

Сигаев И. Ю.<sup>1</sup>, Керен М. А.<sup>1</sup>, Сливнева И. В.<sup>1</sup>, Шония З. Д.<sup>1</sup>, Марапов Д. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева» Минздрава России, Москва, Россия

<sup>2</sup> Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Казань, Россия

## АЛГОРИТМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ФЛОУМЕТРИИ В СОЧЕТАНИИ С ЭПИКАРДИАЛЬНЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ СКАНИРОВАНИЕМ ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ШУНТОВ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ

<i>Цель</i>	Создание алгоритма использования ультразвуковой флоуметрии (УЗФ) и эпикардиального ультразвукового сканирования (ЭпиУЗС) для интраоперационной оценки анатомо-функциональной состоятельности кондуитов.
<i>Материал и методы</i>	Для оценки состоятельности 460 коронарных шунтов у 150 больных, оперированных на базе ФГБУ НМИЦ ССХ им. А. Н. Бакулева МЗ РФ (2018–2021 г.), проанализированы параметры, свидетельствующие о дисфункции шунта по данным УЗФ и ЭпиУЗС, подтвержденные результатами шунтографии. По результатам ROC-анализа определены значения $Q_{mean}$ и $PI$ , свидетельствовавшие о дисфункции шунта. С целью оценки прогностической ценности анализируемых параметров разработано дерево решений методом CHAID. На основании полученной прогностической модели разработан алгоритм интраоперационной диагностики анатомо-функциональной состоятельности шунтов при выполнении операции коронарного шунтирования.
<i>Результаты</i>	Согласно нашим данным, $Q_{mean} \leq 20,5$ мл/мин сопровождалось увеличением относительного риска (ОР) определения дисфункции шунтов (ОР – 8,2, 95% доверительный интервал – ДИ 4,4–15,2). Полученная модель свидетельствует о высокой точности прогнозирования дисфункции шунтов ( $AUC = 0,906 \pm 0,03$ ). ОР развития дисфункции шунта при $PI \geq 2,65$ составил 3,3 (95% ДИ 2,17–5,08). Отмечалась достаточная точность прогностической модели для $PI$ ( $AUC = 0,745 \pm 0,042$ ) в отношении возможной дисфункции шунтов. В разработанном дереве классификации определены узлы высокого и низкого риска дисфункции шунта. Полученная модель характеризовалась высокими чувствительностью и специфичностью (100 и 84,3% соответственно).
<i>Заключение</i>	Комбинированное применение УЗФ и ЭпиУЗС позволяет с высокой точностью оценить как морфологические, так и функциональные характеристики потока по шунтам. Разработанный алгоритм интраоперационной диагностики анатомо-функциональной состоятельности шунтов может быть рекомендован к клиническому применению.
<i>Ключевые слова</i>	Ультразвуковая флоуметрия; эпикардиальное ультразвуковое сканирование; коронарное шунтирование; коронарография
<i>Для цитирования</i>	Sigaev I.Yu., Keren M.A., Slivneva I.V., Shonia Z.D., Marapov D.I. The Algorithm for Using Transit-time Flow Measurement and High-resolution Epicardial Ultrasound for Intraoperative Grafts Assessment during Coronary Artery Bypass Surgery. <i>Kardiologiya</i> . 2022;62(8):3–10. [Russian: Сигаев И.Ю., Керен М.А., Сливнева И.В., Шония З.Д., Марапов Д.И. Алгоритм использования ультразвуковой флоуметрии в сочетании с эпикардиальным ультразвуковым сканированием для интраоперационной оценки состоятельности шунтов при операциях коронарного шунтирования. <i>Кардиология</i> . 2022;62(8):3–10].
<i>Автор для переписки</i>	Сливнева Инесса Викторовна. E-mail: slivneva@mail.ru

### Введение

Несмотря на то что с момента выполнения первой операции реваскуляризации миокарда прошло более 60 лет, актуальные клинические рекомендации [1] по-прежнему предлагают операцию аортокоронарного шунтирования (АКШ) в качестве приоритетного мето-

да лечения больных ишемической болезнью сердца, особенно со сложным множественным поражением коронарных артерий (КА) и сахарным диабетом. По данным ретроспективного анализа [2], функциональная несостоятельность шунтов наблюдается в 5 и 25% случаев через 3 и 12 мес, соответственно. Кроме того, по данным груп-

пы авторов [3], среди больных, перенесших при выполнении АКШ инфаркт миокарда (ИМ), у 22% он был связан с дефектами наложения анастомоза. В связи с этим проблема интраоперационного контроля качества накладываемых анастомозов по-прежнему чрезвычайно актуальна. Наиболее надежным методом определения дисфункции анастомоза является коронарошунтография, однако техническое обеспечение, необходимое для ее выполнения, не всегда доступно в стандартных операционных и сопряжено как с увеличением продолжительности операции и дополнительной нагрузкой контрастирования для пациента, так и с дополнительными расходами для клиники.

В свою очередь интраоперационная ультразвуковая флоуметрия (УЗФ) и эпикардальное ультразвуковое сканирование (ЭпиУЗС) являются технически простыми методами, позволяющими оценить гемодинамические и анатомические характеристики в наложенных шунтах [4]. Основными параметрами, позволяющими оценить приемлемость кровотока по шунту при помощи УЗФ, являются средняя объемная скорость кровотока ( $Q_{mean}$ , мл/мин), индекс пульсации (PI) и процент диастолического объемного наполнения (DF). В ряде исследований сообщается о возможностях [5] и ограничениях [6] при интраоперационном использовании УЗФ, а также о связи между изменением параметров УЗФ и потребностью в ревизии шунта [7].

В настоящее время в доступной литературе крайне мало данных, отражающих опыт интраоперационного применения ЭпиУЗС, позволяющего оценивать анатомические характеристики анастомоза и линейные показатели кровотока по шунту [8]. Комбинированное применение ЭпиУЗС в дополнение к УЗФ, по-видимому, может значительно повышать ее диагностическую точность [9]. Однако в настоящее время на практике эти методы не применяются, в первую очередь из-за недостаточной изученности методов и ограниченности данных в отношении влияния полученных результатов на ближайшие и отдаленные клинические исходы [1].

В нашем исследовании представлен опыт ФГБУ «НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева» МЗ РФ в использовании УЗФ в сочетании с ЭпиУЗС для оценки оптимальности кровотока по шунту.

## Цель

Создание алгоритма использования УЗФ и ЭпиУЗС для интраоперационной оценки анатомо-функциональной состоятельности кондуитов с учетом их возможностей и ограничений.

## Материал и методы

В исследование были включены 150 больных ишемической болезнью сердца (ИБС), перенесших в период

с 2018 по 2020 г. коронарное шунтирование с обязательным наложением маммарокоронарного шунта (МКШ) к передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) в условиях искусственного кровообращения, которым для оценки состоятельности шунтов интраоперационно выполнялись УЗФ, ЭпиУЗС с оценкой функции и анастомоза МКШ к ПМЖВ, а также контрольная контрастная коронарошунтография. Все пациенты подписали информированное согласие на использование их клинических данных в научном исследовании. На проведение исследования получено разрешение локального этического комитета.

Критерии включения в исследование: наличие критических стенозов в КА  $\geq 75\%$  по результатам коронарографии, первичное выполнение АКШ, маммарокоронарный кондуит для шунтирования ПМЖВ, прямое шунтирование КА. Критериями исключения из исследования являлись: нестабильная стенокардия или острый ИМ, необходимость выполнения сочетанных с АКШ внутрисердечных или сосудистых операций, необходимость наложения секвенциальных или композитных шунтов, перенесенный ранее Q-ИМ передней стенки левого желудочка (ЛЖ), сниженная фракция выброса ЛЖ ( $< 40\%$ ).

УЗФ выполняли на аппарате Medistim MiraQ Cardiac (Осло, Норвегия) с подключаемым ультразвуковым датчиком 12,5 МГц. Анализировали следующие гемодинамические параметры:  $Q_{mean}$ , PI. Признаками дисфункции шунта по результатам УЗФ считали  $Q_{mean} < 20$  мл/мин и  $PI \geq 5$  [10, 11]. При ЭпиУЗС оценивали диаметр маммарокоронарного анастомоза к ПМЖВ (мм), линейную скорость кровотока до и после анастомоза (см/с), проходимость дистального анастомоза с оценкой МКШ к ПМЖВ. Признаками дисфункции шунта по ЭпиУЗС считали: сужение дистального анастомоза  $\geq 50\%$ , снижение линейной скорости кровотока по КА дистальнее места сформированного анастомоза. В сомнительных случаях (при противоречивых результатах, полученных методами УЗФ и ЭпиУЗС) нами выполнялась петлевая проба, представляющая собой пережатие целевой КА выше дистального анастомоза с целью оценки функции шунта с исходной и последующей оценкой динамики показателей УЗФ ( $Q_{mean}$  и PI).

Полученные результаты сравнивали с результатами интраоперационной контрастной шунтографии, выполненной на аппарате OEC 9900 Elite Cardiac General Electric Healthcare (США), при которой оценивали состояние проксимальных и дистальных анастомозов, проходимость контрастного вещества по шунту и нативной артерии на протяжении, степень стеноза в теле шунта и дистальном анастомозе, при наличии. Признаками дисфункции шунта по результатам шунтографии считали сужение в теле шунта и/или дистальном анастомозе более 50%, окклюзию шунта, перегиб шунта,

диссекцию кондуита, экстравазальное поступление контрастного вещества.

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием пакетов программ Statistica 13.0 и SPSS Statistics 26.0. Для проверки нормальности распределения количественных данных использовали критерий Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения данные были представлены в виде средних значений (M) и стандартных отклонений (SD). Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании дисфункции шунта применяли метод анализа ROC-кривых. С его помощью определяли оптимальное разделяющее значение количественного признака, позволяющее классифицировать пациентов по степени риска исхода, обладающее наилучшим сочетанием чувствительности и специфичности. Качество прогностической модели, полученной данным методом, оценивали исходя из значений площади под ROC-кривой (Area Under Curve, AUC) со стандартной ошибкой и 95% доверительным интервалом (ДИ) и уровня статистической значимости. Для оценки возможности прогнозирования дисфункции шунтов исходя из изучаемых параметров было построено дерево классификации с помощью метода CHAID (Chi Squared Automatic Interaction Detection). Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты

В изучаемой группе больных ( $n=150$ ) было шунтировано 460 КА, из которых 150 МКШ к ПМЖВ, 168 аутовенозных шунтов к правой КА (ПКА) и ее ветвям и 142 аутовенозных шунта к огибающей ветви (ОВ) и ее ветвям.

Всего по данным шунтографии было выявлено 54 дефекта контрастирования, из них 29 в МКШ к ПМЖВ. Причинами дисфункции были стеноз просвета шунта  $\geq 50\%$  (12; 2,6%), сужение дистального анастомоза  $\geq 50\%$  (7; 1,5%), сужение нативной КА после анастомоза  $\geq 50\%$

(13; 2,8%), изгиб/перегиб/перекрут со стенозом  $\geq 50\%$  (9; 1,9%), тромбоз шунта (4; 0,9%), экстравазальная компрессия шунта (9; 1,9%).

По данным УЗФ, снижение  $Q_{mean} < 20$  мл/мин при шунтировании МКШ к ПМЖВ выявлено в 20 (13,3%) случаях (среднее  $Q_{mean}$  составило  $17,2 \pm 3,1$  мл/мин), в шунтах к ОВ – в 14 (9,8%) случаях ( $14,3 \pm 4,0$  мл/мин), в шунтах к ПКА – в 19 (11,3%) случаях ( $15,2 \pm 3,1$  мл/мин).  $PI > 5$  в МКШ к ПМЖВ выявлено в 19 (12,6%) случаях (средний  $PI$   $7,3 \pm 2,2$ ), для шунтов к ОВ – в 13 (9,1%) случаях ( $8,3 \pm 2,0$ ), для шунтов к ПКА – в 12 (7,1%) случаях ( $8,0 \pm 4,3$ ). По результатам ЭпиУЗС выявлено 45 дефектов, обусловленных сужением дистального анастомоза, ушиванием «носика» или «пятки» дистального анастомоза, турбулентным потоком крови в зоне анастомоза и спазмом КА.

В зависимости от полученных значений УЗФ в исследуемых шунтах ( $n=460$ ) мы условно выделили 4 возможных варианта окончательных решений (рис. 1). Вариант I, при котором  $Q_{mean} > 20$  мл/мин, а  $PI < 5$  (наблюдается в 378, или 82%, шунтах), расценивали как нормально функционирующий шунт; при  $Q_{mean} < 20$  мл/мин и  $PI > 5$  (вариант II) шунт расценивали как нефункционирующий. В остальных случаях (вариант III при  $Q_{mean} > 20$  мл/мин и  $PI > 5$  и вариант IV при  $Q_{mean} < 20$  мл/мин и  $PI < 5$ ) ситуация была оценена как сомнительная, и решение принимали после получения дополнительных данных с помощью ЭпиУЗС и/или шунтографии (рис. 1).

По результатам ROC-анализа, выполненного на основании диагностики 150 маммарокоронарных анастомозов, сформированных к ПМЖВ, были определены значения  $Q_{mean}$  и  $PI$ , свидетельствовавшие о дисфункции шунта (рис. 2). Согласно нашим данным,  $Q_{mean} \leq 20,5$  мл/мин сопровождалось увеличением относительного риска (ОР) дисфункции шунта в 8,2 раза (95% доверительный интервал – ДИ 4,4–15,2). Чувствитель-

Рисунок 1. Варианты окончательных решений по результатам УЗФ, полученных при оценке маммарокоронарных и аутовенозных шунтов средней объемной скорости кровотока ( $Q_{mean}$ ) и индекса пульсации ( $PI$ )

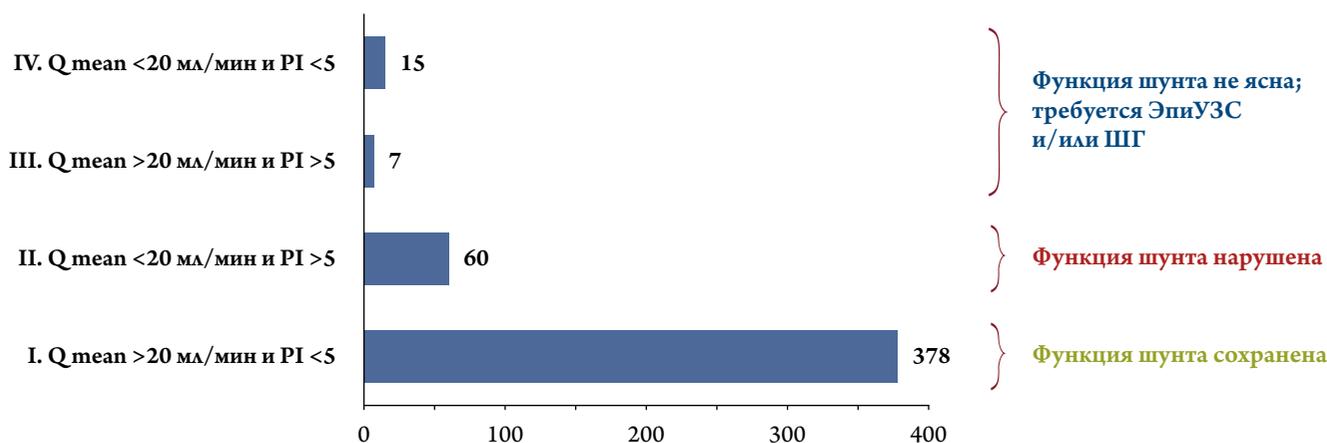
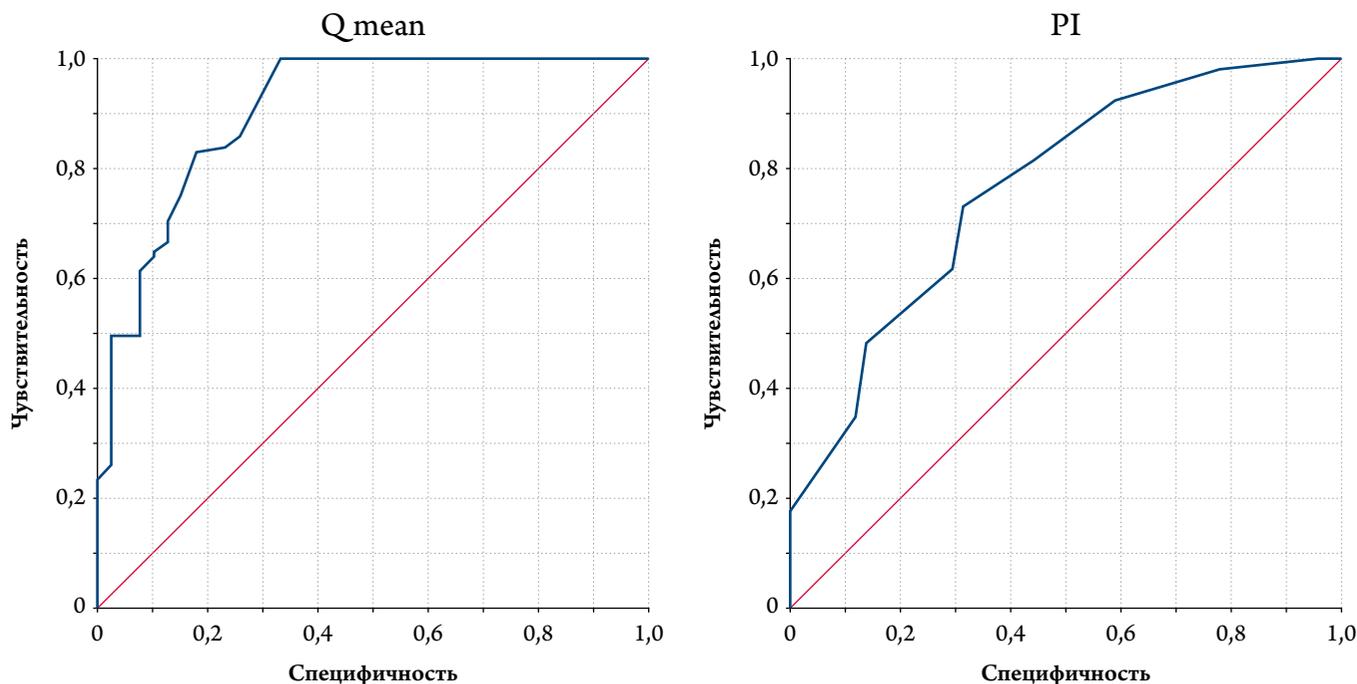


Рисунок 2. ROC-кривые для показателей средней объемной скорости кровотока ( $Q_{mean}$ ) и индекса пульсации (PI)



ность модели составила 100% (95% ДИ 96,6–100%), специфичность – 74,3% (95% ДИ 58,9–85,4%). Полученная модель свидетельствует о высокой точности прогнозирования возможной дисфункции шунтов ( $AUC = 0,906 \pm 0,03$ ).

В свою очередь, пороговое значение PI составило 2,65. PI, равный или выше 2,65, свидетельствовал о возможной дисфункции шунта (чувствительность модели 80,1%; 95% ДИ 72,1–86,2%; специфичность – 65,7%; 95% ДИ 49,8–78,7%). Отмечалась достаточная точность прогностической модели для PI ( $AUC = 0,745 \pm 0,042$ ) в отношении возможной дисфункции шунтов. ОР дисфункции шунта при PI выше или равном 2,65 составил 3,3 (95% ДИ 2,17–5,08).

С помощью метода CHAID была разработана многофакторная прогностическая модель (дерево классификаций) с определением наиболее сильного предиктора несостоятельности шунтов, сопоставимого с дисфункцией шунта по данным шунтографии (рис. 3), которым являлось наличие визуальных дефектов контрастирования по данным ЭпиУЗС (оценка включала анализ состояния 150 маммарокоронарных кондуитов). К визуальным (качественным) характеристикам по данным ЭпиУЗС относились сужение дистального анастомоза, ушивание «носика» дистального анастомоза, ушивание «пятки» дистального анастомоза, спазм коронарной артерии и/или внутренней грудной артерии. Терминальные узлы, полученные в ходе многомерного расщепления узлов,

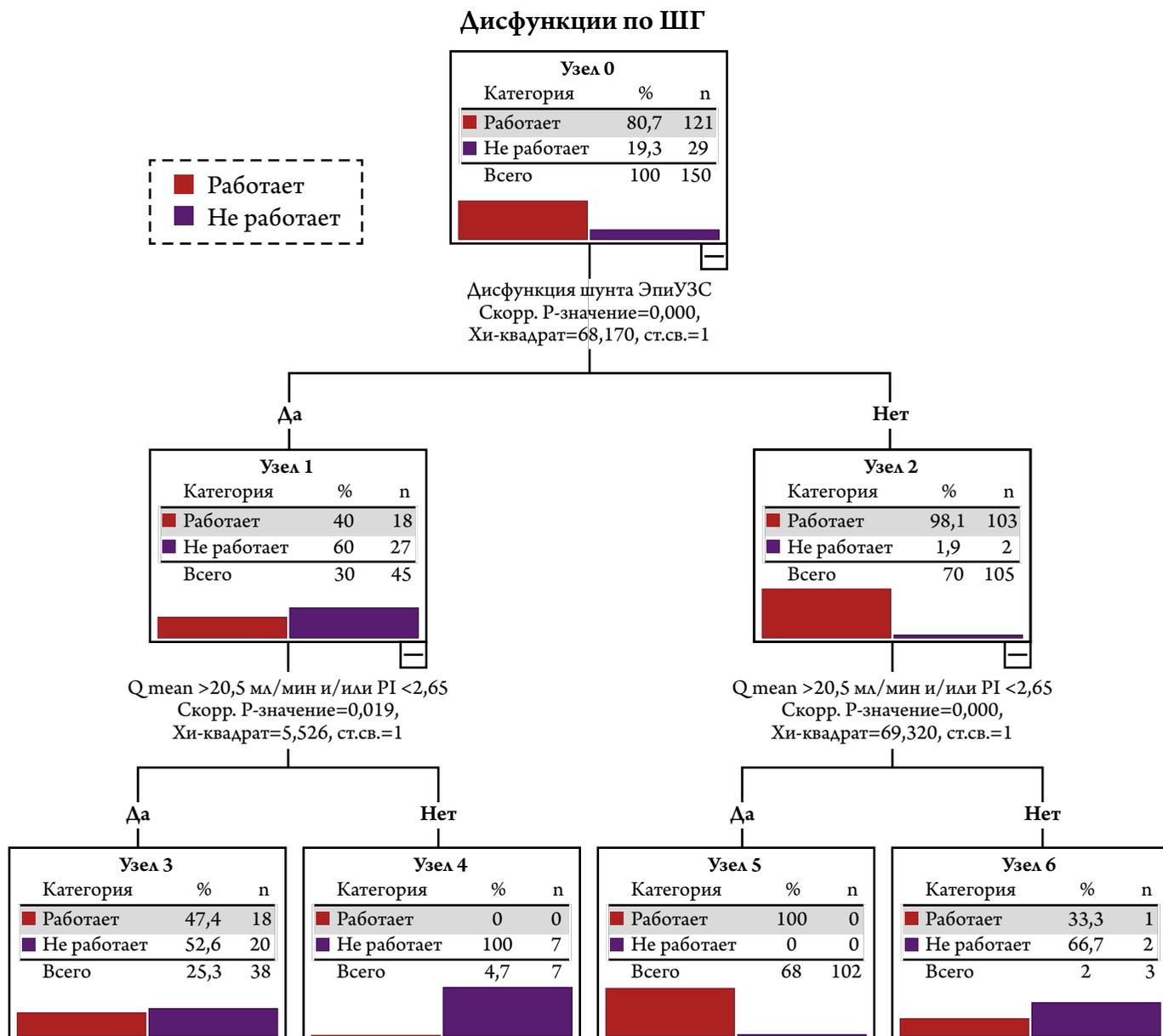
Таблица 1. Распределение данных в исследуемых совокупностях

№ узла	Предиктор	Доля узла в общей структуре, абс. (%)	Доля дисфункций в узле, %	Индекс*, %
4	Наличие визуальных дефектов контрастирования (по данным ЭпиУЗС) + нарушенные характеристики потока ( $Q_{mean} < 20,5$ мл/мин и/или $PI \geq 2,65$ ) по данным УЗФ	7 (4,7)	100,0	517,2
6	Отсутствие визуальных дефектов контрастирования (по данным ЭпиУЗС) + нарушенные характеристики потока ( $Q_{mean} < 20,5$ мл/мин и/или $PI \geq 2,65$ ) по данным УЗФ	3 (2,0)	66,7	344,8
3	Наличие визуальных дефектов контрастирования по данным ЭпиУЗС + характеристики потока по данным УЗФ сохранены	38 (25,3)	52,6	272,2
5	Отсутствие предикторов, отсутствие визуальных дефектов по данным ЭпиУЗС + характеристики потока по данным УЗФ сохранены	102 (68)	0,0	0,0

\* – отношение процента наблюдений в узле к проценту наблюдений в выборке в целом; ЭпиУЗС – эпикардальное ультразвуковое сканирование; УЗФ – ультразвуковая флоуметрия.

Желтым цветом выделены узлы (4, 6 и 3), отражающие высокую вероятность выявления дисфункции кровотока по шунту, зеленым цветом (узел 5) – низкую вероятность выявления дисфункции кровотока по шунту.

Рисунок 3. Дерево классификации пациентов по вероятности дисфункции шунта в зависимости от визуальных и скоростных показателей в качестве предикторов



ШГ – шунтография; ЭпиУЗС – эпикардальное ультразвуковое сканирование.

представляют собой наилучшие окончательные решения. Мы получили 4 узла, представляющих наиболее распространенные случаи в ходе нашего исследования.

В узле № 5, по данным ЭпиУЗС, отсутствовали визуальные изменения в шунтах (подтверждено результатами шунтографии), что сочеталось с сохранными показателями кровотока по данным УЗФ ( $Q_{mean} > 20,5$  мл/мин и/или  $PI < 2,65$ ) и расценивалось нами как удовлетворительный кровоток по целевой КА.

Наибольшая частота дисфункций шунтов в исследуемой совокупности (узел № 4), впоследствии подтвержденных данными шунтографии, определялась при наличии визуальных изменений (структурных, т.е. анатомических) по ЭпиУЗС в сочетании с нарушенными

характеристиками потока ( $Q_{mean} < 20,5$  мл/мин и/или  $PI \geq 2,65$ ) по данным УЗФ.

Частота выявления дисфункции шунтов при наличии в них визуальных изменений (структурных, анатомических, спазм) с сохранными скоростными показателями, по данным УЗФ ( $Q_{mean} > 20,5$  и  $PI < 2,65$ ), составляла 52,6% – узел № 3.

Дисфункция шунтов в отсутствие визуальных дефектов, по данным ЭпиУЗС, в сочетании с нарушенными показателями по УЗФ ( $Q_{mean} < 20,5$  мл/мин и/или  $PI \geq 2,65$ ) определялась в 66,7% случаев в исследуемой совокупности (узел № 6). Распределение данных, включенных в дерево классификаций, представлено в табл. 1.

Согласно представленным данным, вероятность дисфункции шунта в терминальном узле 5 была низкой,

а в терминальных узлах 3, 4 и 6 – выше средней по выборке. Полученная модель характеризовалась высокими чувствительностью и специфичностью, составившими 100% (29 верных прогнозов среди 29 случаев дисфункции шунта) и 84,3% (102 верных прогноза из 121 случая работающего шунта), соответственно.

### Обсуждение

Интраоперационное измерение коронарного кровотока позволяет оценить функциональное состояние кондуитов, выявить и исправить технические ошибки при формировании анастомоза до завершения операции коронарного шунтирования. Послеоперационная шунтография по-прежнему остается «золотым стандартом» оценки кровотока по шунту, несмотря на такие ограничения, как инвазивность, вынужденная пролонгация операции и необходимость в соответствующем оснащении операционной. В свою очередь, альтернативные методы интраоперационной диагностики, в частности УЗФ и ЭпиУЗС, просты в использовании, доступны и позволяют оценить как количественные, так и качественные показатели кровотока. В Рекомендациях по реваскуляризации миокарда (2019) выполнение УЗФ рекомендуется для интраоперационной оценки функционального состояния кондуита (класс IIa, уровень доказательности B), в то же время подчеркивается недостаточная изученность метода и влияния его результатов на клинические исходы [1]. Несмотря на техническую доступность УЗФ, следует отметить отсутствие единого мнения в отношении нормальных пороговых значений  $Q_{mean}$  и PI. W. Wijns и соавт. [12] показали, что  $Q_{mean} < 20$  мл/мин и  $PI > 5$  могут указывать на дисфункцию шунтов. В свою очередь, по мнению P. Lehnert и соавт. [13], нормальные показатели потока различаются в зависимости от типа кондуита: при формировании анастомоза из левой внутренней грудной артерии к ПМЖВ оптимальным было  $Q_{mean} \geq 20$  мл/мин, а для венозных кондуитов  $\geq 30$  мл/мин. Однако другими авторами была показана клиническая приемлемость более низких значений  $Q_{mean}$  ( $> 10$ – $15$  мл/мин) [14, 15]. В свою очередь, PI также служит показателем, отражающим приемлемость кровотока по шунту. По мнению G. D'Alconca и соавт. [16],  $PI < 5$  свидетельствует о недостаточности кровотока. Однако в другом исследовании в качестве маркера функциональной несостоятельности потока по шунту были получены более низкие значения PI ( $PI < 3$ ) [17]. В.В. Базылев и соавт. [18] показали увеличение ОР окклюзии шунта в 1,3 раза при повышении PI на каждую единицу.

Идея верификации состоятельности кондуитов с помощью интраоперационной визуализации с высоким разрешением появилась в 80-х годах прошлого века, однако из-за отсутствия технического усовершенствования (от-

сутствие датчиков малого диаметра) ЭпиУЗС было внедрено в клиническую практику относительно недавно [19, 20] и до сих пор не нашло широкого применения. По мнению L.F. Hiratzka и соавт. [21], метод ЭпиУЗС способствует идентификации морфологических нарушений в теле трансплантата и в месте анастомоза. Исследования показывают широкие возможности сочетанного применения методов УЗФ и ЭпиУЗС, однако указывают на необходимость проведения более широких клинических исследований [22]. В наших более ранних исследованиях показана низкая чувствительность как изолированной УЗФ, так и изолированного ЭпиУЗС, однако комбинированное применение методов УЗФ и ЭпиУЗС повышало диагностическую точность исследования (для УЗФ в сочетании с ЭпиУЗС чувствительность составила 93%, специфичность – 94%) [7].

Потребность в дополнительной оценке возможностей клинического применения УЗФ и ЭпиУЗС обусловила цель нашего исследования, которой являлась разработка алгоритма комбинированного интраоперационного применения УЗФ и ЭпиУЗС для оценки состоятельности кондуитов.

Согласно результатам ROC-анализа, пороговые значения  $Q_{mean} \leq 20,5$  мл/мин и  $PI \geq 2,65$  сопровождались увеличением ОР несостоятельности шунтов в 8,2 раза (95% ДИ 4,4–15,12) и в 3,3 раза (95% ДИ 2,17–5,08) соответственно.

Для создания алгоритма интраоперационной анатомо-функциональной оценки состоятельности шунтов был проведен многофакторный анализ и построено дерево классификаций методом CHAID, которое является способом представления данных в последовательной иерархической структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий окончательное решение. При построении дерева классификаций были использованы данные, полученные при интраоперационном проведении ЭпиУЗС и УЗФ. Сопоставление данных проводилось с результатами эталонного метода оценки состоятельности шунтов – шунтографии. Нами получены 4 окончательных решения (4 узла), основой которых являлись качественные признаки оценки состоятельности шунтов (визуальные характеристики по данным ЭпиУЗС), из которых 3 были определены как варианты с высоким риском развития дисфункции шунтов (узлы № 3, 4, 6). Наибольший диагностический интерес представляет узел № 4, включающий сочетание визуальных дефектов контрастирования по данным ЭпиУЗС и нарушенных потоковых характеристик по данным УЗФ и отображающий наивысший риск несостоятельности шунта. Среди узлов высокого риска узел № 3 отличался наибольшим числом случаев в общей когорте исследуемых признаков. Несмотря на отсутствие визуальных дефектов контрастирования, нарушен-

Рисунок 4. Алгоритм интраоперационной диагностики анатомо-функциональной состоятельности шунтов при выполнении операции коронарного шунтирования



ЭпиУЗС – эпикардиальное ультразвуковое сканирование; УЗФ – ультразвуковая флоуметрия; средняя объемная скорость кровотока ( $Q_{mean}$ ); индекс пульсации (PI).

ные потоковые характеристики по данным УЗФ ( $Q_{mean} < 20,5$  мл/мин и/или  $PI \geq 2,65$ ) также относились к категории высокого риска (узел № 6) и сопровождалась частотой дисфункции шунта 66,7%.

Полученное дерево классификации характеризовалось высокими чувствительностью (100%) и специфичностью (84,3%), что позволило нам разработать алгоритм интраоперационной диагностики анатомо-функциональной состоятельности шунтов (рис. 4). На основании предложенного нами алгоритма в сомнительных ситуациях (при  $Q_{mean} \leq 20,5$  мл/мин и  $PI < 2,65$  или при  $Q_{mean} > 20,5$  мл/мин и  $PI \geq 2,65$ ) рекомендуется использовать петлевую пробу. Отрицательная петлевая проба свидетельствует о высокой вероятности удовлетворительной работы шунта и, по нашему мнению, не требует дополнительного уточнения состоятельности шунта. В свою очередь положительная петлевая проба на фоне измененных показателей потока, по данным УЗФ, свидетельствует о низкой вероятности функциональной состоятельности шунта, и для принятия окончательного решения требуется шунтография.

Таким образом, нами впервые представлен комплексный подход к интраоперационной диагностике дисфунк-

ции шунтов, осуществляемый при помощи сочетанного применения УЗФ и ЭпиУЗС. Предложенный алгоритм прост и легко воспроизводим, и способен с высокой точностью отразить не только наличие гемодинамических нарушений, но и выявить морфологические дефекты проходимости анастомоза, что делает его наиболее привлекательным для применения в коронарной хирургии.

### Заключение

Возможность использования простых и технически доступных методов интраоперационной оценки шунта в клинической практике – чрезвычайно важный аспект для коронарной хирургии. Согласно результатам нашего исследования, применение эпикардиального ультразвукового сканирования в дополнение к ультразвуковой флоуметрии повышает диагностическую ценность исследования и позволяет с высокой точностью оценить как морфологические (эпикардиальное ультразвуковое сканирование), так и функциональные (ультразвуковая флоуметрия) характеристики потока по шунтам. С учетом высоких чувствительности и специфичности дерева классификации, разработанный на его основании алгоритм интраоперационной диагностики анатомо-функци-

ональной состоятельности шунтов может быть рекомендован к клиническому применению. Важно также подчеркнуть необходимость продолжения исследований в этом направлении для понимания взаимосвязи между интраоперационными результатами ультразвуковой флоуметрии и эпикардиального ультразвукового сканирования

и отдаленными исходами после операции коронарного шунтирования.

*Конфликт интересов не заявлен.*

**Статья поступила 10.04.21**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neumann F-J, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(8):151–226. [Russian: Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U. и др. Рекомендации ESC/EACTS по реваскуляризации миокарда 2018. Рабочая группа по реваскуляризации миокарда Европейского Общества Кардиологов (ESC) и Европейской Ассоциации Кардио-торакальных Хирургов (EACTS). Разработаны с участием Европейской Ассоциации по Чрескожным Сердечно-сосудистым Вмешательствам (EAPCI). *Российский кардиологический журнал*. 2019;24(8):151-226]. DOI: 10.15829/1560-4071-2019-8-151-226
2. Balacumaraswami L, Taggart DP. Intraoperative Imaging Techniques to Assess Coronary Artery Bypass Graft Patency. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2007;83(6):2251–7. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2006.12.025
3. Fabricius A. Early angiographic control of perioperative ischemia after coronary artery bypass grafting. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2001;19(6):853–8. DOI: 10.1016/S1010-7940(01)00692-3
4. D'Ancona G, Karamanoukian HL, Salerno TA, Ricci M, Bergsland J. Flow measurement in coronary artery surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2000;69(4):1300–1. DOI: 10.1016/S0003-4975(99)01547-7
5. Kieser TM, Rose S, Kowalewski R, Belenkie I. Transit-time flow predicts outcomes in coronary artery bypass graft patients: a series of 1000 consecutive arterial grafts. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2010;38(2):155–62. DOI: 10.1016/j.ejcts.2010.01.026
6. Niclauss L. Techniques and standards in intraoperative graft verification by transit time flow measurement after coronary artery bypass graft surgery: a critical review. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2017;51(1):26–33. DOI: 10.1093/ejcts/ezw203
7. Sigaev I.Yu., Keren M.A., Shoniya Z.D. The possibilities of ultrasound flowmetry in combination with epicardial ultrasound scanning for a comprehensive assessment of the functional state of the conduits during coronary bypass surgery. *Russian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2021;63(2):133–9. [Russian: Сигаев И.Ю., Керен М.А., Шония З.Д. Возможности ультразвуковой флоуметрии в сочетании с эпикардиальным ультразвуковым сканированием для комплексной оценки функционального состояния кондуитов при операциях коронарного шунтирования. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 2021;63(2):133-9]. DOI: 10.24022/0236-2791-2021-63-2-133-139
8. Di Giammarco G, Marinelli D. Intraoperative graft assessment and imaging of native coronary arteries. *Indian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2018;34(Suppl 3):297–301. DOI: 10.1007/s12055-018-0697-0
9. Thuijs DJFM, Bekker MWA, Taggart DP, Kappetein AP, Kieser TM, Wendt D et al. Improving coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis on the impact of adopting transit-time flow measurement. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2019;56(4):654–63. DOI: 10.1093/ejcts/ezz075
10. Hiraoka A, Fukushima S, Miyagawa S, Yoshikawa Y, Saito S, Domae K et al. Quantity and quality of graft flow in coronary artery bypass grafting is associated with cardiac computed tomography study-based anatomical and functional parameters. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2017;52(5):909–16. DOI: 10.1093/ejcts/ezz210
11. Ohmes LB, Di Franco A, Giammarco GD, Rosati CM, Lau C, Girardi LN et al. Techniques for intraoperative graft assessment in coronary artery bypass surgery. *Journal of Thoracic Disease*. 2017;9(Suppl 4):S327–32. DOI: 10.21037/jtd.2017.03.77
12. Wijns W, Kolh P, Danchin N, Di Mario C, Falk V, Folliguet T et al. Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Heart Journal*. 2010;31(20):2501–55. DOI: 10.1093/eurheartj/ehq277
13. Lehnert P, Möller CH, Damgaard S, Gerds TA, Steinbrüchel DA. Transit-Time Flow Measurement as a Predictor of Coronary Bypass Graft Failure at One Year Angiographic Follow-Up. *Journal of Cardiac Surgery*. 2015;30(1):47–52. DOI: 10.1111/jocs.12471
14. Handa T, Orihashi K, Nishimori H, Fukutomi T, Yamamoto M, Kon-do N et al. Maximal blood flow acceleration analysis in the early diastolic phase for in situ internal thoracic artery bypass grafts: a new transit-time flow measurement predictor of graft failure following coronary artery bypass grafting. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. 2015;20(4):449–57. DOI: 10.1093/icvts/ivu448
15. Walker PF, Daniel WT, Moss E, Thourani VH, Kilgo P, Liberman HA et al. The Accuracy of Transit Time Flow Measurement in Predicting Graft Patency after Coronary Artery Bypass Grafting. *Innovations*. 2013;8(6):416–9. DOI: 10.1097/imi.0000000000000021
16. D'Ancona G, Karamanoukian HL, Salerno TA, Schmid S, Bergsland J. Flow measurement in coronary surgery. *The Heart Surgery Forum*. 1999;2(2):121–4. PMID: 11276468
17. Uehara M, Muraki S, Takagi N, Yanase Y, Tabuchi M, Tachibana K et al. Evaluation of gastroepiploic arterial grafts to right coronary artery using transit-time flow measurement. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2015;47(3):459–63. DOI: 10.1093/ejcts/ezu229
18. Bazylev V.V., Nemchenko E.V., Rosseikin E.V., Mikulyak A.I. Flowmetric and angiographic predictors of coronary bypass occlusion. *Angiology and vascular surgery*. 2018;24(2):49–55. [Russian: Базылев В.В., Немченко Е.В., Россейкин Е.В., Микulyак А.И. Флоуметрические и ангиографические предикторы окклюзии коронарных шунтов. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2018;24(2):49-55]
19. Ravulapalli H, Karthekeyan R, Vakumudi M, Srigiri R, Saldanha R, Sulaiman S. Intraoperative anastomotic site detection and assessment of LIMA-to-LAD anastomosis by epicardial ultrasound in off-pump coronary artery bypass grafting - A prospective single-blinded study. *Annals of Cardiac Anaesthesia*. 2010;13(3):231–5. DOI: 10.4103/0971-9784.69069
20. Budde RPJ, Bakker PFA, Gründeman PF, Borst C. High-frequency epicardial ultrasound: review of a multipurpose intraoperative tool for coronary surgery. *Surgical Endoscopy*. 2009;23(3):467–76. DOI: 10.1007/s00464-008-0082-y
21. Hiratzka LF, McPherson DD, Lamberth WC, Brandt B, Armstrong ML, Schröder E et al. Intraoperative evaluation of coronary artery bypass graft anastomoses with high-frequency epicardial echocardiography: experimental validation and initial patient studies. *Circulation*. 1986;73(6):1199–205. DOI: 10.1161/01.CIR.73.6.1199
22. Di Giammarco G, Canosa C, Foschi M, Rabozzi R, Marinelli D, Masuyama S et al. Intraoperative graft verification in coronary surgery: increased diagnostic accuracy adding high-resolution epicardial ultrasonography to transit-time flow measurement. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2014;45(3):e41–5. DOI: 10.1093/ejcts/ezt580