

Международный
журнал
интервенционной
кардиоангиологии

International Journal
of Interventional
Cardioangiology

ISSN 1727-818X (Print)
ISSN 2587-6198 (Online)

№ 74
2023

Читайте в номере:

СОГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ
ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ РНОИК
О рутинном применении
внутрисосудистых
визуализирующих модальностей...

РОССИЙСКИЙ РЕГИСТР
по использованию
внутрисосудистых методов
визуализации и физиологии:
двухлетние результаты

Read in this issue:

EXPERT GROUP CONSENSUS
PAPER OF RSICA
On the routine use of intravascular
imaging modalities...

THE RUSSIAN REGISTER
on the use of intravascular imaging
and physiology techniques:
two-year results



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНТЕРВЕНЦИОННОЙ КАРДИОАНГИОЛОГИИ

№ 74-2023

Научно-практическое
издание Российского
научного общества
интервенционных
кардиоангиологов.
Год основания – 2002

Подписка

по интернет-версии
Объединенного каталога
«Пресса России» на сайтах
www.pressa-rf.ru
www.akc.ru
Подписной индекс E82182

Адрес в Интернете:
www.ijic.ru

Адрес редакции:

101000 Москва,
Сверчков пер., 5
Тел. (495) 624 96 36
Факс (495) 624 67 33

Переводы статей:

Бюро переводов МЕДТРАН

Оригинал-макет:

Издательство ВИДАР-М

Верстка:

Ю.А. Кушель

Корректор:

Т.И. Луковская

Редакция выражает
особую признательность
доктору и художнику
Георгию Гигинейшвили
за предоставленную
возможность размещения
на обложке журнала его
работы “Интервенционная
кардиоангиология”

Главный редактор Д.Г. Иоселиани

Заместители главного редактора:

А.М. Бабунашвили (Москва) – председатель РНОИК
С.П. Семитко (Москва)

Члены редколлегии

А.В. Азаров (Москва)	Я. Ковач (Лейчестер, Великобритания)
Д.А. Асадов (Москва)	А.Г. Колединский (Москва)
Д.Г. Громов (Москва)	Ю.В. Суворова (Санкт- Петербург)
Э.Н. ДеМария (Сан-Диего, США)	Н.В. Церетели (Москва)
В.В. Демин (Оренбург)	А. Эрглис (Рига, Латвия)
Д.В. Кандыба (Санкт- Петербург)	
И.А. Ковальчук (Москва)	

Редакционный совет

М.М. Алшибая (Москва)	М.К. Морис (Париж, Франция)
Ю.В. Белов (Москва)	С.-Дж. Парк (Сеул, Республика Корея)
И.З. Борукаев (Нальчик)	Ш. Сайто (Камакура, Япония)
И.В. Бузаев (Уфа)	А.Н. Самко (Москва)
А. Ваханян (Париж, Франция)	П. Серраюс (Роттердам, Нидерланды)
Ю.Д. Волынский (Москва)	В.Е. Сеницын (Москва)
Ж.-Ш. Верне (Бордо, Франция)	И.И. Ситкин (Москва)
С.Л. Грайнс (Нью-Йорк, США)	В.К. Сухов (Санкт-Петербург)
Б.И. Долгушин (Москва)	О.Е. Сухоруков (Москва)
В.Н. Ильин (Москва)	Л.С. Уанн (Милуоки, США)
О.Г. Каракулов (Пермь)	Ж. Фажаде (Тулуза, Франция)
С.Б. Кинг (Атланта, США)	А.Ф. Хамидуллин (Казань)
Т.В. Кислухин (Самара)	И.Е. Чернышева (Москва)
Л.С. Коков (Москва)	Б.Е. Шахов (Нижний Новгород)
А. Коломбо (Милан, Италия)	В.Н. Шиповский (Москва)
В.В. Кучеров (Обнинск)	
В.В. Майсков (Москва)	
С. Мета (Майами, США)	

Ответственный секретарь

Е.Д. Богатыренко (Москва)

Журнал включен ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

ISSN 1727-818X



9 771727 818001

INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERVENTIONAL CARDIOANGIOLOGY

№ 74-2023

**“International Journal
of Interventional
Cardioangiology”
peer-reviewed scientific
and practical journal.
Founded in 2002**

Address of the Editions:

101000, Moscow,
Sverchkov per., 5
Phone (+7 495) 624 96 36
Fax (+7 495) 624 67 33

Website: www.ijic.ru

Translation:

Translation bureau
MEDTRAN

Prepared by:

VIDAR-M Publishing House

Computer makeup:

Yu. Kushel

Corrector:

T. Lukovskaya

Special gratitude to
George Guigineishvili,
doctor and artist,
for the offered opportunity
to put the photocopy
of his painting
“Interventional
Cardioangiology”
on the cover
of the magazine

Editor-in-Chief D.G. Iosseliani

Deputies Editors-in-Chief

A.M. Babunashvili (Moscow) – President of RSICA
S.P. Semitko (Moscow)

Members of the Editorial Board

A.V. Azarov (Moscow)	J. Kovac (Leicester, United Kingdom)
D.A. Asadov (Moscow)	A.G. Koledinsky (Moscow)
D.G. Gromov (Moscow)	Yu.V. Suvorova (St. Petersburg)
A.N. DeMaria (San Diego, USA)	N.V. Tsereteli (Moscow)
V.V. Demin (Orenburg)	A. Erglis (Riga, Latvia)
D.V. Kandyba (St. Petersburg)	
I.A. Kovalchuk (Moscow)	

Editorial Council

M.M. Alshibaya (Moscow)	M.C. Morice (Paris, France)
Yu.V. Belov (Moscow)	S.J. Park (Seoul, Republic of Korea)
I.Z. Borukaev (Nalchik)	S. Saito (Kamakura, Japan)
I.V. Buzaev (Ufa)	A.N. Samko (Moscow)
A. Vahanian (Paris, France)	P.W. Serruys (Rotterdam, the Netherlands)
Yu.D. Volynsky (Moscow)	V.E. Sinitsyn (Moscow)
J.Ch. Vernhet (Bordeaux, France)	I.I. Sitkin (Moscow)
C.L. Grines (Atlanta, USA)	V.K. Sukhov (St. Petersburg)
B.I. Dolgushin (Moscow)	O.E. Sukhorukov (Moscow)
V.N. Ilyin (Moscow)	L.S. Wann (Milwaukee, USA)
O.G. Karakulov (Perm)	J. Fajadet (Toulouse, France)
S.B. King III (Atlanta, USA)	A.F. Khamudullin (Kazan)
T.V. Kislukhin (Samara)	I.E. Chernysheva (Moscow)
L.S. Kokov (Moscow)	B.E. Shakhov (Nizhny Novgorod)
A. Colombo (Milan, Italy)	V.N. Shipovsky (Moscow)
V.V. Kucherov (Obrninsk)	
V.V. Mayskov (Moscow)	
S. Mehta (Miami, USA)	

ISSN 1727-818X



9 771727 818001

Executive Editor

E.D. Bogatyrenko

The Journal is included in the “List of leading peer-reviewed editions, recommended for publication of Candidate’s and Doctor’s degree theses main results” approved by Higher Attestation Commission (VAK) RF.

Правление Российского научного общества интервенционных кардиоангиологов

Председатель

Бабунашвили А.М., Москва

Заместители председателя

Иоселиани Д.Г., Москва

Шахов Б.Е., Нижний Новгород

Члены правления

Азаров А.В., Москва

Араблинский А.В., Москва

Арустамян С.Р., Москва

Асадов Д.А., Москва

Балацкий О.А., Саратов

Бирюков С.А., Рязань

Бобков Ю.А., Москва

Болотов П.А., Москва

Борукаев И.З., Нальчик

Волков С.В., Москва

Волынский Ю.Д., Москва

Ганюков В.И., Кемерово

Громов Д.Г., Москва

Демин В.В., Оренбург

Долгушин Б.И., Москва

Ерошкин И.А., Одинцово

Жолковский А.В., Ростов-на-Дону

Зырянов И.П., Тюмень

Иванов А.В., Красногорск

Иванов В.А., Красногорск

Иванов П.А., Чита

Каракулов О.Г., Пермь

Кислухин Т.В., Самара

Клестов К.Б., Ижевск

Коваленко И.Б., Белгород

Ковальчук И.А., Москва

Козлов К.Л., Санкт-Петербург

Козлов С.В., Екатеринбург

Коков Л.С., Москва

Колединский А.Г., Москва

Коротков Д.А., Сыктывкар

Куртасов Д.С., Москва

Кучеров В.В., Москва

Лопотовский П.Ю., Красногорск

Мазаев В.П., Москва

Майсков В.В., Москва

Матчин Ю.Г., Москва

Миронков А.Б., Москва

Миронков Б. Л., Москва

Осиев А.Г., Москва

Павлов П.И., Ханты-Мансийск

Петросян К.В., Москва

Плеханов В.Г., Иваново

Поляков К.В., Хабаровск

Пурсанов М.Г., Москва

Самко А.Н., Москва

Семитко С.П., Москва

Ситкин И.И., Москва

Столяров Д.П., Красноярск

Суворова Ю.В., Санкт-Петербург

Сухов В.К., Санкт-Петербург

Сухоруков О.Е., Москва

Таразов П.Г., Санкт-Петербург

Тедеев А.К., Беслан

Хамидуллин А.Ф., Казань

Чеботарь Е.В., Нижний Новгород

Чернышева И.Е., Москва

Честухин В.В., Москва

Шарабрин Е.Г., Нижний Новгород

Шиповский В.Н., Москва

Шукуров Б. М., Волгоград

101000 Москва, Сверчков пер., 5

Научно-практический центр интервенционной кардиоангиологии

(секретарь РНОИК Е.Д. Богатыренко)

Тел.: +7 (495) 624-96-36, +7 (495) 625 32 16

Факс: +7 (495) 624-67-33

E-mail : elenita712@gmail.com

www.rnoik.ru

ПОЧЕТНЫЕ ЧЛЕНЫ Российского научного общества интервенционной кардиоангиологии

БАХАНЯН Алек	Париж (Франция)
ВОЛЫНСКИЙ Юрий	Москва (РФ)
ГРАЙНС Синди Л.	Детройт (Мичиган, США)
ДЕМАРИЯ Энтони Н.	Сан-Диего (Калифорния, США)
ДОРРОС Джеральд	Феникс (Аризона, США)
ИОСЕЛИАНИ Давид	Москва (РФ)
КАТЦЕН Барри Т.	Майами (Флорида, США)
КИНГ Спенсер Б., III	Атланта (Джорджия, США)
КОЛОМБО Антонио	Милан (Италия)
ЛЮДВИГ Йозеф	Эрланген (Германия)
МАЙЕР Бернхард	Берн (Швейцария)
МОРИС Мари-Клод	Париж (Франция)
ПРОКУБОВСКИЙ Владимир	Москва (РФ)
РИЕНМЮЛЛЕР Райнер	Грац (Австрия)
СЕРРАЮС Патрик В.	Роттердам (Нидерланды)
СИГВАРТ Ульрих	Женева (Швейцария)
СИМОН Рюдигер	Киль (Германия)
СУХОВ Валентин	Санкт-Петербург (РФ)
ФАЖАДЕ Жан	Тулуза (Франция)
ХОЛМС Дэвид Р.-мл.	Рочестер (Миннесота, США)
ШАХНОВИЧ Александр	Нью-Йорк (Нью-Йорк, США)
ЭРГЛИС Андреис	Рига (Латвия)

Board of the Russian Society of Interventional Cardioangiologology

President

Babunashvili A.M., Moscow

Vice-Presidents

Iosseliani D.G., Moscow

Shakhov B.E., Nizhny Novgorod

Members

Azarov A.V., Moscow
Arablinsky A.V., Moscow
Arustamian S.P., Moscow
Asadov D.A., Moscow
Balatsky O.A., Saratov
Biriukov S.A., Riazan
Bobkov Yu.A., Moscow
Bolotov P.A., Moscow
Borukaev I.Z., Nalchik
Volkov S.V., Moscow
Volynsky Yu.D., Moscow
Ganiukov V.I., Kemerovo
Gromov D.G., Moscow
Demin V.V., Orenburg
Dolgushin B.I., Moscow
Eroshkin I.A., Odinstovo
Zholkovsky A.V., Rostov-on-Don
Zyrianov I.P., Tiumen
Ivanov A.V., Krasnogorsk
Ivanov V.A., Krasnogorsk
Ivanov P.A., Chita
Karakulov O.G., Perm
Kislukhin T.V., Samara
Klestov K.B., Izhevsk
Kovalenko I.B., Belgorod
Kovalchuk I.A., Moscow
Kozlov K.L., St. Petersburg

Kozlov S.V., Yekaterinburg

Kokov L.S., Moscow

Koledinsky A.G., Moscow

Korotkov D.A., Syktyvkar

Kurtasov D.S., Moscow

Kuchеров V.V., Moscow

Lopotovsky P.Yu., Krasnogorsk

Mazaev V.P., Moscow

Mayskov V.V., Moscow

Matchin Yu.G., Moscow

Mironkov A.B., Moscow

Mironkov B.L., Moscow

Osiev A.G., Moscow

Pavlov P.I., Khanty-Mansiysk

Petrosian K.V., Moscow

Plekhanov V.G., Ivanovo

Polyakov K.V., Khabarovsk

Pursanov M.G., Moscow

Samko A.N., Moscow

Semitko S.P., Moscow

Sitkin I.I., Moscow

Stolyarov D.P., Krasnoyarsk

Suvorova Yu.V., St. Petersburg

Sukhov V.K., St. Petersburg

Sukhorukov O.E., Moscow

Tarazov P.G., St. Petersburg

Tedeev A.K., Beslan

Khamidullin A.F., Kazan

Chebotaev E.V., Nizhny Novgorod

Chernysheva I.E., Moscow

Chestukhin V.V., Moscow

Sharabrin E.G., Nizhny Novgorod

Shipovsky V.N., Moscow

Shukurov B.M., Volgograd

Russia, 101000, Moscow, Sverchkov per., 5
Moscow City Center of Interventional Cardioangiologology
(Secretary of RSICA E. Bogatyrenko)
Phone: +7 (495) 624 96 36, +7 (495) 625 32 16
Fax+7 (495) 624-67-33
E-mail : elenita712@gmail.com
Website: www.rnoik.ru

HONORARY MEMBERS of Russian Society of Interventional Cardioangiologiy

COLOMBO Antonio	Milan, Italy
DEMARIA Anthony N.	San-Diego, California, USA
DORROS Gerald	Phoenix, Arizona, USA
ERGLIS Andrejs	Riga, Latvia
FAJADET Jean	Toulouse, France
GRINES Cindy L.	Detroit, Michigan, USA
HOLMES David R., Jr.	Rochester, Minnesota, USA
IOSSELIANI David	Moscow, Russian Federation
KATZEN Barry T.	Miami, USA
KING Spencer B., III	Atlanta, Georgia, USA
LUDWIG Josef	Erlangen, Germany
MEIER Bernhard	Bern, Switzerland
MORICE Marie-Claude	Paris, France
PROKUBOVSKY Vladimir	Moscow, Russian Federation
RIENMULLER Rainer	Graz, Austria
SERRUYS Patrick W.	Rotterdam, Netherlands
SHAKNOVICH Alexander	New York, New York, USA
SIGWART Ulrich	Geneva, Switzerland
SIMON Rudiger	Kiel, Germany
SUKHOV Valentin	St.Petersburg, Russian Federation
VAHANIAN Alec	Paris, France
VOLYNSKY Youry	Moscow, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ

СОГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ

РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ КАРДИОАНГИОЛОГОВ.

О рутинном применении внутрисосудистых визуализирующих модальностей (ВСУЗИ, ОКТ) во время рентгенэндоваскулярных вмешательств при отдельных типах поражений коронарных артерий при хроническом коронарном синдроме и о необходимости оснащения всех рентгеноперационных страны системами внутрисосудистой визуализации

А.М. Бабунашвили, А.В. Азаров, В.Н. Ардеев, Д.А. Асадов, П.А. Болотов, С.В. Волков, Е.А. Глазырин, Д.Г. Громов, В.В. Демин, О.Е. Зауралов, Д.Г. Иоселиани, О.Г. Каракулов, Т.В. Кислухин, С.В. Козлов, Л.С. Коков, А.В. Коротких, Е.И. Кретов, Ю.Г. Матчин, А.Г. Осиев, А.Н. Самко, С.П. Семитко, А.В. Созыкин, Б.Е. Шахов, Е.Б. Шахов, Е.Г. Шарабрин, З.Х. Шугушев, Б.М. Шукуров. 9

Российский регистр по использованию внутрисосудистых методов визуализации и физиологии: двухлетние результаты

В.В. Демин, А.М. Бабунашвили, В.Н. Ардеев, З.Х. Шугушев, Т.В. Кислухин, Е.В. Меркулов, Ю.Г. Матчин, А.А. Ануфриев, А.В. Тер-Акопян, С.П. Семитко, В.А. Игнатов, Ф.Б. Шукуров, Н.А. Кочергин, Е.Ю. Губаренко, С.В. Козлов, Д.В. Тепляков, А.И. Горьков, А.В. Азаров, С.Д. Климовский, Е.А. Шлойдо, О.Е. Зауралов, Е.В. Сероштанов, Е.Ю. Костырин, Г.К. Арутюнян, Р.В. Атанесян, Р.С. Агафонов, С.А. Долгов, Д.А. Асадов, Е.А. Глазырин 52

Эндомиокардиальная биопсия и ее значение в диагностике некоронарогенных поражений сердца. Клиническое наблюдение

В.А. Иванов, А.В. Иванов, Р.М. Шабает, С.Р. Хацаева, Н.И. Гуляев, А.Г. Файбушевич 76

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ ХИРУРГИЯ

Применение композитного Y-образного вено-венозного шунта в коронарной хирургии

И.Р. Рафаели, А.Н. Панков, К.В. Гетажеев, А.В. Степанов, Т.С. Сандодзе, Е.В. Ярных, К.В. Гюльмисарян, С.П. Семитко 87

РАЗНОЕ

Гепатоцеллюлярный рак. Эпидемиология, класификация, диагностика, методы лечения. Обзор литературы

А.С. Дикова, С.А. Иванов, В.В. Кучеров, Н.А. Фалалеева, Л.О. Петров, А.П. Петросян, М.Г. Сядрин 100

CONTENTS

DIAGNOSIS AND TREATMENT

EXPERT GROUP CONSENSUS PAPER OF THE RUSSIAN SCIENTIFIC SOCIETY OF INTERVENTIONAL CARDIOANGIOLOGY.

On the routine use of intravascular imaging modalities (IVUS, OCT) during endovascular interventions for certain types of coronary artery lesions in chronic coronary syndrome; and on the necessity to equip all national CathLabs with intravascular imaging systems

A.M. Babunashvili, A.V. Azarov, V.N. Ardeev, D.A. Asadov, P.A. Bolotov, S.V. Volkov, E.A. Glazyrin, D.G. Gromov, V.V. Demin, O.E. Zauralov, D.G. Ioseliani, O.G. Karakulov, T.V. Kislukhin, S.V. Kozlov, L.S. Kokov, A.V. Korotkikh, E.I. Kretov, Yu.G. Matchin, A.G. Osiev, A.N. Samko, S.P. Semitko, A.V. Sozykin, B.E. Shakhov, E.B. Shakhov, E.G. Sharabrin, Z.Kh. Shugushev, B.M. Shukurov 9

The Russian Register on the use of intravascular imaging and physiology techniques: two-year results

V.V. Demin, A.M. Babunashvili, V.N. Ardeev, Z.H. Shugushev, T.V. Kislukhin, E.V. Merkulov, Yu.G. Matchin, A.A. Anufriev, A.V. Ter-Akopyan, S.P. Semitko, V.A. Ignatov, F.B. Shukurov, N.A. Kochergin, E.Yu. Gubarenko, S.V. Kozlov, D.V. Teplyakov, A.I. Gorkov, A.V. Azarov, S.D. Klimovsky, E.A. Shloydo, O.E. Zauralov, E.V. Seroshtanov, E.Yu. Kostyrin, G.K. Arutyunyan, R.V. Atanesyan, R.S. Agafonov, S.A. Dolgov, D.A. Asadov, E.A. Glazyrin 52

Endomyocardial biopsy and its significance in the diagnosis of non-coronary heart disease. Clinical observation

V.A. Ivanov, A.V. Ivanov, R.M. Shabaev, S.R. Khatsaeva, N.I. Gulyaev, A.G. Faibushevich 76

CARDIOVASCULAR SURGERY

Use of the composite Y-shaped veno-venous bypass graft in coronary surgery

I.R. Rafaeli, A.N. Pankov, K.V. Getazheev, A.V. Stepanov, T.S. Sandodze, E.V. Yarnykh, K.V. Gulmisaryan, S.P. Semitko 87

MISCELLANEOUS

Hepatocellular carcinoma. Epidemiology, classification, diagnostics, treatment methods. Literature review

A.S. Dikova, S.A. Ivanov, V.V. Kucherov, N.A. Falaleeva, L.O. Petrov, A.P. Petrosyan, M.G. Syadrin 100

СОГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ КАРДИОАНГИОЛОГОВ

О рутинном применении внутрисосудистых визуализирующих модальностей (ВСУЗИ, ОКТ) во время рентгенэндоваскулярных вмешательств при отдельных типах поражений коронарных артерий при хроническом коронарном синдроме и о необходимости оснащения всех рентгеноперационных страны системами внутрисосудистой визуализации

От имени экспертного сообщества Российского научного общества интервенционных кардиологов (РНОИК):

А.М. Бабунашвили^{1*}, А.В. Азаров^{2, 3}, В.Н. Ардеев⁴, Д.А. Асадов², П.А. Болотов⁵, С.В. Волков^{6, 7}, Е.А. Глазырин⁸, Д.Г. Громов^{9, 10}, В.В. Демин^{11, 12}, О.Е. Зауралов⁴, Д.Г. Иоселиани², О.Г. Каракулов¹³, Т.В. Кислухин¹⁴, С.В. Козлов¹⁵, Л.С. Коков^{16, 17}, А.В. Коротких¹⁸, Е.И. Кретов¹⁹, Ю.Г. Матчин²⁰, А.Г. Осиев²¹, А.Н. Самко²², С.П. Семитко², А.В. Созыкин^{9, 23}, Б.Е. Шахов²⁴, Е.Б. Шахов²⁴, Е.Г. Шарабрин²⁴, З.Х. Шугушев²⁵, Б.М. Шукуров²⁶

¹ ООО «Центр эндохирургии и литотрипсии», Москва, Россия

² ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Научно-практический центр интервенционной кардиологии, Москва, Россия

³ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», Москва, Россия

⁴ ГБУЗ ЛО «Всеволожская клиническая межрайонная больница», Ленинградская обл., Россия

⁵ ГБУЗ города Москвы «Городская клиническая больница им. В.В. Вересаева ДЗ города Москвы», Москва, Россия

⁶ Клинико-диагностический центр МЕДСИ в Отрадном, Москва, Россия

⁷ Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» Минобрнауки России, Москва, Россия

⁸ ГБУЗ «Челябинская областная клиническая больница», Челябинск, Россия

⁹ ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

¹⁰ ГБУЗ города Москвы «ГКБ им. Ф.И. Иноземцева ДЗ города Москвы», Москва, Россия

¹¹ ГАУЗ «Оренбургская областная клиническая больница им. В.И. Войнова», Оренбург, Россия

¹² ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедра клинической медицины ИПО, Оренбург, Россия

¹³ ГАУЗ Пермского края «Городская клиническая больница №4», Пермь, Россия

- ¹⁴ ГБУЗ “Самарский областной клинический кардиологический диспансер им. В.П. Полякова”, Самара, Россия
- ¹⁵ Медицинское объединение “Новая больница”, Екатеринбург, Россия
- ¹⁶ ГБУЗ города Москвы “Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы” Москва, Россия
- ¹⁷ ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва, Россия
- ¹⁸ ФГБОУ ВО “Амурская государственная медицинская академия” Минздрава России, Благовещенск, Россия
- ¹⁹ “Центральная клиническая больница” Минздрава Новосибирской области, Новосибирск, Россия
- ²⁰ ФГБУ “НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва, Россия
- ²¹ Клинико-диагностический центр МЕДСИ на Красной Пресне, Москва, Россия
- ²² НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ “НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва, Россия
- ²³ ФГБНУ “Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского”, Москва, Россия
- ²⁴ ФГБОУ ВПО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород, Россия
- ²⁵ Центральная дирекция здравоохранения – филиал ОАО “РЖД”, Москва
- ²⁶ ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России, Волгоград, Россия

За два десятилетия, прошедших после внедрения внутрисосудистых методик визуализации в клиническую практику, эти технологии заняли достойное место в арсенале средств лечения коронарного атеросклероза и, без преувеличения, полностью трансформировали как конфигурацию процесса, так и ежедневную работу в рентгеноперационной. Помимо достигнутого технологического прогресса, следует отметить солидный объем накопленных за это время качественных доказательных данных, свидетельствующих о преимуществе методик внутрисосудистой визуализации в сравнении с традиционной ангиографией в оптимизации чрескожных коронарных вмешательств. Основываясь на мощной доказательной базе и большом личном опыте, авторы данного документа дают обоснование для применения методик внутрисосудистой визуализации в ежедневной клинической практике, оценивают их роль в улучшении результатов чрескожных коронарных вмешательств. Кроме того, предлагается трехуровневая система обучения специалистов и способствования продвижению методик внутрисосудистой визуализации с целью их внедрения в клиническую практику каждой рентгеноперационной страны.

Ключевые слова: внутрисосудистая визуализация, чрескожные коронарные вмешательства, ВСУЗИ, ОКТ, оптимальное стентирование

Для цитирования: А.М. Бабунашвили, А.В. Азаров, В.Н. Ардеев, Д.А. Асадов, П.А. Болотов, С.В. Волков, Е.А. Глазырин, Д.Г. Громов, В.В. Демин, О.Е. Зауралов, Д.Г. Иоселиани, О.Г. Каракулов, Т.В. Кислухин, С.В. Козлов, Л.С. Коков, А.В. Коротких, Е.И. Кретов, Ю.Г. Матчин, А.Г. Осиев, А.Н. Самко, С.П. Семитко, А.В. Созыкин, Б.Е. Шахов, Е.Б. Шахов, Е.Г. Шарабрин, З.Х. Шугушев, Б.М. Шукуров.

СОГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ КАРДИОАНГИОЛОГОВ. О рутинном применении внутрисосудистых визуализирующих модальностей (ВСУЗИ, ОКТ) во время рентгенэндоваскулярных вмешательств при отдельных типах поражений коронарных артерии при хроническом коронарном синдроме и о необходимости оснащения всех рентгеноперационных страны системами внутрисосудистой визуализации. *Международный журнал интервенционной кардиологии*. 2023; 74 (3): 9–51.
<https://doi.org/10.24835/1727-818X-74-9>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования: работа выполнена без спонсорской поддержки.

EXPERT GROUP CONSENSUS PAPER OF THE RUSSIAN SCIENTIFIC SOCIETY OF INTERVENTIONAL CARDIOANGIOLOGY

On the routine use of intravascular imaging modalities (IVUS, OCT) during endovascular interventions for certain types of coronary artery lesions in chronic coronary syndrome; and on the necessity to equip all national CathLabs with intravascular imaging systems

On behalf of the expert community of the Russian Scientific Society of Interventional Cardioangiology (RSICA):

A.M. Babunashvili¹, A.V. Azarov^{2, 3}, V.N. Ardeev⁴, D.A. Asadov², P.A. Bolotov⁵,
S.V. Volkov^{6, 7}, E.A. Glazyrin⁸, D.G. Gromov^{9, 10}, V.V. Demin^{11, 12}, O.E. Zauralov⁴,
D.G. Ioseliani², O.G. Karakulov¹³, T.V. Kislukhin¹⁴, S.V. Kozlov¹⁵, L.S. Kokov^{16, 17},
A.V. Korotkikh¹⁸, E.I. Kretov¹⁹, Yu.G. Matchin²⁰, A.G. Osiev²¹, A.N. Samko²²,
S.P. Semitko², A.V. Sozykin^{9, 23}, B.E. Shakhov²⁴, E.B. Shakhov²⁴, E.G. Sharabrin²⁴,
Z.Kh. Shugushev²⁵, B.M. Shukurov²⁶

¹ Center for Endosurgery and Lithotripsy, Moscow, Russia

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Scientific and Practical Center of Interventional Cardioangiology, Moscow, Russia

³ M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Moscow, Russia

⁴ Vsevolozhsk Clinical Interdistrict Hospital, Leningrad region, Russia

⁵ V.V. Veresaev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁶ Clinical Diagnostic Center MEDSI Group "Otradnoye", Moscow, Russia

⁷ Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

⁸ Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia

⁹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

¹⁰ F.I. Inozemtsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

¹¹ V.I. Voinov Orenburg Regional Clinical Hospital, Orenburg, Russia

¹² Orenburg State Medical University, Department of Clinical Medicine, Orenburg, Russia

¹³ City Clinical Hospital No. 4, Perm, Russia

¹⁴ V.P. Polyakov Samara Regional Clinical Cardiology Dispensary, Samara, Russia

¹⁵ Medical Association "New Hospital", Yekaterinburg, Russia

¹⁶ Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

¹⁷ A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

¹⁸ Amur State Medical Academy, Blagoveschensk, Russia

¹⁹ "Central Clinical Hospital" of the Ministry of Health of the Novosibirsk Region, Novosibirsk, Russia

²⁰ Academician E.I. Chazov National medical research centre of cardiology, Moscow, Russia

²¹ Clinical Diagnostic Center MEDSI Group "Krasnaya Presnya", Moscow, Russia

²² A.L. Myasnikov Research Institute of Clinical Cardiology of the Academician E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow, Russia

²³ Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow, Russia

²⁴ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

²⁵ Central healthcare direction – branch of OJSC "Russian Railways", Moscow

²⁶ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

Two decades have passed since the introduction of intravascular imaging techniques into clinical practice. These techniques have taken their rightful place in the treatment toolset for coronary atherosclerosis and, without overstating, have completely transformed both the procedure configuration and the daily work in the CathLabs. In addition to the technological advances achieved, it should be noted that substantial amount of qualitative evidences have been accumulated during this time, suggesting the superiority of intravascular imaging techniques over conventional angiography in optimizing percutaneous coronary interventions. Based on the strong evidential base and extensive personal experience, the authors of this paper provide a rationale for the use of intravascular imaging techniques in routine clinical practice, evaluating their role in improving the results of percutaneous coronary interventions. In addition, we propose a three-level system to train specialists and promote intravascular imaging techniques in order to introduce them into the clinical routine of every CathLab in Russia.

Keywords: intravascular imaging, percutaneous coronary interventions, IVUS, OCT, optimal stenting

For citation: A.M. Babunashvili, A.V. Azarov, V.N. Ardeev, D.A. Asadov, P.A. Bolotov, S.V. Volkov, E.A. Glazyrin, D.G. Gromov, V.V. Demin, O.E. Zauralov, D.G. Ioseliani, O.G. Karakulov, T.V. Kislukhin, S.V. Kozlov, L.S. Kokov, A.V. Korotkikh, E.I. Kretov, Yu.G. Matchin, A.G. Osiev, A.N. Samko, S.P. Semitko, A.V. Sozykin, B.E. Shakhov, E.B. Shakhov, E.G. Sharabrin, Z.Kh. Shugushev, B.M. Shukurov

EXPERT GROUP CONSENSUS PAPER OF THE RUSSIAN SCIENTIFIC SOCIETY OF INTERVENTIONAL CARDIOANGIOLOGY. On the routine use of intravascular imaging modalities (IVUS, OCT) during endovascular interventions for certain types of coronary artery lesions in chronic coronary syndrome; and on the necessity to equip all national CathLabs with intravascular imaging systems. *International journal of interventional cardiology*. 2023; 74 (3): 9–51. <https://doi.org/10.24835/1727-818X-74-9>

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Актуальность вопроса

Ежегодно в мире выполняется более 1 млн чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ) по поводу атеросклеротических поражений коронарных артерий, и примерно половина процедур выполняется при хроническом коронарном синдроме (ХКС) (1). Основным методом инвазивного контроля непосредственных результатов ЧКВ является ангиография (коронарография). Между тем, по данным авторов проспективного многоцентрового исследования STLLR, изучавших частоту и влияние субоптимальных результатов ЧКВ на отдаленные результаты вмешательства у 1557 пациентов из 41 клинического центра США, было установлено, что примерно 2/3 стентов были имплантированы некорректно. В частности, в 66,5% случаев неправильно были выбраны проксимальные и/или дистальные точки имплантации стентов (так называемый *geographic miss*), в 47,6% случаев отмечалась малаппозиция балок стентов и в 16,5% случаев оба варианта (2). Общеизвестно, что субоптимальные непосредственные результаты негативно влияют на отдаленные клинические и ангиографические результаты ЧКВ. Так, в том же исследовании STLLR феномен “*geographic miss*” являлся причиной трехкратного увеличения частоты инфаркта миокарда (ИМ) и независимым риск-фактором по-

вторных вмешательств на целевом сосуде через 1 год после ЧКВ (2).

Контрастная коронарная ангиография, или “луминография”, на протяжении последних 40 лет считается “золотым стандартом” диагностики состояния коронарных артерий, и, кроме того, служит инструментом контроля выполнения процедуры и оценки результата ЧКВ. Однако изучение трехмерной структуры, которой является коронарная артерия, с помощью методики двухмерного (плоскостного) исследования имеет свои значительные ограничения. Кроме того, коронарография дает представление лишь о состоянии просвета артерий и не позволяет изучать характеристики биологических тканей и судить о процессах, протекающих в стенке артерии.

Именно эти ограничения коронарной ангиографии задали мощный импульс развитию дополнительных методов внутрисосудистой визуализации (ВСВ) для увеличения наших диагностических возможностей, особенно в том, что касается изучения характеристик и морфологии атеросклеротической бляшки и изменений в стенке артерии. В современной клинической практике наибольшее распространение получили два метода внутрисосудистой визуализации – внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ) и оптико-когерентная томография (ОКТ).

Краткий технический обзор современных средств внутрисосудистой визуализации

Первым методом ВСВ, развитие которого началось еще в 1970-е годы, было внутрисосудистое ультразвуковое исследование. А первый случай применения ВСУЗИ *in vivo* был описан в 1988 г. (3). В основу методики положен принцип генерации и отражения ультразвуковых волн от поверхностей биологических структур. Ультразвуковые волны различной частоты (20, 40 и 60 МГц) генерируются пьезоэлектрическим кристаллом, который закреплен на катетере, и распространяются по окружности 360°. Благодаря их взаимодействию со структурами стенки артерии (разная степень отражения и поглощения в зависимости от характеристик биологических тканей) мы можем получить изображение поперечного сечения просвета артерии (360°) в режиме реального времени. Обычно более плотные – фиброзные и кальцинированные ткани в большей степени отражают звуковые волны, чем поглощают, и, соответственно, видны как эхогенные сигналы. И наоборот, менее плотные ткани (например, липидное, некротическое ядро бляшки, субинтимальная гематома) в большей мере поглощают звуковой сигнал и являются “эхопрозрачными” структурами.

На современном этапе в зависимости от дизайна катетера получили распространение два типа ВСУЗИ: с механическим (с крутящим трансдьюсером) и так называемым солидным (с неподвижными трансдьюсерами) катетером. Первый тип катетера снабжен вращающимся датчиком на дистальном конце катетера. Вращение датчика происходит с постоянной скоростью (примерно 1800 об./мин) для равномерного распределения излучаемого и отраженного сигнала. Второй тип катетера содержит ряд неподвижных трансдьюсеров, закрепленных по кругу на дистальном конце катетера, которые активизируются поочередно для синтеза полного изображения по окружности 360°. В зависимости от дизайна определяются и другие технические параметры катетеров (профиль, расстояние от кончика катетера до трансдьюсера, длина монорельсовой части), которые необходимо учитывать при решении задач ВСВ в конкретных анатомических ситуациях (хронические окклюзии, извитость и кальциноз артерии, степень стеноза и т.д.). Катетеры с механически вра-

щающимся трансдьюсером имеют преимущество ввиду их простого дизайна, меньшего профиля и лучшего соотношения сигнал/шум, что, в итоге, определяет лучшее качество изображения в сравнении с катетерами с неподвижными трансдьюсерами. Однако последний имеет преимущество в процедурах ВСУЗИ-управляемых реканализаций сложных хронических окклюзий коронарных артерий (ХОКА), поскольку позволяет более дистально позиционировать трансдьюсеры из-за меньшего расстояния от кончика катетера до датчиков. Кроме того, пузырьки воздуха, которые могут иметься между механически вращающимся датчиком и чехлом катетера, способны ухудшить изображение, поэтому необходимы тщательная промывка и освобождение узкого пространства между датчиком и катетером от воздуха. Для катетеров с неподвижными трансдьюсерами такая процедура не нужна.

Разрешающая способность и качество изображения постоянно улучшались в течение последних двух десятилетий вплоть до недавнего появления ВСУЗИ высокого разрешения (High Definition IVUS). При этом методе используются катетеры с высокочастотным трансдьюсером 40–80 МГц. В целом аксиальная разрешающая способность зависит от частоты и ширины ультразвукового импульса и составляет примерно 100–120 мкм. Однако ВСУЗИ высокого разрешения позволяет увеличить этот показатель до 70 мкм (4). Тем не менее улучшение качества ВСУЗИ-изображения происходит за счет уменьшения глубины проникновения (глубины сканирования) звуковых волн.

Радиочастотный анализ отраженных звуковых сигналов (кодировка в зависимости от частоты отраженного сигнала) позволяет получить так называемое изображение виртуальной гистологии, поскольку частота отраженного сигнала зависит от характеристик биологической ткани и, таким образом, различные типы тканей могут получить цветовую кодировку при обработке ВСУЗИ-изображения. Такой анализ, в свою очередь, помогает уточнить тканевый состав атеросклеротической бляшки (кальциноз, фиброзно-липидная бляшка или наличие некротического ядра), а также состояние сосудистой стенки и фиброзной капсулы бляшки. Кроме того, виртуальная гистология позволяет идентифицировать нестабильную бляшку и атерому с тонкой фиброзной кап-

сулой (5, 6). Чувствительность обнаружения бляшки с тонкой фиброзной капсулой с помощью радиочастотного анализа (виртуальной гистологии) довольно высока, однако специфичность остается низкой из-за невысокой разрешающей способности. Правда, специфичность можно повысить путем комбинированного применения радиочастотного анализа и ОКТ (7).

Функция автоматической обратной протяжки катетера с постоянной скоростью (0,5–1,0 мм) позволяет получить информацию о длине поражения и количественно измерить объем бляшки, что особенно важно при планировании процедуры стентирования. Также длину поражения можно оценить и с помощью современных систем так называемой ангиографической ко-регистрации, когда положение трансдьюсера в артерии контролируется на совмещенном ангиографическом изображении.

В отличие от ВСУЗИ, ОКТ в качестве инструмента дистанционного зондирования биологических тканей и структур использует световые волны ближнего инфракрасного спектра. Концепция ОКТ была разработана в начале 90-х годов XX века (1991), а первое сообщение о клиническом применении ОКТ-технологии в коронарных артериях появилось в 2006 г. (8, 9). Катетер для ОКТ-исследования представляет собой вращающееся вокруг оси оптическое моноволокно с совмещенной мини-линзой для отраженного светового сигнала, который затем подвергается компьютерной цифровой обработке в режиме реального времени с получением изображений как в поперечном срезе (плоскостное 2D-изображение), так и в пространственном (3D-изображение) виде (10). ОКТ обладает наилучшим пространственным разрешением среди известных на сегодня модальностей ВСВ (аксиальное разрешение – 10–20 мкм, поперечное или латеральное – 20–90 мкм), что примерно в 10 раз выше, чем у ВСУЗИ. Однако глубина проникновения световых волн в сосудистую стенку в 2–3 раза меньше, чем у ВСУЗИ (11, 12).

Поскольку световые волны, используемые в ОКТ-исследовании, поглощаются кровью, для получения качественного изображения требуется очистка операционного поля (просвета сосуда) от кровяной среды. Как правило, для этого используется контрастное вещество, вводимое интракоронарно под давлением, необходимым для

полной очистки просвета артерии от крови. Такая особенность ОКТ-исследования накладывает определенные ограничения на его применение – например, у пациентов с нарушенной функцией почек или в случаях аортоостальных поражений коронарных артерий. Другие анатомические условия, такие, как необходимость исследования очень крупных (5 мм и более) или мелких (менее 2 мм) артерий, критических сужений (90% и более), также являются препятствием для информативного ОКТ-исследования с получением пригодных для оценки изображений (13, 14). Однако при условии адекватной очистки операционного поля контрастным веществом получаемые ОКТ-изображения дают детальную информацию как о состоянии стенки артерии (строение и структурные изменения слоев стенки сосуда), так и о морфологии атеросклеротической бляшки (15, 16).

Современные ОКТ-системы позволяют, помимо изучения морфологии стенки артерии и атеросклеротической бляшки, выполнить точные измерения геометрии просвета артерии (длина поражения, референсный и минимальный диаметр и площадь поперечного сечения просвета). Совмещенная с ОКТ ангиографическая ко-регистрация предоставляет возможность еще более точного «картирования» пораженного сегмента и измерения его геометрических параметров. Автоматическая обработка изображений с обнаружением кальцинированных участков также позволяет разработать оптимальный алгоритм лечения. И, наконец, последние технологические разработки для комбинированной (ВСУЗИ + ОКТ) визуализации дают уникальный шанс увидеть совмещенное изображение целевого сегмента артерии с помощью одного катетера.

При выборе той или иной модальности визуализации, которую следует применить во время диагностического или эндоваскулярного вмешательства, необходимо принимать во внимание сравнительную характеристику двух методик ВСВ (табл. 1).

Исходя из физических характеристик источника сканирующего излучения, можно сравнить особенности двух указанных модальностей ВСВ. Например, ВСУЗИ не требует очистки операционного поля контрастным веществом, что существенно важно для оценки аортоустьевых поражений, для реканализации хронических окклюзий, когда введение контрастного вещества может

Таблица 1. Сравнительная характеристика двух модальностей внутрисосудистой визуализации

Характеристика	ВСУЗИ	ОКТ
Источник излучения	Ультразвук	Световые волны ближнего инфракрасного спектра
Длина волны, мкм	35–80	1,3
Разрешающая способность, мкм	40–200 (аксиальное), 200–300 (латеральное)	15–20 (аксиальное), 20–40 (латеральное)
Максимальный диаметр сканирования, мм	15	7
Проникающая способность, мм	10	2–2,5
Очистка операционного поля от крови	Не требуется	Требуется

привести к большой субинтимальной гематоме и неудаче процедуры. Кроме того, отсутствие необходимости введения контрастного вещества является дополнительным аргументом в пользу применения ВСУЗИ у пациентов с нарушением функции почек. Благодаря длинной волне излучения ультразвук проникает глубже в структуры стенки артерии и, таким образом, предоставляется возможность изучения артерий большого калибра (например, ствол левой коронарной артерии) или аневризматически расширенных участков сосудов. Из-за меньшей проникающей способности ОКТ в сравнении с ВСУЗИ возникает риск недооценки остаточного объема бляшки под балками стента или на краю стентированного участка (17, 18). Применение физиологического раствора вместо контрастного вещества для очистки операционного поля сейчас находится в стадии оценки.

Тем не менее благодаря своей несравненно более высокой разрешающей способности ОКТ позволяет получить более детальную информацию о строении составных элементов сосудистой стенки (интима, медиа), атеросклеротической бляшки (липидная, фиброзная или кальцинированная бляшка) и ее фиброзной капсулы. С помощью ВСУЗИ с традиционной длиной звуковых волн (20–40 МГц) невозможно получить такую детальную информацию о вышеотмеченных биологических тканях и структурах. Тем не менее ВСУЗИ высокого разрешения (например, катетер 60 МГц) улучшает качество изображения в сравнении со ВСУЗИ-катетерами старого поколения.

Кроме того, благодаря высокой разрешающей способности ОКТ оператор получает возможность более глубоко исследовать процесс рестеноза внутри стента, обнаружить и изучить неоатеросклероз и его раз-

новидности. Также с помощью ОКТ возможно более детальное изучение кальциноза стенки артерии (распространенность, толщина, локализация), поскольку световые волны, в отличие от ультразвука, не полностью отражаются от кальцинированного субстрата.

Во время процедуры ЧКВ ОКТ позволяет более детально визуализировать боковые ветви, стент (малаппозиция, деформация). ОКТ также обладает высокой чувствительностью при обнаружении интимально-медиальной диссекции (в том числе и на краях стента), протрузии тканей через структуру стента. 3D-реконструкция ОКТ-изображения оказывается полезной при стентировании бифуркационных поражений. Несмотря на достоинства и недостатки каждой модальности внутрисосудистой визуализации, обе технологии имеют преимущество перед ангиографическим исследованием («луминография») с точки зрения точности диагностики при эндоваскулярном лечении коронарного атеросклероза.

Обзор доказательной базы и результатов исследований методик ВСВ для диагностики коронарного атеросклероза и оптимизации процедуры ЧКВ

Еще в эпоху стентов без лекарственного покрытия отдельные исследования показывали преимущество ВСУЗИ-управляемого ЧКВ перед ЧКВ под ангиографическим контролем с точки зрения уменьшения частоты рестенозов внутри стентов в отдаленном периоде (19, 20). В целом выводы 8 из 9 самых крупных рандомизированных исследований, сравнивающих результаты ЧКВ под ВСУЗИ и ангиографическим контролем, свидетельствовали в пользу ВСВ, и лишь одно исследование (OPTICUS) (20) дало нейтральные результаты. Метаанализ, включа-

ющий результаты всех значимых сравнительных исследований (внутрисосудистая визуализация против ангиографии) при оптимизации результатов ЧКВ в эпоху стентов без лекарственного покрытия, показал, что ВСУЗИ-управляемое ЧКВ имеет преимущество перед ангиографически контролируемым ЧКВ в уменьшении частоты MACE (19% против 23%, отношение рисков (OR) 0,69, 95% ДИ 0,49–0,97, $p = 0,03$) и рестенозов через 6 мес (22% против 29%, OR 0,64, 95% ДИ 0,42–0,96, $p = 0,02$), тогда как разницы в частоте летальности ($p = 0,18$) и в риске возникновения спонтанного ИМ в отдаленном периоде ($p = 0,51$) не было (21).

Появление и развитие технологий лекарственных стентов значительно уменьшило частоту MACE, и этот показатель оказался настолько малым, что стало затруднительно доказать различие в пользу методов BCB в оптимизации результатов ЧКВ в общей популяции пациентов. Тем не менее со времен широкого внедрения лекарственных стентов в клинической практике были проведены значимые рандомизированные исследования с целью сравнения результатов ЧКВ, контролируемых с помощью ангиографии и внутрисосудистых методов визуализации. Логично, что уже выполненные или продолжающиеся исследования включают пациентов со сложными поражениями коронарных артерий, и это более реально отражает ситуацию, наблюдаемую в повседневной клинической практике (табл. 2).

Результаты 10 из 10 исследований, включенных в табл. 2, являются позитивными для визуализирующих модальностей, как средства оптимизации ЧКВ, и лишь одно исследование дало нейтральные результаты. Ни в одном из исследований не были получены негативные результаты для внутрисосудистых модальностей, как инструмента для оптимизации ЧКВ в сравнении ангиографически контролируемого ЧКВ.

Особенно отметим высокую воспроизводимость результатов сравнительных исследований (внутрисосудистая визуализация против ангиографии для контроля и оптимизации результатов ЧКВ), проведенных в разное время. Следует обратить внимание на результаты двух похожих исследований – IVUS XPL (2015 г.) и ULTIMATE (2018 г.) (табл. 3).

Указанные в табл. 3 два рандомизированных исследования, которые проводились в разное время и в разных клиниках, вклю-

чали практически одинаковое количество сравнимых групп пациентов (“все входящие”, подавляющее большинство с длинными поражениями артерий) с идентичной первичной клинической точкой (кардиальная летальность, ИМ, повторная реваскуляризация, связанная с целевым поражением или целевым сосудом). Получилось, что частота развития первичной клинической точки в двух исследованиях была одинаковой через 12 мес в пользу ВСУЗИ (2,9% против 5,8% в исследовании IVUS XPL и 2,9% против 5,4% в исследовании ULTIMATE), что свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов применения ВСУЗИ у этой сложной категории пациентов. Обратим также внимание на достоверное и значительное снижение частоты тромбозов стентов в более отдаленные сроки (36 мес) после ЧКВ, выполненного под ВСУЗИ-контролем (исследование ULTIMATE). Можно предположить, что такие результаты отчасти были достигнуты за счет улучшения геометрии просвета артерии после имплантации стента под контролем ВСУЗИ. Например, в исследовании IVUS XPL в группе с контролем ВСУЗИ постдилатация проводилась достоверно чаще, чем в группе ЧКВ с ангиографическим контролем (76,3% против 57,4% соответственно, $p < 0,001$), а финальный диаметр баллона для постдилатации был значимо выше ($3,14 \pm 0,43$ мм против $3,04 \pm 0,42$ мм соответственно, $p < 0,001$) (22). Поскольку вышеупомянутые исследования доказали преимущество ВСУЗИ перед ангиографией для контроля ЧКВ протяженных поражений и при имплантации двух и более стентов, то неудивительно, что два рандомизированных исследования – AIR-СТО и СТО IVUS показали достоверное уменьшение частоты рестеноза и повторных реваскуляризаций целевого сосуда после реканализации ХОКА под контролем ВСУЗИ в сравнении с ЧКВ под ангиографическим контролем. Кроме того, в СТО IVUS было показано и улучшение отдаленных клинических исходов; в частности, частота MACE значительно снизилась в группе реканализации ХОКА под ВСУЗИ-контролем в сравнении с ангиографически контролируемым ЧКВ (2,6% против 7,1% соответственно, $p = 0,035$). Такая же картина наблюдалась при сравнении комбинированной точки – летальность/ИМ в двух группах (0% против 2% соответственно, $p = 0,045$) (25, 26).

Таблица 2. Характеристика и краткое описание результатов значимых сравнительных исследований по применению модальностей внутрисосудистой визуализации во время ЧКВ

Исследование	Год	Количество пациентов	Модальность	Отдаленный период, мес	Описание результатов
IVUS-XPL* (22)	2015	1400	ВСУЗИ	12	- Частота MACE значимо ниже в группе ВСУЗИ – 2,9% против 5,8% ($p = 0,007$) - Частота реваскуляризации целевого поражения – 2,5% против 5,0% ($p = 0,02$) - Постдилатацию чаще проводили в группе ВСУЗИ – 76% против 57% ($p < 0,001$)
ULTIMATE* (23)	2018	1448	ВСУЗИ	12	- Значимое снижение нежелательных событий, связанных с целевым сосудом в группе ВСУЗИ (2,9% против 5,4%, $p = 0,019$) - Значимое снижение частоты повторных реваскуляризаций и тромбозов стентов (OR 0,407, 95% ДИ 0,188–0,880, $p = 0,029$) в группе ВСУЗИ - В группе ВСУЗИ нежелательные события, связанные с целевым сосудом, составили 1,6% в случаях, где были отмечены оптимальные ВСУЗИ-критерии имплантации стента, и 4,4% в случаях, где эти критерии не были достигнуты ($p = 0,029$).
ADAPT-DES IVUS subgroup (24)	2014	3349	ВСУЗИ	12	- Значимое уменьшение MACE в группе ВСУЗИ (2,5% против 3,7%, $p = 0,004$), реваскуляризации целевого сосуда (1,5% против 2,4%, $p = 0,007$) и целевого поражения (2,4% против 4,0%, $p = 0,0001$) - Значимое уменьшение частоты спонтанного ИМ (2,5% против 3,7%, $p = 0,004$) - Значимое уменьшение частоты тромбоза стента (0,6% против 1,0%, $p = 0,003$) - Под влиянием данных ВСУЗИ операторы меняли стратегию ЧКВ в 74% случаев
AIR-CTO* (25)	2015	230	ВСУЗИ	12	- Уменьшение длины субинтимального канала в группе ВСУЗИ ($10,8 \pm 3,9$ мм против $17,2 \pm 9,4$ мм, $p = 0,002$) - Значимое улучшение геометрии просвета: увеличение площади поперечного сечения просвета после ЧКВ ($5,92 \pm 2,2$ мм² против $4,37 \pm 1,1$ мм², $p = 0,01$) - Значимое уменьшение частоты рестеноза (3,9% против 13,7%, $p = 0,021$) - Нет значимой разницы в частоте MACE (18,3% против 22,6%, $p = 0,531$) и в повторной реваскуляризации (4,3% против 9,6%, $p = 0,314$)
CTO-IVUS* (26)	2015	204	ВСУЗИ	12	- Значимое уменьшение частоты MACE в группе ВСУЗИ (2,6% против 7,1%, $p = 0,035$) - Значимое уменьшение комбинированной точки – летальность/ИМ в группе ВСУЗИ (0% против 2%, $p = 0,045$) - Нет значимой разницы в реваскуляризации целевой артерии (2,6% против 5,2%, $p = 0,186$)
J.M. De la Torre Hernandez et al. (27)	2014	1670	ВСУЗИ	36	- Значимое увеличение выживаемости без MACE в группе ВСУЗИ (88,7% против 83,6%, $p = 0,04$) - Значимое увеличение выживаемости с бифуркационными поражениями ствола ЛКА в группе ВСУЗИ (90% против 80,7%, $p = 0,03$) - Значимое уменьшение частоты тромбоза стентов в группе ВСУЗИ (0,6% против 2,2%, $p = 0,04$) - ВСУЗИ-контролируемая реваскуляризация является независимым предиктором MACE (OR 0,70, 95% ДИ 0,52–0,99, $p = 0,04$)

Таблица 2 (окончание).

Исследование	Год	Количество пациентов	Модальность	Отдаленный период, мес	Описание результатов
J.S. Kim et al.* (28)	2013	543	ВСУЗИ	12	- Достоверное увеличение минимального диаметра артерии после ЧКВ в группе ЧКВ (2,58 мм против 2,51 мм, $p = 0,04$) - Нет значимой разницы в частоте MACE в двух группах (4,5% против 7,3%, $p = 0,16$)
DOCTORS* (29)	2016	120	ОКТ	6	- Достоверно высокий показатель фракционного резерва кровотока после ОКТ-управляемого ЧКВ ($0,94 \pm 0,04$ против $0,92 \pm 0,05$, $p = 0,005$) - Меньше резидуальный стеноз после ОКТ-контролируемого ЧКВ ($7,0 \pm 4,3\%$ против $8,7 \pm 6,3\%$, $p = 0,01$) - Частое использование постдилатации из-за малаппозиции, недораскрытия стентов, краевой диссекции в группе с ОКТ-контролируемым ЧКВ (43% против 12,5%, $p < 0,0001$)
OCTACS* (30)	2015	50	ОКТ	6	- Уменьшение количества балок стентов с малаппозицией в группе с ОКТ-контролируемым ЧКВ (3,4% против 7,8%, $p < 0,01$) - Меньшее количество неэндотелизированных балок стентов через 6 мес в группе с ОКТ-контролируемым ЧКВ (4,3% против 9,0%, $p < 0,01$)
ROCK II* (31)	2021	730	ВСУЗИ/ОКТ	12	- Значимое снижение нежелательных событий, связанных с целевым сосудом в группе визуализации (12,7% против 21,2%, $p = 0,039$) - Нет значимой разницы в первичной конечной точке между группами ВСУЗИ и ОКТ ($p = 0,26$) - ВСУЗИ является предиктором отсутствия нежелательных событий, связанных с целевым сосудом в группе визуализации (ОР 0,46, 95% ДИ 0,23–0,93, $p = 0,03$) - Частота нежелательных событий, связанных с целевым сосудом, в группе ангиографии – 16%, в группе ОКТ – 7%, в группе ВСУЗИ – 6% ($p = 0,03$ между группами ангиографически контролируемого ЧКВ и ЧКВ с визуализацией)

Примечание. * – рандомизированные исследования.

Таблица 3. Отдаленные результаты применения ВСУЗИ при длинных поражениях коронарных артерий

Исследование, год	Количество пациентов	Критерии включения	Первичная точка	Время отдаленного результата, мес	Отдаленный результат
IVUS XPL, 2015	1400	Длинные (≥ 28 мм) поражения	Композитная MACE – кардиальная летальность, ИМ, ПРМ	12	Через 12 мес: MACE – 2,9% против 5,8% ($p = 0,007$) ПРМ – 2,5% против 5,5% ($p = 0,02$)
ULTIMATE, 2018	1448	Все входящие: Длинные (> 25 мм) поражения – 60%	События, связанные с целевым сосудом (TVF): кардиальная летальность, ИМ, ПРМ	12	Через 12 мес: TVF – 2,9% против 5,4% ($p = 0,02$) Через 36 мес: тромбоз стента – 0,1% против 1,1% ($p = 0,02$)

Примечание. ПРМ – повторная реваскуляризация миокарда, связанная с целевым сосудом/поражением.

Особый интерес представляет изучение роли BCB в оптимизации процедур ЧКВ у пациентов со сложными поражениями коронарного русла с целью улучшения непосредственных и отдаленных клинических исходов. В последнее время в научной медицинской литературе были опубликованы результаты двух исследований, посвященных этой проблеме. В рандомизированное контролируемое исследование RENOVATE-COMPLEX PCI было включено 1620 пациентов со сложными поражениями коронарных артерий, в том числе со стенозом ствола, ХОКА, длинными поражениями (>38 мм), “истинными” бифуркационными поражениями с вовлечением боковой ветви $>2,5$ мм, многососудистыми (более двух артерий), кальцинированными и устьевыми поражениями, рестенозами внутри стентов. Таким образом, когорта пациентов, включенная в исследование RENOVATE-COMPLEX PCI, была наиболее приближенной к реальной клинической практике. Первичная конечная точка (летальность, ИМ в бассейне целевой артерии и повторная реваскуляризация) отмечалась в 7,7% и 12,3% случаев в группах ВСУЗИ/ОКТ-управляемого ЧКВ и без BCB соответственно ($p = 0,008$). Таким образом, ВСУЗИ/ОКТ-ассистенция при первичном ЧКВ снижала риск развития больших кардиальных осложнений на 36% (ОР 0,64, 95% ДИ 0,45–0,89). При этом отмеченный эффект ВСУЗИ/ОКТ-управляемого ЧКВ проявлялся во всех группировках пациентов (диабет, хроническая почечная недостаточность, сниженная функция левого желудочка) и независимо от клинического течения ИБС (хронический или острый коронарный синдром (ОКС)) (32). В другом нерандомизированном популяционном исследовании OPTIVUS-COMPLEX PCI также изучался отдаленный (1 год) эффект применения ВСУЗИ при ЧКВ сложных поражений коронарного русла. Для оценки непосредственных результатов были разработаны OPTIVUS-ВСУЗИ-критерии: 1) минимальная площадь поперечного сечения (МППС) в стенте $>$ референсного значения площади поперечного сечения дистальнее стента (если длина стента ≥ 28 мм); 2) МППС в стенте $> 0,8 \times$ среднее значение референсной площади артерии (если длина стента < 28 мм). Первичной конечной точкой оценки отдаленных результатов была MACE (летальность, ИМ, инсульт, любая повторная реваскуляризация миокарда). При сравнении

сопоставимых популяций пациентов в исследовании OPTIVUS-COMPLEX PCI и исторического регистра пациентов с реваскуляризацией миокарда с помощью аортокоронарного шунтирования (АКШ) или ЧКВ (CREDO-Kyoto-регистр) оказалось, что в когорте пациентов со ВСУЗИ-управляемым ЧКВ первичная конечная точка наблюдалась статистически достоверно реже, чем в ЧКВ когорте пациентов в регистре CREDO-Kyoto без применения ВСУЗИ-ассистенции, – 10,3 и 27,5% соответственно ($p < 0,001$). Однако разница была недостоверной при сравнении с группой пациентов с АКШ (13,6%). Тем не менее отдаленные клинические исходы ВСУЗИ-управляемого ЧКВ были не хуже, чем в сопоставимой группе пациентов с АКШ.

Примечательно, что в OPTIVUS-COMPLEX PCI в 41,2% случаев исходная стратегия ЧКВ менялась под влиянием ВСУЗИ-данных, а на завершающем этапе (имплантация стента) стратегия ЧКВ была изменена в 39,6% из всех леченых поражений (33).

Улучшение клинических исходов – уменьшение частоты MACE, а также частоты повторных реваскуляризаций и тромбозов стентов – после ВСУЗИ-контролируемых ЧКВ было показано в нескольких метаанализах, включавших значимые рандомизированные и наблюдательные исследования с десятками тысяч пациентов (34–36). В недавно опубликованном метаанализе, включавшем 19 значимых сравнительных исследований и суммарно более 27 000 пациентов, показано значимое и достоверное уменьшение на 37% (216 (1,9%) против 627 (3,9%), RR 0,63, 95% ДИ, 0,54–0,73, $p < 0,001$) сердечно-сосудистой смертности в отдаленном периоде (1 год и более) в случае применения ВСУЗИ-управляемого ЧКВ. В этом же систематическом обзоре было отмечено снижение на 43% риска тромбоза стентов в группе пациентов со ВСУЗИ-управляемым ЧКВ (160 (1,4%) против 360 (2,2%), RR 0,57, 95% ДИ, 0,41–0,79, $p = 0,0006$) (37).

Несмотря на то что в мировой доказательной базе отсутствуют рандомизированные исследования, посвященные изучению влияния методов BCB на результаты ЧКВ ствола левой коронарной артерии (ЛКА), недавно опубликованные результаты крупного регистра свидетельствуют о наличии достоверно низкой частоты MACE (кардиальной летальности, ИМ, повторной реваскуляризации), а также тромбозов стентов при

ВСУЗИ- или ОКТ-контролируемом ЧКВ в сравнении с процедурами с только ангиографическим контролем (27, 31, 38). Принимая во внимание клиническую значимость поражения ствола ЛКА, кровоснабжающего > 75% массы миокарда левого желудочка, последнее руководство по реваскуляризации миокарда под эгидой ACC/ANA/SCAI поддержало присвоение класса рекомендации IIa (доказательный уровень B) методам BCB при ЧКВ ствола ЛКА (39). В национальном руководстве Японии по реваскуляризации миокарда применению ВСУЗИ при ЧКВ стенозов ствола ЛКА присвоен более высокий рекомендательный уровень – IA (40).

Рандомизированные исследования с применением ОКТ также показали улучшение геометрии просвета стентированной артерии и увеличение фракционного резерва кровотока после ОКТ-контролируемого ЧКВ в сравнении с процедурой с ангиографическим контролем (41). Кроме того, исследования OCTACS и DETECT OCT показали улучшение эндотелизации стента в группе ЧКВ под ОКТ-контролем. В исследовании OCTACS у пациентов с ОКС через 6 мес после имплантации стента количество непокрытых эндотелием балок стентов было достоверно ниже (4,3% против 9,0%, $p < 0,001$) (42). Аналогичный результат был получен в исследовании DETECT OCT после ОКТ-контролируемого ЧКВ в группе пациентов с ХКС (7,5% против 9,9% соответственно, $p = 0,009$) (43). В TACTICS-registry при лечении пациентов с ОКС стратегия первичной ЧКВ была изменена в 58,1% случаев, из них у 4,8% пациентов не был имплантирован стент на основании изучения ОКТ-характеристик нестабильного атеросклеротического поражения артерии, в 54,6% случаев была проведена постдилатация, а в 3% случаев под влиянием данных ОКТ на завершающем этапе ЧКВ был имплантирован дополнительный стент. Таким образом, ОКТ влияла на стратегию выполнения ЧКВ на каждом из этапов вмешательства (44).

Неудивительно, что количество исследований, посвященных использованию ВСУЗИ, значительно превышает число исследований ОКТ из-за позднего внедрения ОКТ в клиническую практику. Несмотря на это, некоторые недавно завершившиеся рандомизированные исследования посвящены сравнительным результатам использования этих двух методик. В исследовании

ILUMIEN III была оценена минимальная площадь поперечного сечения внутри стента после процедуры в трех группах пациентов – с ОКТ-, ВСУЗИ- и ангиографически контролируемым ЧКВ. Степень раскрытия стента (медианное значение МППС просвета внутри стента) в группе с ОКТ-контролируемым ЧКВ (5,79 мм², IQR 4,54–7,34 мм²) была не хуже ($p = 0,001$), но и не лучше ($p = 0,42$), чем в группе ЧКВ под контролем ВСУЗИ (5,89 мм², IQR 4,67–7,80 мм²). Также медианный показатель МППС после ОКТ-контролируемого ЧКВ был не лучше, чем в группе ангиографически контролируемой процедуры стентирования ($p = 0,12$) (45). Эти результаты стали причиной и основанием для проведения более масштабного рандомизированного исследования ILUMIEN IV, сравнивающего геометрические параметры финального постпроцедурного просвета артерии в группах ОКТ- и ангиографически контролируемого ЧКВ. Гипотеза этого исследования состояла в улучшении клинических исходов в группе пациентов высокого риска с ОКТ-контролируемым ЧКВ в сравнении с ангиографически контролируемой процедурой (46). Окончательные результаты ILUMIEN IV, как и других текущих исследований, посвященных возможностям и роли методик ВСУЗИ в коронарных интервенциях, еще не получены, и ожидается, что они будут способствовать улучшению наших знаний и помогут определить место ВСУЗИ в клинической практике эндоваскулярных коронарных вмешательств.

Несмотря на существование солидной доказательной базы в пользу применения визуализирующих методик при проведении ЧКВ с целью оптимизации непосредственных и улучшения отдаленных клинических исходов вмешательства, наблюдается довольно мозаичная картина частоты применения ВСУЗИ в различных регионах мира. Так, в Японии и в странах Юго-Восточной Азии ВСУЗИ применяется примерно в 80% случаев ЧКВ, тогда как в Германии, в Италии и США этот показатель составляет 20% и по 5% соответственно (47).

В Японии рекомендуется рутинное применение ВСУЗИ-ассистенции во время ЧКВ независимо от сложности поражения и опыта оперирующего интервенционного кардиолога (48), и, согласно национальным рекомендациям по реваскуляризации миокарда, применение ВСУЗИ при ЧКВ ствола ЛКА, ХОКА и диффузных поражений коронарных

артерий имеет высший класс рекомендации – IA (40). С другой стороны, в американских и европейских руководствах по реваскуляризации миокарда применение визуализирующих методик во время коронарных интервенций имеет более низкий класс рекомендаций – IIA (B-R) (49) и IIA (B) (50) соответственно. В этих руководствах смущает уровень доказательности В, несмотря на многочисленные данные качественных рандомизированных контролируемых исследований и систематических обзоров и мета-анализов. Однако большинство данных сравнительных исследований о значимости ВСВ для оптимизации результатов ЧКВ получены в странах Юго-Восточной Азии, и, поскольку существуют много факторов (анатомических и клинико-демографических), отличающих популяции пациентов в этом регионе мира от пациентов в Европе и США (51), к анализу сравнительных данных необходимо подойти с известной долей осторожности.

Практическое применение методик ВСВ для оптимизации ЧКВ

Для оптимизации результатов ЧКВ методики ВСВ можно применить на каждом из этапов процедуры.

Оценка поражения перед ЧКВ

Методики ВСВ перед процедурой ЧКВ применяются для оценки тканевого состава бляшки, а также таких ключевых показателей для последующего вмешательства, как длина поражения, референсный диаметр и площадь поперечного сечения просвета артерий, определения проксимальных и дистальных точек приложения стента в случае диффузного поражения стенки сосуда. Систематическое применение ВСВ перед ЧКВ позволит резко уменьшить частоту имплантации стентов, не соответствующих истинному диаметру артерии и протяженности поражения (2). ВСВ позволяет детально изучить состояние атеросклеротического поражения независимо от того, будет ли выполнено эндоваскулярное вмешательство после первичного исследования (в случае наличия гемодинамически незначимого стеноза). В частности, ВСВ дает возможность установить толщину фиброзной капсулы, тканевой состав (наличие и распространенность липидного компонента) и, таким образом, идентифицировать атеросклеротическую бляшку с высоким риском разрыва. Это, в свою очередь, позволит

обосновать медикаментозную терапию потенциально нестабильной, но гемодинамически незначимой бляшки (5, 52, 53), поскольку известно, что в 80% случаев причиной развития острого ИМ является именно гемодинамически незначимая бляшка (54). Значимость характера атеросклеротической бляшки – причины ОКС – для определения стратегии эндоваскулярного лечения ОКС была наглядно показана авторами в многоцентровом рандомизированном исследовании EROSION III (55). Определение характеристики нестабильной бляшки (эрозия, разрыв, кальцинированный фокус) с помощью ОКТ позволила достоверно снизить частоту имплантации стента на 15% в сравнении с группой пациентов с ангиографически контролируемым ЧКВ (43,8% против 58,8%, $p = 0,024$). Аналогичные результаты были получены и в TACTICS Registry, где изучались односторонние отдаленные результаты ОКТ-контролируемого эндоваскулярного лечения ОКС. Было установлено, что, во-первых, ОКТ-данные о морфологии нестабильной бляшки влияют на отдаленные клинические исходы, и, во-вторых, ОКТ играла определенную роль на каждом этапе ЧКВ. На диагностическом этапе после ОКТ-оценки морфологии атеросклеротической бляшки в 58,1% случаев была изменена тактика вмешательства, в 4,8% стент не был имплантирован. На этапе определения параметров стента в 15,7 и 16,0% случаев были изменены диаметр и длина стента соответственно. На этапе оптимизации процедуры под влиянием ОКТ-данных в 54,6% случаев была выполнена постдилатация (56). Таким образом, изучение морфологии атеросклеротической бляшки методиками ВСВ (эрозия, разрыв бляшки, кальцинированный узел) дает возможность индивидуализировать подход к эндоваскулярному лечению (ЧКВ) и пересмотреть стратегию оптимальной медикаментозной терапии после ОКС (57).

Кроме того, методики ВСВ могут быть полезны в диагностике ИМ при необструктивном коронарном атеросклерозе, например, при синдроме такоцубо, артериите, миокардите, спонтанной диссекции стенки сосуда и при других этиологиях ОКС (58). Выделим также целый ряд клинических и анатомических вариантов, где методики ВСВ могут играть ключевую роль в определении диагноза и стратегии эндоваскулярного лечения; например, спорные и неясные ситуа-

ции при аортоостальных поражениях коронарных артерий (особенно устья ствола ЛКА), диссекции и интрамуральной гематоме, аневризме, васкулопатии после трансплантации сердца (59–61).

Процедура ЧКВ под контролем методик ВСВ

Методики ВСВ являются полезным инструментом для подготовки поражения (площадки) перед стентированием, для корректной имплантации стента и постстентовой оптимизации. Например, предварительная оценка кальциноза (толщина, распространенность по окружности, длина) с помощью ВСУЗИ или ОКТ поможет выработать оптимальную стратегию и технологию для абляции кальцинированных поражений (атерэктомия, “режущий” баллон или внутрисосудистая литотрипсия) и оценить результаты их применения для последующей оптимальной имплантации стента (полное раскрытие без деформации структуры стента) (62–64). В некоторых работах наличие кальцинированного поражения определяется как риск-фактор недораскрытия или деформации стента и дается рекомендация применить ВСУЗИ или ОКТ для выбора вида абляционных методик для модификации кальцинированных поражений (65, 66). На сегодняшний день ВСУЗИ-критериями кальциноза, как риск-фактора недорасправления стента, являются: наличие поверхностного кальциноза с углом охвата окружности просвета $>270^\circ$, длиной более 5 мм, локальный кальцинированный фокус (узел) в атеросклеротической бляшке и диаметр артерии $<3,5$ мм (56). Соответствующие ОКТ-критерии можно сформулировать так: наличие поверхностного кальциноза с углом охвата окружности просвета $>180^\circ$, толщина кальциноза $>0,5$ мм и длина кальцинированного участка >5 мм (67).

Для выбора оптимального диаметра стента существует множество концепций и предложений, основанных на измерениях различных анатомических структур на внутрисосудистых изображениях. Предлагаются следующие варианты: а) измерить средний или максимальный референсный диаметр просвета артерии, б) определить среднее значение измерений “медиа-медиа”, в) определить наименьшее значение референсного диаметра, измеренного между наружными контурами наружной эластической мембраны (НЭМ), или г) определить

среднее значение диаметра, измеренного между наружными контурами НЭМ (23, 40, 68–70). В свою очередь, в исследовании ULTIMATE были сформулированы ВСУЗИ-критерии процедуры оптимального стентирования (раскрытия и армирования просвета артерии): а) минимальное значение площади поперечного сечения просвета внутри стентированного сегмента >5 мм² или 90% от значения дистальной референсной площади поперечного сечения; б) стеноз (масса атеросклеротической бляшки) на проксимальном и дистальном краях стента в пределах 5 мм не должен быть менее 50%, в) отсутствие диссекции, охватывающей медиальную слой стенки артерии, длиной более 3 мм (23). Здесь же добавим, что, согласно другой работе, изучавшей ОКТ-критерий оптимального стентирования, объем протрузии тканей через структуру стента не должен превышать 0,33 мм³ (71), а угол протрузии (угол по окружности просвета артерии, занятого тканями) $>180^\circ$ является независимым предиктором MACE у пациентов со STEMI (72). Отметим, что в ряде исследований протрузия тканей через имплантированный стент признана значимым риск-фактором острого и подострого тромбоза стента (73–75).

Что касается ОКТ-критериев оптимального стентирования (см. рисунок), то они были сформулированы в недавней работе в виде концепции MLD-MAX. Указанная концепция состоит из двух блоков: а) стратегия перед ЧКВ (морфология-длина-диаметр/Morphology-Length-Diameter) и б) оптимизация после ЧКВ (отсутствие диссекции медио-аппозиция балок стента-раскрытие стента/Medial dissection-Apposition-eXpansion) (76). В многофазовую клиническую программу по использованию ОКТ в клинической практике было включено 12 клинических центров США. Диаметр стента по концепции MLD-MAX определялся как среднее значение диаметра артерии, измеренного между наружными контурами НЭМ в ближайшей дистальной точке от предполагаемого места имплантации стента, или если НЭМ идентифицировать не удастся, то необходимый диаметр стента определялся как среднее значение диаметра просвета артерии, измеренного по внутренней поверхности интимы в ближайшей дистальной точке от места имплантации стента. При анализе результатов использования концепции MLD-MAX оказалось, что

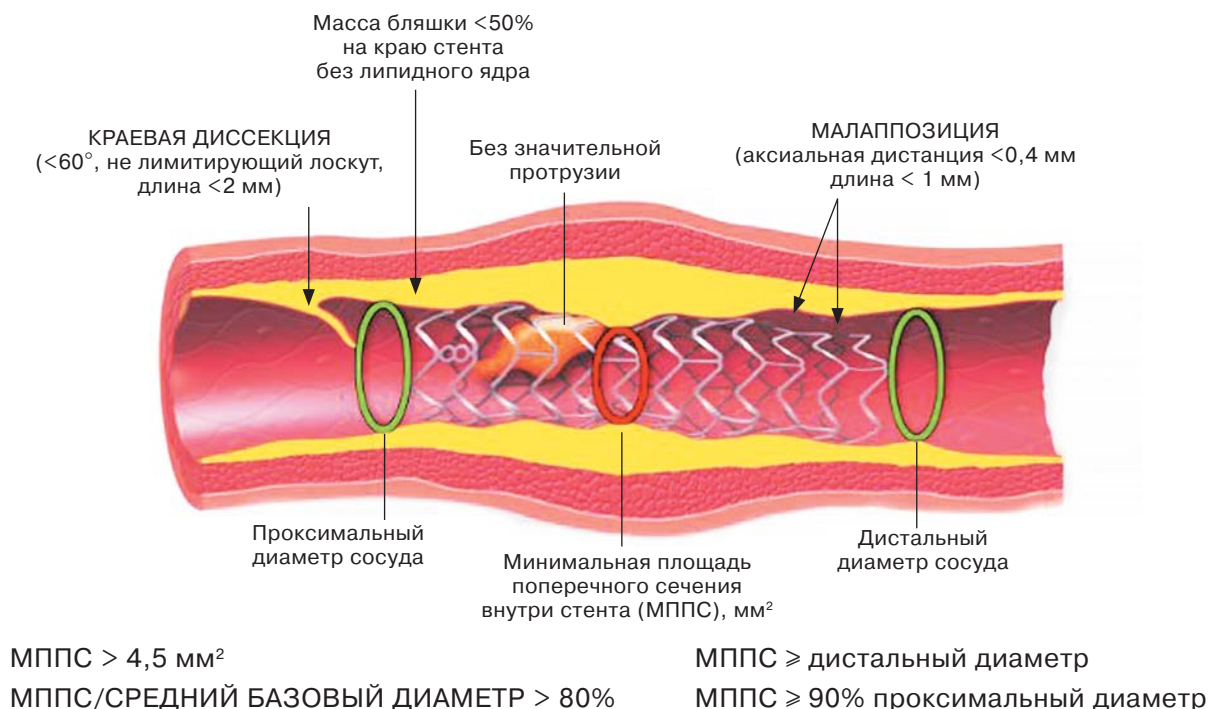


Рисунок. Схематическое изображение ВСУЗИ-критериев для оптимальной имплантации стента.

ОКТ-исследование оказывало влияние на принятие решения в 88% случаев ЧКВ, из них в 83% случаев на стратегию перед ЧКВ и в 31% случаев на оптимизацию результата после процедуры. При этом ОКТ-исследование продлевало общее время процедуры незначительно (на 9 мин; $p < 0,0001$).

Поскольку наиболее оптимальную стратегию выбора размеров стента еще предстоит определить, положительный клинический эффект использования ВСУЗИ очевиден независимо от примененного типа модальности ВСУЗИ и различных алгоритмов оптимального стентирования.

Длину стента (особенно в случаях диффузных атеросклеротических поражений) необходимо выбирать с учетом наличия наиболее “здоровых” участков стенки артерии проксимальнее и дистальнее поражения. Во многих работах было показано, что присутствие большого объема бляшки (стеноз >50%) или наличие большого количества липидного компонента или выраженной кальцификации на проксимальном/дистальном конце стента чревато возникновением краевой диссекции или краевого рестеноза в отдаленном периоде (77, 78). Необходимо помнить, что в случае имплантации стента (или нахождения проксимального или дистального края стента) на месте

поражения с большим липидным содержанием повышается риск дистальной эмболизации, тромбозов стентов или развития феномена no-reflow (79). Таким образом, применение ВСУЗИ позволяет точно определить как общее количество, так и длину имплантируемых стентов. Сопоставление ВСУЗИ-данных с результатами ангиографии (так называемая ко-регистрация данных) позволяет значительно уменьшить объем используемого контрастного вещества (80) и повысить точность имплантации стентов и, в итоге, оптимизировать ЧКВ. В недавно опубликованных работах была подтверждена возможность кратного уменьшения объема введенного контрастного вещества (81) и даже выполнения ЧКВ без использования контрастного вещества в случае применения методик ВСУЗИ (82).

Отдельно отметим роль ВСУЗИ в оценке поражения ствола ЛКА (или любой бифуркации) и подборе стентов при значительной перекалибровке артерии в проксимальном и дистальном сегментах. Методики ВСУЗИ позволяют оценить характер, тканевой состав, а также распределение массы бляшки в области бифуркации. Эти данные, в свою очередь, влияют не только на выбор параметров стентов (длина, диаметр), но и на разработку стратегии ЧКВ бифуркационных

поражений в целом (в том числе контролировать постстентовую проксимальную оптимизацию – POT (83, 84)). Принимая во внимание уникальные морфологические особенности бифуркационных поражений ствола ЛКА в отличие от других бифуркационных стенозов, многие авторы рекомендуют применять методики BCB для контроля различных этапов стентирования бифуркационных стенозов ствола ЛКА (85, 86). Минимально приемлемые значения параметров геометрии просвета артерии (измеренного с помощью ВСУЗИ) для ствола ЛКА после стентирования ожидаемо больше, чем при нестволовых поражениях (для дистального сегмента ствола ЛКА $>7-9 \text{ мм}^2$, а для проксимального – $8-10 \text{ мм}^2$ и более) (59, 87, 88). Отметим также, что в последнее время растет роль и частота применения методик BCB (в частности, ВСУЗИ) для решения различных диагностических проблем и управления навигацией проводниками при сложных ХОКА (89–93).

Оценка результатов процедуры ЧКВ и диагностика осложнений

Методики BCB после ЧКВ используются как для определения важных конечных референсных точек, характеризующих результат процедуры, так и для диагностики осложнений, которые невозможно обнаружить при ангиографическом исследовании (например, некорректное положение краев стента внутри просвета артерии – так называемый geographic miss, диссекция стенки сосуда или малаппозиция балок стента).

Степень раскрытия стента (соотношение МППС внутри стента и среднего значения референсного (базового) диаметра артерии, см. рисунок) является одной из важнейших конечных точек, характеризующих результат ЧКВ, и известна как независимый предиктор как для проходимости стента в отдаленном периоде, так и для риска возникновения нежелательных клинических событий. Этот параметр финального результата стентирования определяется как значение МППС внутри стента (абсолютный показатель), так и сравнением с референсным диаметром артерии проксимальнее или дистальнее стента или со средним показателем референсных диаметров в указанных участках артерии (см. рисунок) (15, 22, 29, 40, 68, 77, 94–97).

Методики BCB дают уникальную возможность четко дифференцировать некоторые

признаки, выявляемые как при ангиографическом исследовании, так и при BCB после имплантации стента. Например, так называемая краевая диссекция не имеет клинических последствий лишь в том случае, если при BCB она ограничена только интимальным слоем стенки артерии, охватывает $<45^\circ$ окружности просвета и ее протяженность $<2 \text{ мм}$ (98). Однако если диссекция захватывает более глубокие слои стенки артерии (интима-медиальная диссекция), охватывает $>60^\circ$ окружности просвета и ее длина превышает 2 мм, то такая краевая диссекция ассоциируется с нежелательными клиническими последствиями или непосредственными осложнениями и требует дополнительного вмешательства (59, 89, 99). Таким образом, использование методик BCB после стентирования может повлиять на изменение стратегии эндоваскулярного лечения с целью оптимизации результата ЧКВ.

Еще один признак, часто обнаруживаемый при BCB, – малаппозиция балок стента или их неплотное прижатие к внутренней поверхности просвета артерии. Малаппозиция может наблюдаться непосредственно после ЧКВ вследствие применения некорректного диаметра стента, неполного его раскрытия в результате применения номинального давления в баллоне или недостаточной подготовки поражения перед имплантацией стента (59, 100). Поздняя малаппозиция в отдаленном периоде в основном возникает из-за позднего ремоделирования просвета сосуда, однако это не связано с увеличением риска MACE (летальность, ИМ и повторная реваскуляризация целевого сосуда, тромбоз стента) в сравнении с группой пациентов без поздней малаппозиции стента (7,3% против 10,5%, $p = 0,282$) (101). Поскольку считается, что надежный контакт балок стента с внутренней поверхностью просвета артерии способствует лучшей и быстрой эндотелизации, желательно достичь максимально приемлемой аппозиции структуры стента с интимальной поверхностью. Однако большинство участков малаппозиции стента в отдаленном периоде также подвергается эндотелизации и незначительно влияет на отдаленные клинические и ангиографические исходы (91, 92, 102, 103). Тем не менее малаппозиция стента во время ЧКВ бифуркационных поражений может способствовать прохождению проводника под стентом при попытке катетеризировать боковую

ветвь, что, в свою очередь, может вызвать нежелательные последствия и технические трудности при двухстендовой стратегии ЧКВ бифуркационных стенозов (104).

Методики BCB играют критически важную роль при ЧКВ сложных ХОКА, стенозов ствола ЛКА и других бифуркационных поражений. BCB при таких поражениях важна для детальной оценки формирования стентированного просвета артерии, полного и корректного покрытия всего поражения, а также для устранения риска подбора неадекватных размеров (диаметр, длина) стента. ВСУЗИ и/или ОКТ могут дать важную информацию для выбора точки рекатетеризации боковой ветви проводником через структуру стента в основной артерии, оптимизировать одновременную баллонную дилатацию с помощью техники “целующихся” баллонов и постстентовую оптимизацию просвета, степень покрытия балками стента устья боковой ветви (95, 105, 106). В случаях сложных ХОКА результаты применения различных методик BCB могут влиять на стратегию реканализации и позволяют эффективно контролировать процедуру навигации проводниками через окклюзированный сегмент. Еще одна полезная функция при ОКТ-исследовании – 3D-реконструкция стентированного просвета – дает возможность выявить оптимальную точку в структуре стента в основной артерии для проведения проводника в боковую ветвь (107), а также оценить продольную деформацию стента после его имплантации в стволе ЛКА, поскольку такой тип повреждения стента ассоциируется с отдаленными нежелательными клиническими последствиями (74, 108).

Таким образом, методики BCB могут применяться на каждом этапе ЧКВ как для оценки морфологии и массы бляшки, ремоделирования просвета артерии и диагностики изменений составных частей стенки артерии, так и для точного определения механизма ангиопластики и стентирования в каждом конкретном случае, необходимости воздействия на бляшку специальными инструментами для модификации поражения (109). Использование BCB в клинической практике может быть также полезным для оценки эндотелизации стента, оценки механизмов рестеноза и ремоделирования просвета артерии в отдаленном периоде в результате воздействия различных специальных инструментов и стентов (110) или фармакологических препаратов.

Задачи для продвижения методик BCB в целях их применения в ежедневной клинической практике и обучения специалистов

Мы поддерживаем предложение и настоятельно рекомендуем оснастить ВСЕ (!) рентгенооперационные страны одной из модальностей BCB. Принимая во внимание преимущества и недостатки каждой из визуализирующих методик (ВСУЗИ и ОКТ) идеально иметь в операционной обе модальности BCB. Однако поскольку ввиду проблем с финансированием достаточно сложно обеспечить клиники обеими технологиями, наиболее оптимальным представляется обязательное наличие в рентгенооперационной ВСУЗИ (включая опцию высокого разрешения – HD). ВСУЗИ (в том числе HD-вариант) может быть успешно использовано практически во всех возможных клинико-анатомических сценариях. В то же время уникальная разрешающая способность ОКТ позволяет более точно диагностировать тканевой состав и морфологию бляшки, состояние ее фиброзной капсулы. Кроме того, эта методика позволяет прецизионно установить причину развития ОКС и перехода бляшки в нестабильное состояние, более полно характеризовать результаты стентирования (малаппозиция, продольная деформация стента, степень раскрытия стента и покрытия устья боковой ветви при бифуркационных поражениях и т.д.). Исходя из этого, несомненно, что доступность обеих модальностей в рентгенооперационной представляет собой идеальную конфигурацию для более эффективного применения методик BCB для оптимизации процедуры ЧКВ.

Все данные (отдельные изображения, видео, измерения геометрии просвета артерии и т.д.) должны быть архивированы аналогично данным традиционной ангиографии в общепринятом формате хранения и передачи информации. Это позволит рассмотреть результаты BCB в соотношении с данными ангиографии и такое сопоставление данных поможет разработать наиболее оптимальную стратегию выполнения ЧКВ. На локальном (или национальном) уровне должен быть разработан унифицированный протокол с детальным описанием результатов как ангиографических, так и внутрисосудистых исследований.

В течение последнего десятилетия доказательная база относительно применения

методик BCB для оптимизации ЧКВ значительно расширилась. Основываясь на многочисленных доказательных данных, мы рекомендуем рутинное применение модальностей BCB как неотъемлемой части ЧКВ в следующих ситуациях:

- поражение ствола (включая устье, тело и дистальную часть) и проксимального сегмента ПМЖА;
- сложные анатомические поражения, в том числе in-stent рестеноз, тромбоз стента, сложные ХОКА, выраженный кальциноз и длинные (более 25 мм) поражения;
- после трансплантации сердца (через 4–6 нед и 12 мес) для диагностики возможной васкулопатии донорского органа и определения прогноза в отдаленном периоде (111);
- все поражения, где ангиография не дает достаточной информации об анатомии и морфологии поражения, необходимой для определения оптимальной стратегии ЧКВ.

Необходимо также помнить, что методики BCB являются инвазивными, поскольку требуют введения катетеров с датчиками внутри просвета артерии. Поэтому могут возникнуть технические сложности при проведении катетера через кальцинированные, чрезмерно извитые сегменты артерии, выраженные (>90%) стенозы. Для преодоления этих проблем необходимы владение соответствующими инструментами и достаточный опыт применения различных методик BCB. Помимо этого, редко (<0,5% случаев) могут возникнуть осложнения, связанные с инвазивным характером методик BCB; в частности, спазм и диссекция коронарных артерий, транзиторная ишемия миокарда, феномен Slow-flow и/или тромбоз просвета целевого сосуда, повреждение уже имплантированного стента, застревание и фрагментация катетеров с риском развития больших кардиальных осложнений (112–114).

Учитывая вышесказанное, можно констатировать, что для повышения уровня экспертизы в выполнении и интерпретации результатов методик BCB, а также для снижения риска осложнений критическое значение приобретает обучение специалистов – рентгенэндоваскулярных хирургов. Начальный этап обучения должен включать ознакомление и овладение следующими базовыми знаниями и навыками:

- о морфологической характеристике бляшки и атеросклеротического поражения стенки артерии (идентификация слоев стен-

ки артерии, кальциноз, тканевой состав бляшки и состояние фиброзной капсулы, распознавание видов тромбов и т.д.);

- измерения геометрических параметров просвета и стенки артерии и имплантированного стента (дистальный/проксимальный референсный диаметр артерии, длина поражения, площадь поперечного сечения внутри стента, индекс и полнота раскрытия стента);
- распознавания и интерпретации осложнений эндоваскулярного вмешательства (не полностью раскрытый стент и/или малаппозиция балок стента, краевая диссекция, протрузия тканей через структуру стента, продольная деформация и/или разлом стента и т.д.).

Несмотря на наличие четких целей и задач обучения эндоваскулярных хирургов методикам BCB, в мировой практике пока не существует структурированной программы полноценного обучения специалистов, которые могли бы после обучения самостоятельно выполнять и адекватно интерпретировать результаты BCB-исследования. Например, в программе подготовки специалистов в области интервенционной кардиологии, разработанной в 2015 г. ACC-COCATS4 (American College of Cardiology – Core Cardiology Training Symposium 4), признается необходимость введения в состав обучающихся лекторов экспертов в области BCB и физиологии. При этом в перечне необходимых навыков и опыта, приобретаемых в результате обучения по этой программе, не упоминается ни одна из модальностей BCB (115). В программе постдипломного образования, разработанной в 2017 г. American College of Graduate Medical Education (ACGME), упоминается о необходимости наличия навыков в области BCB (в частности, ВСУЗИ), хотя и без детализации, и совершенно не упоминается о необходимости обучения методике ОКТ (116). Отдельные специализированные мероприятия, проводимые известными в мире платформами, не могут решить проблему полноценного и адекватного обучения специалистов в области BCB. Так, например, Cardiovascular Research Foundation (CRF) провела опрос среди участников специализированной сессии по BCB и физиологии на своих образовательных мероприятиях в 2018 и 2019 гг. Оказалось, что лишь 15% участников подтвердили свой экспертный уровень и отметили свою готовность к независимой работе и интерпретации результа-

тов ВСУЗИ, а аналогичный показатель для ОКТ составил 18%. Еще 40% участников указали на недостаточный уровень компетенций к применению обеих модальностей ВСВ. При этом уровень компетенции и готовность к самостоятельной работе среди участников были кратно ниже для методик ВСВ в сравнении с методиками интракоронарной физиологии (измерения фракционного резерва кровотока). Такой низкий уровень готовности к самостоятельной клинической практике в области использования методик ВСВ не менялся в сравнении с предыдущим опросом (117). В нашей стране также отсутствует детализированная специализированная программа постдипломного образования в области методик ВСВ и физиологии.

Для решения насущных проблем обучения, а также продвижения методик ВСВ с целью их внедрения в рутинную клиническую практику предлагается трехуровневый алгоритм решения задач.

Для специалистов рентгенэндоваскулярных хирургов

1. Методики ВСВ рекомендуются как необходимое дополнение в случаях наличия отдельных клиничко-анатомических сценариев: поражение ствола (включая устье, тело и дистальную часть) и проксимального сегмента ПМЖА, in-stent рестеноз, тромбоз стента, сложные ХОКА, выраженный кальциноз и длинные (более 25 мм) поражения, после трансплантации сердца (через 4–6 нед и 12 мес), все поражения, где ангиография не дает достаточной информации о анатомии и морфологии поражения.

2. Целесообразно рутинно выполнить одну из методик ВСВ при проведении ЧКВ для молодых начинающих специалистов, даже в случае “простых” (тип А по классификации АСС/АНА) поражений. Для эндоваскулярных хирургов, имеющих большой опыт использования методик ВСВ, нет необходимости рутинного их применения в каждом случае такого “простого” поражения из-за эффекта обучения (так называемый феномен ВСУЗИ -натренированного глаза). Проблема “ВСУЗИ натренированного глаза” в том, что речь идет, как правило, только о выборе диаметра стента. Что же касается протяженности поражения и выбора так называемых точек приложения стента (landing zone) на этапе планирования ЧКВ, без методик ВСВ их определение практически невозможно,

так как при ангиографии мы видим лишь просвет сосуда. Где же на самом деле заканчивается масса бляшки, можно определить только по дополнительной визуализации. Именно поэтому в группе ВСУЗИ/ОКТ стент всегда чуть длиннее, чем планировали его взять по ангиограмме. Что же касается оптимального раскрытия стента, то без дополнительной визуализации в принципе нельзя обойтись, так как по данным ангиографии, как правило, стент всегда раскрыт оптимально, в то же время по ВСУЗИ/ОКТ у того же пациента более чем в половине случаев это далеко не так.

3. Наличие базового уровня и продолжающееся постоянное обучение и совершенствование знаний в области внутрисосудистых методов визуализации является важнейшим элементом для корректного проведения ВСВ-исследования и интерпретации его результатов.

4. Необходимо разработать протокол проведения исследования и объективной интерпретации результатов, важных для выработки стратегии ЧКВ.

5. Необходимо иметь систему для передачи и архивации данных в общепринятом формате.

Для учреждений здравоохранения

1. Все рентгеноперационные должны быть оснащены хотя бы одной модальностью ВСВ (например, ВСУЗИ с возможностью высокого разрешения HD или виртуальная гистология и режим Chroma Flow, что очень помогает в интерпретации структуры бляшки, выявления небольших диссекций и истинного просвета сосуда).

2. В идеальном варианте следует иметь обе модальности ВСВ (ВСУЗИ и ОКТ).

3. Рутинное применение в клинической практике методик ВСВ способствует повышению уровня компетенции как отдельных оперирующих хирургов, так и всей команды в целом.

4. Необходимо иметь систему для передачи и архивации данных в общепринятом формате.

На национальном уровне

1. Необходимо разработать детализированную, специализированную программу подготовки специалистов в области ВСВ и включить ее в общую систему обучения специалистов-рентгенэндоваскулярных хирургов.

2. Профессиональные сообщества должны участвовать в разработке специализированных программ обучения, организовать различные тематические мероприятия и помочь желающим (как клиникам, так и отдельным специалистам) достичь уровень компетенций, необходимых для оптимизации работы рентгеноперационной.

3. Для обучающего процесса широко использовать онлайн-ресурсы профессиональных сообществ.

4. Учитывая возможные сложности финансирования программ рутинного применения методик ВСВ в клинической практике от системы ОМС, целесообразно рекомендовать выборочное применение этих методик в соответствии с опытом и сложностью клинической картины и поражения коронарного русла.

Отметим также, что существуют множество онлайн-ресурсов, возможности коммуникации с отдельными экспертами в области ВСВ, стажировки в клиники, где имеется высокий уровень экспертизы в применении методик ВСВ.

Заключение

Внутрисосудистые методики визуализации, появившиеся в клинической практике в начале 90-х годов XX века, за короткий период развития заняли прочное место в арсенале инструментов для оптимизации интракоронарных вмешательств. Несмотря на результаты многочисленных рандомизированных и наблюдательных исследований, регистров, метаанализов, включающих десятки тысяч пациентов, средняя частота применения методик ВСВ все еще остается низкой. Однако частота использования в клинической практике модальностей ВСВ значительно варьирует в зависимости от конкретных операторов, клиник и регионов в мире. Так, если в Японии и Южной Корее методики ВСВ применяются в более чем 90% случаев (104), то в США аналогичный

показатель составляет <15% (по данным NCDR Cath PCI Registry (118)), а в европейских странах (119) и того меньше (≈10%). Аналогичная картина наблюдается и у нас в стране, где есть клиники с высокой частотой применения методик ВСВ в ежедневной рутинной клинической практике, и, наоборот, во многих лечебных учреждениях, где имеются отделения рентгенохирургических методов исследования и лечения, нет возможности применить эти методики и их современные модификации. Основными препятствиями для широкого применения методик ВСВ являются отсутствие соответствующего оборудования, недостаточность знаний и компетенций в области ВСВ, некорректное убеждение со стороны коллег, что применение ВСВ в рутинной клинической практике продлевает время вмешательства и может нарушить операционный график в рентгеноперационных с интенсивным режимом работы. Аргументы об экономической нецелесообразности и удорожании процедуры ЧКВ в случае применения методик ВСВ были опровергнуты во многих работах (120–124). В недавнем исследовании корейские авторы показали, что применение методик ВСВ во время ЧКВ позволяет избежать 8 летальных исходов, 35 спонтанных инфарктов миокарда, 69 повторных реваскуляризаций на 1000 пациентов в течение 5 лет (110).

Тем не менее развитие новейших технологий – ко-регистрации ангиографических и ВСВ-изображений, комбинированных (мультимодальных) катетеров, совмещающих ОКТ- и ВСУЗИ-датчики, внедрение технологий искусственного интеллекта в интерпретации изображений, а также накопление опыта операторами и разработка специализированных обучающих программ могут способствовать оптимизации работы в рентгеноперационной и более широкому внедрению методик ВСВ в клиническую практику.

Relevance

Over 1 million of percutaneous coronary interventions (PCI) for coronary artery (CA) atherosclerosis are performed worldwide each year, and approximately half of them are performed in chronic coronary syndrome (CCS) (1). The main technique for invasive control of the immediate results of PCI is angiography (coronarography). Meanwhile, according to the data provided by authors of the prospective multicentre study STLLR, aimed at the investigation of the rate and the influence of suboptimal results of PCI on the long-term outcomes in 1557 patients from 41 clinical centres in the USA, about 2/3 of stents were implanted incorrectly. In particular, in 66.5% of cases, proximal and/or distal sites of stent implantation were selected incorrectly (so-called “geographic miss”), in 47.6% of cases malapposition of stent struts was observed, and both variants were observed in 16.5% of cases (2). It is well known that suboptimal immediate results adversely affect the long-term clinical and angiographic outcomes of PCI. In the STLLR study, the geographic miss led to a threefold increase in the incidence of myocardial infarction (MI) and was an independent risk factor of repeat interventions on the target vessel in 1 year after PCI (2).

For the last 40 years, contrast coronary angiography or “luminography” has been considered the gold standard for the evaluation of coronary arteries condition. Further, it serves as a control tool during the procedure and as an evaluation tool for PCI result. However, the evaluation of a three-dimensional structure, i.e. coronary artery, using the two-dimensional (planar) examination technique has its own significant limitations. Besides that, coronarography provides information only about condition of arterial lumens and allows neither to examine the characteristics of biological tissues nor to conclude processes in the arterial wall.

Just these limitations have given powerful boost to the development of additional intravascular imaging (IVI) techniques, in order to increase our diagnostic performance particularly with regard to the assessment of characteristics and morphology of atherosclerotic plaques and abnormalities of the arterial wall. In modern clinical practice, the most widely used methods of intravascular imaging are intravascular ultrasound (IVUS) and optical coherence tomography (OCT).

Brief technical overview of modern intravascular imaging techniques

The first IVI method, the development of which began in the 1970s, was intravascular ultrasound. The first case of *in vivo* using of IVUS was described in 1988 (3). This technique is based on generation and reflection of ultrasound waves from surfaces of biological structures. Ultrasound waves of various frequency (20, 40, and 60 MHz) are generated by a piezocrystal, which is fixed on the catheter, and propagate in 360° circle. US waves' interaction with the arterial wall structures (different degrees of reflection and absorption depending on the characteristics of biological tissues) gives a real-time 360° cross-sectional image of the arterial lumen. Typically, more dense tissues (e.g. fibrotic and calcified) reflect sound waves to a greater extent than they absorb them, and thus are visible as echogenic signals. Conversely, less dense tissues (e.g. lipid, necrotic core of plaque, subintimal hematoma) absorb sound waves to a greater extent and are echolucent structures.

To date, two types of IVUS are widespread depending on the design of the catheter: with a mechanical catheter (rotating transducer) or a solid catheter (fixed transducers). The first type of catheter has a rotating transducer at its distal end. The transducer is rotated at a constant speed (approximately 1800 revs. per minute) to evenly distribute the emitted and reflected signal. The second type of catheter contains a series of immobile transducers fixed in a circle at the distal end of the catheter, which are activated alternately to generate a full 360° circumferential image. Depending on the design, other technical parameters of catheters (profile, the tip to transducer distance, length of the monorail part) are determined, which should be considered when using IVI in specific anatomical situations (chronic occlusions, arterial tortuosity and calcification, degree of stenosis, etc.). Catheters with a mechanically rotating transducer have an advantage due to their simple design, smaller profile and better signal-to-noise ratio, resulting in better image quality compared to catheters equipped with fixed transducers. However, the latter has an advantage in IVUS-guided recanalization for complex chronic coronary occlusions as it allows more distal positioning of transducers due to the shorter distance from the catheter tip to the transducer. In addition, air bubbles that may be

present between the mechanically rotating transducer and the catheter sheath can degrade the image quality, so careful flushing of and air evacuation from the narrow space between the transducer and catheter is required. Catheters with fixed transducers don't require this procedure.

Resolution and image quality have improved steadily over the past two decades until the recent introduction of High Definition IVUS. This method uses catheters with a high-frequency (40–80 MHz) transducer. In general, the axial resolution depends on the ultrasound pulse frequency and width and is approximately 100–120 μm . However, HD IVUS can boost this parameter up to 70 μm (4). Nevertheless, improvement of the IVUS image quality occurs due to reduction of penetration depth (scanning depth) of sound waves.

Radiofrequency analysis of reflected sound signals (coding depending on the reflected signal frequency) allows obtaining the so-called “virtual histology” image, since the reflected signal frequency depends on the biological tissue characteristics and, thus, different types of tissues can get their colour coding when processing IVUS images. Such analysis, in turn, helps to clarify the tissue composition of the atherosclerotic plaque (calcification, fibrous lipid plaque or presence of a necrotic core), as well as the condition of both vascular wall and plaque fibrous capsule. In addition, virtual histology allows identification of unstable plaque and atheroma with thin fibrous capsule (5, 6). The detection sensitivity with regard to plaques with a thin fibrous capsule using RF analysis (virtual histology) is quite high, but the specificity remains low because of low resolution. However, specificity can be improved by combining RF analysis with optical coherence tomography (7).

The function of automatic catheter pullback at a constant speed (0.5–1.0 mm) makes it possible to get information about the lesion length and to measure the plaque volume, which is especially important when planning a stenting procedure. The lesion length can also be evaluated using modern systems of so-called angiographic co-registration, when the transducer position in the artery is monitored on the combined angiographic image.

In contrast to IVUS, optical coherence tomography (OCT) uses light waves of the near infrared spectrum as a tool for remote exploration of biological tissues and structures. The concept of OCT was developed in the early

1990s (1991), and the first report on the clinical use of the OCT in coronary arteries appeared in 2006 (8, 9). The catheter for OCT examination is an optical monofiber rotating around the axis with a combined mini-lens for the reflected light signal, which is then subjected to real-time computer digital processing in order to obtain both cross-sectional (2D planar image) and spatial (3D image) views (10). OCT has the best spatial resolution out of all currently known IVI modalities (axial resolution is 10–20 μm , transverse or lateral resolution is 20–90 μm), which is about 10 times higher than that of IVUS. However, the penetration depth of light waves into the vascular wall is 2–3 times less than that of IVUS (11, 12).

Since the light waves used in OCT are absorbed by blood, in order to obtain a high-quality image we need to remove blood from the surgical field (vessel lumen). Usually, we use contrast media injected intracoronary under the pressure necessary for complete clearance of the blood from the arterial lumen. This specific feature of OCT examination imposes certain limitations on its use, for example, in patients with renal impairment, or in cases of aorto-ostial lesions of coronary arteries. Other anatomical conditions, such as the need to examine very large (5 mm or more) or small (less than 2 mm) arteries, presence of critical stenoses (90% or more), also interfere with an informative OCT examination and acquisition of evaluable images (13, 14). However, provided that the surgical area is adequately cleared with contrast media, the OCT images give detailed information about both the arterial wall condition (structure and structural changes in the vascular wall layers) and the atherosclerotic plaque morphology (15, 16).

Modern OCT systems allow, beyond the morphology examination of arterial walls and atherosclerotic plaques, to perform precise measurements of the arterial lumen geometry (lesion length, reference and minimum diameter, and lumen cross-sectional area). Angiographic co-registration combined with OCT provides even more precise “mapping” of the affected segment and measurement of its geometrical parameters. Automatic image processing with detection of calcified areas also allows to get an optimal treatment algorithm. Finally, the latest technological developments for combined (IVUS + OCT) imaging provide a unique chance to get a combined image of the target arterial segment using a single catheter.

Table 1. Comparative characteristics of two intravascular imaging modalities

	IVUS	OCT
Emission source	Ultrasound	Near-infrared light waves
Wave length, μm	35–80	1.3
Resolution, μm	40–200 (axial), 200–300 (lateral)	15–20 (axial), 20–40 (lateral)
Maximum scanning diameter, mm	15	7
Penetrability, mm	10	2–2.5
Clearance of the operating area from blood	Not required	Required

When choosing one or another imaging modality to be used during diagnostic or endovascular intervention, comparative characteristics of two IVI techniques should be taken into account (Table 1).

Based on the physical characteristics of the scanning emission source, it is possible to compare the features of these two intravascular imaging modalities. For example, IVUS does not require clearance of the surgical area with contrast medium (which is essential for the assessment of aorto-ostial lesions) for recanalization of chronic occlusions, when contrast medium administration may lead to a large subintimal hematoma and procedure failure. Additionally, no need for contrast medium administration is another argument towards the use of IVUS in patients with renal impairment. Due to the greater length of the emission wave, ultrasound penetrates deeper into the arterial wall structures, allowing examining large-calibre arteries (e.g., the left main coronary artery) or aneurysmal segments of the vessels. Due to the lower penetrating power of OCT compared to IVUS, there is a risk of underestimating the residual plaque volume under the stent struts or at the edge of the stented area (17, 18). The use of saline instead of contrast medium for clearing the surgical area is currently under evaluation.

Nevertheless, due to its incomparably higher resolution, OCT allows to get more detailed information on the vascular wall structures (intima, media), atherosclerotic plaque (lipid, fibrous or calcified plaque) and its fibrous capsule. The use of IVUS with conventional length of sound waves (20–40 MHz) does not allow to obtain such detailed information on these biological tissues and structures. However, HD IVUS (e.g., 60 MHz catheter) improves image quality comparing to IVUS catheters of previous generation.

In addition, due to the high resolution of OCT, the operator is able to examine the process of restenosis inside the stent more deeply, to de-

tect and study neoatherosclerosis and its variants. OCT also enables more detailed examination of arterial wall calcification (extent, thickness, localization) as light waves, unlike ultrasound, are not completely reflected from the calcified substrate.

During PCI procedure, OCT allows the more detailed visualization of side branches and stent (malapposition, deformation). Moreover, it is highly sensitive for detection of intimal-medial dissection (including dissection at the stent edges) and tissue protrusion through the stent structure. 3D reconstruction of OCT images appears to be useful in stenting of bifurcation lesions. Despite the advantages and disadvantages of each IVI modality, both technologies have an advantage over angiography (luminography) in terms of diagnostic accuracy in endovascular treatment of coronary atherosclerosis.

Overview of the evidences and study results for IVI techniques used for diagnosis of coronary atherosclerosis and optimisation of PCI procedures

Before the era of drug-eluting stents, several studies showed the advantage of IVUS-guided PCI over angiography-guided PCI in terms of reducing the long-term incidence of in-stent restenosis (19, 20). In general, results of 8 out of 9 largest randomized trials comparing the results of IVUS-guided PCI and angiography-guided PCI, supported IVI, and only one study (OPTICUS) (20) was neutral. A meta-analysis of results from all relevant comparative studies (intravascular imaging vs. angiography) in optimizing PCI results before the era of drug-eluting stents showed that IVUS-guided PCI has an advantage over angiography-guided PCI in reducing the incidence of MACE (19% vs. 23%; risk ratio – 0.69, 95% CI 0.49–0.97, $p = 0.03$) and restenosis in 6 months (22% vs. 29%; risk

ratio – 0.64, 95% CI 0.42–0.96, $p = 0.02$), whereas there was no difference in mortality rate ($p = 0.18$) and risk of spontaneous MI in long-term period ($p = 0.51$) (21).

Emerging and further development of drug-eluting stents significantly decreased the incidence of MACE to such a degree that it became difficult to prove the difference in favour of IVI techniques in regard to optimizing the PCI results in the general patient population. Nevertheless, since the widespread introduction of drug-eluting stents into clinical practice, relevant randomized studies have been conducted to compare the results of angiography-guided PCI with IVI techniques. It is reasonable that already completed or ongoing studies included patients with complex coronary artery lesions, and this more objectively represents the situation observed in daily clinical practice (Table 2).

The results of all ten studies from Table 2 argued for the use imaging modalities as tools for PCI optimization; and only one study had neutral results. None of the studies reported negative results for intravascular modalities as tools for PCI optimization compared to angiography-guided PCI.

We particularly want to note the high reproducibility of results provided by comparative studies (intravascular imaging vs. angiography to control and optimize the PCI results) conducted at different times. Now let's look at the results of two similar studies – IVUS XPL (2015) and ULTIMATE (2018) (Table 3).

Two randomized studies listed in Table 3, which were conducted at different times and different clinics, included almost the same number of comparable patient groups (“all enrolled”, the vast majority with long arterial lesions) with the same primary clinical endpoint (cardiac mortality, MI, repeat revascularization related to the target lesion or target vessel). The incidence rate of the primary clinical endpoint in two studies was similar after 12 months in favour of IVUS (2.9% vs. 5.8% in the IVUS XPL study and 2.9% vs. 5.4% in the ULTIMATE study), indicating good reproducibility of the IVUS results in this complex patient population. We also note a reliable and significant reduction of the long-term stent thrombosis rate (36 months) after IVUS-guided PCI (ULTIMATE study). It can be assumed that such results were achieved partially due to the improvement of the arterial lumen geometry after IVUS-guided stent implantation. For example, in the IVUS XPL study, post-dilation was per-

formed significantly more often in the IVUS-guided group compared to the angiography-guided PCI group (76.3% vs. 57.4%, respectively, $p < 0.001$), and the final balloon diameter for post-dilation was significantly higher (3.14 ± 0.43 mm vs. 3.04 ± 0.42 mm, respectively, $p < 0.001$) (22). As the above-mentioned studies proved the advantage of IVUS over angiography for guiding PCI in extended lesions and for implantation of two or more stents, it is predictable that two randomized trials – AIR-CTO and CTO IVUS – showed a significant reduction in the rate of restenosis and repeated target vessel revascularization after the IVUS-guided recanalization of chronic coronary occlusions (CCO) compared to angiography-guided PCI. In addition, the CTO IVUS study also showed an improvement in long-term clinical outcomes; in particular, the incidence of MACE was significantly lower in the IVUS-guided CCO recanalization group versus angiography-guided PCI group (2.6% vs. 7.1%, respectively, $p = 0.035$). The same was observed when comparing the combined endpoint – mortality/IM in two groups (0% vs. 2%, respectively, $p = 0.045$) (25, 26).

It is of particular interest to study the role of IVI in optimizing the PCI procedures in patients with complex coronary lesions in order to improve immediate and long-term clinical outcomes. Recently, the results of two studies focused on this problem have been published in the scientific medical literature. The randomized controlled RENOVATE-COMPLEX PCI study included 1620 patients with complex coronary lesions, including trunk stenosis, CCOs, long lesions (>38 mm), true bifurcation lesions with side branch involvement >2.5 mm, multivessel (more than 2 arteries), calcified and ostial lesions, and in-stent restenosis. Thus, the patients cohort of the RENOVATE-COMPLEX PCI study was the closest to real-life clinical practice. The primary endpoint (mortality, MI in the target artery territory, and repeat revascularization) was observed in 7.7% and 12.3% of patients in the IVUS/OCT-guided PCI groups without intravascular imaging, respectively ($p = 0.008$). Thus, IVUS/OCT-assisted primary PCI reduced the risk of major cardiac complications by 36% (RR = 0.64, 95% confidence interval 0.45–0.89). At that, the observed effect of IVUS/OCT-guided PCI was noted in all risk subgroups of patients (diabetes, chronic renal failure, reduced LV function) and regardless of the clinical course of CAD (chronic or acute coronary syndrome) (32). Another non-rand-

Table 2. Characteristics and summary of results of relevant comparative studies on the use of intravascular imaging modalities during PCI

Study	Year	Number of patients	Modality	Long-term period, months	Description of results
IVUS-XPL* (22)	2015	1400	IVUS	12	- The incidence of MACE was significantly lower in the IVUS group – 2.9% vs. 5.8% ($p = 0.007$) - The rate of target lesion revascularization was 2.5% vs. 5.0% ($p = 0.02$) - Postdilation was performed more frequently in the IVUS group – 76% vs. 57% ($p < 0.001$)
ULTIMATE* (23)	2018	1448	IVUS	12	- Significant reduction in number of adverse events related to target vessel in the IVUS group (2.9% vs. 5.4%, $p = 0.019$) - Significant reduction in the rate of repeat revascularization and stent thrombosis (RR: 0.407, 95% CI 0.188–0.880, $p = 0.029$) in the IVUS group - In the IVUS group, adverse events related to target vessel were 1.6% when optimal IVUS criteria for stent implantation were observed and 4.4% when these criteria were not achieved ($p = 0.029$).
ADAPT-DES IVUS subgroup (24)	2014	3349	IVUS	12	- Significant reduction of MACE in the IVUS group (2.5% vs. 3.7%, $p = 0.004$), revascularization of the target vessel (1.5% vs. 2.4%, $p = 0.007$) and target lesion (2.4% vs. 4.0%, $p = 0.0001$) - Significant reduction in the rate of spontaneous MI (2.5% vs. 3.7%, $p = 0.004$) - Significant reduction in the rate of stent thrombosis (0.6% vs. 1.0%, $p = 0.003$) - In response to IVUS data, operators changed their PCI strategy in 74% of cases
AIR-CTO* (25)	2015	230	IVUS	12	- Reduction in subintimal canal length in the IVUS group (10.8 ± 3.9 mm vs. 17.2 ± 9.4 mm, $p = 0.002$) - Significant improvement in lumen geometry: increased lumen cross-sectional area after PCI (5.92 ± 2.2 mm² vs. 4.37 ± 1.1 mm², $p = 0.01$) - Significant reduction of restenosis rate (3.9% vs. 13.7%, $p = 0.021$) - No significant difference in the MACE rate (18.3% vs. 22.6%, $p = 0.531$) and repeat revascularization incidence (4.3% vs. 9.6%, $p = 0.314$)
CTO-IVUS* (26)	2015	204	IVUS	12	- Significant reduction in the rate of MACE in the IVUS group (2.6% vs. 7.1%, $p = 0.035$) - Significant reduction in combined endpoint – mortality/IM in the IVUS group (0% vs. 2%, $p = 0.045$) - No significant difference in target artery revascularization (2.6% vs. 5.2%, $p = 0.186$)
J.M. De la Torre Hernandez et al. (27)	2014	1670	IVUS	36	- Significant increase in MACE-free survival rate in the IVUS group (88.7% vs. 83.6%, $p = 0.04$) - Significant increase in survival rate with bifurcation lesions of the left main coronary artery in the IVUS group (90% vs. 80.7%, $p = 0.03$) - Significant reduction in the rate of stent thrombosis in the IVUS group (0.6% vs. 2.2%, $p = 0.04$) - IVUS-guided revascularization is an independent predictor of MACE (RR 0.70: 95% CI 0.52–0.99, $p = 0.04$)

Table 2 (end).

Study	Year	Number of patients	Modality	Long-term period, months	Description of results
Kim J.S. et al * (28)	2013	543	IVUS	12	• Significant increase in minimum arterial diameter after PCI in the PCI group (2.58 mm vs. 2.51 mm, $p = 0.04$) • No significant difference in the rate of MACE between two groups (4.5% vs. 7.3%, $p = 0.16$)
DOCTORS* (29)	2016	120	OCT	6	• Significantly higher FFR after OCT-guided PCI (0.945 ± 0.04 vs. 0.92 ± 0.05, $p = 0.005$) • Less residual stenosis after OCT-guided PCI ($7.0 \pm 4.3\%$ vs. $8.7 \pm 6.3\%$, $p = 0.01$) • More frequent use of postdilation due to malapposition, stent underexpansion, and edge dissection in the OCT-guided PCI group (43% vs. 12.5%, $p < 0.0001$)
OCTACS* (30)	2015	50	OCT	6	• Reduction in number of stent struts with malapposition in the OCT-guided PCI group (3.4% vs. 7.8%, $p < 0.01$) • Fewer number of non-endothelialized stent struts at 6 months in the OCT-guided PCI group (4.3% vs. 9.0%, $p < 0.01$)
ROCK II* (31)	2021	730	IVUS/OCT	12	• Significant reduction in the rate of adverse events related to target vessel in the imaging group (12.7% vs. 21.2%, $p = 0.039$) • No significant difference in the primary endpoint between the IVUS and OCT groups ($p = 0.26$) • IVUS is a predictor for absence of adverse events related to the target vessel in the imaging group (OR 0.46: 95% CI 0.23-0.93, $p = 0.03$) • The rate of adverse events related to target vessel was 16% in the angiography group, 7% – in the OCT group, and 6% – in the IVUS group ($p = 0.03$ between angiography-guided PCI and imaging-guided PCI groups)

Note. * – randomized studies.

Table 3. Long-term results of IVUS use in long lesions of coronary arteries

Study, year	No. of patients	Inclusion criteria	Primary endpoint	Time of long-term result, months	Long-term result
IVUS XPL, 2015	1400	long (≥ 28 mm) lesions	Composite MACE – cardiac mortality, MI, repeat myocardial revascularization (RMR)	12	After 12 months: MACE – 2.9% vs. 5.8% ($p = 0.007$) RMR – 2.5% vs. 5.5% ($p = 0.02$)
ULTIMATE, 2018	1448	All included: Long > 25 mm lesions – 60%	Target vessel failures (TVF): Cardiac mortality, MI, RMR	12	After 12 months: TVF – 2.9% vs. 5.4% ($p = 0.02$) After 36 months: Stent thrombosis – 0.1% vs. 1.1% ($p = 0.02$)

Note. RMR – repeat myocardial revascularization related to the target vessel / lesion.

omized, population-based OPTIVUS-COMPLEX PCI study also examined the long-term (1-year) effect related to use of IVUS for PCI in complex coronary lesions. OPTIVUS-IVUS criteria were developed to assess immediate outcomes: 1. In-stent minimal cross-sectional area (MCSA) > reference value of cross-sectional area distal to the stent (when stent length ≥ 28 mm); 2. In-stent MCSA > 0.8 x mean arterial reference cross-sectional area (when stent length < 28 mm). The primary endpoint for assessing long-term outcomes was MACE (mortality, MI, stroke, any repeat myocardial revascularization). When comparing the matching patient populations in the OPTIVUS-COMPLEX PCI study and a historical registry of patients with myocardial revascularization by CABG or PCI (CREDO-Kyoto registry), it appeared, that the primary endpoint was statistically less frequent in the cohort of patients with IVUS-guided PCI than in the cohort of patients without IVUS-assisted PCI – 10.3% and 27.5%, respectively ($p < 0.001$). However, the difference was not significant when compared to the group of patients with CABG (13.6%). Nevertheless, the long-term clinical outcomes of IVUS-guided PCI were no worse than those in the matching group of patients with CABG.

Notably, that in the OPTIVUS-COMPLEX PCI study, the initial PCI strategy was changed in 41.2% of cases in response to IVUS data, and at the final stage (stent implantation) the PCI strategy was changed in 39.6% of all treated lesions (33).

Improvement of clinical outcomes – a reduction in the rate of MACE, repeat revascularizations and stent thrombosis after IVUS-guided PCI – was shown in several meta-analyses including large randomized and observational studies with tens of thousands of patients (34, 35, 36). A recently published meta-analysis including 19 significant comparative studies with a total of more than 27,000 patients showed a significant and reliable reduction by 37% (216 [1.9%] vs. 627 [3.9%]; RR, 0.63; 95% CI, 0.54–0.73; $p < 0.001$) of cardiovascular mortality in the long-term period (1 year and more) in case of IVUS-guided PCI. The same systematic review reported a 43% reduction of the stent thrombosis risk in the IVUS-guided PCI group (160 [1.4%] vs. 360 [2.2%]; RR, 0.57; 95% CI, 0.41–0.79, $p = 0.0006$) (37).

While the global evidence base does not comprise any randomized studies concerning the effect of IVUS techniques on the results of PCI on LMCA, the recently published results

of a large registry demonstrate a significantly low incidence of MACE (cardiac mortality, MI, repeat revascularization) as well as stent thrombosis during IVUS- or OCT-guided PCI compared to angiography-guided procedures (27, 31, 38). Taking into account the clinical significance of lesions of the LMCA, which provides blood supply to > 75% of the left ventricular myocardium, the latest ACC/AHA/SCAI guideline on myocardial revascularization supported the assignment of recommendation class IIa (evidence level B) to IVI techniques in PCI of LMCA stenosis (39). In Japanese national guideline on myocardial revascularization, the use of IVUS in PCI of LMCA stenosis got a higher recommendation level (IA) (40).

Randomized studies using OCT have also shown an improvement in the lumen geometry of the stented artery and an increase of fractional flow reserve (FFR) after OCT-guided PCI compared to angiography-guided procedure (41). In addition, the OCTACS and DETECT OCT studies showed improved stent endothelialization in the OCT-guided PCI group. In the OCTACS study in patients with acute coronary syndrome in 6 months after stent implantation the number of non-endothelialized stent struts was significantly lower (4.3% vs. 9.0%, $p < 0.001$) (42). A similar result was obtained in the DETECT OCT study after OCT-guided PCI in a group of patients with chronic coronary syndrome (7.5 vs. 9.9%, respectively, $p = 0.009$) (43). In the TACTICS-registry, the strategy of primary PCI for patients with ACS was changed in 58.1% of cases, of which 4.8% of patients did not have a stent implanted based on OCT characteristics of unstable atherosclerotic arterial lesion; post-dilatation was performed in 54.6% of cases, and an additional stent was implanted at the final stage of PCI in 3% of cases in response to OCT data. Thus, OCT influenced the PCI strategy at each stage of intervention (44).

It is no wonder that the number of studies focused on the use of IVUS significantly exceeds the number of OCT studies due to the late introduction of OCT into clinical practice. Despite this, some recently completed randomized studies were focused on comparative results of these two techniques. In the ILUMIEN III study, the in-stent minimal cross-sectional area after the procedure was assessed in three groups of patients – with OCT-, IVUS- and angiography-guided PCI. The degree of stent expansion (median minimal cross-sectional area of the in-stent lumen) in the OCT-guided PCI group (5.79 mm², IQR 4.54–7.34 mm²)

was no worse ($p = 0.001$), but also no better ($p = 0.42$) than those in the IVUS-guided PCI group (5.89 mm^2 , IQR $4.67\text{--}7.80 \text{ mm}^2$). Also, the median minimal cross-sectional area after OCT-guided PCI was no better than in the angiography-guided stenting group ($p = 0.12$) (45). These results served as a reason and justification for a larger randomized ILUMIEN IV study comparing the geometric parameters of the final postprocedural arterial lumen in the OCT- and angiography-guided PCI groups. The authors of this study hypothesized the improvement of clinical outcomes in a high-risk group with OCT-guided PCI compared to an angiography-guided procedure (46). The final results of the ILUMIEN IV, as well as of other ongoing studies focused on IVI capabilities and roles in coronary interventions, are still pending and it is expected, that they will improve our knowledge and put IVI to good use in clinical practice of endovascular coronary interventions.

Despite the existence of a solid evidence base in favour of imaging techniques in PCI in order to optimize immediate results and improve long-term clinical outcomes, there is a quite mosaic picture of the IVUS use in different regions. For example, in Japan and South-East Asia, IVUS is used in approximately 80% of PCI cases, whereas in Germany, Italy, and the USA, this figure is 20%, 5% and 5%, respectively (47).

In Japan, routine use of IVUS-guiding during PCI is recommended regardless of lesion complexity and experience of the interventional cardiologist (48), and, according to the national guidelines for myocardial revascularization, use of IVUS in PCI of the LMCA, CCO, and diffuse coronary lesions has the highest recommendation class of IA (40). On the other hand, in American and European guidelines on myocardial revascularization the use of imaging techniques during coronary interventions has a lower recommendation class of IIA (B-R) (49) and IIA (B) (50) respectively. These guidelines have a confusing level of evidence – B, despite the abundant evidences from high-quality randomized, controlled studies, systematic reviews and meta-analyses. However, the majority of data from comparative studies on the significance of IVI for optimizing PCI outcomes were obtained in South-East Asia, and since there are many factors (anatomical and clinical-demographic) that differentiate patient populations in this region from those in Europe and the USA (51), the analysis of comparative data must be done with a certain degree of caution.

Practical application of intravascular imaging techniques for optimization of percutaneous coronary interventions

To optimize the results of PCI, IVI techniques can be applied at each stage of the procedure.

Pre-PCI lesion assessment

Intravascular imaging techniques before PCI are used to assess the plaque tissue composition and key parameters for subsequent intervention as lesion length, reference diameter and arterial lumen cross-sectional area (CSA), to determine proximal and distal stent application points in case of diffuse lesion of the vessel wall. Systematic use of pre-PCI IVI will allow to reduce dramatically the rate of stent implantation that does not correspond to the true arterial diameter and lesion extent (2). IVI allows examining in detail the condition of atherosclerotic lesion regardless of whether endovascular intervention will be performed after the initial examination or not (in case of hemodynamically insignificant stenosis). In particular, it makes it possible to determine the fibrous capsule thickness, tissue composition (presence and volume of the lipid component) and, thus, to identify an atherosclerotic plaque with a high risk of rupture. This, in turn, will allow justifying a drug therapy for potentially unstable but hemodynamically insignificant plaque (5, 52, 53), since it is known that a hemodynamically insignificant plaque is the cause of acute MI in 80% of cases (54). The significance of atherosclerotic plaque character, which is the cause of ACS, for determining the strategy of endovascular treatment of ACS was clearly shown by the authors in the multicentre randomized study EROSION III (55). Characterization of unstable plaque (erosion, rupture, calcified focus) using OCT significantly reduced the rate of stent implantation by 15% compared to the angiography-guided PCI group (43.8% vs. 58.8%, $p = 0.024$). Similar results were obtained in the TACTICS Registry, where 1-year long-term results of OCT-guided endovascular treatment of ACS were studied. It was found that, firstly, OCT data on the morphology of unstable plaque have an effect on the long-term clinical outcomes, and, secondly, OCT played a certain role at each stage of PCI. At the diagnostic stage after OCT-assessment of atherosclerotic plaque morphology the intervention tactics was changed in 58.1% of cases, and the stent was not implanted in 4.8% cases. At the stage of stent parameters determination, stent

diameter and length were changed in 15.7% and 16.0% of cases, respectively. At the stage of procedure optimization in response to OCT data, post-dilatation was performed in 54.6% of cases (56). Thus, the evaluation of atherosclerotic plaque morphology (erosion, plaque rupture, calcified nodule) by using IVI techniques makes it possible to customize endovascular treatment (PCI) and revise the strategy of optimal pharmacological therapy after ACS (57).

In addition, IVI techniques may be useful for MI diagnosis in non-obstructive coronary atherosclerosis, such as Takotsubo cardiomyopathy, arteritis, myocarditis, spontaneous vessel wall dissection and other etiologies of ACS (58). We also highlight a number of clinical and anatomical variants where IVI techniques may play a key role in diagnosis and strategy of endovascular treatment; for example, controversial and unclear situations in aorto-ostial lesions of the coronary arteries (especially the LMCA ostium), dissection and intramural hematoma, aneurysm, and vasculopathy after heart transplantation (59, 60, 61).

IVI-guided PCI procedure

IVI techniques are useful tools for lesion (site) preparation before stenting, for correct stent implantation, and post-stent optimization. For example, preliminary assessment of calcification (thickness, circumferential extent, length) using IVUS or OCT will help to develop the optimal strategy and technology for ablation of calcified lesions (atherectomy, cutting balloon or intravascular lithotripsy) and to evaluate the results of their application for subsequent optimal stent implantation (complete expansion without stent structure deformation) (62, 63, 64). Some studies define the presence of calcified lesions as a risk factor for stent underexpansion or deformation and recommend using IVUS or OCT to choose the type of ablation techniques for modification of calcified lesions (65, 66). To date, the IVUS criteria of calcification as a risk factor for stent underexpansion are: presence of superficial calcinosis with a lumen circumference coverage angle $> 270^\circ$, length > 5 mm, local calcified focus (nodule) in the atherosclerotic plaque and arterial diameter < 3.5 mm (56). The relevant OCT criteria can be summarized as follows: presence of superficial calcinosis with a lumen circumference coverage angle $> 180^\circ$, calcinosis thickness > 0.5 mm and length of calcified area > 5 mm (67).

As for selection of the optimal stent diameter, there are many concepts and suggestions

based on measurements of various anatomical structures on intravascular images. The following options are proposed: a) measure the average or maximum reference diameter of the arterial lumen, (b) determine the mean value of the “media-to-media” measurements, (c) determine the smallest value of the reference diameter measured between the outer contours of the external elastic membrane (EEM), or (d) determine the mean value of the diameter measured between the external contours of the EEM (23, 40, 68, 69, 70). In turn, in the ULTIMATE study, IVUS criteria for the optimal stenting procedure (expansion and reinforcement of the arterial lumen) were developed: a) the minimal cross-sectional area (MCSA) of the lumen inside the stented segment > 5 mm² or 90% of the distal reference MCSA value; b) stenosis (atherosclerotic plaque mass) at the proximal and distal edges of the stent within 5 mm should not be less than 50%, c) no dissection that covering the tunica media of the arterial wall with a length of more than 3 mm (23). Here we'd like to add that according to another study that investigated OCT criteria for optimal stenting, the volume of tissue protrusion through the stent structure should not exceed 0.33 mm³ (71), and the protrusion angle (angle around the circumference of the arterial lumen occupied by tissue) $> 180^\circ$ is an independent predictor of MACE in patients with STEMI (72). Additionally, we want to note that several studies have recognized tissue protrusion through an implanted stent as a significant risk factor for acute and subacute stent thrombosis (73, 74, 75).

As for the OCT criteria of optimal stenting (Figure), they were summarized in a recent publication as the “MLD-MAX” concept. This concept consists of two blocks: a) pre-PCI strategy (Morphology-Length-Diameter) and b) post-PCI optimization (no Medial dissection – Apposition of stent struts – eXpansion) (76). Twelve clinical centres in the USA were included in the multiphase clinical program on the use of OCT in clinical practice. The stent diameter according to the MLD-MAX concept was determined as the mean value of the artery diameter measured between the outer contours of EEM at the nearest distal point from the proposed stent implantation site, or (if the EEM could not be identified), the required stent diameter was determined as the mean value of the artery lumen diameter measured on the intima inner surface at the nearest distal point from the stent implantation site. When analyzing the results

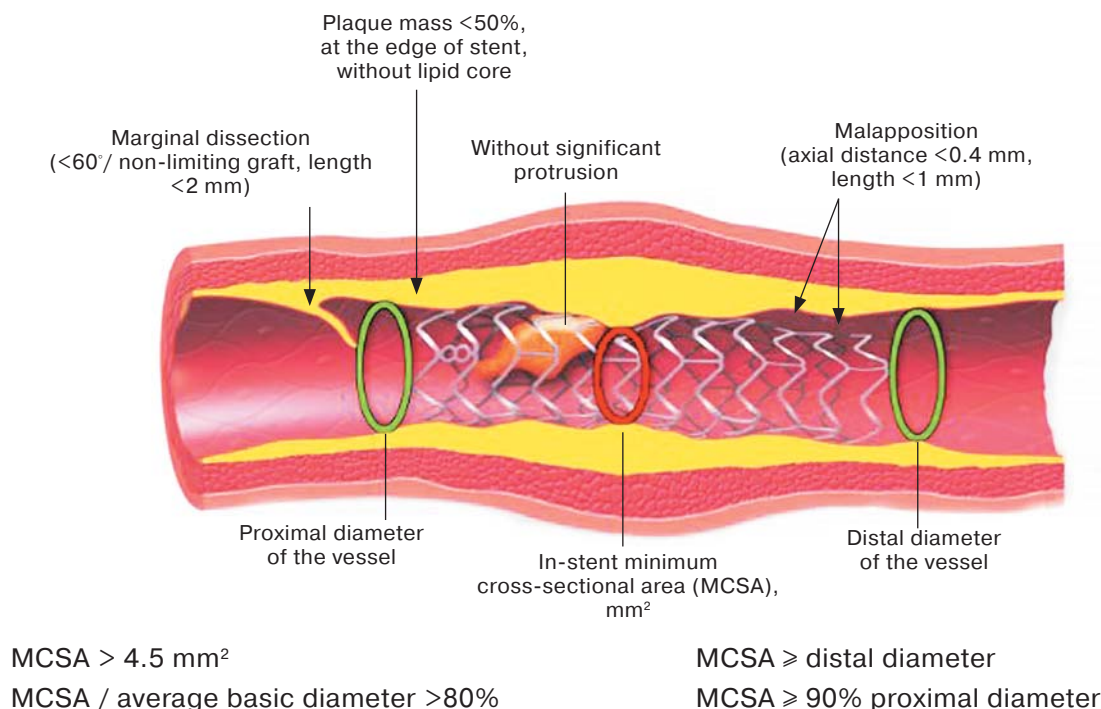


Figure. Schematic illustration of IVUS criteria for optimal stent implantation.

of using the MLD-MAX concept, it turned out that OCT had an impact on decision in 88% of PCI cases, including impact on the strategy before PCI in 83% of cases and impact on the outcome optimization after the procedure in 31% of cases. At that, OCT extended the total procedure time insignificantly (by 9 min) ($p < 0.0001$).

Since the most optimal strategy for the stent size selection is yet to be determined, the positive clinical effect of the IVI use is evident regardless of the IVI modality and different algorithms for optimal stenting.

Stent length (especially in cases of diffuse atherosclerotic lesions) must be chosen taking into account the presence of the most “healthy” areas of the arterial wall proximal and distal to the lesion. It has been shown in many studies that the voluminous plaque (stenosis >50%), or a large amount of lipid component, or significant calcification at the proximal/distal end of the stent may result in the edge dissection or edge restenosis in the long-term period (77, 78). It is important to remember that in case of stent implantation or the stent’s proximal or distal edge presence at the lesion site with a large lipid content, the risk of distal embolisation, stent thrombosis or development of no-reflow phenomenon increases (79). Thus, the use of IVI allows to accurately determining both the total number and length of implanted

stents. Comparison of IVI data with angiography results (so-called data co-registration) allows to significantly reduce the amount of contrast agent used (80) and to increase the accuracy of stent implantation and, as a result, to optimize PCI. Recent publications have confirmed that there is a possibility for many-fold reduction of the administered contrast medium volume (81) and even performing the PCI procedure without the contrast media when using IVI techniques (82).

We would like to emphasize the role of IVI in the assessment of LMCA lesions (or any bifurcation) and stent selection in case of significant artery recalibration in the proximal and distal segments. IVI techniques allow assessing characteristics, tissue composition, and distribution of a plaque mass in the bifurcation region. These data, in turn, have an impact not only on the choice of stent parameters (length, diameter), but also on the development of PCI strategy for bifurcation lesions in general (including the control of post-stenting proximal optimization) (83, 84). Taking into account the unique morphological features of bifurcation lesions in the LMCA in contrast to other bifurcation stenoses, many authors recommend to use IVI techniques to control various stages of stenting the bifurcation stenoses in the LMCA (85, 86). The minimum acceptable values of the arterial lumen geometry parameters (measured by

IVUS) for the LMCA after stenting are predictably higher than in non-trunk lesions (for the distal segment of the LMCA $>7-9 \text{ mm}^2$, and $8-10 \text{ mm}^2$ and more for the proximal segment) (59, 87, 88). We should also note that the role and frequency of use of IVI techniques (in particular, IVUS) for solving various diagnostic problems and guidewire management in complex chronic coronary occlusions (CCO) have been increasing in these days (89–93).

Evaluation of the PCI procedure results and diagnosis of complications

Post-PCI IVI techniques are used both to determine important reference endpoints, which characterize the procedure outcome, and to diagnose complications that cannot be revealed by angiography (e.g. geographic miss (incorrect position of the stent edges inside the arterial lumen), dissection of the vessel wall or malapposition of the stent struts).

The degree of stent expansion (the ratio of the minimum cross-sectional area inside the stent to the mean value of the reference (baseline) arterial diameter, see Figure) is one of the most important endpoints, which characterizes the outcome of PCI, and is known as an independent predictor of both long-term stent patency and the risk of clinical adverse events. This parameter of the stenting final outcome is determined both by the minimal cross-sectional area inside the stent (absolute value) and by comparison with the reference diameter of the artery proximal or distal to the stent or with the average of reference diameters at the specified arterial sites (see Figure) (15, 22, 29, 40, 68, 77, 94–97).

IVI techniques provide a unique opportunity to clearly differentiate some signs detected both during angiography and intravascular imaging after stent implantation. For example, a so-called marginal dissection has no clinical consequences only if at the intravascular imaging it is limited to the intimal layer of the arterial wall, covers $< 45^\circ$ of the lumen circumference and its length is $< 2 \text{ mm}$ (98). However, if the dissection involves deeper layers of the arterial wall (intima-medial dissection), covers $> 60^\circ$ of the lumen circumference and its length exceeds 2 mm , such marginal dissection is associated with adverse clinical consequences or immediate complications and requires additional intervention (59, 89, 99). Thus, the use of IVI techniques after stenting may lead to a change in endovascular treatment strategy in order to optimize the PCI outcome.

Another sign, often revealed by intravascular imaging, is malapposition of the stent struts or their loose adhesion to the arterial lumen inner surface. Malapposition may occur immediately after PCI due to the use of an incorrect stent diameter, incomplete stent expansion due to the use of nominal balloon pressure or insufficient preparation of the lesion before stent implantation (59, 100). Late malapposition in the long-term period mainly occurs because of late remodelling of the vessel lumen; however, it is not associated with an increased risk of MACE (mortality, MI and repeat target vessel revascularization, stent thrombosis) compared to the group of patients without late stent malapposition (7.3% vs. 10.5% , $p = 0.282$) (101). Since it is recognized that secure contact of the stent struts with the inner surface of arterial lumen promotes better and faster endothelialization, it is desirable to achieve the most acceptable apposition of the stent structure with the intimal surface. However, the majority of stent malapposition sites in the long-term period also undergoes endothelialization and insignificantly affects the long-term clinical and angiographic outcomes (91, 92, 102, 103). Nevertheless, stent malapposition during PCI of bifurcation lesions may result in guidewire passing under the stent when attempting to catheterize the side branch, which, in turn, may cause adverse consequences and technical difficulties during double-stent PCI of bifurcation stenoses (104).

IVI techniques play a critical role in PCI of complex CCO, LMCA stenoses, and other bifurcation lesions. Intravascular imaging of such lesions is important for detailed assessment of stented arterial lumen formation, complete and correct coverage of the entire lesion, as well as for elimination of the risk of inadequate stent sizing (diameter, length). IVUS and/or OCT can provide important information to determine the point for re-catheterization of the side branch with a guidewire advanced through the stent structure in the main artery, to optimize simultaneous balloon dilatation using the kissing balloon technique and post-stenting lumen optimization, as well as to identify the degree of the coverage of side branch ostium by the stent struts (95, 105, 106). In cases of complex CCO, the results of the use of different IVI techniques can impact the recanalization strategy and provide an effective control of the guidewire navigation procedure through the occluded segment. Another useful function of OCT is three-dimensional (3D) reconstruction of the stented lumen. 3D reconstruction makes it pos-

sible to identify the optimal point in the stent structure in the main artery for guidewire navigation to the side branch (107), as well as to assess the stent longitudinal deformation after its implantation to the LMCA, since this type of stent damage is associated with long-term adverse clinical consequences (74, 108).

Thus, IVI techniques can be used at each stage of PCI both to assess the morphology and mass of the plaque, arterial lumen remodelling, to diagnose the changes in the arterial wall components, and to accurately determine the mechanism of angioplasty and stenting in each specific case, and the need to use special tools with the plaque to modify the lesion (109). The use of IVI in clinical practice may also be useful for the assessment of stent endothelialization, evaluation of restenosis mechanisms and arterial lumen remodelling in the long-term period resulting from the use of various special instruments and stents (110) or pharmacological agents.

Challenges for the promotion of intravascular imaging techniques for their application in daily clinical practice and training of specialists

We support the suggestion and strongly recommend that ALL (!) national CathLabs should be equipped with one of the IVI modalities. Taking into account the advantages and disadvantages of each imaging modality (IVUS and OCT), the best option is to have both modalities of IVUS in the operating room. However, since it is difficult to provide clinics with both technologies due to funding problems, the most optimal solution is to get an IVUS (including the high definition (HD) option). IVUS (including HD option) can be successfully used in almost all possible clinical and anatomical scenarios. At the same time, the unique resolution of OCT allows for a more accurate diagnosis of the tissue composition and morphology of the plaque as well as its fibrous capsule condition. In addition, this technique allows precisely determining the cause of ACS development and plaque transition to an unstable state, to more fully characterize the results of stenting (malapposition, longitudinal stent deformation, stent expansion degree and coverage of the side branch ostium in bifurcation lesions, etc.). In view of this, there is no doubt that the availability of both modalities in the CathLab represents the best setup for more effective application of IVI techniques to optimize PCI procedures.

All data (individual images, videos, measurements of arterial lumen geometry, etc.) should be archived similarly to conventional angiography data in a common format for data storage and transmission. This will allow considering the results of IVI in correlation with angiography data and such comparison of data will help to develop the most optimal strategy for PCI. At the local (or national) level, a harmonized protocol should be developed with detailed description of the results of both angiographic and intravascular studies.

During the last decade, the evidence base regarding the use of IVI techniques to optimize PCI has expanded considerably. Based on numerous evidence-based data, we recommend the routine use of IVI modalities as an integral part of PCI in the following situations:

- lesions of the trunk (including the ostium, body and distal part) and proximal segment of LAD;
- complex anatomical lesions, including in-stent restenosis, stent thrombosis, complex CCO, significant calcinosis and long (more than 25 mm) lesions;
- after heart transplantation (in 4–6 weeks and 12 months) to diagnose possible allograft vasculopathy and to determine the prognosis in the long-term period (111);
- all lesions where angiography does not provide sufficient information on the anatomy and morphology of the lesion needed to determine the optimal PCI strategy.

Also, it should be remembered that IVI techniques are invasive because they require insertion of catheters with sensors into the arterial lumen. Therefore, when passing the catheter through calcified, excessively tortuous arterial segments, and severe (>90%) stenoses, technical difficulties may occur. To address these challenges, it is necessary to have the appropriate skills to use necessary tools and various IVI techniques. In addition, rare (<0.5% of cases) complications associated with the invasive nature of IVI techniques may occur; in particular, spasm and coronary artery dissections, transient myocardial ischemia, slow-flow phenomenon and/or thrombosis of the target vessel lumen, damage to the already implanted stent, catheter jamming and fragmentation with the risk of major cardiac complications (112–114).

Taking into account all the above, it can be stated that in order to increase the level of expertise in using the IVI techniques and interpreting their results, as well as to reduce the risk of complications, the training of operators

(X-ray endovascular surgeons) is of critical importance. The initial stage of training should include familiarization and mastery of the following basic knowledge and skills:

- in morphological characterization of the plaque and atherosclerotic lesion of the arterial wall (identification of arterial wall layers, calcinosis, plaque tissue composition and the fibrous capsule condition, recognition of thrombus types, etc.);
- in measurement of geometric parameters of the lumen, arterial wall and implanted stent (distal/proximal reference arterial diameter, lesion length, in-stent cross-sectional area, index and completeness of stent expansion);
- in recognition and interpretation of complications coming from endovascular interventions (incompletely expanded stent and/or malapposition of stent struts, marginal dissection, tissue protrusion through the stent structure, longitudinal deformation and/or stent fracture, etc.).

Despite the presence of clear objectives and purposes of endovascular surgeons training in IVI techniques, the world practice has no structured program of comprehensive training of specialists after which they could independently perform an IVI-examination and adequately interpret its results. For example, the interventional cardiology training program developed in 2015 by ACC-COCATS4 (American College of Cardiology – Core Cardiology Training Symposium 4) recognizes the need to include experts in intravascular imaging and physiology as the teaching lecturers. However, the list of skills and experience acquired as a result of training under this program does not mention any of IVI modalities (115). The American College of Graduate Medical Education (ACGME) postgraduate program, developed in 2017, mentions the need for skills in intravascular imaging (particularly IVUS), yet without detail, but doesn't mention at all the need for training in OCT techniques (116). Individual specialized events held by world-known platforms cannot solve the problem of complete and adequate training of IVI specialists. For example, the Cardiovascular Research Foundation (CRF) conducted a polling survey among participants of a specialized session on intravascular imaging and physiology at its educational events in 2018 and 2019. It found that only 15% of participants confirmed their expert level and indicated their willingness to work independently and interpret IVUS results, while the similar figure for OCT was 18%. Another

40% of participants indicated an insufficient level of competence to use both IVI modalities. At the same time, the level of competence and willingness to work independently among the participants was significantly lower for IVI modalities compared to intracoronary physiology methods (measurement of fractional flow reserve). This low level of readiness for independent clinical practice in the use of IVI techniques did not change compared to the results of previous survey (117). Russia also lacks a detailed specialized postgraduate education program related to IVI techniques and physiology.

In order to address the actual issues of training, as well as to promote IVI techniques and introduce them into routine clinical practice, we propose a three-level algorithm of problem solving:

For endovascular surgeons:

1. IVI techniques are recommended as a necessary addition in cases of certain clinical and anatomical scenarios: lesions of the trunk (including the ostium, body and distal part) and proximal segment of the LAD, in-stent restenosis, stent thrombosis, complex CCO, significant calcinosis and long (more than 25 mm) lesions, post cardiac transplantation (after 4–6 weeks and 12 months), all lesions where angiography does not provide sufficient information on the anatomy and morphology of the lesion.

2. For young, recent graduates, it is reasonable to routinely perform one of the IVI techniques during PCI, even in the case of simple (type A according to the ACC/AHA classification) lesions. For endovascular surgeons with solid experience in IVI techniques, there is no need to routinely use them in every case of such simple lesions because of the learning effect (the trained eye IVUS phenomenon). The problem with the “trained eye IVUS” is that, generally, it is only about the choice of stent diameter. As for the lesion extent and the choice of the so-called landing zone at the PCI planning stage, it is practically impossible to determine the zone without IVI techniques since angiography shows only the vessel lumen. Only additional visualization allows determining where the plaque mass actually ends. That is why the stent in the IVUS/OCT group is always slightly longer than it was planned according to the angiogram. As for the optimal stent expansion, it is impossible to make it properly without additional visualization, because according to angiography, as a rule, the stent is always optimally expanded, while according to IVUS/OCT

in the same patient it is not true in more than half of cases.

3. A presence of basic level and continuous training and improvement of knowledge in intravascular imaging techniques are the most important elements for the correct performance of the IVUS examination and its results interpretation.

4. There is a need for development a protocol for the examination and objective interpretation of the results, which are important for PCI strategy development.

5. A system should be in place to transfer and archive data in a common format.

For healthcare institutions:

1. All CathLabs should be equipped with at least one IVI modality (e.g. IVUS, with high resolution option, or virtual histology and Chroma Flow mode, which is very helpful in interpreting plaque structure, detecting small dissections and true vessel lumen).

2. Ideally, both modalities of IVI (IVUS and OCT) should be available.

3. Routine use of IVI techniques in clinical practice contributes to improving the level of competence of both individual operating surgeons and the whole team.

4. A system should be in place to transfer and archive data in a common format.

At the national level:

1. A detailed, specialized training program for IVI specialists should be developed and integrated into the general training system for endovascular surgeons.

2. Professional societies should participate in the development of specialized training programs, organize various thematic events and help those willing (both medical clinics and individual specialists) to achieve the level of competence required to optimize the performance of the CathLab.

3. Online resources of professional communities should be widely used in the training process.

4. Given the possible difficulties related to funding the programs for routine use of IVI techniques in clinical practice within the compulsory health insurance, it is reasonable to recommend selective use of these techniques according to the experience and complexity of the clinical picture and coronary lesions.

We also want to note that there are many online resources, opportunities for communica-

tion with individual experts in the IVI field, and internships in clinics with a high level of expertise in IVI techniques.

Conclusion

Intravascular imaging techniques, which entered in clinical practice in the early 1990s, took a short time to gain a strong place in the toolset used for optimising intracoronary interventions. Despite the results of numerous randomized and observational studies, registers, meta-analyses including tens of thousands of patients, the average frequency of IVI techniques use is still low. However, the frequency of clinical use of IVI modalities varies considerably between operators, clinics, and world regions. For example, while in Japan and South Korea, IVI techniques are used in more than 90% of cases (104), in the USA the similar figure is < 15% (according to the NCDR Cath PCI Registry (118)), and less than 10% in European countries (119). A similar picture can be observed in Russia, where in some clinics IVI techniques are frequently used in the clinical routine, and, on the contrary, many departments of endovascular tdiagnosis and reatment does not have any possibility to apply these techniques and their modern modifications. The main obstacles to the widespread use of IVI techniques are the lack of appropriate equipment, insufficient knowledge and competence in the IVI field, and incorrect belief on the part of colleagues that the use of IVI in clinical routine prolongs the intervention time and may disrupt the operating schedule in intensively working CathLabs. Arguments about the economic inexpediency and increased cost of PCI procedure in case of using IVI techniques have been refuted in many studies (120–124). In a recent study, Korean authors showed that the use of IVI techniques during PCI allows avoiding 8 deaths, 35 spontaneous myocardial infarctions, and 69 repeat revascularizations per 1000 patients over 5 years (110).

Nevertheless, the development of the latest technologies – co-registration of angiographic and IVI images, combined (multimodal) catheters combining OCT and IVUS sensors, introduction of artificial intelligence technologies in image interpretation, as well as accumulation of experience by operators and development of specialized training programs may contribute to the optimization of CathLab activities and wider implementation of IVI techniques into clinical practice.

Список литературы [References]

1. Ui S., Chino M., Isshiki T. Rates of primary percutaneous coronary intervention worldwide. *Circ. J.* 2005, 69 (1), 95–100. <https://doi.org/10.1253/circj.69.95>
2. Costa M.A., Angiolillo D.J., Tannenbaum M. et al.; STLLR Investigators. Impact of stent deployment procedural factors on long-term effectiveness and safety of sirolimus-eluting stents (final results of the multicenter prospective STLLR trial). *Am. J. Cardiol.* 2008, 101 (12), 1704–1711. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.053>
3. Yock P.G., Linker D.T., Angelsen B.A. Two-dimensional intravascular ultrasound: technical development and initial clinical experience. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1989, 2 (4), 296–304. [https://doi.org/10.1016/s0894-7317\(89\)80090-2](https://doi.org/10.1016/s0894-7317(89)80090-2)
4. Garcia-Garcia H.M., Finizio M., del Val D. et al. High-definition intravascular ultrasound: current clinical uses. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2022, 38, 1213–1220. <https://doi.org/10.1007/s10554-022-02526-x>
5. Stone G.W., Maehara A., Lansky A.J. et al.; PROSPECT Investigators. A prospective natural-history study of coronary atherosclerosis. *N. Engl. J. Med.* 2011, 364 (3), 226–235. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1002358>
6. García-García H.M., Mintz G.S., Lerman A. et al. Tissue characterisation using intravascular radiofrequency data analysis: recommendations for acquisition, analysis, interpretation and reporting. *EuroIntervention.* 2009, 5 (2), 177–189. <https://doi.org/10.4244/eijv5i2a29>
7. Brown A.J., Obaid D.R., Costopoulos C. et al. Direct Comparison of Virtual-Histology Intravascular Ultrasound and Optical Coherence Tomography Imaging for Identification of Thin-Cap Fibroatheroma. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2015, 8 (10), e003487. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.003487>
8. Tearney G.J., Waxman S., Shishkov M. et al. Three-dimensional coronary artery microscopy by intracoronary optical frequency domain imaging. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2008, 1 (6), 752–761. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2008.06.007>
9. Huang D., Swanson E.A., Lin C.P. et al. Optical coherence tomography. *Science.* 1991, 254 (5035), 1178–1181. <https://doi.org/10.1126/science.1957169>
10. Roleder T., Jąkała J., Kaluża G.L. et al. The basics of intravascular optical coherence tomography. *Postepy. Kardiol. Interwencyjne.* 2015, 11 (2), 74–83. <https://doi.org/10.5114/pwki.2015.52278>
11. Bezerra H.G., Costa M.A., Guagliumi G. et al. Intracoronary optical coherence tomography: a comprehensive review clinical and research applications. *JACC Cardiovasc Interv.* 2009, 2 (11), 1035–1046. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2009.06.019>
12. Ali Z.A., Karimi Galougahi K., Mintz G.S. et al. Intracoronary optical coherence tomography: state of the art and future directions. *EuroIntervention.* 2021, 17 (2), e105–e123. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-21-00089>
13. Prati F., Guagliumi G., Mintz G.S. et al.; Expert's OCT Review Document. Expert review document part 2: methodology, terminology and clinical applications of optical coherence tomography for the assessment of interventional procedures. *Eur. Heart J.* 2012, 33 (20), 2513–2520. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs095>
14. Mintz G.S., Guagliumi G. Intravascular imaging in coronary artery disease. *Lancet.* 2017, 390 (10096), 793–809. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31957-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31957-8)
15. Prati F., Romagnoli E., Burzotta F. et al. Clinical Impact of OCT Findings During PCI: The CLI-OPCI II Study. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2015, 8 (11), 1297–1305. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.08.013>
16. Vignali L., Solinas E., Emanuele E. Research and clinical applications of optical coherence tomography in invasive cardiology: a review. *Curr. Cardiol. Rev.* 2014, 10 (4), 369–376. <https://doi.org/10.2174/1573403x10666140604120753>
17. Kang S.J., Ahn J.M., Kim W.J. et al. Intravascular ultrasound assessment of drug-eluting stent coverage of the coronary ostium and effect on outcomes. *Am. J. Cardiol.* 2013, 111 (10), 1401–1407. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.01.291>
18. Okabe T., Mintz G.S., Buch A.N. et al. Intravascular ultrasound parameters associated with stent thrombosis after drug-eluting stent deployment. *Am. J. Cardiol.* 2007, 100 (4), 615–620. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.03.07>
19. Schiele F., Meneveau N., Vuilleminot A. et al. Impact of intravascular ultrasound guidance in stent deployment on 6-month restenosis rate: a multicenter, randomized study comparing two strategies--with and without intravascular ultrasound guidance. RESIST Study Group. REStenosis after Ivus guided STenting. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1998, 32 (2), 320–328. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(98\)00249-6](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(98)00249-6)
20. Mudra H., di Mario C., de Jaegere P. et al.; OPTICUS (OPTimization with ICUS to reduce stent restenosis) Study Investigators. Randomized comparison of coronary stent implantation under ultrasound or angiographic guidance to reduce stent restenosis (OPTICUS Study). *Circulation.* 2001, 104 (12), 1343–1349. <https://doi.org/10.1161/hc3701.096064>
21. Parise H., Maehara A., Stone G.W. et al. Meta-analysis of randomized studies comparing intravascular ultrasound versus angiographic guidance of percutaneous coronary intervention in pre-drug-eluting stent era. *Am. J. Cardiol.* 2011, 107 (3), 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2010.09.030>
22. Hong S.J., Kim B.K., Shin D.H. et al.; IVUS-XPL Investigators. Effect of Intravascular Ultrasound-Guided vs Angiography-Guided Everolimus-Eluting Stent Implantation: The IVUS-XPL Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2015, 314 (20), 2155–2163. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.15454>
23. Zhang J., Gao X., Kan J. et al. Intravascular Ultrasound Versus Angiography-Guided Drug-Eluting Stent Implantation: The ULTIMATE Trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018, 72 (24), 3126–3137. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.09.013>
24. Witzensbichler B., Maehara A., Weisz G. et al. Relationship between intravascular ultrasound guidance and clinical outcomes after drug-eluting stents: the assessment of dual antiplatelet therapy with drug-eluting stents (ADAPT-DES) study. *Circulation.* 2014, 129 (4), 463–470. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003942>
25. Tian N.L., Gami S.K., Ye F. et al. Angiographic and clinical comparisons of intravascular ultrasound-versus angiography-guided drug-eluting stent implantation for patients with chronic total occlusion lesions: two-year results from a

- randomised AIR-CTO study. *EuroIntervention*. 2015, 10 (12), 1409–1417. <https://doi.org/10.4244/EIJV10I12A245>
26. Kim B.K., Shin D.H., Hong M.K. et al.; CTO-IVUS Study Investigators. Clinical Impact of Intravascular Ultrasound-Guided Chronic Total Occlusion Intervention With Zotarolimus-Eluting Versus Biolimus-Eluting Stent Implantation: Randomized Study. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2015, 8 (7), e002592. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.002592>
27. de la Torre Hernandez J.M., Baz Alonso J.A., Gómez Hospital J.A. et al.; IVUS-TRONCO-ICP Spanish study. Clinical impact of intravascular ultrasound guidance in drug-eluting stent implantation for unprotected left main coronary disease: pooled analysis at the patient-level of 4 registries. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014, 7 (3), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.09.014>
28. Kim J.S., Kang T.S., Mintz G.S. et al. Randomized comparison of clinical outcomes between intravascular ultrasound and angiography-guided drug-eluting stent implantation for long coronary artery stenoses. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2013, 6 (4), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2012.11.009>
29. Meneveau N., Souteyrand G., Motreff P. et al. Optical Coherence Tomography to Optimize Results of Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Non-ST-Elevation Acute Coronary Syndrome: Results of the Multicenter, Randomized DOCTORS Study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stenting). *Circulation*. 2016, 134 (13), 906–917. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393>
30. Antonsen L., Thayssen P., Maehara A. et al. Optical Coherence Tomography Guided Percutaneous Coronary Intervention With Nobori Stent Implantation in Patients With Non-ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction (OCTACS) Trial: Difference in Strut Coverage and Dynamic Malapposition Patterns at 6 Months. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2015, 8 (8), e002446. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.002446>
31. Cortese B., de la Torre Hernandez J.M., Lanocha M. et al. Optical coherence tomography, intravascular ultrasound or angiography guidance for distal left main coronary stenting. The ROCK cohort II study. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2022, 99 (3), 664–673. <https://doi.org/10.1002/ccd.29959>
32. Lee J.M., Choi K.H., Song Y.B. et al.; RENOVATE-COMPLEX-PCI investigators. Intravascular Imaging-Guided or Angiography-Guided Complex PCI. *N. Engl. J. Med.* 2023, 388 (18), 1668–1679. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2216607>
33. Yamamoto K., Shiomi H., Morimoto T. et al.; OPTIVUS-Complex PCI Investigators. Optimal Intravascular Ultrasound-Guided Percutaneous Coronary Intervention in Patients With Multivessel Disease. *JACC Asia*. 2023, 3 (2), 211–225. <https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2022.12.009>
34. Jang J.S., Song Y.J., Kang W. et al. Intravascular ultrasound-guided implantation of drug-eluting stents to improve outcome: a meta-analysis. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014, 7 (3), 233–343. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.09.013>
35. Buccheri S., Franchina G., Romano S. et al. Clinical Outcomes Following Intravascular Imaging-Guided Versus Coronary Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention With Stent Implantation: A Systematic Review and Bayesian Network Meta-Analysis of 31 Studies and 17,882 Patients. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2017, 10 (24), 2488–2498. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.08.051>
36. Zhang Y., Farooq V., Garcia-Garcia H.M. et al. Comparison of intravascular ultrasound versus angiography-guided drug-eluting stent implantation: a meta-analysis of one randomised trial and ten observational studies involving 19,619 patients. *EuroIntervention*. 2012, 8 (7), 855–865. <https://doi.org/10.4244/EIJV8I7A129>
37. Darmoch F., Alraies M.C., Al-Khadra Y. et al. Intravascular Ultrasound Imaging-Guided Versus Coronary Angiography-Guided Percutaneous Coronary Intervention: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Am. Heart. Assoc.* 2020, 9 (5), e013678. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013678>
38. Wang Y., Mintz G.S., Gu Z. et al. Meta-analysis and systematic review of intravascular ultrasound versus angiography-guided drug eluting stent implantation in left main coronary disease in 4592 patients. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2018, 18 (1), 115. <https://doi.org/10.1186/s12872-018-0843-z>
39. Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S. et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2022, 79 (2), 197–215. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.09.005>
40. Nakamura M., Yaku H., Ako J. et al.; Japanese Circulation Society Joint Working Group. JCS/JSCVS 2018 Guideline on Revascularization of Stable Coronary Artery Disease. *Circ. J.* 2022, 86 (3), 477–588. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-20-1282>
41. Meneveau N., Souteyrand G., Motreff P. et al. Optical Coherence Tomography to Optimize Results of Percutaneous Coronary Intervention in Patients with Non-ST-Elevation Acute Coronary Syndrome: Results of the Multicenter, Randomized DOCTORS Study (Does Optical Coherence Tomography Optimize Results of Stenting). *Circulation*. 2016, 134 (13), 906–917. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024393>
42. Antonsen L., Thayssen P., Maehara A. et al. Optical Coherence Tomography Guided Percutaneous Coronary Intervention With Nobori Stent Implantation in Patients With Non-ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction (OCTACS) Trial: Difference in Strut Coverage and Dynamic Malapposition Patterns at 6 Months. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2015, 8 (8), e002446. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.002446>
43. Lee S.Y., Kim J.S., Yoon H.J. et al. Early Strut Coverage in Patients Receiving Drug-Eluting Stents and its Implications for Dual Antiplatelet Therapy: A Randomized Trial. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018, 11 (12), 1810–1819. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.12.014>
44. Shinke T. Impact of Underlying causes of Acute Coronary Syndrome on 1-Year Outcomes after Percutaneous Coronary Interventions: Results from OCT guided Primary PCI-Registry- TACTICS Registry. *TCT 2022*, September 16-19, 2022. <https://www.tctmd.com/slide/impact-underlying-causes-acute-coronary-syndrome-and-1-year-outcomes-after-percutaneous>
45. Ali Z.A., Maehara A., G  n  reux P. et al. ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI Investigators. Optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and with angiography

- to guide coronary stent implantation (ILUMIEN III: OPTIMIZE PCI): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016, 388 (10060), 2618–2628. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31922-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31922-5)
46. Ali Z., Landmesser U., Karimi Galougahi K. et al. Optical coherence tomography-guided coronary stent implantation compared to angiography: a multicentre randomised trial in PCI – design and rationale of ILUMIEN IV: OPTIMAL PCI. *EuroIntervention*. 2021, 16 (13), 1092–1099. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-20-00501>
 47. Suwannasom P., Chichareon P., Roongsangmanoon W. et al. Impact of the adjunctive use criteria for intravascular ultrasound-guided percutaneous coronary intervention and clinical outcomes. *Sci. Rep.* 2023, 13 (1), 711. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27250-3>
 48. Terashima M., Kaneda H. Be Open-Minded- Recognize an Invisible Gorilla and Let Go of Linus' Security Blanket. *Circ. J.* 2023. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-23-0245>
 49. Lawton J.S., Tamis-Holland J.E., Bangalore S. et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022, 145 (3), e18–e114. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001063>
 50. Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A. et al. ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2019, 40 (2), 87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>
 51. Kohsaka S., Miyata H., Ueda I. et al.; JCD-KiCS and NCDR. An international comparison of patients undergoing percutaneous coronary intervention: A collaborative study of the National Cardiovascular Data Registry (NCDR) and Japan Cardiovascular Database-Keio interhospital Cardiovascular Studies (JCD-KiCS). *Am. Heart J.* 2015, 170 (6), 1077–1085. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2015.09.017>
 52. Kubo T., Imanishi T., Takarada S. et al. Assessment of culprit lesion morphology in acute myocardial infarction: ability of optical coherence tomography compared with intravascular ultrasound and coronary angiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2007, 50 (10), 933–939. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.04.082>
 53. Babunashvili A., Pancholy S., Babunashvili T., Prokhorov A. Thrombus aspiration without stenting in a patient with anterior STEMI: Regression and healing of an unstable plaque assessed by OCT at 24 months of follow-up. *Clin. Case Rep.* 2021, 9 (8), e04549. <https://doi.org/10.1002/ccr3.4549>
 54. Abizaid A.S., Mintz G.S., Mehran R. et al. Long-term follow-up after percutaneous transluminal coronary angioplasty was not performed based on intravascular ultrasound findings: importance of lumen dimensions. *Circulation*. 1999, 100 (3), 256–261. <https://doi.org/10.1161/01.cir.100.3.256>
 55. Jia H., Dai J., He L. et al. EROSION III: A Multicenter RCT of OCT-Guided Reperfusion in STEMI With Early Infarct Artery Patency. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2022, 15 (8), 846–856. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2022.01.298>
 56. Shinke T. on behalf of TACTICS Investigators. Impact of underlying causes of acute coronary syndrome on 1-year outcomes after percutaneous coronary interventions: Results from OCT guided primary PCI Registry – TACTICS Registry. CRF TCT 2022, Boston Convention and Exhibition Center, Boston, MA, 16-19 September, 2022. <https://www.tctmd.com/slide/impact-underlying-causes-acute-coronary-syndrome-and-1-year-outcomes-after-percutaneous>
 57. Partida R.A., Libby P., Crea F., Jang I.K. Plaque erosion: a new in vivo diagnosis and a potential major shift in the management of patients with acute coronary syndromes. *Eur. Heart J.* 2018, 39 (22), 2070–2076. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx786>
 58. Johnson T.W., Räber L., di Mario C. et al. Clinical use of intracoronary imaging. Part 2: acute coronary syndromes, ambiguous coronary angiography findings, and guiding interventional decision-making: an expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *Eur. Heart J.* 2019, 40 (31), 2566–2584. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz332>
 59. Guddeti R.R., Matsuo Y., Matsuzawa Y. et al. Clinical implications of intracoronary imaging in cardiac allograft vasculopathy. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2015, 8 (1), e002636. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.114.002636>
 60. Maehara A., Mintz G.S., Ahmed J.M. et al. An intravascular ultrasound classification of angiographic coronary artery aneurysms. *Am. J. Cardiol.* 2001, 88 (4), 365–370. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(01\)01680-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(01)01680-0)
 61. Adlam D., Alfonso F., Maas A., Vrints C.; Writing Committee. European Society of Cardiology, acute cardiovascular care association, SCAD study group: a position paper on spontaneous coronary artery dissection. *Eur. Heart J.* 2018, 39 (36), 3353–3368. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy080>
 62. Mintz G.S. Intravascular imaging of coronary calcification and its clinical implications. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015, 8 (4), 461–471. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.02.003>
 63. Kubo T., Shimamura K., Ino Y. et al. Superficial Calcium Fracture After PCI as Assessed by OCT. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015, 8 (10), 1228–1229. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.11.012>
 64. Shah M., Najam O., Bhindi R., De Silva K. Calcium Modification Techniques in Complex Percutaneous Coronary Intervention. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2021, 14 (5), e009870. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.009870>
 65. Prati F., Kodama T., Romagnoli E. et al. Suboptimal stent deployment is associated with subacute stent thrombosis: optical coherence tomography insights from a multicenter matched study. From the CLI Foundation investigators: the CLI-THRO study. *Am. Heart J.* 2015, 169 (2), 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.11.012>
 66. Zhang M., Matsumura M., Usui E. et al. Intravascular Ultrasound-Derived Calcium Score to Predict Stent Expansion in Severely Calcified Lesions. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2021, 14 (10), e010296. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.010296>
 67. Fujino A., Mintz G.S., Matsumura M. et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *EuroIntervention*. 2018, 13 (18), e2182–e2189. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00962>
 68. Kubo T., Akasaka T., Shite J. et al. OCT compared with IVUS in a coronary lesion assessment: the OPUS-CLASS study. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2013, 6 (10), 1095–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2013.04.014>

69. Räber L., Mintz G.S., Koskinas K.C. et al.; ESC Scientific Document Group. Clinical use of intracoronary imaging. Part 1: guidance and optimization of coronary interventions. An expert consensus document of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. *Eur. Heart J.* 2018, 39 (35), 3281–3300. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy285>
70. Otake H., Kubo T., Takahashi H. et al.; OPINION Investigators. Optical Frequency Domain Imaging Versus Intravascular Ultrasound in Percutaneous Coronary Intervention (OPINION Trial): Results From the OPINION Imaging Study. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018, 11 (1), 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.06.021>
71. Hong Y.J., Jeong M.H., Choi Y.H. et al. Impact of tissue prolapse after stent implantation on short- and long-term clinical outcomes in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound analysis. *Int. J. Cardiol.* 2013, 166 (3), 646–651. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2011.11.092>
72. Kyodo A., Soeda T., Okamura A. et al. Clinical Impact of Irregular Protrusion Angle After Coronary Stenting at Culprit Lesions With ST-Elevation Myocardial Infarction – An Intravascular Optical Coherence Tomography Study. *Circ. Rep.* 2021, 3 (8), 431–439. <https://doi.org/10.1253/circrep.CR-21-0071>
73. Hong Y.J., Jeong M.H., Ahn Y. et al. Plaque prolapse after stent implantation in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound analysis. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2008, 1 (4), 489–497. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2008.04.004>
74. Qiu F., Mintz G.S., Witzensbichler B. et al. Prevalence and Clinical Impact of Tissue Protrusion After Stent Implantation: An ADAPT-DES Intravascular Ultrasound Substudy. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2016, 9 (14), 1499–1507. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.05.043>
75. Cheneau E., Leborgne L., Mintz G.S. et al. Predictors of subacute stent thrombosis: results of a systematic intravascular ultrasound study. *Circulation.* 2003, 108 (1), 43–47. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000078636.71728.40>
76. Croce K.J. MLD-MAX: What does it mean? How should it be used? CRF TCT 2022, Boston Convention and Exhibition Center, Boston, MA, 16-19 September, 2022. <https://www.tctmd.com/slide/keynote-lecture-mld-max-what-does-it-mean-and-how-should-it-be-used>
77. Sakurai R., Ako J., Morino Y. et al.; SIRIUS Trial Investigators. Predictors of edge stenosis after sirolimus-eluting stent deployment (a quantitative intravascular ultrasound analysis from the SIRIUS trial). *Am. J. Cardiol.* 2005, 96 (9), 1251–1253. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.06.066>
78. Kang S.J., Cho Y.R., Park G.M. et al. Intravascular ultrasound predictors for edge restenosis after newer generation drug-eluting stent implantation. *Am. J. Cardiol.* 2013, 111 (10), 1408–1414. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.01.288>
79. Kini A.S., Motoyama S., Vengrenyuk Y. et al. Multimodality Intravascular Imaging to Predict Periprocedural Myocardial Infarction During Percutaneous Coronary Intervention. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2015, 8 (7), 937–945. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2015.03.016>
80. Prasad M., Cassar A., Fetterly K.A. et al. Co-registration of angiography and intravascular ultrasound images through image-based device tracking. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2016, 88 (7), 1077–1082. <https://doi.org/10.1002/ccd.26340>
81. Mariani J. Jr, Guedes C., Soares P. et al. Intravascular ultrasound guidance to minimize the use of iodine contrast in percutaneous coronary intervention: the MOZART (Minimizing cOntrast utiliZation With IVUS Guidance in coRonary angioplasTy) randomized controlled trial. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014, 7 (11), 1287–1293. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.05.024>
82. Ali Z.A., Karimi Galougahi K., Nazif T. et al. Imaging- and physiology-guided percutaneous coronary intervention without contrast administration in advanced renal failure: a feasibility, safety, and outcome study. *Eur. Heart J.* 2016, 37 (40), 3090–3095. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw078>
83. Onuma Y., Katagiri Y., Burzotta F. et al. Joint consensus on the use of OCT in coronary bifurcation lesions by the European and Japanese bifurcation clubs. *EuroIntervention.* 2019, 14 (15), e1568–e1577. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-18-00391>
84. Toth G.G., Achim A., Kafka M. et al. Bench test and in vivo evaluation of longitudinal stent deformation during proximal optimisation. *EuroIntervention.* 2022, 18 (1), 83–90. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-21-00824>
85. de la Torre Hernandez J.M., Garcia Camarero T., Baz Alonso J.A. et al. Outcomes of predefined optimisation criteria for intravascular ultrasound guidance of left main stenting. *EuroIntervention.* 2020, 16 (3), 210–217. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-01057>
86. Kang S.J., Mintz G.S., Oh J.H. et al. Intravascular ultrasound assessment of distal left main bifurcation disease: the importance of the polygon of confluence of the left main, left anterior descending, and left circumflex arteries. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2013, 82 (5), 737–745. <https://doi.org/10.1002/ccd.23263>
87. Kang S.J., Ahn J.M., Song H. et al. Comprehensive intravascular ultrasound assessment of stent area and its impact on restenosis and adverse cardiac events in 403 patients with unprotected left main disease. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2011, 4 (6), 562–569. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.111.964643>
88. Maehara A., Mintz G., Serruys P., Stone G. Impact of final minimal stent area by IVUS on 3-year outcome after PCI of left main coronary artery disease: The EXCEL trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017, 69 (suppl. 11), p. 963. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(17\)34352-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(17)34352-8)
89. Galassi A.R., Sumitsuji S., Boukhris M. et al. Utility of Intravascular Ultrasound in Percutaneous Revascularization of Chronic Total Occlusions: An Overview. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2016, 9 (19), 1979–1991. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.06.057>
90. Karacsonyi J., Alaswad K., Jaffer F.A. et al. Use of Intravascular Imaging During Chronic Total Occlusion Percutaneous Coronary Intervention: Insights From a Contemporary Multicenter Registry. *J. Am. Heart Assoc.* 2016, 5 (8), e003890. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003890>
91. Elias A. Sanidas. IVUS in CTO lesions: “rolling into deep”. *JACC Case Rep.* 2020, 2 (6), 966–967. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2020.04.042>
92. Dash D., Li L. Intravascular Ultrasound Guided Percutaneous Coronary Intervention for Chronic Total Occlusion. *Curr. Cardiol. Rev.* 2015, 11 (4), 323–317. <https://doi.org/10.2174/1573403X11666150909105827>

93. Kalogeropoulos A.S., Alsanjari O., Davies J.R. et al. Impact of Intravascular Ultrasound on Chronic Total Occlusion Percutaneous Revascularization. *Cardiovasc. Revasc. Med.* 2021, 33, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2021.01.008>
94. Song H.G., Kang S.J., Ahn J.M. et al. Intravascular ultrasound assessment of optimal stent area to prevent in-stent restenosis after zotarolimus-, everolimus-, and sirolimus-eluting stent implantation. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2014, 83 (6), 873–878. <https://doi.org/10.1002/ccd.24560>
95. de Jaegere P., Mudra H., Figulla H. et al. Intravascular ultrasound-guided optimized stent deployment. Immediate and 6 months clinical and angiographic results from the Multicenter Ultrasound Stenting in Coronaries Study (MUSIC Study). *Eur. Heart J.* 1998, 19 (8), 1214–1223. <https://doi.org/10.1053/eurhj.1998.1012>
96. Fujii K., Carlier S.G., Mintz G.S. et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005, 45 (7), 995–998. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.12.066>
97. Hong M.K., Mintz G.S., Lee C.W. et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis after sirolimus-eluting stent implantation. *Eur. Heart J.* 2006, 27 (11), 1305–1310. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi882>
98. Radu M.D., Räber L., Heo J. et al. Natural history of optical coherence tomography-detected non-flow-limiting edge dissections following drug-eluting stent implantation. *EuroIntervention.* 2014, 9 (9), 1085–1094. <https://doi.org/10.4244/EIJV9I9A183>
99. Kobayashi N., Mintz G.S., Witzensbichler B. et al. Prevalence, Features, and Prognostic Importance of Edge Dissection After Drug-Eluting Stent Implantation: An ADAPT-DES Intravascular Ultrasound Substudy. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2016, 9 (7), e003553. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.003553>
100. Ali Z.A., Karimi Galougahi K., Shlofmitz R.A., Mintz G.S. The “Oculo-Appositional Reflex”: Should Optical Coherence Tomography-Detected Stent Malapposition Be Corrected? *J. Am. Heart Assoc.* 2019, 8 (7), e012262. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012262>
101. Im E., Hong S.J., Ahn C.M. et al. Long-Term Clinical Outcomes of Late Stent Malapposition Detected by Optical Coherence Tomography After Drug-Eluting Stent Implantation. *J. Am. Heart Assoc.* 2019, 8 (7), e011817. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011817>
102. Romagnoli E., Gatto L., La Manna A. et al. Role of residual acute stent malapposition in percutaneous coronary interventions. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2017, 90 (4), 566–575. <https://doi.org/10.1002/ccd.26974>
103. Im E., Kim B.K., Ko Y.G. et al. Incidences, predictors, and clinical outcomes of acute and late stent malapposition detected by optical coherence tomography after drug-eluting stent implantation. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2014, 7 (1), 88–96. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.113.000797>
104. Lassen J.F., Burzotta F., Banning A.P. et al. Percutaneous coronary intervention for the left main stem and other bifurcation lesions: 12th consensus document from the European Bifurcation Club. *EuroIntervention.* 2018, 13 (13), 1540–1553. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00622>
105. Murasato Y., Iwasaki K., Yamamoto T. et al. Optimal kissing balloon inflation after single-stent deployment in a coronary bifurcation model. *EuroIntervention.* 2014, 10 (8), 934–941. <https://doi.org/10.4244/EIJV10I8A160>
106. Foin N., Torii R., Alegria E. et al. Location of side branch access critically affects results in bifurcation stenting: Insights from bench modeling and computational flow simulation. *Int. J. Cardiol.* 2013, 168 (4), 3623–3628. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.05.036>
107. Okamura T., Onuma Y., Yamada J. et al. 3D optical coherence tomography: new insights into the process of optimal rewiring of side branches during bifurcational stenting. *EuroIntervention.* 2014, 10 (8), 907–915. <https://doi.org/10.4244/EIJV10I8A157>
108. Rhee T.M., Park K.W., Lee J.M. et al. Predictors and Long-Term Clinical Outcome of Longitudinal Stent Deformation: Insights From Pooled Analysis of Korean Multicenter Drug-Eluting Stent Cohort. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2017, 10 (11), e005518. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.117.005518>
109. Bourantas C.V., Tenekecioglu E., Radu M. et al. State of the art: role of intravascular imaging in the evolution of percutaneous coronary intervention – a 30-year review. *EuroIntervention.* 2017, 13 (6), 644–653. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00471>
110. Garcia-Garcia H.M., Serruys P.W., Campos C.M. et al. Assessing bioresorbable coronary devices: methods and parameters. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2014, 7 (11), 1130–1148. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.06.018>
111. Levine G.N., Bates E.R., Blankenship J.C. et al.; American College of Cardiology Foundation. American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. 2011 ACCF/AHA/SCAI guideline for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2013, 82 (4), E266–E355. <https://doi.org/10.1002/ccd.23390>
112. Hausmann D., Erbel R., Alibelli-Chemarin M.J. et al. The safety of intracoronary ultrasound. A multicenter survey of 2207 examinations. *Circulation.* 1995, 91 (3), 623–630. <https://doi.org/10.1161/01.cir.91.3.623>
113. van der Sijde J.N., Karanasos A., van Ditzhuijzen N.S. et al. Safety of optical coherence tomography in daily practice: a comparison with intravascular ultrasound. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017, 18 (4), 467–474. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jew037>
114. Kuno T., Numasawa Y., Sawano M. et al. Real-world use of intravascular ultrasound in Japan: a report from contemporary multicenter PCI registry. *Heart Vessels.* 2019, 34 (11), 1728–1739. <https://doi.org/10.1007/s00380-019-01427-9>
115. King S.B. 3rd, Babb J.D., Bates E.R. et al. COCATS 4 Task Force 10: Training in Cardiac Catheterization. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015, 65 (17), 1844–1853. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.03.026>
116. ACGME Program Requirements for Graduate Medical Education in Interventional Cardiology. https://www.acgme.org/globalassets/pfassets/programrequirements/152_interventionalcardiology_2020.pdf

117. Flattery E., Rahim H.M., Petrossian G. et al. Competency-Based Assessment of Interventional Cardiology Fellows' Abilities in Intracoronary Physiology and Imaging. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2020, 13 (2), e008760. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008760>
118. Wegermann Z., Young R., Amin A. Utilization rates and in-hospital outcomes associated with intravascular imaging-guided PCI in the USA: an analysis of the NCDR Cath PCI Registry. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021, 78 (Suppl. 19), B69–B70. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.09.1020>
119. Koskinas K.C., Nakamura M., Räber L. et al. Current use of intracoronary imaging in interventional practice – Results of a European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) and Japanese Association of Cardiovascular Interventions and Therapeutics (CVIT) Clinical Practice Survey. *EuroIntervention.* 2018, 14 (4), e475–e484. https://doi.org/10.4244/EIJY18M03_01
120. Ahn J., Ariyaratne T.V., Peacock A. et al. Cost effectiveness of intravascular ultrasound (IVUS) during drug-eluting stent implantation in Korea. *Cardiovasc. Dis.* – *Economic Evaluation.* 2020, 22 (Suppl.), S27–S28. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2020.07.029>
121. Mueller C., Hodgson J.M., Schindler C. et al. Cost-effectiveness of intracoronary ultrasound for percutaneous coronary interventions. *Am. J. Cardiol.* 2003, 91 (2), 143–147. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(02\)03099-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(02)03099-0)
122. Gaster A.L., Slothuus U., Larsen J. et al. Cost-effectiveness analysis of intravascular ultrasound guided percutaneous coronary intervention versus conventional percutaneous coronary intervention. *Scand. Cardiovasc. J.* 2001, 35 (2), 80–85. <https://doi.org/10.1080/140174301750164673>
123. Berry E., Kelly S., Hutton J. et al. Intravascular ultrasound-guided interventions in coronary artery disease: a systematic literature review, with decision-analytic modelling, of outcomes and cost-effectiveness. *Health Technol. Assess.* 2000, 4 (35), 1–117.
124. Zhou J., Liew D., Duffy S.J. et al. Intravascular Ultrasound Versus Angiography-Guided Drug-Eluting Stent Implantation: A Health Economic Analysis. *Circ. Cardiovasc. Qual. Outcomes.* 2021, 14 (5), e006789. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.120.006789>

Сведения об авторах [Authors info]

Бабунашвили Автандил Михайлович – председатель РНОИК, доктор мед. наук, профессор, заведующий отделом сердечно-сосудистой хирургии Центра эндохирургии и литотрипсии, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2269-7059>. E-mail: avtandil_babunashvili@gmail.com

Азаров Алексей Викторович – канд. мед. наук, руководитель отдела эндоваскулярного лечения сердечно-сосудистых заболеваний и нарушения ритма, ведущий научный сотрудник ГБУЗ МО “МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского”; доцент кафедры интервенционной кардиоангиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5572-8571>. E-mail: azarov_al@mail.ru

Ардеев Владимир Николаевич – заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ ЛО “Всеволожская клиническая межрайонная больница”, Ленинградская обл. <https://orcid.org/0000-0003-2723-0511>. E-mail: vladimirardeev@mail.ru

Асатов Джамиль Арифович – канд. мед. наук, доцент кафедры интервенционной кардиоангиологии, врач рентгенохирургических методов диагностики, НПЦ интервенционной кардиоангиологии ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8635-0893>. E-mail: asatov_djamil@mail.ru

Болотов Павел Анатольевич – доктор мед. наук, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению ГБУЗ города Москвы “Городская клиническая больница им. В.В. Вересаева ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9896-2483>. E-mail: dr.bolotov@mail.ru

Волков Сергей Владимирович – канд. мед. наук, врач высшей категории, Главный специалист по направлению “рентген-эндоваскулярная хирургия”, руководитель центра, врач-сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению МЕДСИ в Отрадном; доцент кафедры сердечно-сосудистой хирургии ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3132-9143>. E-mail: volkov.sv@medsigroup.ru

Глазырин Егор Антонович – врач отделения рентгенохирургических методов лечения ГБУЗ “Челябинская областная клиническая больница”, Челябинск. <https://orcid.org/0000-0002-7514-3773>. E-mail: egorglazyrin@icloud.com

Громов Дмитрий Геннадьевич – доктор мед. наук, заведующий кафедрой рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения ФДПО ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России; заведующий отделением по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению регионального сосудистого центра ГБУЗ “ГКБ им. Ф.И. Иноземцева ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7500-4987>. E-mail: gromovdg@list.ru

Демин Виктор Владимирович – доктор мед. наук, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ “Оренбургская областная клиническая больница им. В.И. Войнова”; профессор кафедры клинической медицины ФГБОУ ВО “Оренбургский государственный медицинский университет” Минздрава России (кафедра ИПО), Оренбург. <https://orcid.org/0000-0002-4541-8078>. E-mail: angiorendv@mail.ru

Зауралов Олег Евгеньевич – канд. мед. наук, врач отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ ЛО “Всеволожская клиническая межрайонная больница”, Ленинградская обл. <https://orcid.org/0000-0001-8898-9965>. E-mail: zauralov@list.ru

Иоселиани Давид Георгиевич – академик РАН, профессор, доктор мед. наук, заведующий кафедрой интервенционной кардиоангиологии ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6425-7428>. E-mail: davidgi@mail.ru

Каракулов Олег Геннадьевич – врач сердечно-сосудистой хирург первой категории, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению высшей категории, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ Пермского края “Городская клиническая больница №4”, Пермь. <https://orcid.org/0000-0003-3526-7955>. E-mail: karakulovoleg@mail.ru

Кислухин Темур Владимирович – заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГБУЗ “Самарский областной клинический кардиологический диспансер им. В.П. Полякова”, Самара. <https://orcid.org/0000-0003-2107-7499>. E-mail: timcardio@gmail.com

Козлов Сергей Владимирович – заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения Медицинского объединения “Новая больница”, Екатеринбург. <https://orcid.org/0009-0007-1646-9099>. E-mail: serg_nt@inbox.ru

Коков Леонид Сергеевич – академик РАН, доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела неотложной кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии ГБУЗ города Москвы “Научноисследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ города Москвы”; заведующий кафедрой рентгенэндоваскулярной и сосудистой хирургии ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>. E-mail: LSKokov@mail.ru

Коротких Александр Владимирович – врач сердечно-сосудистой хирург первой категории, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению высшей категории, главный врач клиники кардиохирургии ФГБОУ ВО “Амурская государственная медицинская академия” Минздрава России, Благовещенск. <https://orcid.org/0000-0002-9709-1097>. E-mail: ssemioo@rambler.ru

Кретов Евгений Иванович – доктор мед. наук, главный внештатный специалист рентгенэндоваскулярной диагностики и лечения Минздрава Новосибирской области; врач рентгенэндоваскулярной диагностики и лечения РСЦ “Центральная клиническая больница” Минздрава Новосибирской области, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-7109-9074>. E-mail: sibvolna2005@yandex.ru

Матчин Юрий Георгиевич – доктор мед. наук, заведующий 2-м отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ “НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-0200-852X>. E-mail: matchin@hotmail.ru

Осиев Александр Григорьевич – доктор мед. наук, заведующий отделением, врач по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению Клинико-диагностического центра МЕДСИ на Красной Пресне, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5263-0387>. E-mail: osiev_ag@mail.ru

Самко Анатолий Николаевич – доктор мед. наук, профессор, руководитель отдела рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ “НМИЦ кардиологии им. академика Е.И. Чазова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1628-5851>. E-mail: samkoan@mail.ru

Семитко Сергей Петрович – доктор мед. наук, профессор, директор НПЦ интервенционной кардиоангиологии ФГАОУ ВО “Первый МГМУ имени И.М. Сеченова” Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1268-5145>. E-mail: semitko@mail.ru

Созыкин Алексей Викторович – доктор мед. наук, профессор кафедры кардиологии ФДПО ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; заведующий отделением РХМДиЛ НКЦ №2 ФГБУ РНЦХ им. Б.В. Петровского Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2570-5758>. E-mail: sozykine@mail.ru

Шахов Борис Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате ФГБОУ ВПО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России; заведующий кафедрой рентгенэндоваскулярной диагностики и лечения ФДПО ФГБОУ ВО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0003-2565-1419>. E-mail: shahovbe@yandex.ru

Шахов Евгений Борисович – доктор мед. наук, доцент кафедры рентгенэндоваскулярной диагностики и лечения ФДПО ФГБОУ ВО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-9088-0192>. E-mail: es-ngma@yandex.ru

Шарабрин Евгений Георгиевич – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики ФДПО ФГБОУ ВО “Приволжский исследовательский медицинский университет” Минздрава России, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-5326-7233>. E-mail: sharabrin@mail.ru

Шугушев Заур Хасанович – доктор мед. наук, профессор, главный кардиолог Центральной дирекции здравоохранения – филиала ОАО “РЖД” руководитель Центра сердечно-сосудистой патологии, заведующий отделением, врач-хирург; заведующий кафедрой сердечно-сосудистой хирургии ФПКМР Медицинского института ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9217-6569>. E-mail: Zaur937@mail.ru

Шукуров Баходур Максудович – доктор мед. наук, профессор кафедры кардиологии, сердечно-сосудистой и торакальной хирургии Института непрерывного медицинского и фармакологического образования ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России; специалист по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению отделения лучевой диагностики Клиники №1 ВолГМУ, Волгоград. <https://orcid.org/0009-004-7556-7295>. E-mail: dbeb@inbox.ru

* **Адрес для переписки:** Бабунашвили Автандил Михайлович – e-mail: avtandil_babunashvili@gmail.com

- Avtandil M. Babunashvili** – President of RSICA, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Center for Endosurgery and Lithotripsy, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2269-7059>. E-mail: avtandil_babunashvili@gmail.com
- Alexey V. Azarov** – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Department of endovascular management of cardiovascular diseases and heart rhythm disturbances, leading researcher, M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI); Assistant Professor of the chair of interventional cardiology I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Scientific and Practical Center of Interventional Cardioangiography, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5572-8571>. E-mail: azarov_al@mail.ru
- Vladimir N. Ardeev** – Head of the Department of endovascular methods of diagnosis and treatment, Vsevolozhsk Clinical Interdistrict Hospital, Leningrad region. <https://orcid.org/0000-0003-2723-0511>. E-mail: vladimirardeev@mail.ru
- Dzhamil A. Asadov** – Cand. of Sci. (Med.), Assistant Professor of the chair of interventional cardiology, physician-specialist on endovascular diagnostic methods, Scientific and Practical Center of Interventional Cardioangiography, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Scientific and Practical Center of Interventional Cardioangiography, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8635-0893>. E-mail: asadov_djamil@mail.ru
- Pavel A. Bolotov** – Doct. of Sci. (Med.), physician-specialist on endovascular diagnosis and treatment и лечению V.V. Veresaev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-9896-2483>. E-mail: dr.bolotov@mail.ru
- Sergey V. Volkov** – Cand. of Sci. (Med.), High-Level certificate physician, Head specialist on Endovascular surgery, Head of the Center, cardiovascular surgeon, Head of the department, physician-specialist on endovascular diagnosis and treatment, Clinical Diagnostic Center MEDSI Group "Otradnoye"; Assistant Professor of the chair of cardiovascular surgery of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3132-9143>. E-mail: volkov.sv@medsigroup.ru
- Egor A. Glazyrin** – physician of the Department of endovascular methods of diagnosis and treatment Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk. <https://orcid.org/0000-0002-7514-3773>. E-mail: egorglazyrin@icloud.com
- Dmitry G. Gromov** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Chair of endovascular methods of diagnosis and treatment of the Faculty of additional professional education of Pirogov Russian National Research Medical University; Head of the Department of endovascular diagnosis and treatment of the Regional vascular center, F.I. Inozemtsev City Clinical Hospital of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7500-4987>. E-mail: gromovdg@list.ru
- Victor V. Demin** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of endovascular diagnosis and treatment V.I. Voinov Orenburg Regional Clinical Hospital, Orenburg; Professor of the Chair of clinical medicine Orenburg State Medical University, Department of Clinical Medicine, Orenburg. <https://orcid.org/0000-0002-4541-8078>. E-mail: angiorenvd@mail.ru
- Oleg E. Zauralov** – Cand. of Sci. (Med.), Physician of the Department of endovascular diagnosis and treatment Vsevolozhsk Clinical Interdistrict Hospital", Leningrad region. <https://orcid.org/0000-0001-8898-9965>. E-mail: zauralov@list.ru
- David G. Ioseliani** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Interventional Cardioangiography, Honorary Director of the Scientific and Practical Center for Interventional Cardioangiography, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6425-7428>. E-mail: davidgi@mail.ru
- Oleg G. Karakulov** – First category physician, cardiovascular surgeon, Highest category specialist on endovascular diagnosis and treatment, Head of the Department of endovascular diagnosis and treatment, City Clinical Hospital No. 4, Perm. <https://orcid.org/0000-0003-3526-7955>. E-mail: karakulovoleg@mail.ru
- Temur V. Kislukhin** – Head of the Department of endovascular methods of diagnosis and treatment, V.P. Polyakov Samara Regional Clinical Cardiology Dispensary, Samara. <https://orcid.org/0000-0003-2107-7499>. E-mail: timcardio@gmail.com
- Sergey V. Kozlov** – Head of the Department of endovascular diagnosis and treatment, Medical Association "New Hospital", Yekaterinburg. <https://orcid.org/0009-0007-1646-9099>. E-mail: serg_nt@inbox.ru
- Leonid S. Kokov** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of emergency cardiology and cardiovascular surgery, Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of Moscow Healthcare Department; Head of the Chair of endovascular and vascular surgery, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>. E-mail: LSKokov@mail.ru
- Alexander V. Korotkikh** – First category physician, cardiovascular surgeon, Highest category specialist on endovascular diagnosis and treatment, Head Physician of the Clinic of cardiac surgery, Amur State Medical Academy, Blagoveschensk. <https://orcid.org/0000-0002-9709-1097>. E-mail: ssemioo@rambler.ru
- Evgeny I. Kretov** – Doct. of Sci. (Med.), Chief free-lance specialist on endovascular diagnosis and treatment of the Ministry of Healthcare of Novosibirsk region; physician-specialist on endovascular diagnosis and treatment of Regional vascular center of the Central Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Novosibirsk Region, Novosibirsk. <https://orcid.org/0000-0002-7109-9074>. E-mail: sibvolna2005@yandex.ru
- Yury G. Matchin** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the 2nd Department of Endovascular Methods of Diagnostics and Treatment, Academician E.I. Chazov National Medical Research Centre of cardiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-0200-852X>. E-mail: matchin@hotmail.ru
- Aleksander G. Osiev** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department, physician-specialist in endovascular diagnosis and treatment, Clinical Diagnostic Center MEDSI Group "Krasnaya Presnya", Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5263-0387>. E-mail: osiev_ag@mail.ru
- Anatoly N. Samko** – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of endovascular methods of diagnosis and treatment, A.L. Myasnikov Research Institute of Clinical Cardiology of the Academician E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1628-5851>. E-mail: samkoan@mail.ru
- Sergey P. Semitko** – Doct. of Sci. (Med.), Director of Scientific and Practical Center of Interventional Cardioangiography; Professor of the Department of Interventional Cardioangiography, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1268-5145>. E-mail: semitko@mail.ru

Alexey V. Sozykin – Doct. of Sci. (Med.), Professor of the Chair of Cardiology, Faculty of additional professional education of Pirogov Russian National Research Medical University; заведующий отделением РХМДиЛ НКЦ №2 Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-2570-5758>. E-mail: sozykine@mail.ru

Boris E. Shakhov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Counsellor for the Rector's office of Privolzhsky Research Medical University; Head of the Chair of endovascular diagnosis and treatment of the Faculty of additional and professional education of Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-2565-1419>. E-mail: shahovbe@yandex.ru

Evgeny B. Shakhov – Doct. of Sci. (Med.), Assistant Professor, Chair of endovascular diagnosis and treatment of the Faculty of additional and professional education of Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-9088-0192>. E-mail: es-ngma@yandex.ru

Evgenii G. Sharabrin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Professor, Chair of X-ray diagnosis of the Faculty of additional and professional education of Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5326-7233>. E-mail: sharabrin@mail.ru

Zaur Kh. Shugushev – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chief Cardiologist of the Central healthcare direction – branch of OJSC “Russian Railways”, Head of the Center of cardiovascular pathology, Head of the Department, Surgeon, Head of the Chair of cardiovascular surgery of the faculty of Continuing Medical Education of Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-9217-6569>. E-mail: Zaur937@mail.ru

Bakhodur M. Shukurov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Chair of cardiology, cardiovascular and thoracic surgery of the Institute of Continuous medical and pharmacological education, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia. <https://orcid.org/0009-004-7556-7295>. E-mail: dbeb@inbox.ru

* **Address for correspondence:** Avtandil M. Babunashvili – e-mail: avtandil_babunashvili@gmail.com

Статья получена 04 августа 2023 г.
Manuscript received on August 04, 2023.

Принята в печать 15 октября 2023 г.
Accepted for publication on October 15, 2023.