

**Немков Александр Сергеевич** – доктор мед. наук, профессор кафедры факультетской хирургии, врач сердечно-сосудистый хирург НИИ хирургии и неотложной медицины ФГБОУ ВО “Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-5152-0001>

**Contact\*:** Vladimir V. Komok – e-mail: vladimir\_komok@mail.ru

**Gennady G. Khubulava** – Russian Academy of Sciences (RAS) Full Member, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Faculty Surgery, Head of the Scientific and Clinical Center for Cardiovascular Surgery at the Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-9242-9941>

**Eduard V. Bystrov** – 6th-year student of the Faculty of Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0009-0003-4425-1186>

**Nikita S. Titov** – clinical resident of the Department of Faculty Surgery, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-6302-0776>

**Nikolai S. Bunenkov** – Cand. of Sci. (Med.), surgeon, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4331-028X>

**Vladimir V. Komok** – Cand. of Sci. (Med.), Cardiovascular surgeon at the Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-3834-7566>

**Alexander S. Nemkov** – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Faculty Surgery, cardiovascular surgeon, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-5152-0001>