

<https://doi.org/10.25512/DIR.2022.16.4.01>

## СОВМЕСТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ ВНУТРИСОСУДИСТОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ, КОРОНАРНОЙ АНГИОГРАФИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВА КРОВОТОКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

**\*В. В. Демин** - [ORCID: 0000-0002-4541-8078]  
д.м.н., зав. отд. РХМДил<sup>1</sup>, профессор кафедры<sup>2</sup>  
**М. М. Мурзайкина** - [ORCID: 0000-0001-7340-0230]  
врач отд. РХМДил<sup>1</sup>  
**Д. В. Демин** - [ORCID: 0000-0002-8673-6320]  
врач отд. РХМДил<sup>1</sup>  
**П. Ю. Галин** - [ORCID: 0000-0003-3114-478X]  
д.м.н., профессор, заведующий кафедрой<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГАОУЗ «Оренбургская областная клиническая больница»  
460018 Российская Федерация, Оренбургская обл., г. Оренбург, ул. Аксакова, 23  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» МЗ РФ  
Кафедра клинической медицины Института профессионального образования  
460000 Российская Федерация, Оренбургская обл., г. Оренбург, ул. Советская, 6

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ)
- фракционный резерв кровотока (ФРК)
- мгновенный резерв кровотока (МРК)
- ангиография
- коронарография
- ко-регистрация
- стентирование коронарных артерий
- внутрисосудистые методы исследования

### АННОТАЦИЯ:

**Введение:** одним из направлений развития внутрисосудистых методов диагностики является создание станций или разработка методов, позволяющих сочетать или объединять возможности разных модальностей. Такой подход позволяет преодолевать свойственные каждому из методов инвазивной диагностики сосудов, включая ангиографию, ограничения. Работа посвящена анализу возможностей и первых результатов использования станции SyncVision (Philips Volcano), позволяющей в различных сочетаниях осуществлять в режиме реального времени совместную регистрацию данных ангиографии, внутрисосудистого ультразвукового исследования (ВСУЗИ) и мгновенного резерва кровотока (МРК, iFR) - негиперемического варианта исследования фракционного резерва кровотока.

**Цель:** описать возможности, предоставляемые использованием совместной регистрации данных ангиографии, ВСУЗИ и мгновенного резерва кровотока в режиме реального времени, технику проведения указанных процедур, а также провести анализ применения указанных методик в отделении с большим объемом внутрисосудистых исследований.

**Материал и методы:** представлен первый в России опыт клинического использования станции SyncVision, являющейся дополнением системы для внутрисосудистого ультразвукового сканирования s5i (Philips Volcano). Станция позволяет реализовывать пять опций, расширяющих возможности оператора по анализу данных исследования и выработке стратегии лечения непосредственно у операционного стола: ко-регистрацию данных ангиографии и внутрисосудистого ультразвукового исследования (ВСУЗИ); ко-регистрацию данных ангиографии и мгновенного резерва кровотока (iFR); тройную ко-регистрацию – ангиографии, ВСУЗИ и iFR; модификацию программы количественного расчета стенозов коронарных артерий (QCA); программу усиления изображения интервенционных устройств в режиме реального времени.

**Результаты:** исследования с применением ко-регистрации с ангиографией составили 21% от всех процедур ВСУЗИ и 62,4% - от iFR. В 67,3% от всех исследований с ангио-ВСУЗИ ко-регистрацией показанием к данному варианту диагностики было протяженное поражение артерии, требовавшее уточнения длины стенозированной участка, локализации референсных сегментов, диаметра артерии на разных уровнях. У 30 из этих больных выполнялась тройная ко-регистрация. Для уточнения гемодинамической значимости поражения при ангиографически неопределенной или пограничной картине ко-регистрация производилась в 13,2% от всех случаев, для исследования бифуркационного поражения со значительной разницей референсных сегментов и ангиографически трудно определяемым устьем боковой ветви – в 7,3%. По результатам тройной ко-регистрации решение о выполнении оперативного лечения принято у 30 из 42 пациентов (71,4%).

**Выводы:** совместная регистрация данных ВСУЗИ, коронарной ангиографии и мгновенного резерва кровотока (iFR) в режиме реального времени образует новую диагностическую модальность, существенно расширяющую возможности интраоперационного обследования и влияющую на планирование или анализ результатов вмешательства.

**Для цитирования.** Демин В.В., Мурзайкина М.М., Демин Д.В., Галин П.Ю. «СОВМЕСТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ ВНУТРИСОСУДИСТОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНИРОВАНИЯ, КОРОНАРНОЙ АНГИОГРАФИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВА КРОВОТОКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2022; 16(4): 6–15.

# REAL TIME CO-REGISTRATION OF INTRAVASCULAR ULTRASOUND, CORONARY ANGIOGRAPHY AND FRACTIONAL FLOW RESERVE DATA

\*Demin V.V. - [ORCID: 0000-0002-4541-8078]

MD, PhD, professor<sup>1,2</sup>

Murzaykina M.M. - [ORCID: 0000-0001-7340-0230]

MD<sup>1</sup>

Demin D.V. - [ORCID: 0000-0002-8673-6320]

MD<sup>1</sup>

Galin P.Yu. - [ORCID: 0000-0003-3114-478X]

MD, PhD, professor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orenburg Regional Clinical Hospital

23, Aksakova str., Orenburg, Orenburg Region, Russian Federation, 460018

<sup>2</sup>Orenburg State Medical University

Chair clinical medicine of Institute of Professional Education

6, Sovetskaya str., Orenburg, Orenburg Region, Russian Federation, 460000

## KEY-WORDS:

- intravascular ultrasound (IVUS)
- fractional flow reserve (FFR)
- instantaneous flow reserve (iFR)
- angiography
- coronary angiography
- co-registration
- coronary artery stenting
- intravascular research methods

## ABSTRACT:

**Introduction:** one of directions in development of intravascular diagnostic methods is creation of stations or development of methods that allow combining or uniting possibilities of different modalities. This approach makes it possible to overcome limitations inherent in each method of invasive vascular diagnostics, including angiography. This work is devoted to the analysis of possibilities and first results of using the SyncVision station (Philips Volcano), which allows, in various combinations, to carry out joint registration of angiography data, intravascular ultrasound (IVUS) and instantaneous blood flow reserve (iFR) in various combinations - a non-hyperemic version of fractional flow reserve study.

**Aim:** was to describe possibilities provided by the use of joint recording of data from angiography, IVUS and real-time instantaneous blood flow reserve, the technique for performing these procedures, as well as to analyze the application of these methods in a department with a large volume of intravascular studies.

**Material and methods:** the first experience in Russian Federation of the clinical use of the SyncVision station, which is an addition to the s5i intravascular ultrasound system (Philips Volcano), is presented. The station allows you to implement five options that expand the operator's ability to analyze study data and develop a treatment strategy directly at the operating table: co-registration of angiography and intravascular ultrasound (IVUS) data; co-registration of angiography data and instantaneous flow reserve (iFR); triple co-registration - angiography, IVUS and iFR; modification of the program for the quantitative calculation of coronary artery stenosis (QCA); real-time image enhancement software for interventional devices.

**Results:** studies using co-registration with angiography accounted for 21% of all IVUS procedures and 62,4% of iFR procedures. In 67,3% of all studies with angio-IVUS co-registration, the indication for this diagnostic variant was an extended lesion of artery, which required clarification of length of stenotic area, localization of reference segments, and diameter of artery at different levels. In 30 of these patients, triple co-registration was performed. To clarify the hemodynamic significance of lesion with an angiographically indeterminate or borderline picture, co-registration was performed in 13,2% of all cases, to study a bifurcation lesion with a significant difference in the reference segments and angiographically difficult to determine the entry of lateral branch - in 7,3%. Based on results of triple co-registration, the decision to perform surgical treatment was made in 30 out of 42 patients (71,4%).

**Conclusion:** joint registration of IVUS data, coronary angiography, and instantaneous flow reserve (iFR) in real time, forms a new diagnostic modality that significantly expands possibilities of intraoperative examination and affects the planning or analysis of intervention results.

## Введение

Методы внутрисосудистой визуализации, к основным из которых относятся внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) и оптическая когерентная томография (ОКТ), в последнее десятилетие потеснили классическую ангиографию в качестве «золотого

стандарта» при исследовании поражений артерий, в первую очередь коронарных. Основное ограничение ангиографии - планиметрический и силуэтный характер изображения, по существу, дающего представление только о просвете сосуда. При ангиографии невоз-

можно визуализация стенки сосуда и выявление начальных стадий атеросклеротического поражения - вплоть до сужения около 40% [1-3]. В большинстве случаев неточными оказываются количественные измерения на основе ангиографии, что связано с большим влиянием аккуратности и корректности выполнения калибровки, зачастую - невозможностью достоверного определения здорового участка сосуда, существенной зависимостью выполнения расчетов от исследователя. Внутрисосудистое ультразвуковое исследование производит поперечное сканирование сосуда и дает полную информацию обо всех слоях артерии, патологических субстратах и внутрипросветных включениях, что позволяет преодолеть многие из ограничений ангиографии. Реконструкция продольной проекции на основе поперечных срезов, с возможностью осевого вращения для выбора наиболее представительных изображений, еще более увеличивает информативность исследования.

Вместе с тем, существует достаточно серьезная проблема сопряжения ангиографического и ультразвукового изображения, поиска точного совпадения конкретного кадра ВСУЗИ и соответствующего ему участка на ангиограмме. Продольная проекция ВСУЗИ визуально сильно отличается от ангиографической картинки, показывающей все изгибы сосуда и не всегда строго перпендикулярной взгляду исследователя. Ситуация усугубляется, если при проведении ультразвукового исследования используется не механическая, а ручная протяжка, заведомо не вполне равномерная.

Производители как систем для ВСУЗИ, так и ангиографического оборудования старались учитывать данную проблему и искали подходы к её решению. Так, фирма Siemens еще в 90-е годы предлагала в качестве опции возможность интеграции внутрисосудистого ультразвукового изображения в ангиографическое по типу «картинка в картинке». С другой стороны, в ранних версиях систем для ВСУЗИ фирмы EndoSonics было можно вывести ангиографическое изображение на их экран параллельно с ультразвуковым, а во время протяжки датчика записать аудиокомментарий о положении датчика. Тем не менее, точного соответствия при таких подходах достигнуть затруднительно, и основным подспорьем для исследователя является поиск боковых ветвей как пространственных ориентиров.

Исследование фракционного резерва кровотока позволяет оценить функциональную значимость выявленных при ангиографии поражений. Достоверность данного показателя и его клиническая значимость неоднократно подтверждены. Однако чаще всего показатель ФРК выступает как синтетический, оценивающий весь сосуд в целом или какую-то его большую часть. «Привязка» функционального показателя к конкретному анатомическому участку чаще всего отсут-

ствует, что существенно понижает его информативность [4,5].

В последние годы ряд ведущих производителей систем внутрисосудистой визуализации, а также разработчики программного обеспечения довели до клинического использования несколько систем ко-регистрации ангиографии и данных внутрисосудистых исследований, что позволило предложить средства решения многих упомянутых проблем [3,6]. Данная работа посвящена анализу возможностей и первых результатов использования станции SyncVision (Philips Volcano).

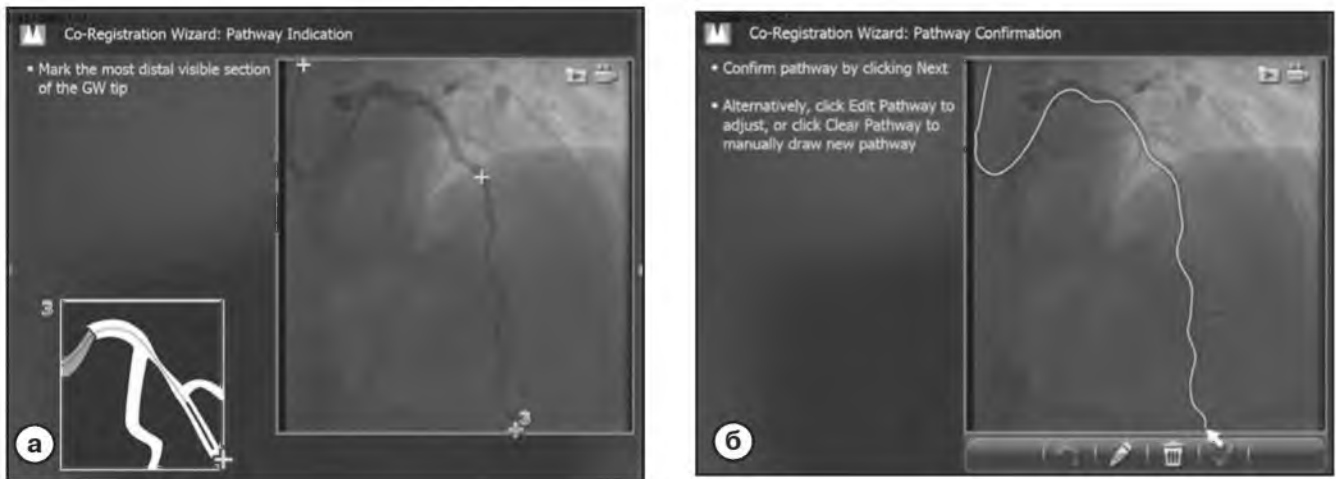
Целью исследования было описание возможностей, предоставляемых новым методом исследования и техники проведения внутрисосудистых диагностических процедур с использованием совместной регистрации с ангиографией, а также анализ рутинного применения указанных методик в отделении, активно использующем внутрисосудистую визуализацию.

## Материал и методы

В отделении рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ «Оренбургская областная клиническая больница» методы ангио-ВСУЗИ, ангио-iFR и ангио-iFR-ВСУЗИ ко-регистрации использованы в клинической практике впервые в России. Первое исследование с применением данных методов выполнено 10 января 2019 года. При этом общий опыт использования в отделении внутрисосудистого ультразвукового сканирования составляет 26 лет и насчитывает более 6000 исследований.

Станция SyncVision стала первой системой, позволяющей представить в рамках одного исследования результаты ангиографии, ВСУЗИ и iFR в различных сочетаниях. Зарегистрированная в Российской Федерации версия прибора является дополнительной рабочей станцией, сопрягаемой с интегрированной в ангиографический комплекс системой s5i (Philips Volcano). Консоль управления системой s5i, закрепленная на операционном столе ангиографического комплекса, становится единым пультом управления для обоих блоков системы внутрисосудистой визуализации. Практически все манипуляции по записи и обработке данных ВСУЗИ и iFR как по отдельности, так и в режиме ко-регистрации с ангиографией хирург может выполнить самостоятельно, без привлечения дополнительного специалиста для работы у основных консолей аппаратов.

Как и при работе со многими другими программами дополнительной обработки данных ангиографии и внутрисосудистой визуализации, оптимальным является использование описываемых систем в интеграции с современными ангиографическими комплексами, оснащенными широкоформатными дисплеями. В нашей операционной аппараты s5i и SyncVision объ-



**Рис. 1.** Три отметки вдоль карты сосуда (а), вставленные оператором, позволяют автоматически отобразить опорную линию (б), показывающую путь протяжки диагностического катетера.

единены с ангиографическим комплексом Artis Zee Floor (Siemens), оснащенным многофункциональным 55-дюймовым дисплеем. Это позволяет максимально удобно и наиболее наглядно представлять данные внутрисосудистой визуализации как с упомянутых комплексов, так и с системы для оптической когерентной томографии OPTIS, также осуществляющей ко-регистрацию с ангиографией.

Для получения качественных результатов ко-регистрации важным является соблюдение следующих условий:

- 1) выбор оптимальной ангиографической проекции (с хорошим обзором целевой зоны, четким изображением датчиков, проводника и проводникового катетера);
- 2) сохранение стабильной проекции, без изменения положения трубки, детектора, С-дуги, стола;
- 3) хорошее заполнение артерии контрастным веществом;
- 4) движение катетера ВСУЗИ или iFR от дистального к проксимальному сегменту;
- 5) максимально равномерная протяжка датчика на всем протяжении до проводникового катетера, без остановок или ускорения; для ВСУЗИ предпочтительна автоматическая механическая протяжка.

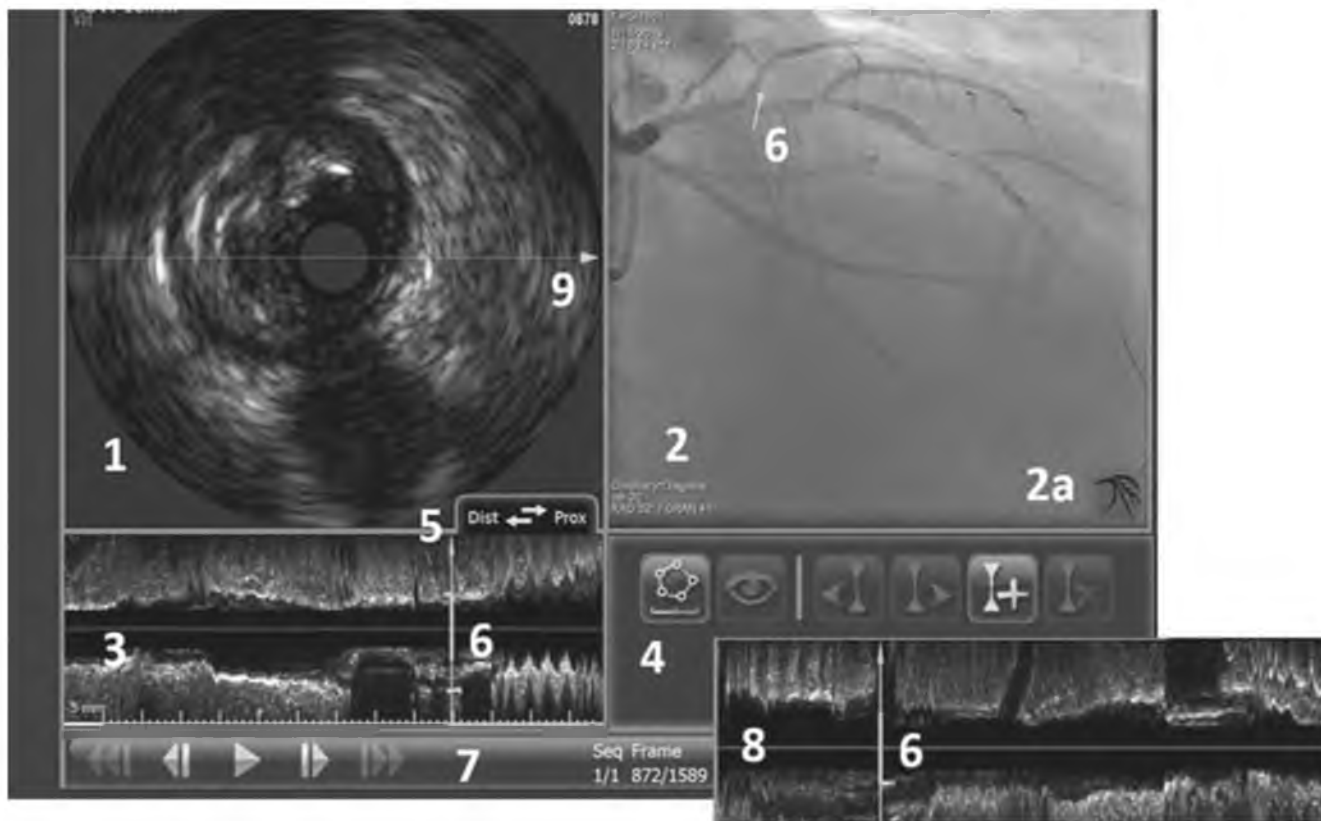
Поэтапное выполнение исследований с применением ко-регистрации выглядит следующим образом (следует отметить, что программа последовательно «подсказывает» каждый шаг при выполнении процедуры). После перехода в режим ангио-ВСУЗИ ко-регистрации окно ангиографии появляется в рабочем поле SyncVision. Записывается или выбирается из имеющихся ангиографическое изображение, которое будет служить базовым для последующих манипуляций. Предпочтительно, чтобы выбранный кадр входил в конечно-диастолическую фазу сердечного цикла (если использована ЭКГ-синхронизация, такой кадр выбирается автоматически). В случае выбора ангиографи-

ческой серии из имеющихся компоненты ангиографа должны находиться в тех же позициях, что при съемке данной проекции. Затем врач отмечает 3 точки вдоль сосуда, где будет выполняться протяжка датчика ВСУЗИ, включая проксимальную часть гайдинг-катетера, зону интереса и участок артерии дистальнее конечной части коронарного проводника (**рис. 1а**). Используя эти ориентиры, система автоматически построит опорную линию, показывающую путь протяжки диагностического катетера, следующего вдоль центральной оси сосуда (**рис. 1б**). При необходимости можно произвести коррекцию построенной линии посредством нанесения дополнительных опорных точек.

После этого осуществляется собственно протяжка ультразвукового датчика (Eagle Eye Platinum или Eagle Eye Platinum ST). Скорость протяжки - 1 мм/сек. В отличие от обычной записи ВСУЗИ, во время всей протяжки должна продолжаться рентгеноскопия с частотой 15 кадров в сек. В это время не должно производиться движений стола, смены проекций, изменения фокусного расстояния и т.п. Система автоматически обнаруживает и определяет ориентиры (проводниковый катетер, рентгеноконтрастный участок проводника, видимые маркеры на датчике ВСУЗИ) на ангиографических изображениях. Затем система регистрирует эти ориентиры на ангиографической карте по ранее указанной опорной линии конкретной артерии. Поскольку данные ВСУЗИ и рентгеновские снимки собираются одновременно, рентгеновский кадр становится связан с местоположением датчика на ангиографической карте, что позволяет получить соответствующее изображение ВСУЗИ. Для калибровочного коэффициента алгоритм программы использует известное расстояние между маркерами на датчике «Eagle Eye Platinum» на всем протяжении протяжки ВСУЗИ. После завершения протяжки и нажатия кнопки «Финиш» происходит быстрая обработка данных, и

пользователь автоматически переключается на вкладку «Ко-регистрация» (рис. 2). На экране совмещения изображений (рис. 2) каждое изображение, полученные с помощью ультразвукового катетера (1), регистрируется совместно с ангиографической картинкой (2) и продольным изображением

ВСУЗИ (3) и обозначается на них соответствующими маркерами (6). Последующая навигация возможна как на основе ультразвукового, так и ангиографического изображений, с синхронным изменением во всех трех окнах. По умолчанию в окне 3 ультразвуковое изображение ориентировано справа налево, или от дисталь-



**Рис. 2.** Экран совмещения изображений (ВСУЗИ-ангио).  
 1 – окно ВСУЗИ;  
 2 – окно ангиографии (представительный кадр);  
 2а – переключение на соответствующую ангиограмму;  
 3 – окно продольной реконструкции ВСУЗИ;  
 4 – панель закладок;  
 5 – переключения направления продольной проекции;  
 6 – маркеры расположения кадра ВСУЗИ (окно 1) на ангиограмме и продольной проекции;  
 7 – кнопки навигации;  
 8 (врезка) – реверсированное окно продольной реконструкции ВСУЗИ.



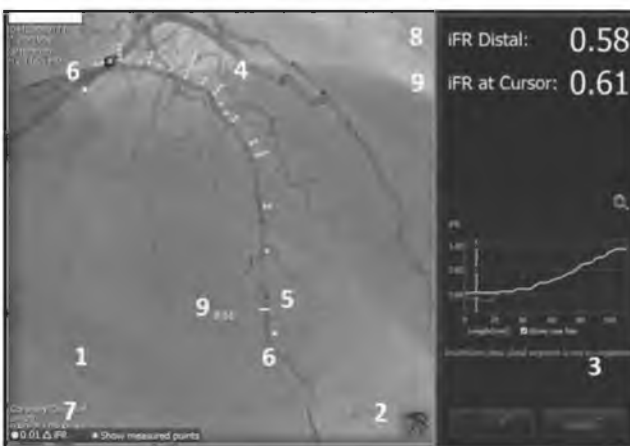
**Рис. 3.** Окно физиологических исследований во время (а) и после завершения (б) протяжки датчика давления.  
 1 – поле кривых давления;  
 2 – поле графика градиентов давления.

ного края к проксимальному. Поскольку в большинстве случаев ангиографическая картинка ориентирована наоборот, есть возможность для удобства восприятия реверсировать продольную проекцию ВСУЗИ с помощью переключателя (5), результат для приведенного примера показан на врезке (8). Кроме того, изображение на врезке претерпело также осевое вращение с помощью курсора (9) для лучшей визуализации на продольной проекции боковых ветвей.

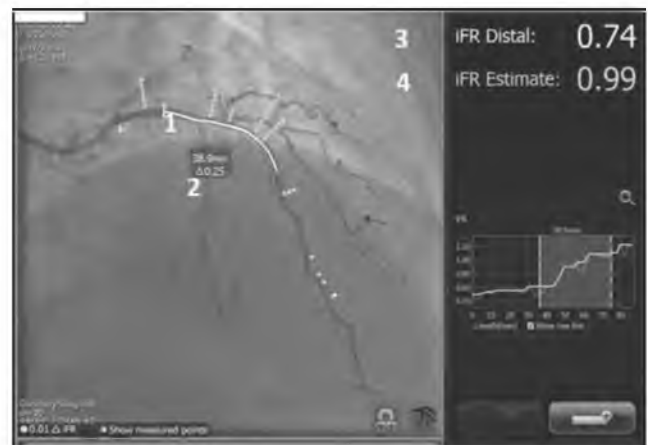
Следующей возможной функцией станции SyncVision является сочетанная регистрация ангиографических данных и результатов исследования мгновенного резерва кровотока (iFR), позволяющего оценить функциональную значимость поражения без использования гиперемических агентов. При исследовании применяются те же проводники с датчиком давления Verrata или Verrata Plus, что и при обычном определении FFR/iFR на аппарате Volcano. Отличием является необходимость постоянного рентгеноскопического контроля для последующего совмещения данных, а также ручная протяжка с максимально равномерной скоростью, приближенной к 1-2 мм/сек. Если предполагается использование ранее выполненного ангиографического изображения, то, как и в случае с ангио-ВСУЗИ ко-регистрацией, необходимо сохранение исходного положения компонентов ангиографической системы.

По мере протяжки исследователь в соответствующем окне (рис. 3) может наблюдать график градиентов давления, а к концу протяжки фиксируется суммарное значение iFR для дистального сегмента сосуда. После нажатия на кнопку «Последняя ангиограмма» происхо-

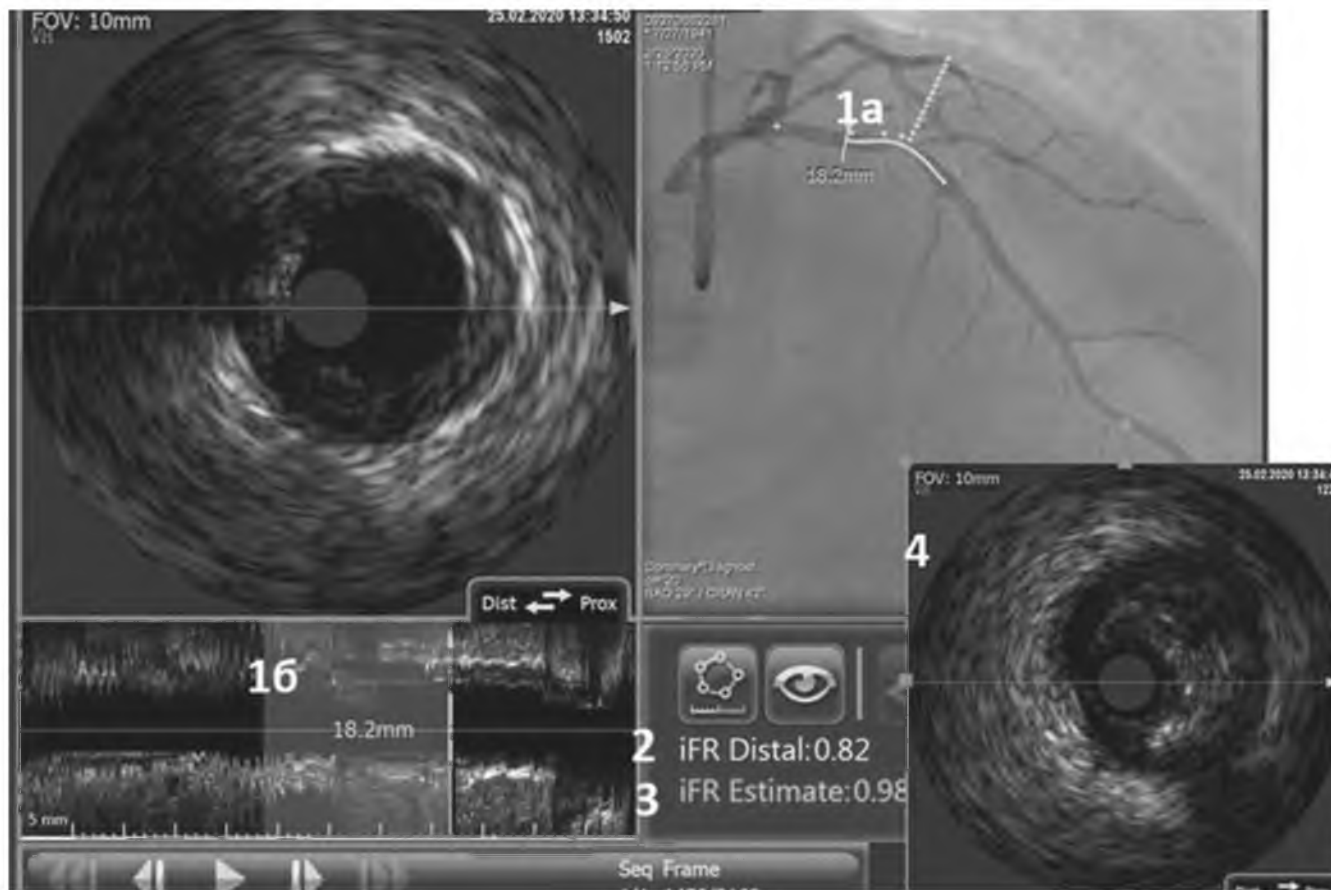
дит быстрая обработка данных, и система переходит в окно ангио-iFR ко-регистрации (рис. 4). Происходит построение карты градиентов давления для конкретного сосуда, совмещенной с его анатомической картинкой. Существенным отличием от обычного измерения ФРК и большим преимуществом нового метода является получение не только суммарного значения физиологического коэффициента для всего сосуда, но и возможность его оценки в любом сегменте. Оператор, манипулируя джойстиком, может выбрать любую точку на ангиографической карте сосуда и получить соответствующий показатель соотношения давления. Кроме того, графически наглядно представляются в виде точек зоны перепада давления, и даже без оценки математических значений можно составить впечатление о «вкладе» того или иного участка в гемодинамическую значимость поражения. Каждая точка означает заранее заданное снижение iFR между двумя последовательными точками измерения вдоль сосуда (по умолчанию - 0,01, при желании значение может регулироваться). Важнейшей опцией, которую производитель скромно обозначил как измерение длины, является фактическая возможность выполнения «виртуального стентирования». При этом, следуя вдоль линии курсора на избранном участке, исследователь может обозначить зону поражения в пределах здорового сосуда, и при этом система не только покажет длину данного участка и, соответственно, необходимую длину стента, но и предоставит оценочное значение iFR в дистальном сегменте сосуда в случае имплантации такого стента. На рисунке 5 показано,



**Рис. 4.** Экран совмещения изображений (iFR-ангио).  
1 – окно ангиографии и совмещенного изображения;  
2 – переключение на соответствующую ангиограмму;  
3 – поле графика градиентов давления;  
4 – графическое представление перепада давления;  
5 – курсор текущей позиции измерения iFR;  
6 – метки начала и конца протяжки датчика;  
7 – шкала значения единицы перепада давления;  
8 – значение iFR в дистальном сегменте сосуда;  
9 – значение iFR в текущей позиции (на уровне курсора).



**Рис. 5.** Функция «виртуального стентирования» при iFR-ангио ко-регистрации. Экран совмещения изображений (iFR-ангио).  
1 – линия, обозначающая участок измерения длины (зона «виртуального стентирования»);  
2 – значение длины измеряемого участка и перепада давления на данном сегменте;  
3 – значение iFR в дистальном сегменте сосуда;  
4 – оценочное значение iFR при адекватной коррекции в обозначенном участке. Остальные параметры те же, что на рис. 4.



**Рис. 6.** Тройная iFR-BCUZI-ангио ко-регистрация. Экран совмещения изображений.  
 1 – линия или сегмент, обозначающие участок измерения длины на ангиограмме (а) и продольной реконструкции BCУЗИ (б) (зона «виртуального стентирования»);  
 2 – значение iFR в дистальном сегменте сосуда;  
 3 – оценочное значение iFR при адекватной коррекции в обозначенном участке;  
 4 – (врезка) кадр BCУЗИ на уровне максимального стеноза – соответствует максимальному перепаду давления. Остальные поля и параметры соответствуют рис. 2, 4, 5.

что в случае оптимальной имплантации стента длиной 38-40 мм гемодинамически значимое поражение (iFR - 0,74) будет приведено к нормальному состоянию (оценочное значение iFR близко к единице). Как показывает опыт, несмотря на предупреждение производителя, что данная оценка имеет только теоретическое значение, эта функция является не только очень удобной и наглядной, но и на практике обеспечивает высокую точность и воспроизводимость результатов.

Третьей возможной опцией совмещения диагностических изображений является тройная, или ангио-BCУЗИ-iFR ко-регистрация (рис. 6). В этом случае остается неизменным условие стабильной проекции ангиограммы и неподвижности компонентов ангиографа на протяжении процедуры. Обязательно вначале выполняются шаги, связанные с iFR, а затем - с BCУЗИ ко-регистрацией. В результате исследователь получает возможность непосредственно связать конкретную точку ангиограммы с внутрисосудистым ультразвуковым изображением, а также оценить как величину iFR,

так и значение градиента давления в данном участке. При выполнении «виртуального стентирования», помимо обозначения измеряемого участка на ангиограмме, он будет также выделен на продольной проекции ультразвукового изображения. Это дает возможность оценить, насколько участки сосуда, определяемые как референсные до данным ангиографии и физиологических измерений, могут являться таковыми исходя из морфологии поражения.

За период после включения в работу станции SyncVision (36 месяцев) в отделении выполнено 1095 внутрисосудистых ультразвуковых сканирований (384 исследования - в 2019 году, 253 исследования - в 2020 году, 458 исследований - в 2021 году). Среди них в режиме ангио-BCУЗИ ко-регистрации выполнено 230 (21,0%) исследований у 170 пациентов в 194 артериях. В 2019 и 2020 годах вариант с ко-регистрацией составлял 9,1% от всех случаев применения BCУЗИ, в 2021 году - уже 37,6%. В эти же сроки произведено 85 исследований фракционного резерва кровотока,

преимущественно в модификации iFR, 76 больным. iFR в режиме двойной или тройной ко-регистрации применялся в 53 случаях у 50 больных (62,4%), в том числе в 73,7% случаев в 2019 году, 60,9% - в 2020 и 58,1% - в 2021 году.

При этом мы располагаем системами для ВСУЗИ во всех трех рентгеноперационных, из которых две представляют собой интегрированные в ангиографические комплексы версии. Система SyncVision функционально объединена с одним из этих интегрированных комплексов. Таким образом, выбор варианта внутрисосудистого ультразвукового исследования - с ко-регистрацией или без неё - зависит не только от собственно клинических показаний, но и от того, в какой из рентгеноперационных выполняется процедура.

## Результаты

Несмотря на многолетний опыт применения внутрисосудистых методов диагностики, насчитывающий более 26 лет и более 10000 исследований, в нашем опыте морфологические исследования значительно преобладали над функциональными. До внедрения рассматриваемой системы нами выполнено всего 70 исследований функционального резерва кровотока в варианте FFR или iFR, а также 79 QFR (FFRangio). Внедрение ангио-iFR, а также тройной ко-регистрации способствовало изменению ситуации. За анализируемые 36 месяцев выполнено 85 исследований iFR и FFR, из которых 53 (62,4%) - в режиме ко-регистрации, в том числе 42 - в варианте тройной ко-регистрации.

В большинстве случаев (155, 67,3% от всех исследований с ангио-ВСУЗИ ко-регистрацией) показанием к данному варианту исследования было протяженное поражение артерии, требовавшее уточнения длины стенозированного участка, локализации референсных сегментов, диаметра артерии на разных уровнях. У 30 из этих больных выполнялась тройная ко-регистрация, позволявшая дополнить указанную информацию физиологической составляющей. Другим основным показанием к ко-регистрации было уточнение гемодинамической значимости поражения при ангиографически неопределенной или пограничной картине (68 исследований), при этом тройная ко-регистрация выполнялась в 9 случаях, (13,2%). Еще одним показанием являлось наличие бифуркационного поражения со значительной разницей референсных сегментов и ангиографически трудно определяемым устьем боковой ветви (7,3%).

Представляет интерес влияние результатов тройной ко-регистрации на принятие клинического решения о выборе метода лечения. Из 42 наблюдений поражение было значимым и по данным ВСУЗИ, и по результатам исследования iFR в 20 случаях. Все эти больные были прооперированы. У 5 пациентов при внутрисосудистом

сканировании бляшка представлялась незначимой (степень стеноза по площади менее 65%), однако функциональное исследование подтвердило гемодинамическую значимость. Во всех этих случаях также был сделан выбор в пользу операции. Более сложным было решение при обратной ситуации - когда сужение при ВСУЗИ выглядело значимым, а по данным iFR - нет (12 наблюдений). Дополнительными побуждающими мотивами в пользу оперативного лечения был морфологический характер бляшки (большое липидное ядро, тонкая покрывка бляшки, признаки разрыва, трещины бляшки, проявления тромбоза), большая масса бляшки, особенно в сочетании с положительным ремоделированием, локализация поражения в стволе левой коронарной артерии или в устье крупной артерии. В итоге 9-ти пациентам было выполнено стентирование, 3 - назначено консервативное лечение. Наконец, последнюю подгруппу составили 5 больных, у которых и ВСУЗИ, и функциональное исследование продемонстрировали гемодинамическую незначимость поражения. Представляется логичным, что четверем из этих пациентов назначена медикаментозная терапия. Однако в одном случае, несмотря на iFR >0,9 и степень стеноза при ВСУЗИ около 55%, решено выполнить стентирование. В данном случае в основе решения было сочетание морфологических признаков нестабильности поражения (смешанная бляшка с большим липидным ядром, тонкой покрывкой и большой протяженностью по длине) с клиническими проявлениями острого коронарного синдрома. Всего оперативное лечение выполнено у 30 из 42 пациентов (71,4%) с тройной ко-регистрацией.

На основе исследований фракционного кровотока решение об операции принято в 24 случаях из 80 (30%), а в случае применения совместной регистрации ангиографии и iFR или тройной ко-регистрации - в 27 наблюдениях из 53 (50,9%).

## Обсуждение

Внутрисосудистое ультразвуковое сканирование является уже достаточно широко распространённым и хорошо зарекомендовавшим себя в клинической практике и научных исследованиях методом диагностики. Мы, имея 26-летний опыт клинического применения метода, отработали собственные показания к его использованию в разных ситуациях, включая как чисто диагностические, так и лечебные вмешательства, как плановые, так и экстренные процедуры, исследования как коронарных артерий, так и сосудов многих других локализаций [2,7]. Появление такой дополнительной опции, как совместная регистрация ангиографических и внутрисосудистых ультразвуковых изображений, позволяет уточнить и в ряде случаев расширить возможности ВСУЗИ. Несмотря на широкий спектр показаний к применению внутрисосудистого ультразвука



на разных этапах операции, в целом предпочтительным является его использование на этапе диагностики или начала операции (в отличие от оптической когерентной томографии, которая, при прочих равных условиях, дает больше информации на этапе контроля выполненного вмешательства) [8]. Традиционно считается, что в первую очередь методы внутрисосудистой визуализации позволяют уточнить характер поражения, истинные поперечные размеры сосуда и просвета и, соответственно, оптимальный диаметр необходимого стента [2,9]. Однако, не меньшее значение имеют еще по крайней мере две группы показаний, реализация которых становится существенно более легкой и более точной при использовании способов сочетанной регистрации. Это, во-первых, случаи, когда не удается построить оптимальную проекцию ангиограммы для визуализации зоны интереса, без перекрытия боковыми ветвями или укорочения целевого участка [9]. К этой группе относятся и бифуркационные поражения, когда, помимо прочего, требуется тщательная оценка карины и устья боковой ветви как до, так и после стентирования. Во-вторых, это оценка протяженности поражения, выявление относительно здоровых участков, которые могли бы служить местом опоры стентов и которые далеко не всегда совпадают с ангиографически определенными локациями [3]. В этом плане еще большая наглядность, точность оценки и доказательность достигается при использовании тройственной ко-регистрации.

Графическое представление градиентов давления для конкретного сосуда, совмещенное с ангиографией, существенно повышает как наглядность, так и информативность физиологических данных. Исследователь не только может получить не суммарное для всего сосуда, а конкретное для любого сегмента значение физиологического коэффициента, но и сразу точно сопоставить его с изменениями на коронарограмме [4]. Более того, функция «виртуального стентирования» позволяет и прогнозировать функциональный результат коррекции стентом того или иного участка сосуда. Указанные возможности значимо возрастают при применении тройной ко-регистрации. В нашем опыте были нередкими случаи, когда при получении

оптимального прогноза при «виртуальном стентировании» на основе iFR, мы были вынуждены внести коррекцию в первоначальные планы после анализа ВСУЗИ в «референсном» участке. Характер бляшки не всегда позволял опереться стентом там, где это казалось возможным по данным ангиографии и прогностически благоприятным по результатам анализа iFR.

Следует отметить, что, помимо функций ко-регистрации в разных режимах, станция SyncVision имеет еще две опции, расширяющие возможности анализа непосредственно у операционного стола. Это программа количественного расчета стенозов коронарных артерий (QCA), отличающаяся удобным интерфейсом, выделением зоны интереса с автоматическим увеличением, и быстрым расчетом с использованием независимой от ангиографа калибровки, а также программа усиления изображения интервенционных устройств, аналоги которой возможны только в самых последних поколениях ангиографических аппаратов. В отличие от уже достаточно стандартной программы усиления изображения стента, которая фиксирует такое изображение на одиночном кадре, соответствующая опция станции SyncVision улучшает изображение не только стента, но и баллона не только в покое, но и при позиционировании инструмента, а также при введении контраста.

## Заключение

Совместная регистрация данных внутрисосудистого ультразвукового сканирования, коронарной ангиографии и мгновенного резерва кровотока (iFR) в режиме реального времени представляет собой не просто сумму перечисленных методов исследования, а образует новую диагностическую модальность, существенно расширяющую возможности интраоперационного обследования. Исследователь впервые получает возможность наглядного одновременного графического и визуального представления непосредственно у операционного стола морфологических и физиологических данных, непосредственно влияющих на планирование или анализ результатов вмешательства. ■

## Список литературы

1. Tu S., Koning G., Tuinenburg J.C., et al. Coronary angiography enhancement for visualization. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2009; 25(7): 657-667. <https://doi.org/10.1007/s10554-009-9482-x>
2. Демин В.В. Клиническое руководство по внутрисосудистому ультразвуковому сканированию. *Оренбург: Южный Урал*. 2005; 400.
3. Frimerman A., Abergel E., Blondheim D.S., et al. Nov-

el Method for Real Time Co-Registration of IVUS and Coronary Angiography. *J. Interven. Cardiol*. 2016; 29(2): 225-231. <https://doi.org/10.1111/joic.12279>

4. Sacha J., Lipski P., Feusette P. Angiographic co-registration of instantaneous wave-free ratio and intravascular ultrasound improves functional assessment of borderline lesions in the coronary artery. *Adv. Interv. Cardiol*. 2018; 14(1): 107-108.

<https://doi.org/10.5114/aic.2018.74366>

5. Nijjer S.S., Sen S., Petraco R., et al. The Instantaneous wave-FreeRatio (iFR) pullback: a novel innovation using baseline physiology to optimise coronary angioplasty in tandem lesions. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2015; 16: 167-171. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2015.01.006>

6. Carlier S.G., Didday R., Slots T.L.B., et al. A new method for real-time co-registration of 3-D coronary angiography and intravascular ultrasound or optical coherence tomography. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2014; 15(4): 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2014.03.008>

7. Демин В.В., Долгов С.А., Григорьев А.В. и др. Двадцатилетний опыт клинического применения внут-

рисосудистого ультразвукового сканирования в много-профильной клинике. *Ж. Международный журнал интервенционной кардиоангиологии.* 2016; 44: 23-30.

8. Демин В.В., Гусев С.Д., Мурзайкина М.М. и др. Непосредственные и ближайшие результаты клинического исследования по сравнению имплантации стентов с лекарственным покрытием под контролем внутрисосудистого ультразвукового исследования или ангиографии. *Ж. Международный журнал интервенционной кардиоангиологии.* 2016; 44: 82-91.

9. Vasquez A., Mistry N., Singh J. Impact of Intravascular Ultrasound in Clinical Practice. *Interven. Cardiol. Rev.* 2014; 9(3): 156-163.

## References

1. Tu S, Koning G, Tuinenburg JC, et al. Coronary angiography enhancement for visualization. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2009; 25(7): 657-667. <https://doi.org/10.1007/s10554-009-9482-x>

2. Demin VV. Clinical guide to intravascular ultrasound. *Orenburg. Yuzhnyj Ural.* 2005; 400 [In Russ].

3. Frimerman A, Abergel E, Blondheim DS, et al. Novel Method for Real Time Co-Registration of IVUS and Coronary Angiography. *J. Interven. Cardiol.* 2016; 29(2): 225-231. <https://doi.org/10.1111/joic.12279>

4. Sacha J, Lipski P, Feusette P. Angiographic co-registration of instantaneous wave-free ratio and intravascular ultrasound improves functional assessment of borderline lesions in the coronary artery. *Adv. Interv. Cardiol.* 2018; 14(1): 107-108. <https://doi.org/10.5114/aic.2018.74366>

5. Nijjer SS, Sen S, Petraco R, et al. The Instantaneous wave-FreeRatio (iFR) pullback: a novel innovation using baseline physiology to optimise coronary angioplasty in

tandem lesions. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2015; 16: 167-171. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2015.01.006>

6. Carlier SG, Didday R, Slots TLB, et al. A new method for real-time co-registration of 3-D coronary angiography and intravascular ultrasound or optical coherence tomography. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2014; 15(4): 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2014.03.008>

7. Demin VV, Dolgov SA, Grigoriev AV, et al. 20-year experience with intravascular ultrasound scanning in a multidisciplinary hospital. *International Journal of Interventional Cardioangiology.* 2016; 44: 23-30 [In Russ].

8. Demin VV, Gusev SD, Murzaykina MM, et al. Immediate and early results of a clinical trial comparing different strategies of drug-eluting stents implantation under IVUS and angiographic guidance. *International Journal of Interventional Cardioangiology.* 2016; 44: 82-91 [In Russ].

9. Vasquez A, Mistry N, Singh J. Impact of Intravascular Ultrasound in Clinical Practice. *Interven. Cardiol. Rev.* 2014; 9(3): 156-163.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**ДЕМИН ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ** – [ORCID: 0000-0002-4541-8078]

д.м.н., зав. отделением РХМДиЛ ГАУЗ «Оренбургская областная клиническая больница»; профессор кафедры клинической медицины Института профессионального образования, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» МЗ РФ

**МУРЗАЙКИНА МАРИНА МИХАЙЛОВНА** - [ORCID: 0000-0001-7340-0230]

врач отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ «Оренбургская областная клиническая больница»

**ДЕМИН ДЕНИС ВИКТОРОВИЧ** [ORCID: 0000-0002-8673-6320]

врач отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ «Оренбургская областная клиническая больница»

**ГАЛИН ПАВЕЛ ЮРЬЕВИЧ** - [ORCID: 0000-0003-3114-478X]

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой клинической медицины Института профессионального образования ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» МЗ РФ

**Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании**  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и стороннего финансирования.