



ИЮНЬСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
В КАРДИОКЛИНИКЕ

г. Санкт-Петербург · 26 июня 2025 г.

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА В КАРДИОЛОГИИ



# КТ-ПЕРФУЗИЯ МИОКАРДА В АСПЕКТЕ ДИАГНОСТИКИ ХРОНИЧЕСКОЙ ИБС

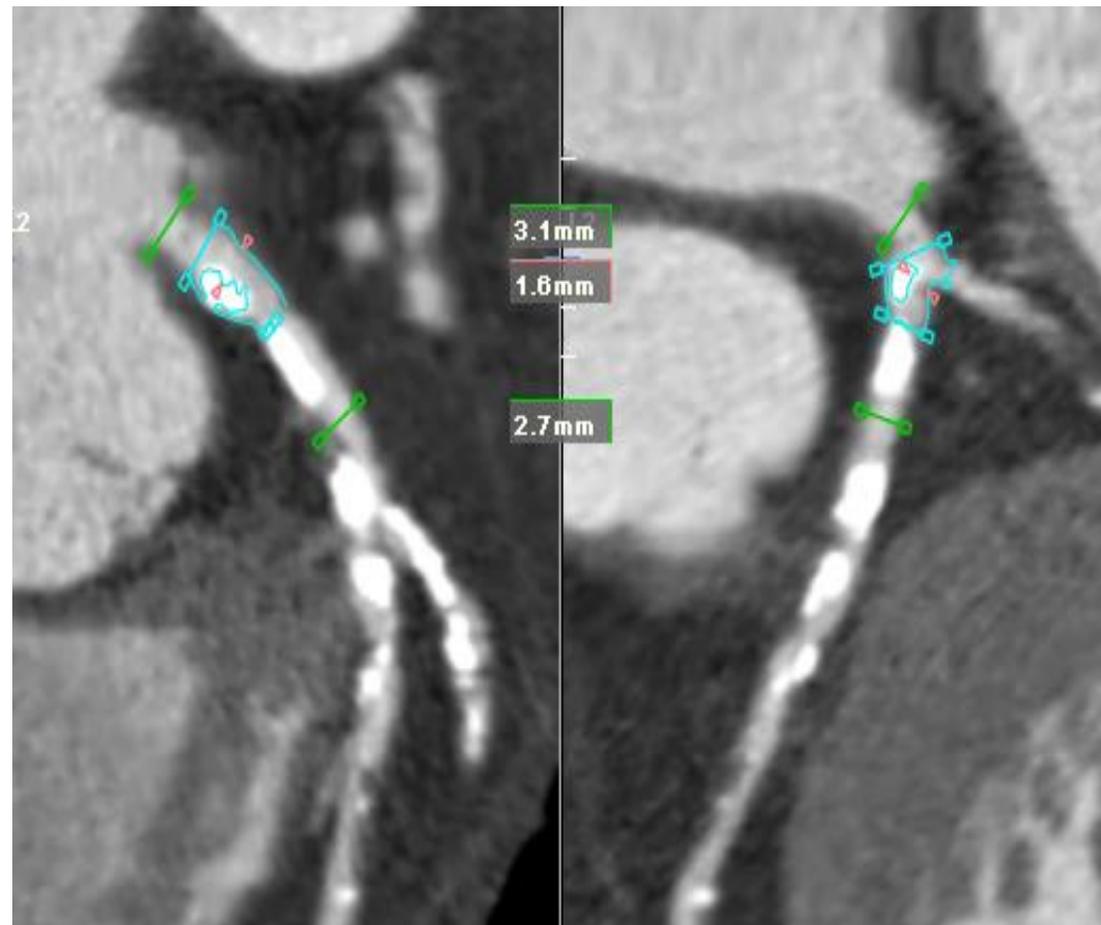
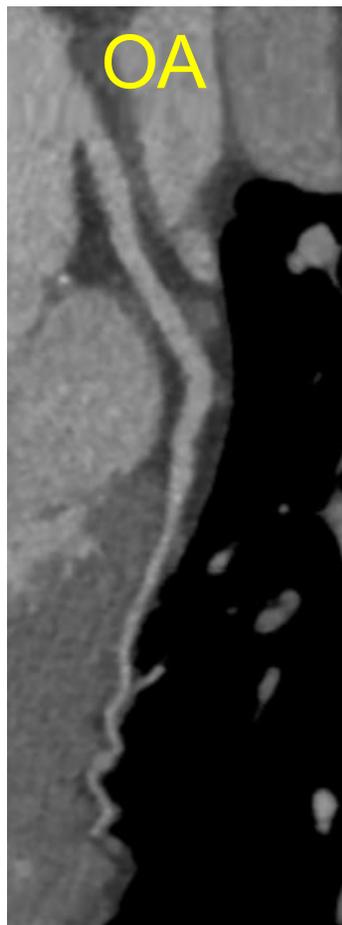
Заведующий отделением рентгеновской компьютерной томографии  
клиники рентгенорадиологии с курсом ультразвуковой диагностики  
Военно-Медицинской Академии им. С.М. Кирова.

**к.м.н. Меньков Игорь Анатольевич**

✓ **Коронарная КТ-ангиография** – лучший неинвазивный метод для исключения коронарной болезни сердца

- Чувствительность и ОПЦ → 90-98%

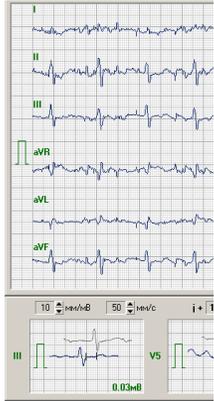
- Специфичность и ППЦ → 55-85%



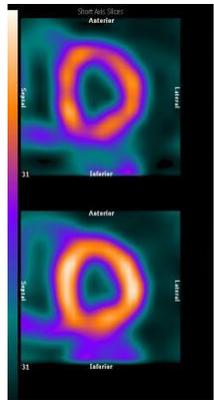


**A**

Клиническая вероятность обнаружения значимой КБС на КАГ



СТ1

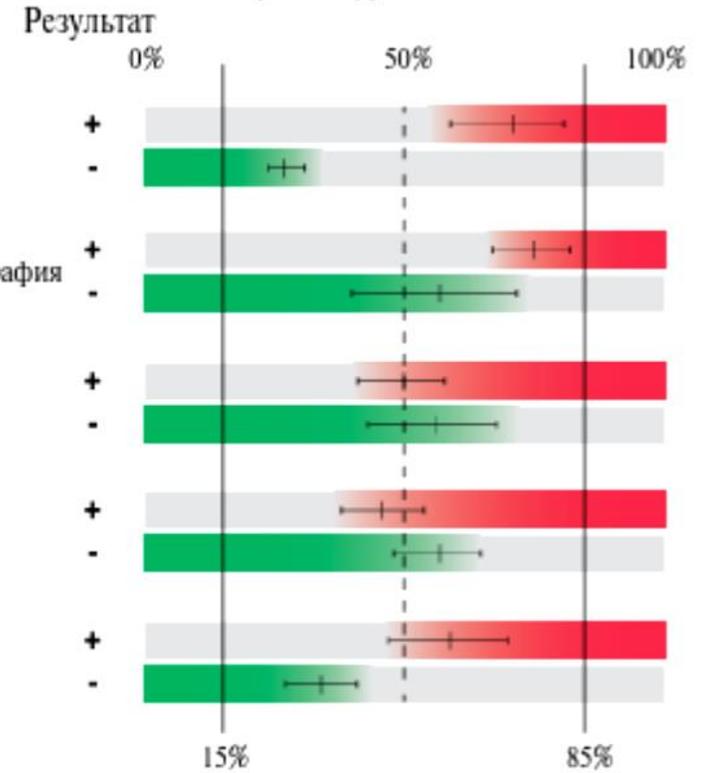
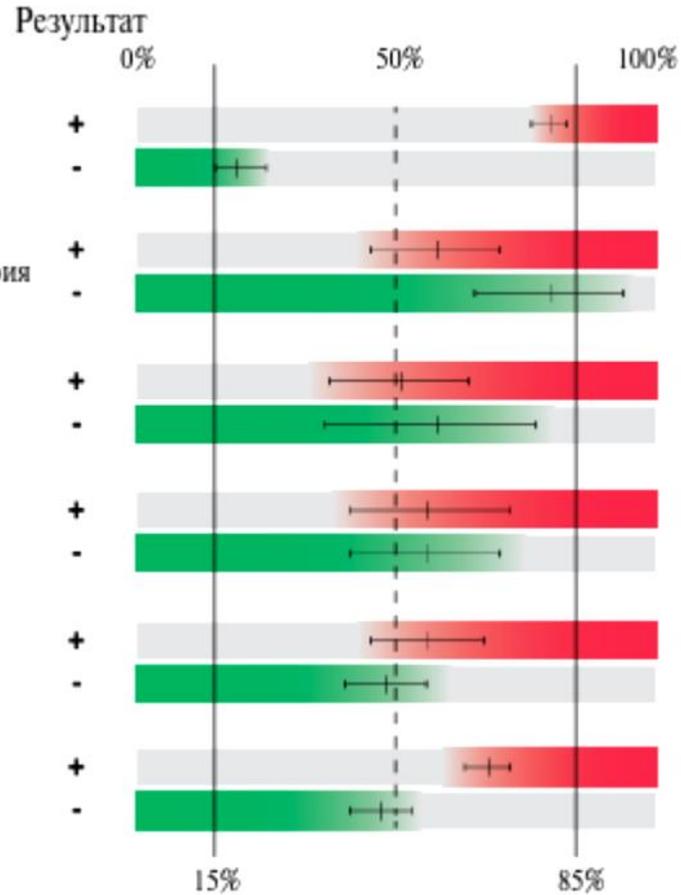


Стресс-ОФЭКТ

2019 Рекомендации ESC по диагностике и лечению хронического коронарного синдрома

**B**

Клиническая вероятность обнаружения значимого показателя ФРК при обструктивной КБС



Диапазон клинической вероятности, где тест может подтвердить КБС (посттестовая вероятность превысит 85%)

Диапазон клинической вероятности, где тест может исключить КБС (посттестовая вероятность будет ниже 15%)

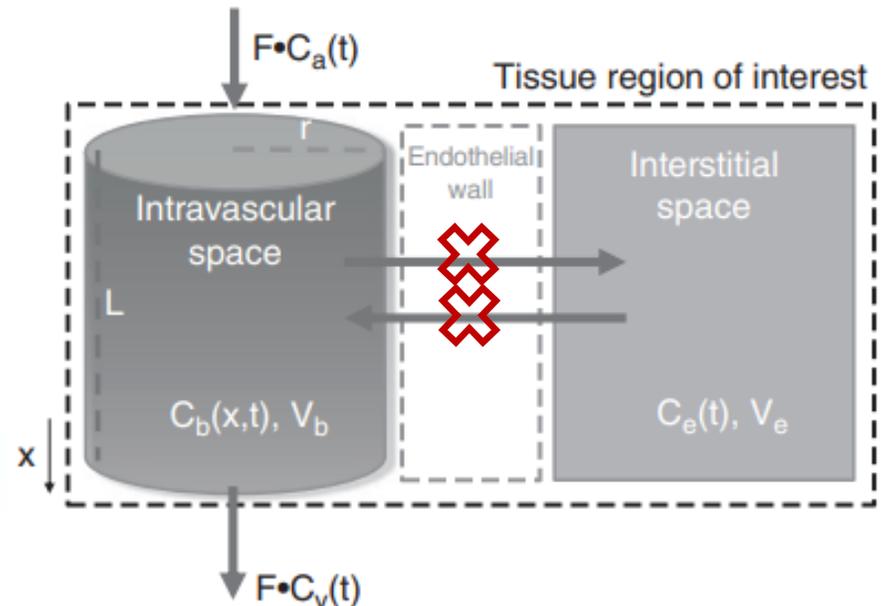
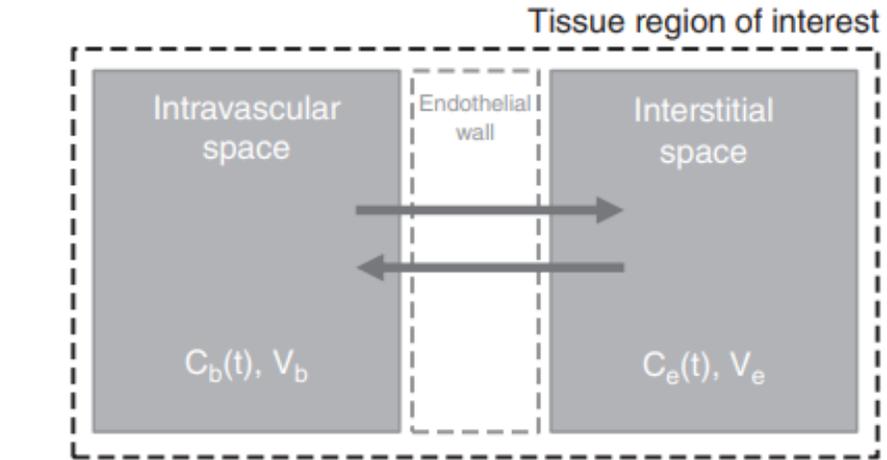
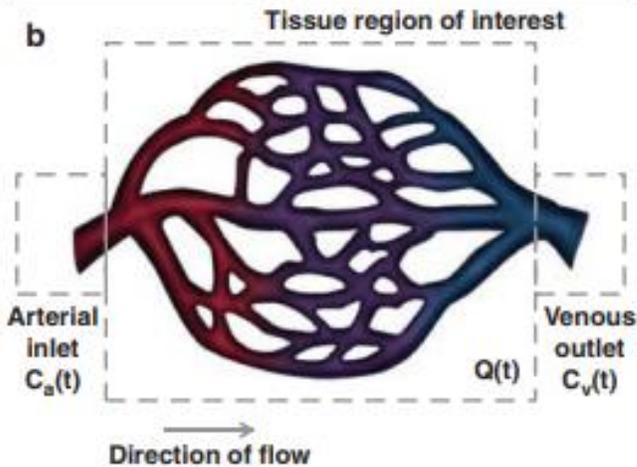
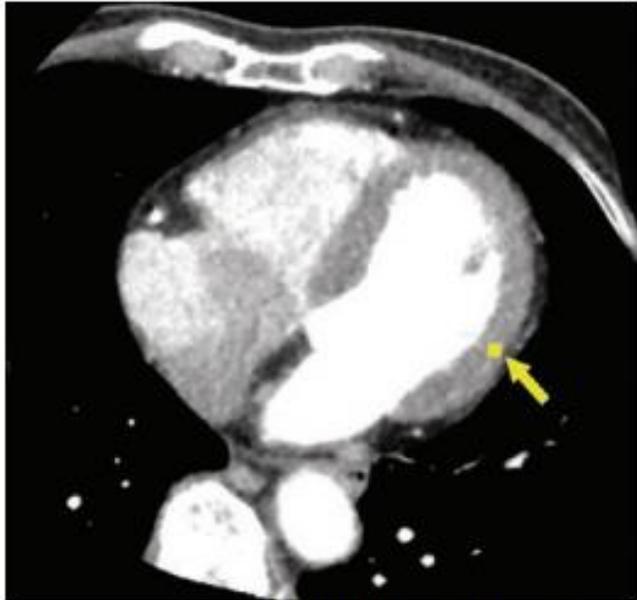


Стресс-ПЭТ



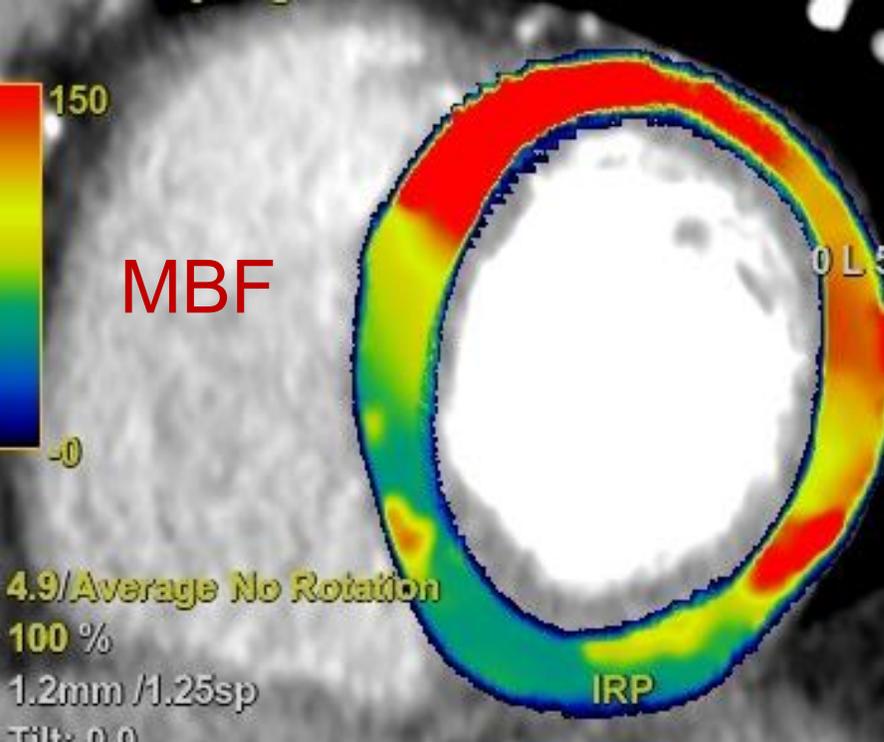
Стресс-КТ

✓ **Перфузия** - это динамический процесс прохождения жидкости через систему кровообращения или лимфатическую систему к органу или ткани, связанный с доставкой крови к капиллярному руслу.

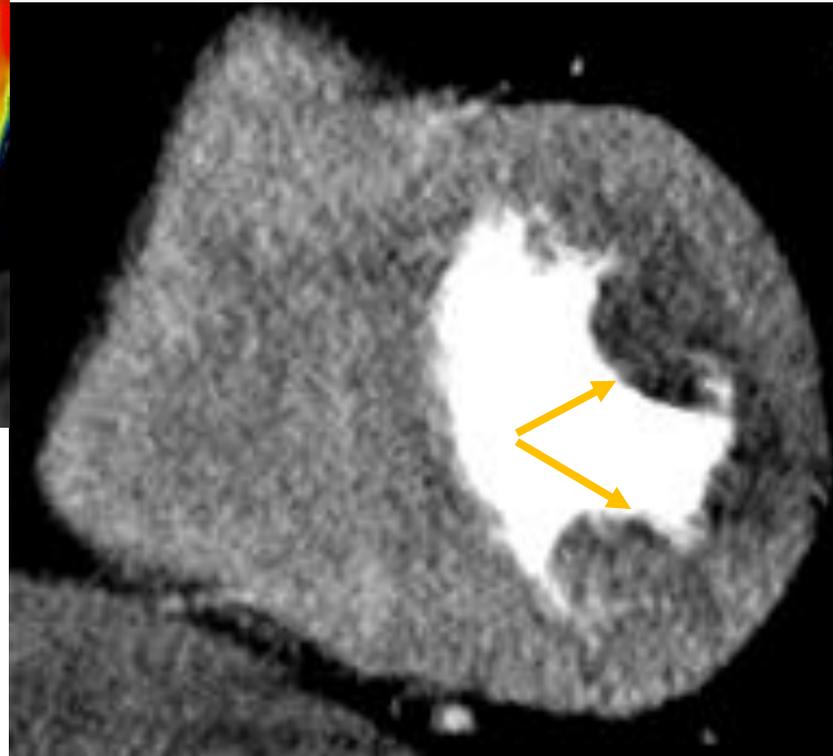


- ✓ **Скорость кровотока** - объем крови, который движется через сосудистую сеть ткани в единицу времени (мл/100г/мин)
- ✓ **Объем кровотока** - объем текущей крови в микроциркуляторном русле ткани (мл/100г)
- ✓ **Среднее время прохождения** - среднее время, необходимое для прохождения контрастного вещества от артериального входа до венозного выхода в ткани
- ✓ **PS** - площадь проницаемости мембран - общий диффузный кровоток через все капилляры.

# КТ-перфузия миокарда

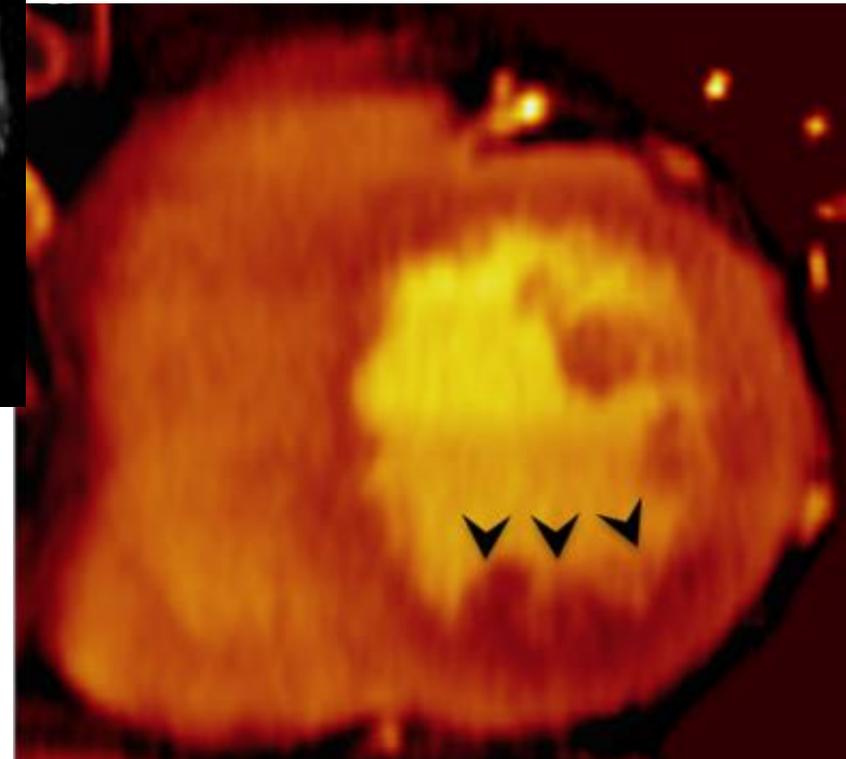


Динамическая  
(мл/100 мл/мин)

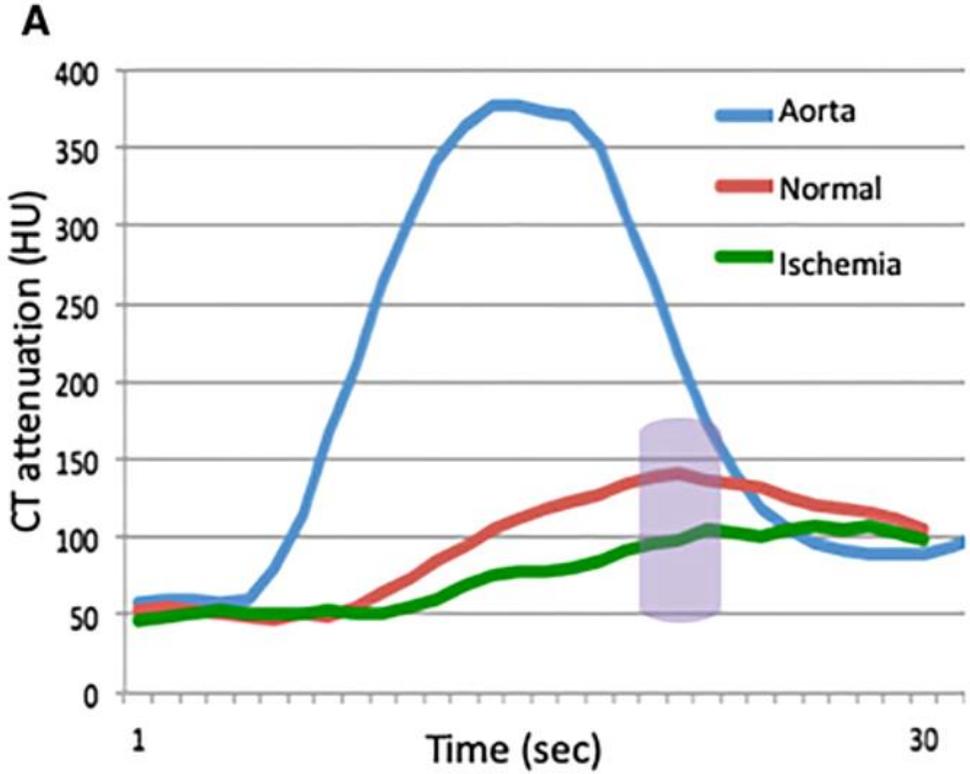


Статическая

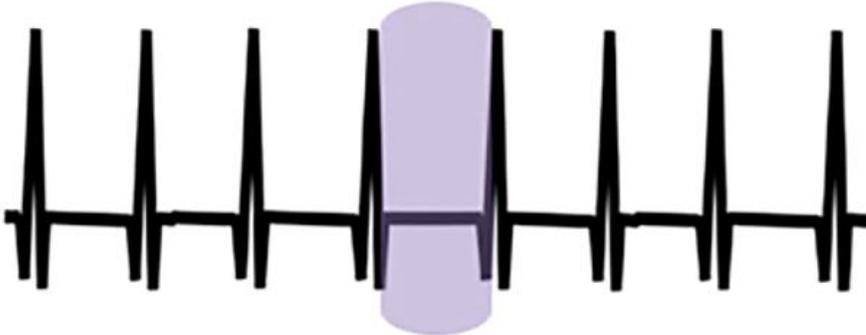
Двухэнергетическая



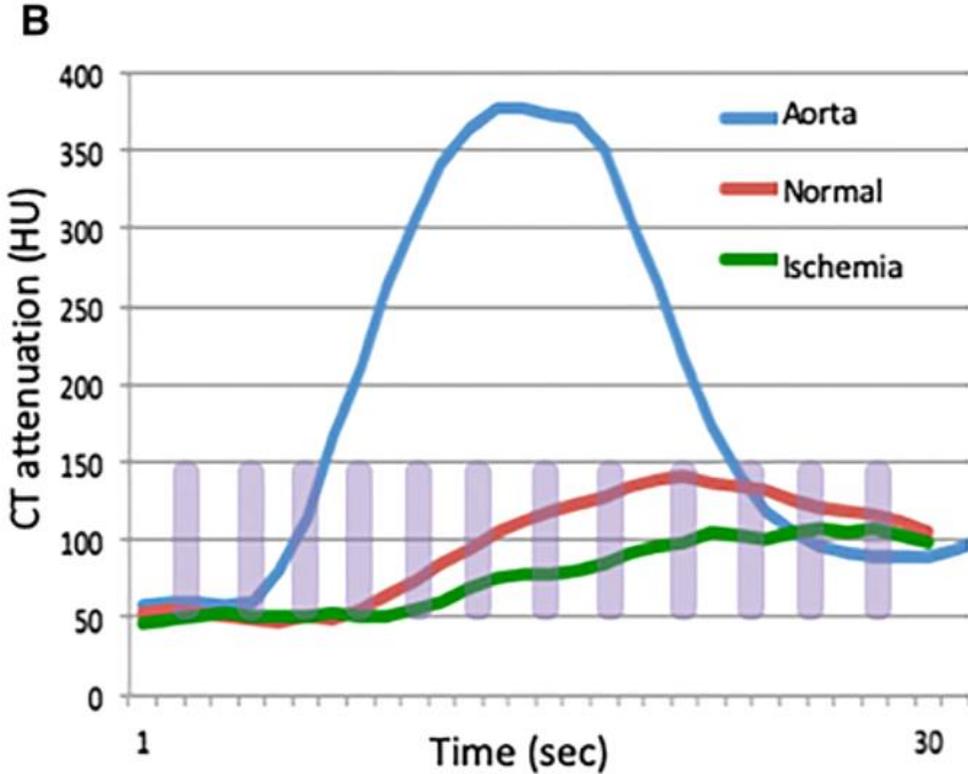
### Static CTP



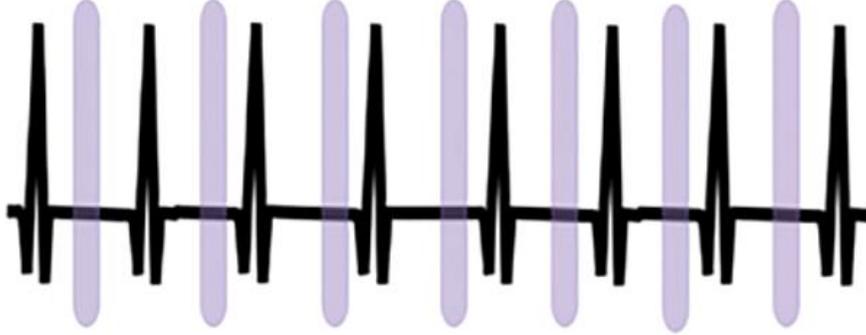
Single scan



### Dynamic CTP



Multiple scan



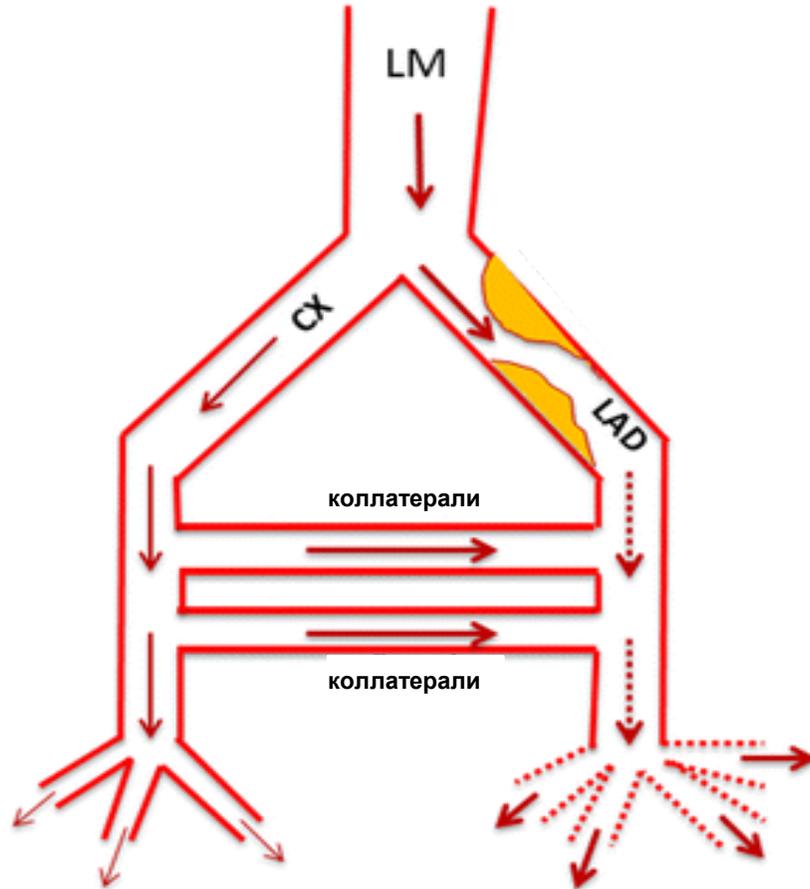
# Подготовка к исследованию

- Исключить употребление чая и кофе за 12-24 ч до исследования
- Контроль АД, ЧСС, ЭКГ
- $\beta$ -блокаторы (п/о, в/в метопролол, эсмолол – до 20 мг)
- Вазодиллятор:
  - **Аденозин (АТФ)** – 160 мкг/кг/мин, 3-5 мин - инфузомат
  - Дипиридамол – 0,56-0,84 мг/кг в течение 4-6 минутного периода, можно в/в вручную с низкой скоростью
  - Регаденосон – разовая доза (400 мг) в течение 10 секунд
- В/в катетеры (2к. – Аденозин, 1к.– Дипиридамол и Регаденосон)
- Контрастное вещество 300-320 мг/кг,  $\geq 5$  мл/сек
- Нитраты (п/о, с/л)



# Синдром межкоронарного обкрадывания

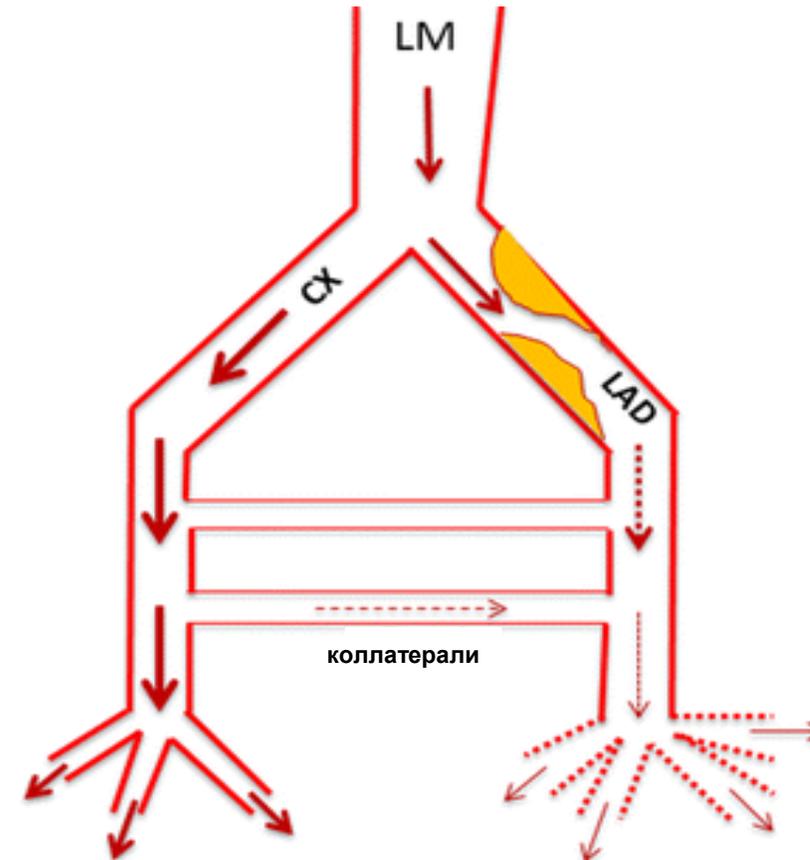
Состояние покоя



Ток крови в нестенозированной области с нормальным тонусом артериол

Ток крови в пост-стенотической ишемизированной области в следствие коллатерального кровотока и расширенных артериол (ауторегуляторная вазодилатация)

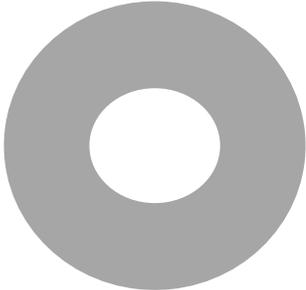
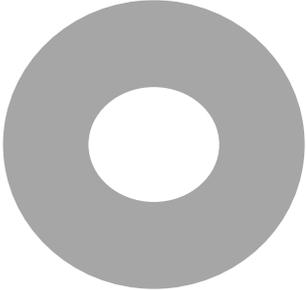
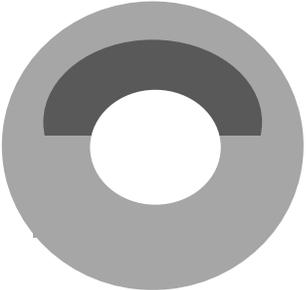
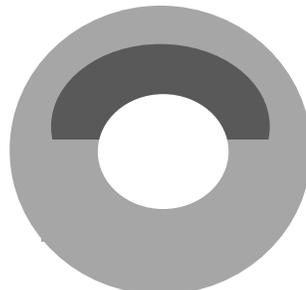
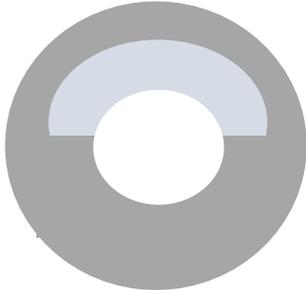
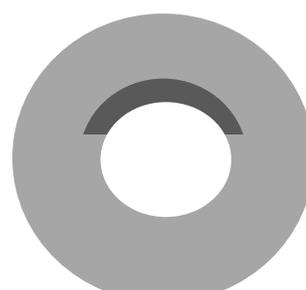
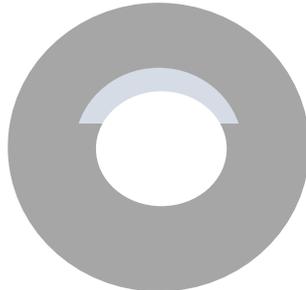
Физическая / фармакологическая нагрузка



Ток крови в нестенозированной области УВЕЛИЧЕН после дилатации артериол

Ток крови в пост-стенотической ишемизированной области СНИЖЕН в следствие ↓ коллатерального кровотока, короткой диастолы и истощенного вазодилаторного резерва артериол

# Интерпретация выявленных изменений

КТ-перфузия Нагрузка	КТ-перфузия Покой	Отсроченная фаза	Интерпретация
			<b>Стресс- индуцированная ишемия</b>
			<b>Постинфарктный кардиосклероз</b>
			<b>Периинфарктная ишемия</b>

# Оценка выявленных изменений

## ➤ Качественная

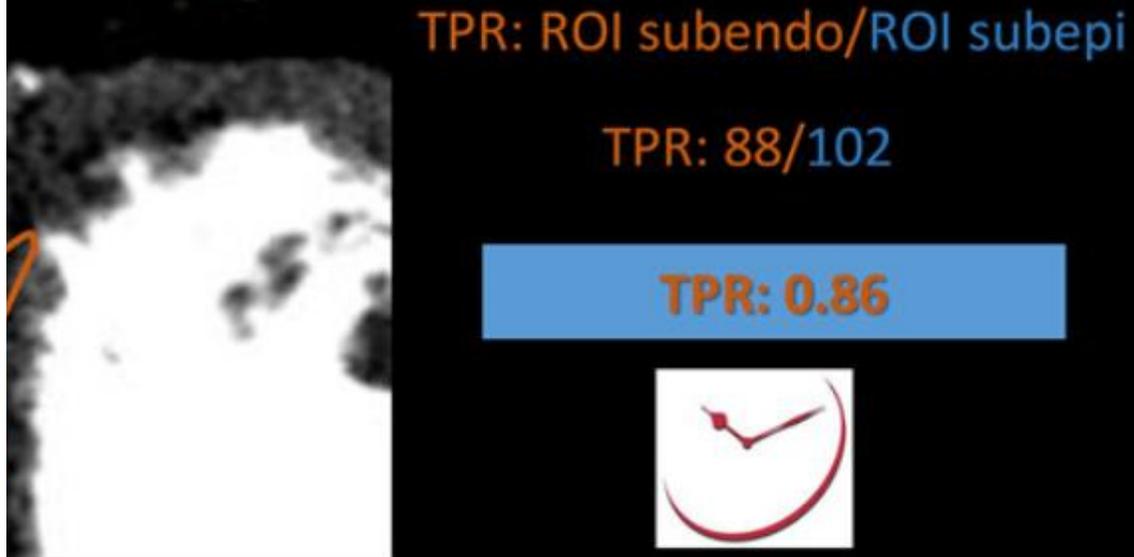
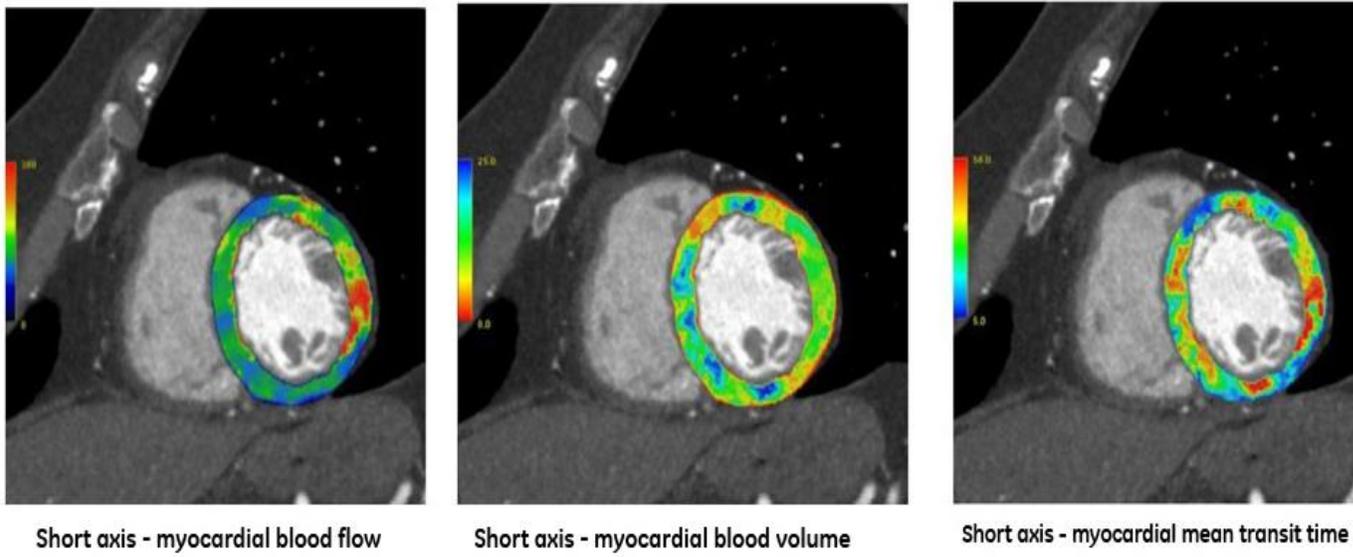
- **Скорость миокардиального кровотока** -  $mL/100 mL/min$   
Визуальная оценка миокарда на наличие зон гипоперфузии



## ➤ Полуколичественная

- Индекс перфузии
- Индекс резерва перфузии миокарда  $(A_{stress} - A_{rest})/A_{rest} \cdot 100\%$
- Трансмуральный перфузионный градиент

(полярные карты)



# Качественная оценка vs ТПГ



ESC

European Society  
of Cardiology

European Heart Journal - Cardiovascular Imaging (2018) 0, 1–9  
doi:10.1093/ehjci/je111

## Quantitative vs. qualitative evaluation of static stress computed tomography perfusion to detect haemodynamically significant coronary artery disease

Gianluca Pontone<sup>1\*</sup>, Daniele Andreini<sup>1,2</sup>, Andrea I. Guaricci<sup>3</sup>, Marco Guglielmo<sup>1</sup>, Andrea Baggiano<sup>1</sup>, Giuseppe Muscogiuri<sup>1</sup>, Laura Fusini<sup>1</sup>, Margherita Soldi<sup>1</sup>, Fabio Fazzari<sup>4</sup>, Claudio Berzovini<sup>5</sup>, Annalisa Pasquini<sup>6</sup>, Paolo Ciancarella<sup>7</sup>, Saima Mushtaq<sup>1</sup>, Edoardo Conte<sup>1</sup>, Giuseppe Calligaris<sup>1</sup>, Stefano De Martini<sup>1</sup>, Cristina Ferrari<sup>1</sup>, Stefano Galli<sup>1</sup>, Luca Grancini<sup>1</sup>, Paolo Ravagnani<sup>1</sup>, Giovanni Teruzzi<sup>1</sup>, Daniela Trabattoni<sup>1</sup>, Franco Fabbiocchi<sup>1</sup>, Alessandro Lualdi<sup>1</sup>, Piero Montorsi<sup>1,2</sup>, Mark G. Rabbat<sup>8,9</sup>, Antonio L. Bartorelli<sup>1,10</sup>, and Mauro Pepi<sup>1</sup>

\* Выполнение статической стресс-КТ-перфузии с визуальной оценкой у пациентов с высоким-промежуточным риском ИБС является возможной и более эффективной стратегией для улучшения диагностической точности изображений КТ-коронарографии по сравнению с анализом перфузии миокарда на основе измерения ТПГ

\* \* Значимые различия в диагностической эффективности оценки стенозов >50% между визуальным анализом и ТПГ найдены не были

Rest  
cCTA

Rest-cCTA +  
stress-CTP  
visual

Rest-cCTA +  
stress-CTP  
quantitative

### \*Референтный метод ICA+FFR

#### Vessel-based analysis

True positive	72	67	61
True negative	144	176	172
False positive	47	15	19
False negative	1	6	12
Sensitivity	99 (96–100)	92 (86–98)	84 (74–93)
Specificity	75 (69–82)	92 (88–96)	90 (85–95)
Negative predictive value	99 (98–100)	97 (94–99)	93 (89–98)
Positive predictive value	61 (50–71)	82 (72–91)	76 (65–88)
Accuracy	82 (77–87)	92 (89–96)	88 (84–93)

#### Patient-based analysis

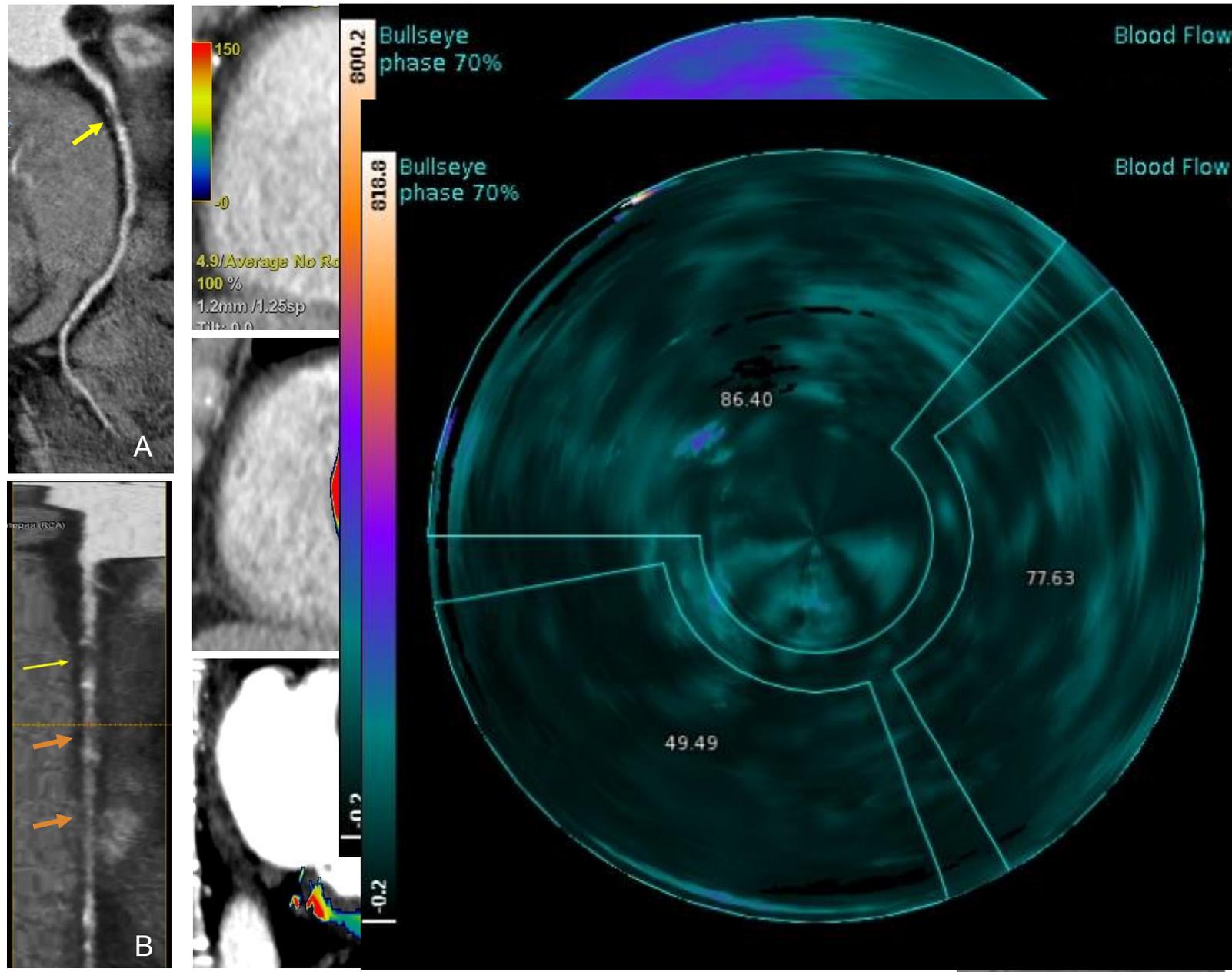
True positive	42	42	39
True negative	23	36	32
False positive	22	9	13
False negative	1	1	4
Sensitivity	98 (93–100)	98 (93–100)	91 (82–99)
Specificity	51 (37–66)	80 (68–92)	71 (58–84)
Negative predictive value	96 (88–100)	97 (92–100)	89 (79–99)
Positive predictive value	66 (54–77)	82 (72–93)	75 (63–87)
Accuracy	74 (65–83)	89 (82–95)	81 (72–89)

# Протокол динамической КТ-перфузии

## Нагрузка / Покой (Stress / Rest)



# Динамическая КТП – нагрузка / покой



▪ Мужчина, 53 лет. Жалобы на нетипичные боли в груди, слабость, утомляемость ~6 мес.

▪ **кКТА:** А – мягкая бляшка с единич Са в прокс/3 ПКА, В – множественные стенозы в ПКА с наличием окклюзии / субокклюзии (↑) .

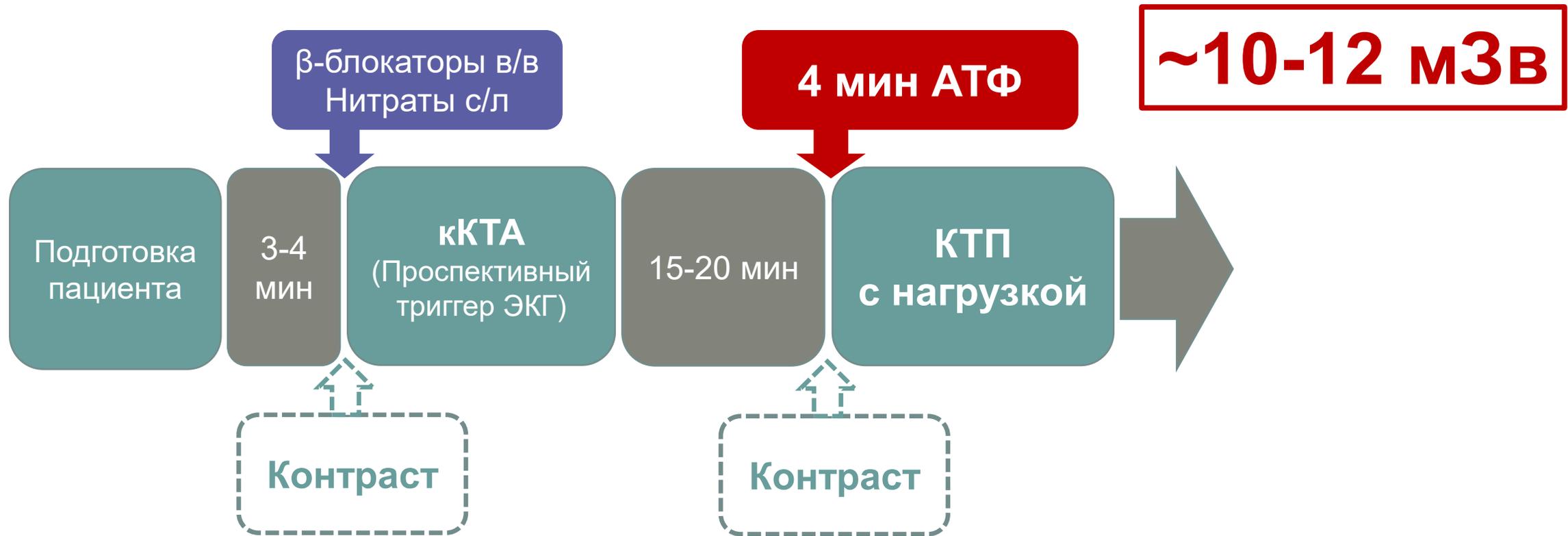
▪ **Стресс-КТП:** С-Е, Г – нагрузка, F, H – покой.

Дефекты перфузии в базально-средних ниже-перегородочном и нижнем сегментах (зеленый цвет):

▪ **ИКА:** I – значимые стенозы в прокс и ср/3 ПКА; J – состояние после реваскуляризации .

# Протокол динамической КТ-перфузии

## кКТА + стресс-КТП



Последовательная анатомическая → функциональная оценка



Диффузная ишемия при трехсосудистом поражении

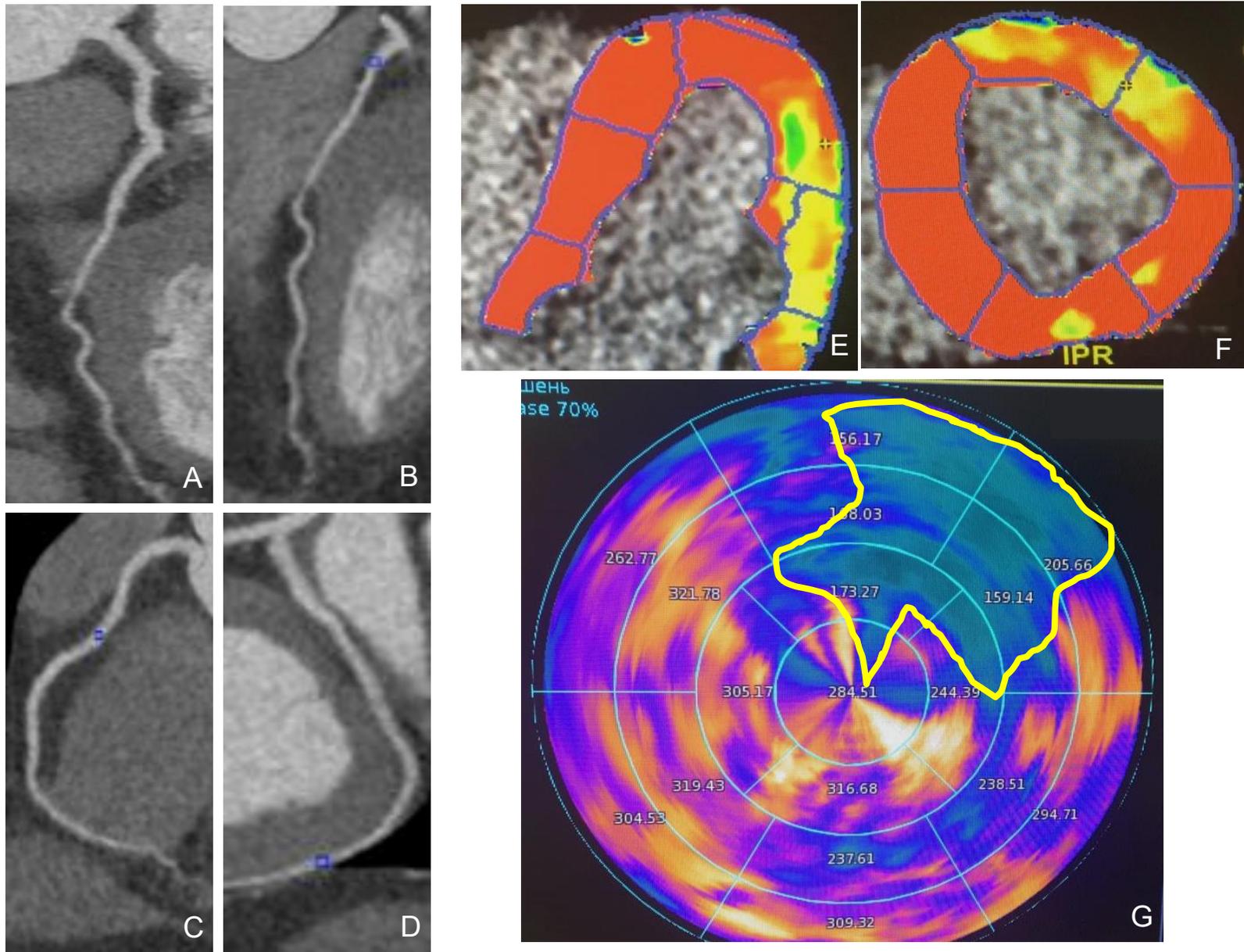


Микроваскулярная дисфункция



↓ Время выполнения и обработки результатов исследования

# кКТА + стресс-КТП



▪ Мужчина, 42 лет. Жалобы на редкие тупые боли в груди. Дислипидемия, АГ, курит.

▪ **кКТА:** А-D – все артерии проходимы. А,В – «миокардиальный мостик» в ср/3 ПМЖА с сужением на 40%.

▪ **Стресс-КТП:** Е – длинная ось, F – короткая ось. Дефекты перфузии в базально-средних переднем и передне-боковом сегментах (желто-зеленый цвет)..

# «Статическое» сканирование (static arterial first-pass imaging)

## Покой / Нагрузка (Rest / Stress)

6-7 мЗв



Фаза Покоя

ЕСТЬ ИБС,  
≥50%

Фаза Нагрузки

Выявление  
преходящей ишемии  
и ПИКС



Одномоментная  
анатомо-  
функциональная оценка

Только качественная  
оценка изменений

Опыт в  
интерпретации  
полученных данных

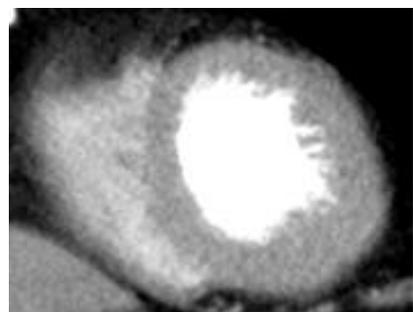
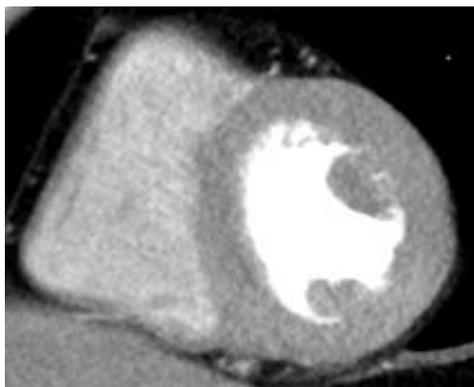
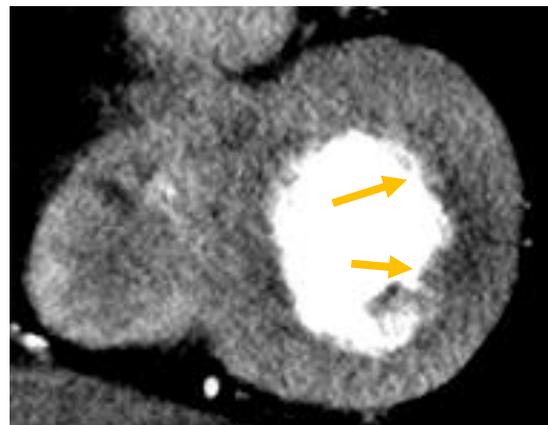
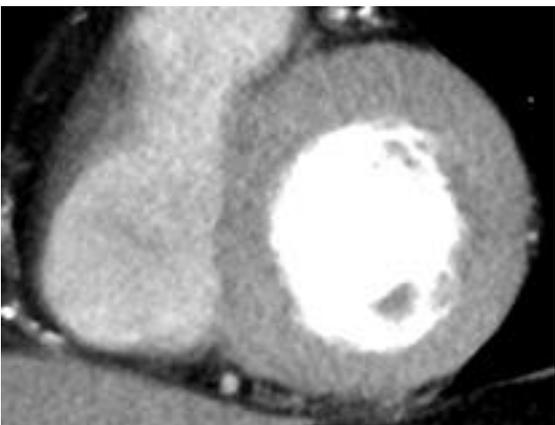
# Статическая КТП – покой/нагрузка

## Стресс-индуцированная ишемия

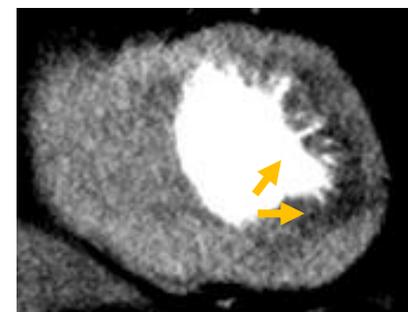
Мужчина, 59 лет с жалобами на гипертонию и рецидив типичной стенокардии.

В анамнезе стентирование ПКА 2 года назад.

- Преходящие дефекты перфузии в бассейне ОА (↑)



Rest



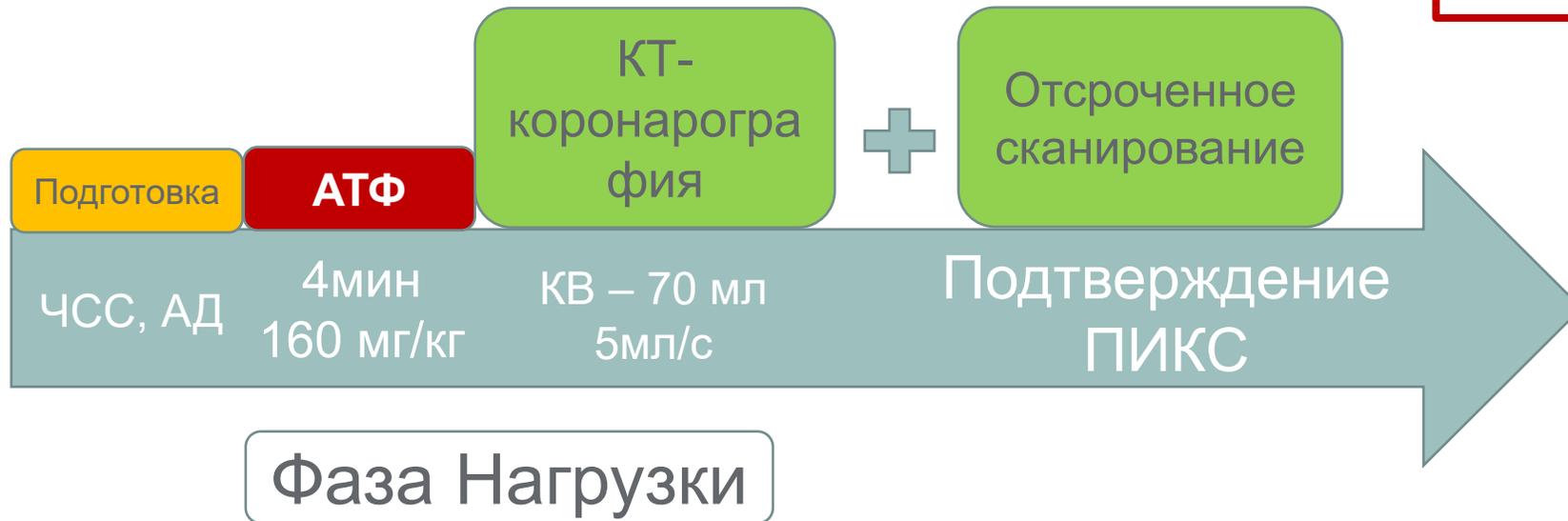
Stress



# «Статическое» сканирование (static arterial first-pass imaging)

## стресс-кКТА + стресс-КТП

**< 3 мЗв**



↓ Лучевая нагрузка и объем КВ



Нет контаминации КВ в фазе покоя

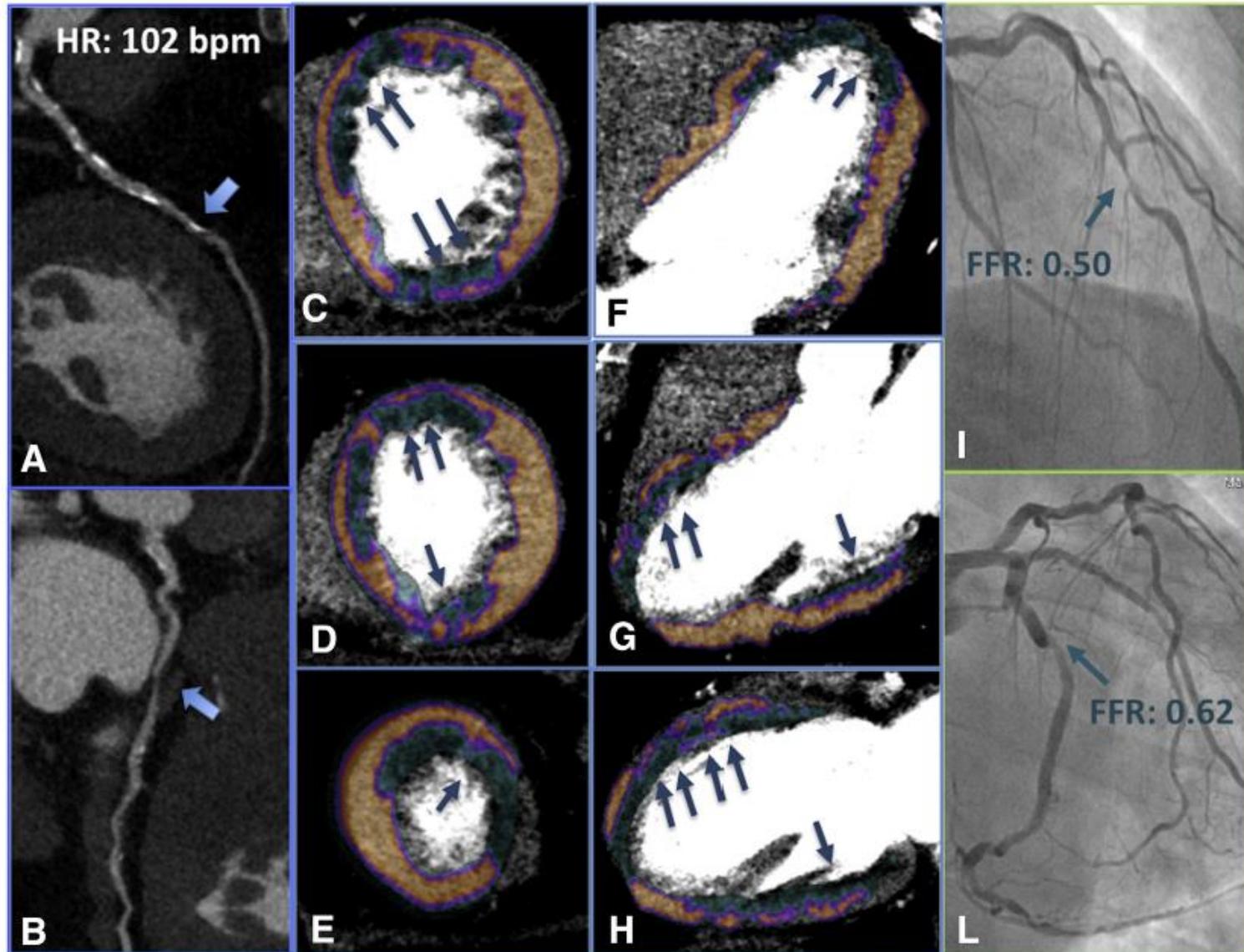


Реальная альтернатива FFRct



- Количественная оценка  
- Микроваскулярное русло

# стресс-кКТА + стресс-КТП



- Мужчина, 63 лет с жалобами на гипертонию и типичную стенокардию.

- **Стресс-кКТА:** значимые кальцинизированные бляшки в ср/3 ПМЖА (А), мягкая бляшка в ср/3 доминантной ОА (В).

- **Стресс-КТП:** С-Е – короткая ось, F-H – длинная ось.

Дефекты перфузии в базально-средних переднем, передне-перегородочном и нижнем сегментах и апикальных переднем, перегородочном и боковом сегментах (стрелки):

- **ИКА+FFR:** I-L – значимые стенозы ( $FFR < 0,8$ ) в ср/3 ПМЖА (I), ср/3 ОА (L).

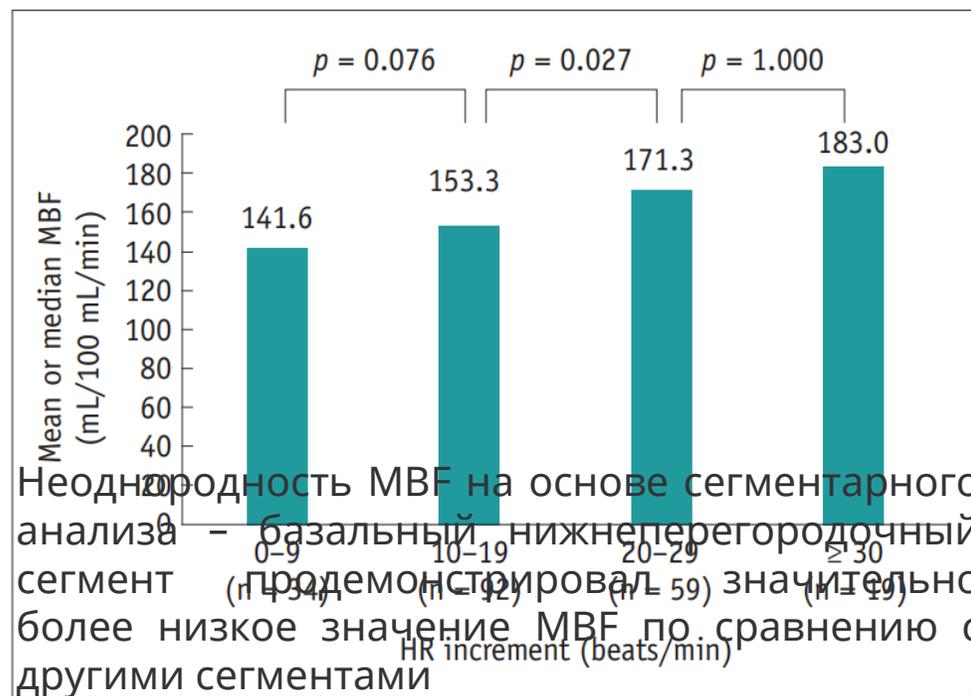
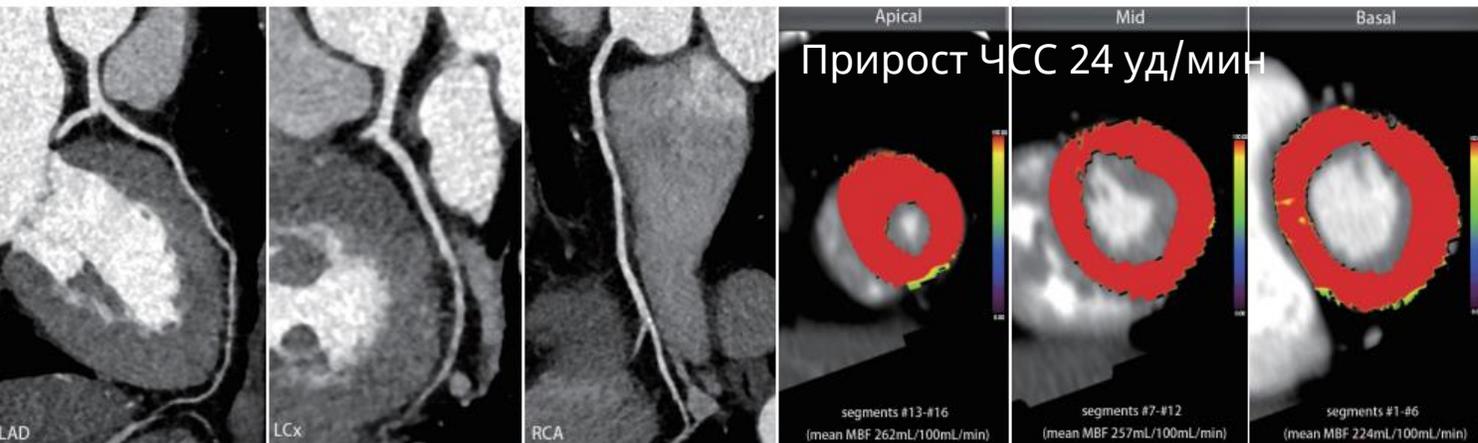


Вид перфузии	Протокол сканирования	Преимущества	Недостатки
Динамическая перфузия	Нагрузка / Покой	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Количественные показатели перфузии;</li> <li>- Диффузная ишемия;</li> <li>- Абсолютный резерв коронарного кровотока;</li> <li>- Микроваскулярная дисфункция.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>20-25 мЗв;</b></li> <li>- Необходимость данных кКТА;</li> <li>- Артефакты.</li> <li>- Время обработки данных</li> </ul>
	кКТА + стресс-КТП	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Последовательная анатомо-функциональная оценка;</li> <li>- Диффузная ишемия;</li> <li>- Микроваскулярная дисфункция;</li> <li>- ↓ Время выполнения и обработки результатов исследования</li> <li>- <b>Лучевая нагрузка 10-12 мЗв</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Нет оценки коронарного резерва;</li> <li>- Проблемы отличия ПИКС;</li> <li>- Артефакты</li> </ul>
Статическая перфузия	кКТА + стресс-КТА	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Последовательная анатомо-функциональная оценка;</li> <li>- Быстрый анализ;</li> <li>- <b>Лучевая нагрузка 6-7 мЗв</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Только качественная оценка;</li> <li>- Опыт интерпретации</li> <li>- Нет оценки коронарного резерва;</li> </ul>
	Стресс-КТА+КТП	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Лучевая нагрузка ~3 мЗв;</b></li> <li>- Альтернатива КТ-ФРК (СТ-FFR);</li> <li>- Быстрый анализ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Только качественная оценка;</li> <li>- Нет оценки коронарного резерва;</li> <li>- Проблемы отличия ПИКС;</li> <li>- Оценка микроваск дисфункции</li> <li>- Повторное сканирование</li> </ul>

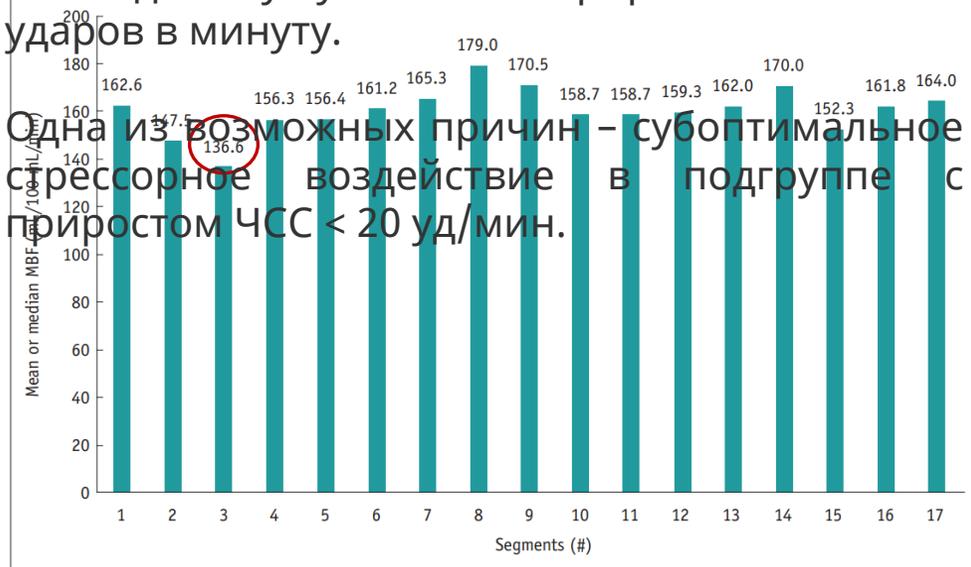


# Dynamic CT Myocardial Perfusion Imaging in Patients without Obstructive Coronary Artery Disease: Quantification of Myocardial Blood Flow according to Varied Heart Rate Increments after Stress

Lihua Yu, MD<sup>1\*</sup>, Xiaofeng Tao, MD<sup>2\*</sup>, Xu Dai, MD<sup>1</sup>, Ting Liu, MD<sup>3</sup>, Jiayin Zhang, MD<sup>1</sup>



Значительно более высокий глобальный MBF наблюдался у субъектов с приростом ЧСС ≥ 20 ударов в минуту.



# Критерии гиперемического ответа



Покраснение  
кожных покровов



Затрудненное  
дыхание



Чувство  
сдавления в  
грудной клетке

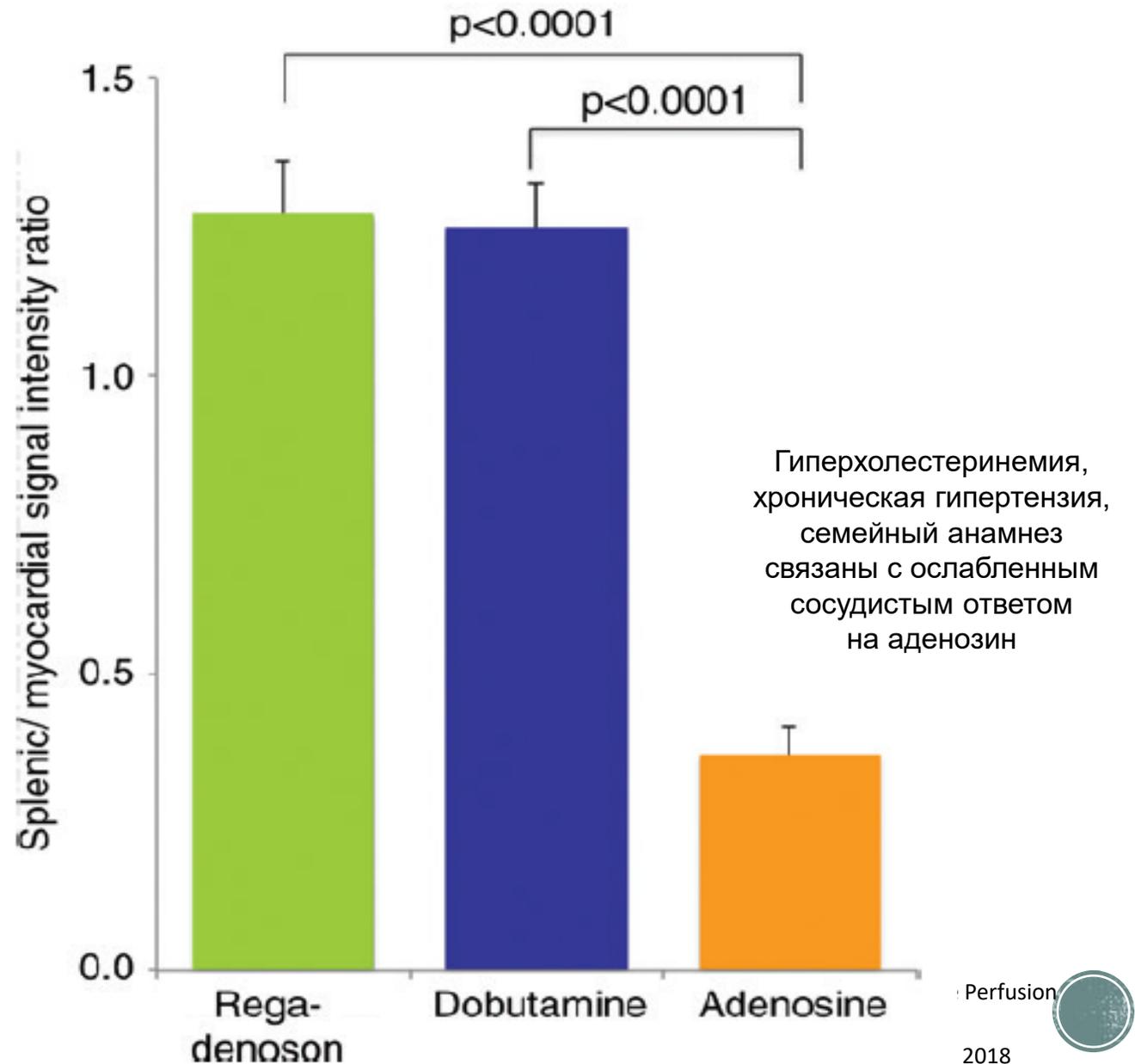
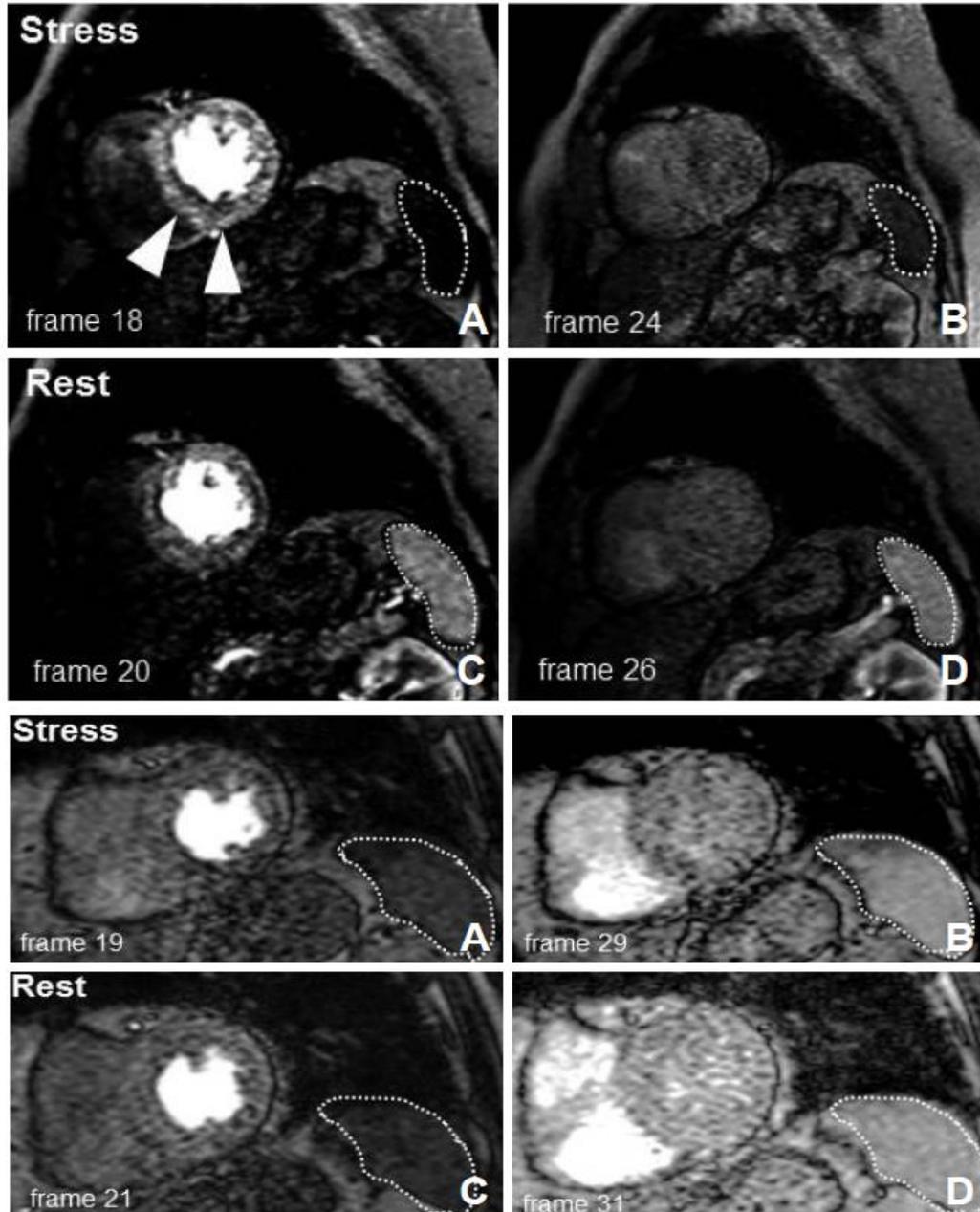


Стучание в  
висках

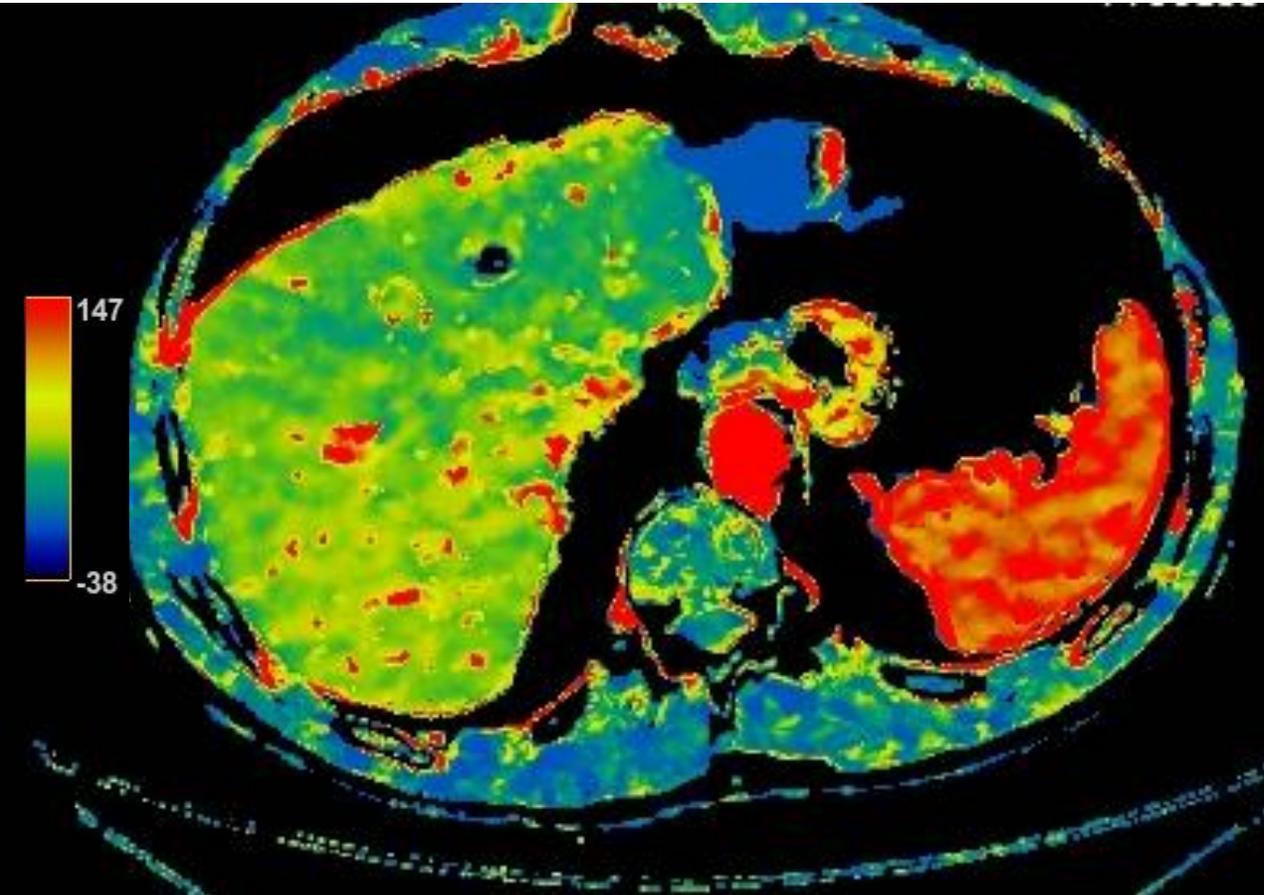


↑ ЧСС >20 уд

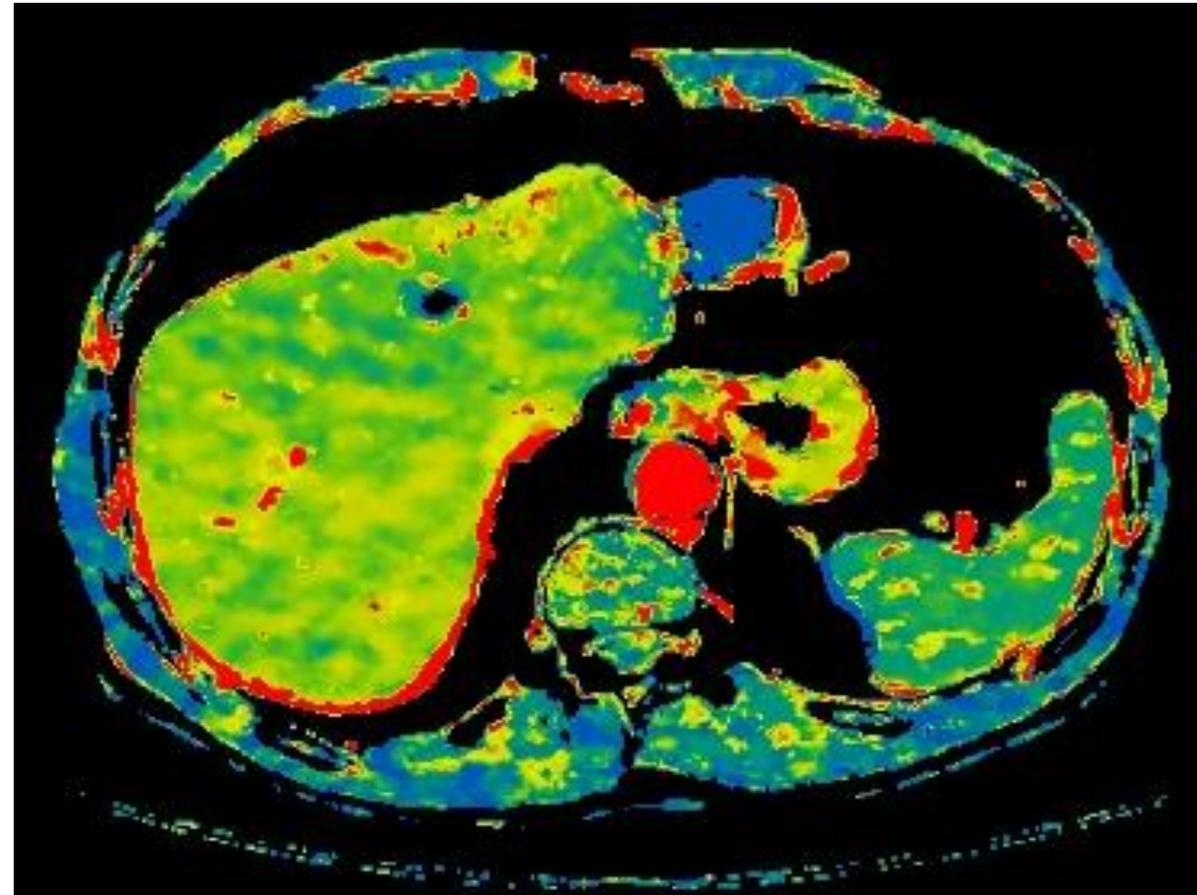
# Объективные критерии гиперемического ответа?



# Симптом «отключения» селезенки



КТ-перфузия селезенки в покое



КТ-перфузия селезенки при нагрузке



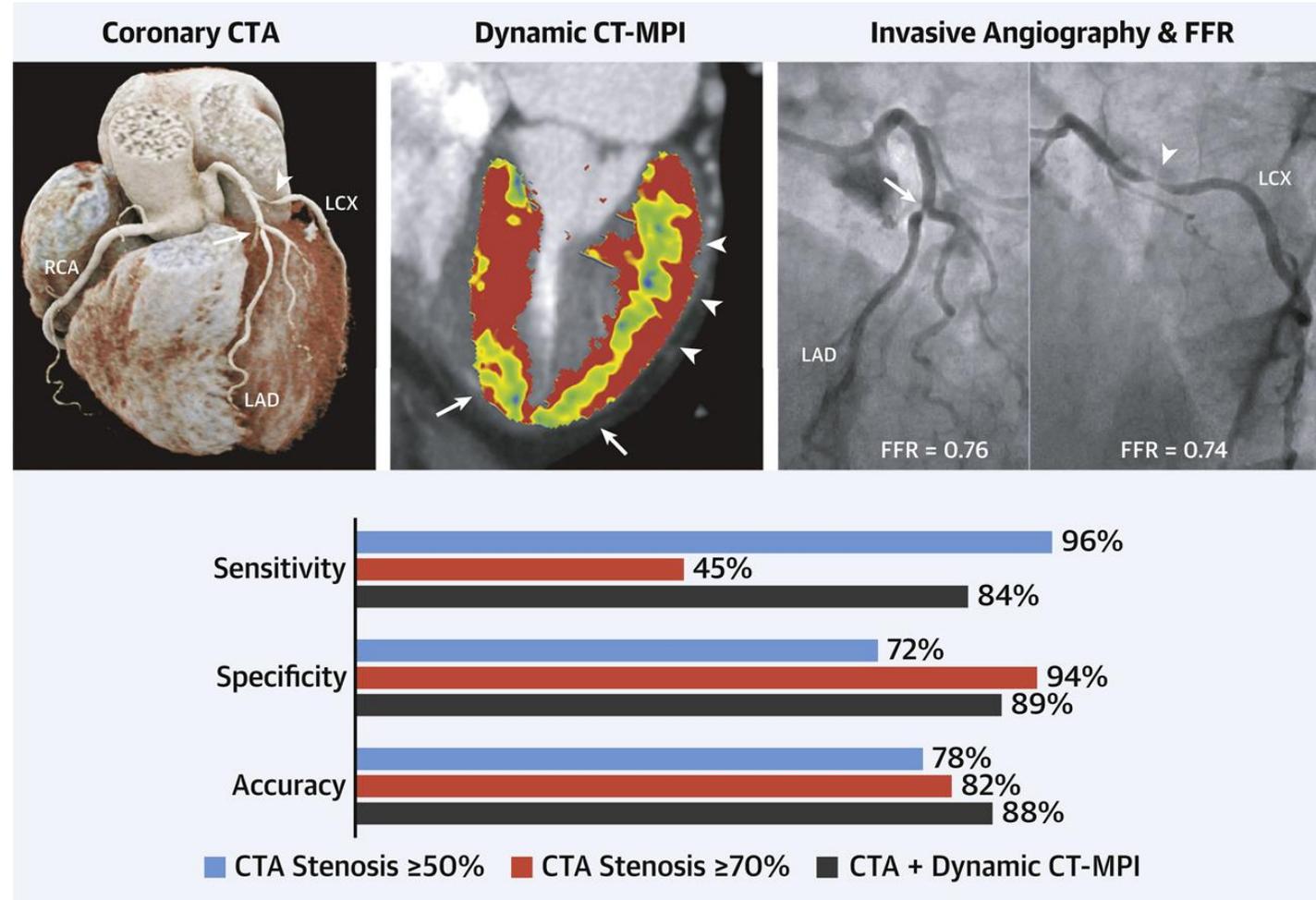
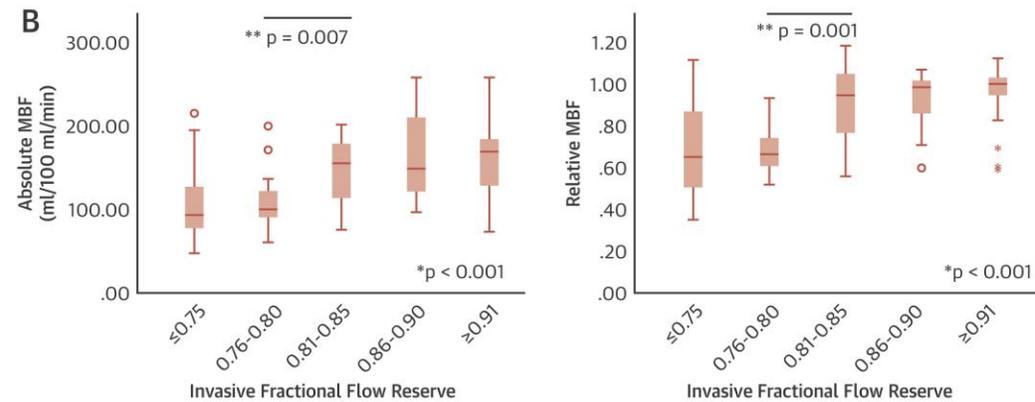
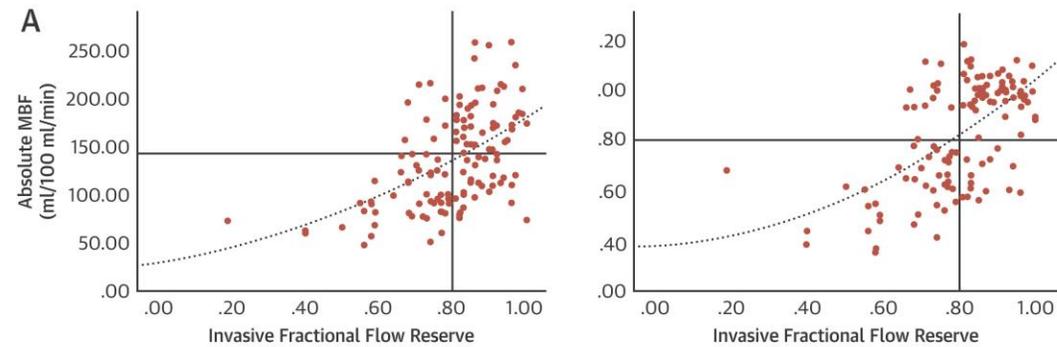
**ORIGINAL RESEARCH** [SPECIFIC]; NCT02810795

# Dynamic Myocardial Perfusion CT for the Detection of Hemodynamically Significant Coronary Artery Disease



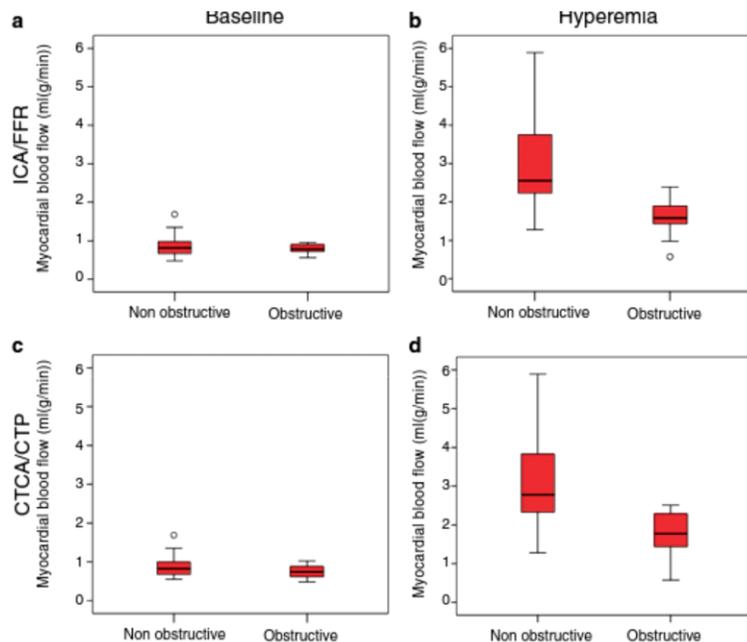
Fay M.A. Nous, MD,<sup>a,b</sup> Tobias Geisler, MD,<sup>c</sup> Mariusz B.P. Kruk, MD, PhD,<sup>d</sup> Hatem Alkadhi, MD,<sup>e</sup> Kakuya Kitagawa, MD,<sup>f</sup> Rozemarijn Vliegenthart, MD, PhD,<sup>g</sup> Michaela M. Hell, MD,<sup>h</sup> Jörg Hausleiter, MD,<sup>i</sup> Patricia K. Nguyen, MD,<sup>j,k,l</sup> Ricardo P.J. Budde, MD, PhD,<sup>a,b</sup> Konstantin Nikolaou, MD, MBA,<sup>m</sup>

- Международное многоцентровое проспективное наблюдательное когортное исследование, 9 центров из Европы, Японии и США.

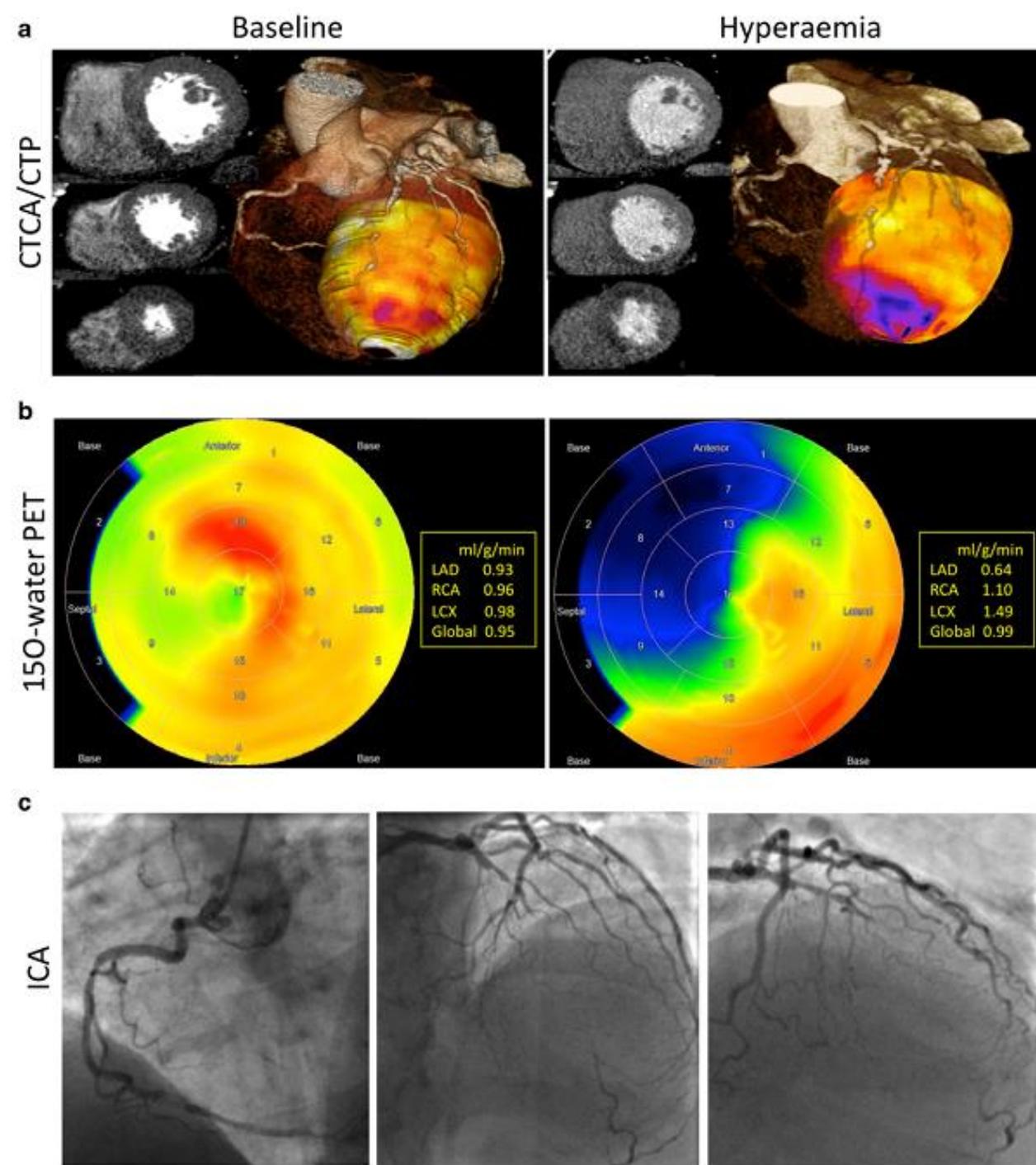


## Computed tomography myocardial perfusion vs <sup>15</sup>O-water positron emission tomography and fractional flow reserve

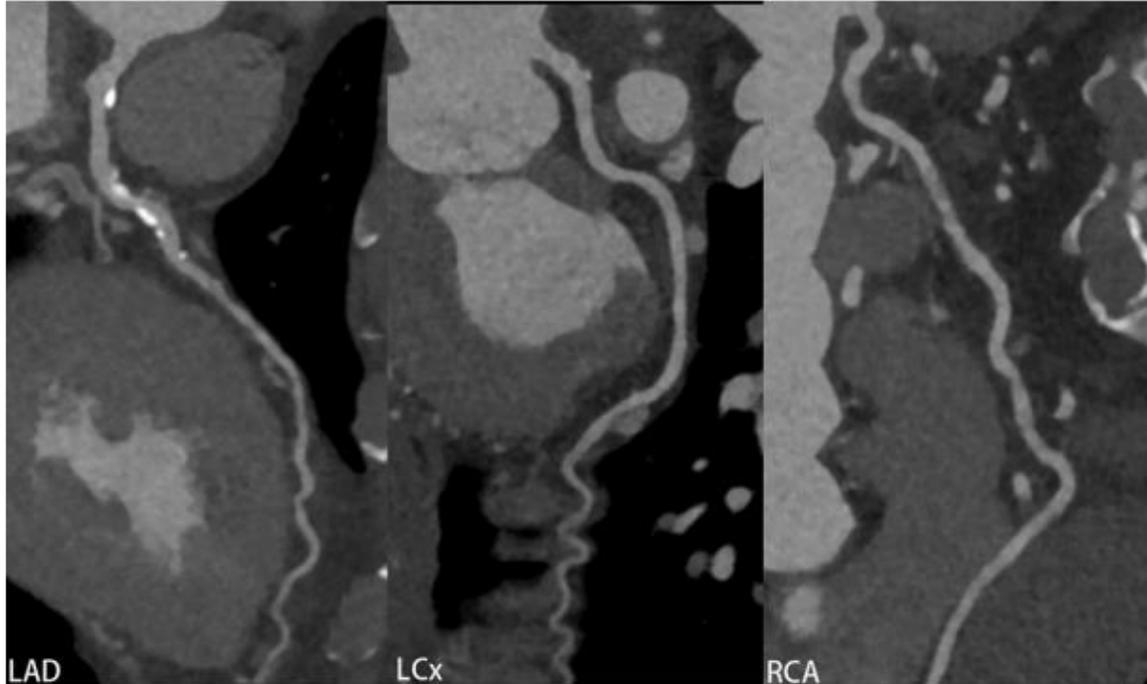
Michelle C. Williams<sup>1</sup> · Saeed Mirsadraee<sup>2</sup> · Marc R. Dweck<sup>1</sup> · Nicholas W. Weir<sup>2</sup> · Alison Fletcher<sup>2</sup> · Christophe Lucatelli<sup>2</sup> · Tom MacGillivray<sup>1,2</sup> · Saroj K. Golay<sup>1</sup> · Nicholas L. Cruden<sup>3</sup> · Peter A. Henriksen<sup>3</sup> · Neal Uren<sup>3</sup> · Graham McKillop<sup>4</sup> · João A. C. Lima<sup>5</sup> · John H. Reid<sup>2</sup> · Edwin J. R. van Beek<sup>1,2</sup> · Dilip Patel<sup>4</sup> · David E. Newby<sup>1,2</sup>



➤ КТ-Кг / КТП обеспечивает надежную анатомо-физиологическую оценку пациентов с подозрением на ИБС с отличной корреляцией миокардиального кровотока по <sup>15</sup>O-H<sub>2</sub>O ПЭТ и сравнимой диагностической точностью с современным золотым стандартом ICA / FFR.



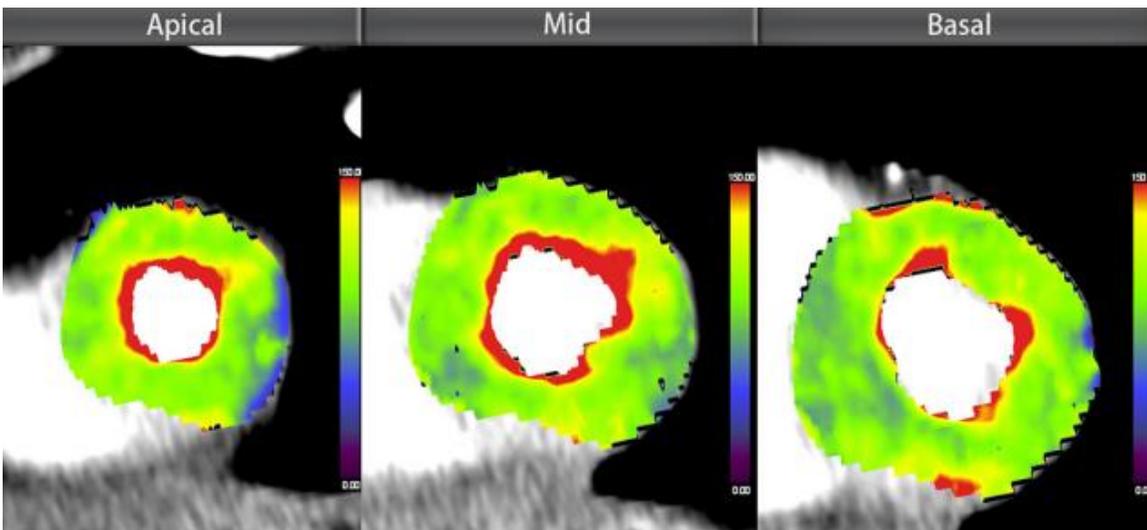
# Микроваскулярная дисфункция



Мужчина, 68 лет с диагнозом ХКС и признаками стенокардии.

**КТ-коронарография:** незначимые кальцинированные бляшки в ПМЖА, отсутствие стенозов в правой коронарной огибающей артерии.

**Динамическая стресс-КТ-перфузия** – диффузное снижение MBF в апикальных (98 мл/100 мл/мин), средних (99 мл/100 мл/мин) и базальных отделах (99 мл/100 мл/мин).



\* снижение перфузии связано с **дисфункцией микроваскулярного русла** при отсутствии значимого поражения в эпикардальных коронарных артериях.



### The Value of Low-Dose Dynamic Myocardial Perfusion CT for Accurate Evaluation of Microvascular Obstruction in Patients With Acute Myocardial Infarction

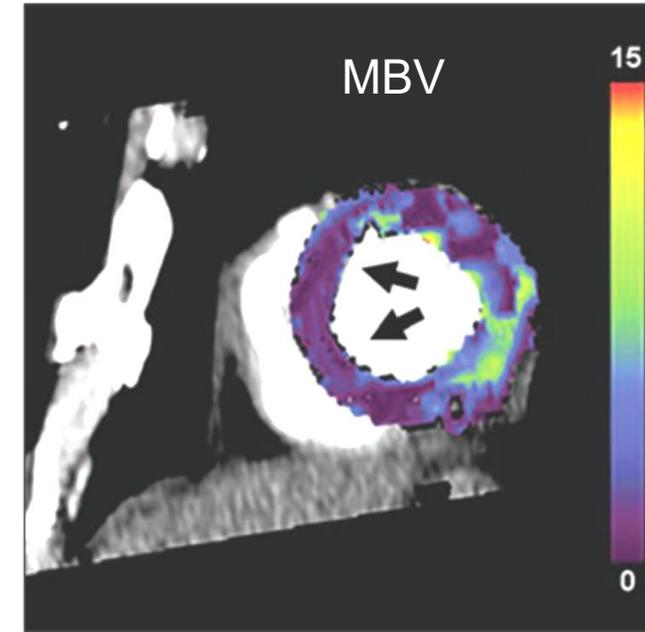
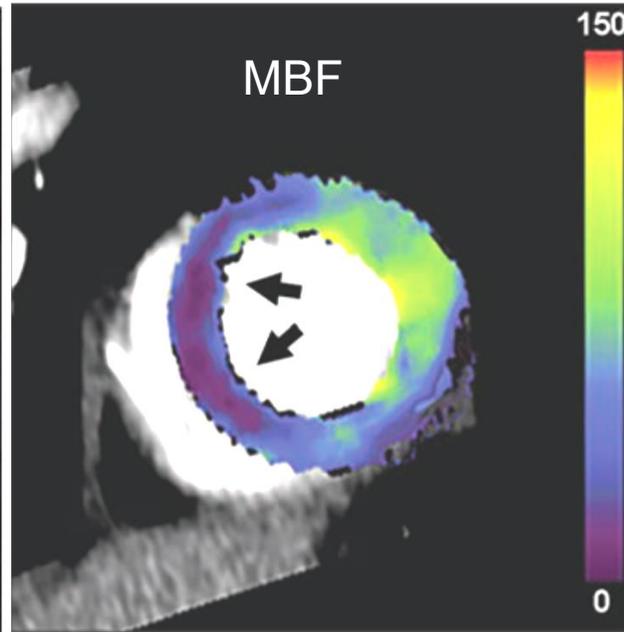
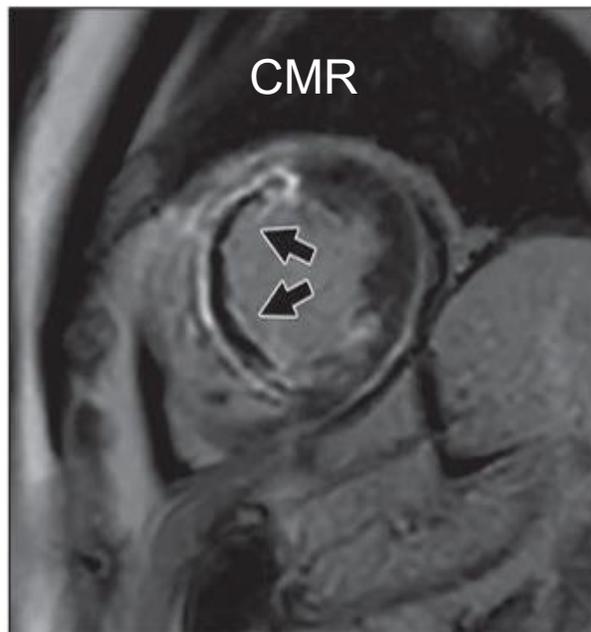
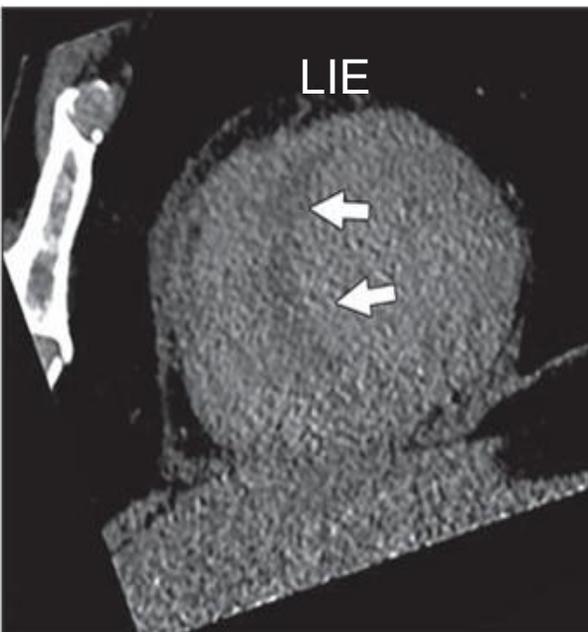
Mengmeng Yu<sup>1</sup>, Xiuyu Chen<sup>2</sup>, Xu Dai<sup>1</sup>, Jingwei Pan<sup>3</sup> ... Show all

Share  
Claim CREDIT  
+ Affiliations:

Citation: American Journal of Roentgenology. 2019;213: 798-806. 10.2214/AJR.19.21305

# КТ-перфузия миокарда в диагностике микрососудистой обструкции на фоне ОИМ

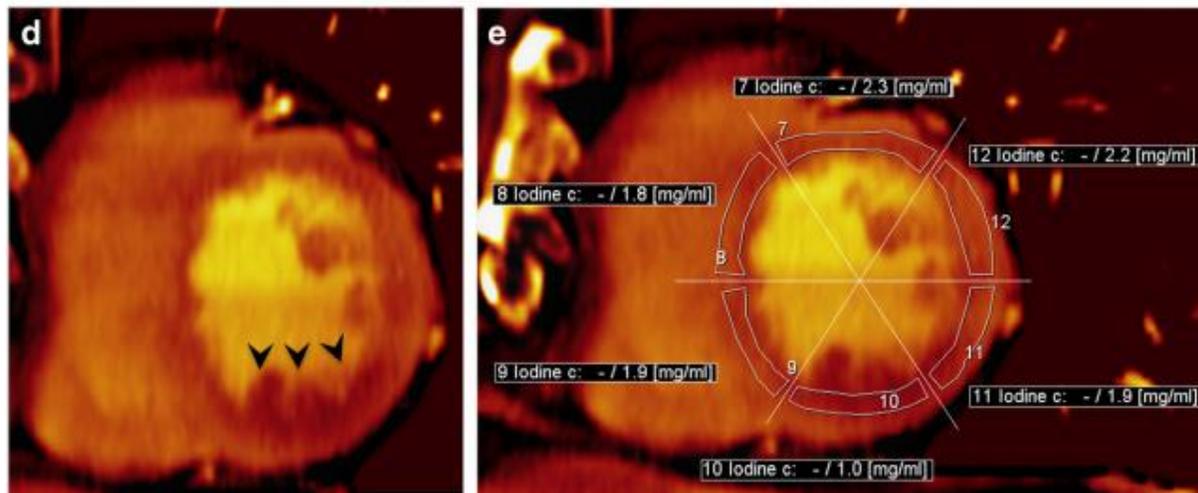
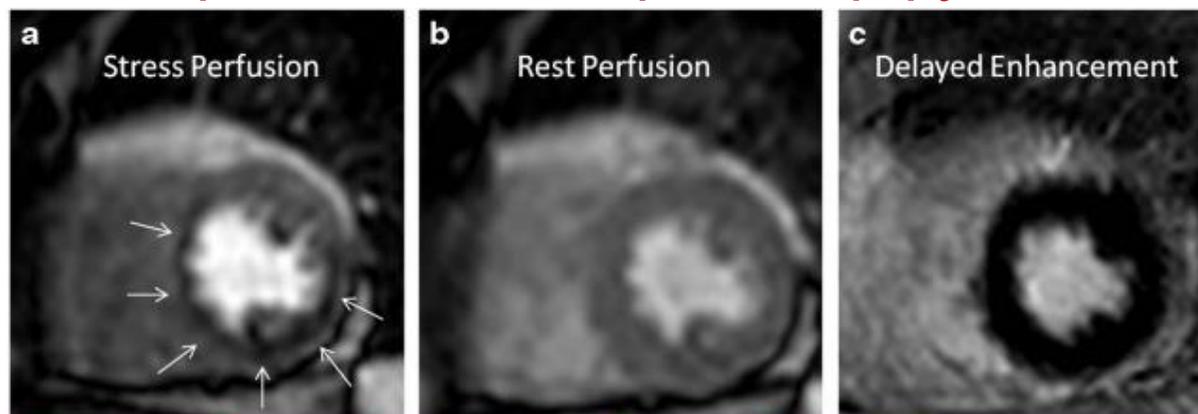
Acute Myocardial Infarction	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Diagnostic Accuracy
Without microvascular obstruction					
Myocardial blood flow $\leq 66$ mL/100 mL/min	93.3 (42/45)	82.8 (256/309)	44.2 (42/95)	98.8 (256/259)	84.2 (298/354)
With microvascular obstruction					
Myocardial blood flow $\leq 33$ mL/100 mL/min	100.0 (88/88)	99.0 (306/309)	96.7 (88/91)	100.0 (306/306)	99.2 (394/397)



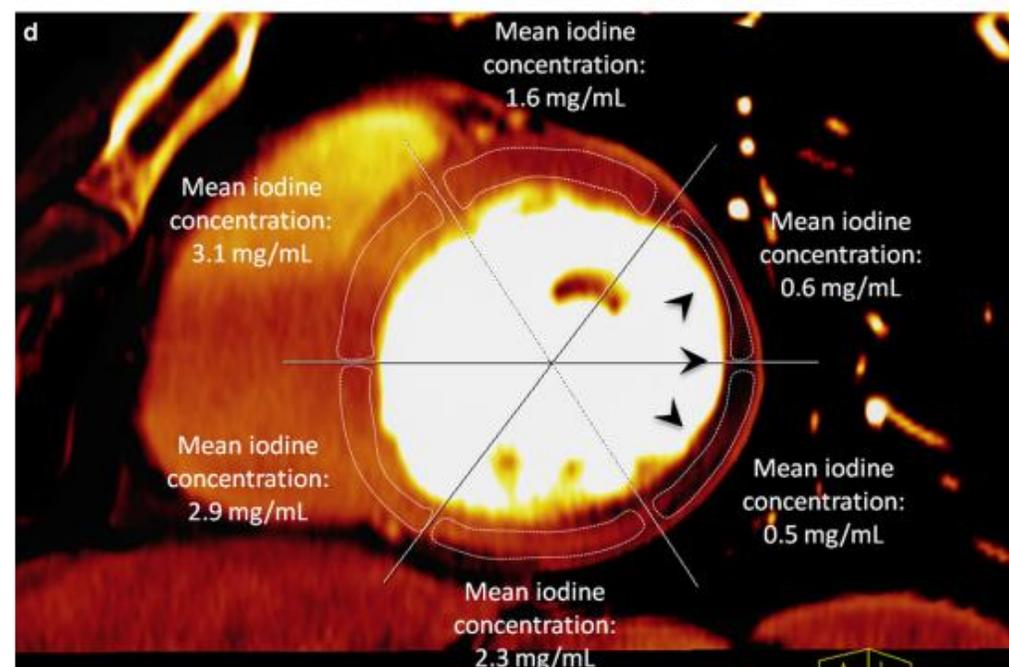
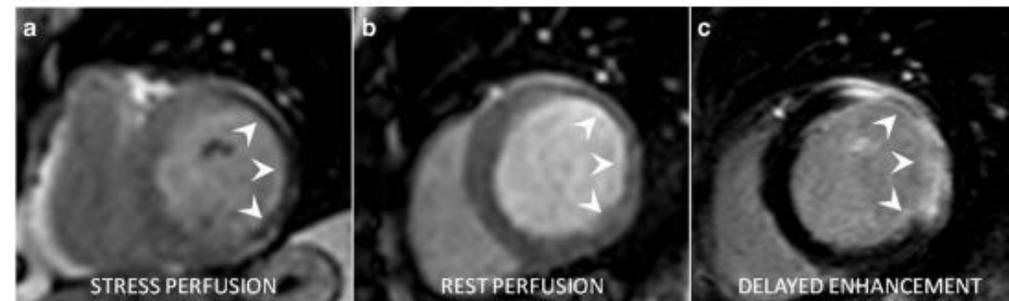
## Quantitative myocardial perfusion with stress dual-energy CT: iodine concentration differences between normal and ischemic or necrotic myocardium. Initial experience

Carlos Delgado Sánchez-Gracián<sup>1</sup> · Roque Oca Pernas<sup>1</sup> · Carmen Trinidad López<sup>1</sup> ·  
Eloísa Santos Armentia<sup>1</sup> · Antonio Vaamonde Liste<sup>2</sup> · María Vázquez Caamaño<sup>1</sup> ·  
Gonzalo Tardáguila de la Fuente<sup>1</sup>

### Преходящий дефект перфузии



### Стабильный дефект перфузии (постинфарктный рубец)



# Мета-анализ, включающий 77 исследований

Diagnostic performance of non-invasive imaging for stable coronary artery disease: A meta-analysis

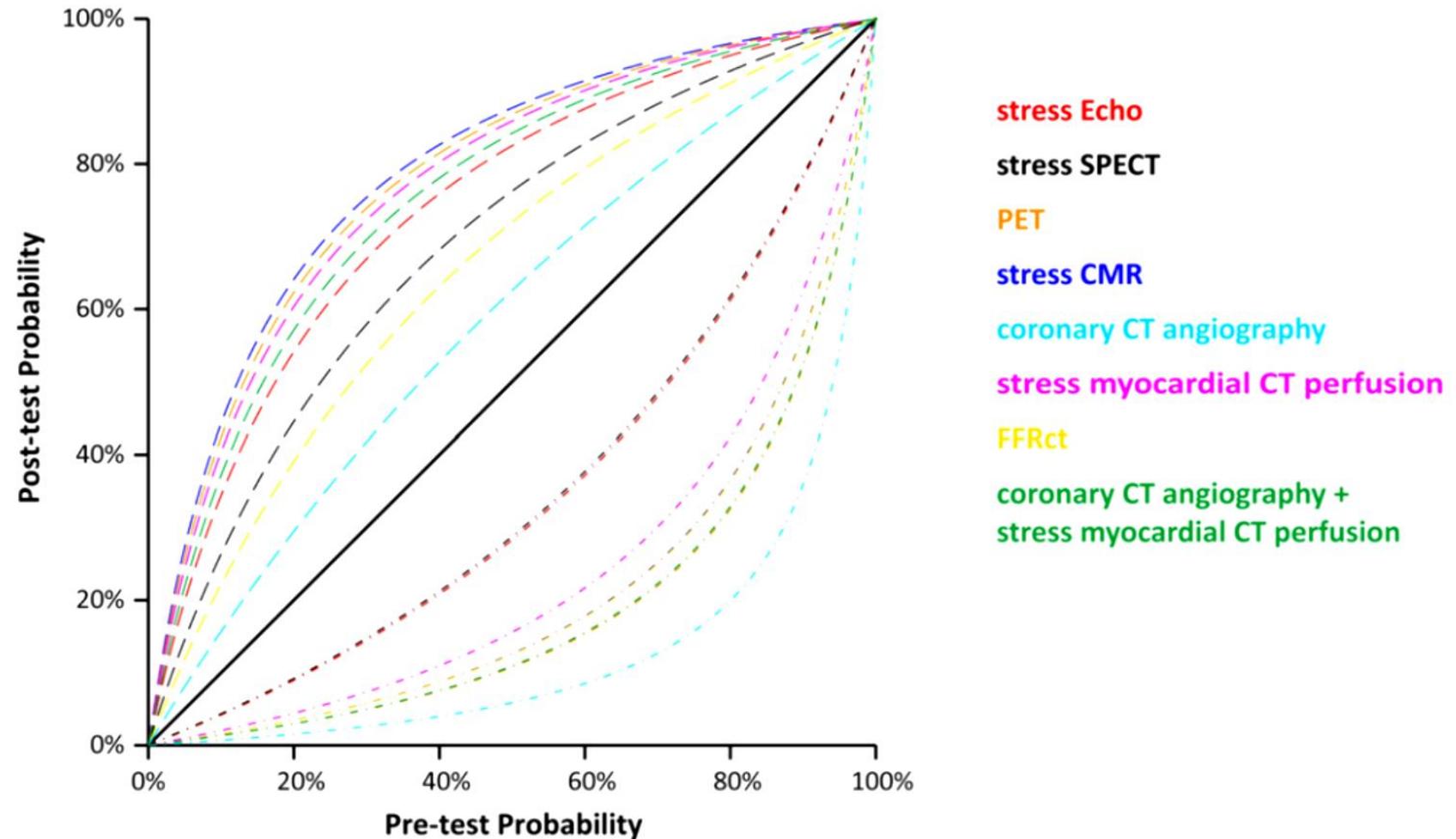


## Сравнение с инвазивным FFR

Gianluca Pontone <sup>a,\*</sup>, Andrea I. Guaricci <sup>b,1</sup>, Suetonia C. Palmer <sup>c</sup>, Daniele Andreini <sup>a,d</sup>, Massimo Verdecchia <sup>a</sup>, Laura Fusini <sup>a</sup>, Valentina Lorenzoni <sup>e</sup>, Marco Guglielmo <sup>a</sup>, Giuseppe Muscogiuri <sup>a</sup>, Andrea Baggiano <sup>a</sup>, Mark G. Rabbat <sup>f,g</sup>, Filippo Cademartiri <sup>h</sup>, Giovanni F. Strippoli <sup>i,j,k</sup>

✓ **Коронарная КТ-ангиография** - лучший метод для исключения клинически значимой ИБС.

✓ **с-КТ-перфузия / КТ-КГ, с-МРТ, с-ПЭТ** имеют лучшую чувствительность в выявлении кандидатов для инвазивной оценки.



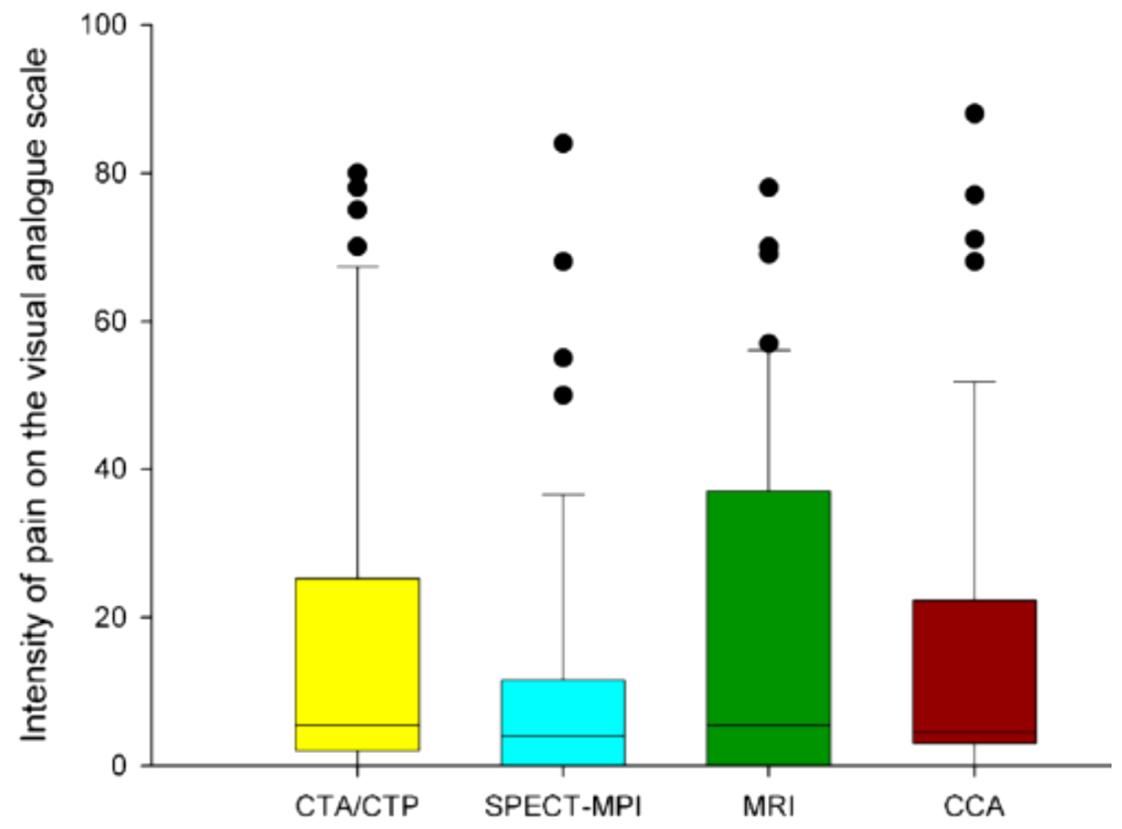
# КТ-перфузия – что останавливает?

- ❖ разумная озабоченность дозой облучения;
- ❖ нежелание дополнительной нагрузки в учреждениях с высокой проходимостью пациентов;
- ❖ осторожность в использовании вазоактивных препаратов;
- ❖ отсутствие единого математического подхода для расчета количественных показателей перфузии миокарда;
- ❖ неопределенность в отношении того, какой из предложенных протоколов выполнения КТ-перфузии миокарда стоит использовать.

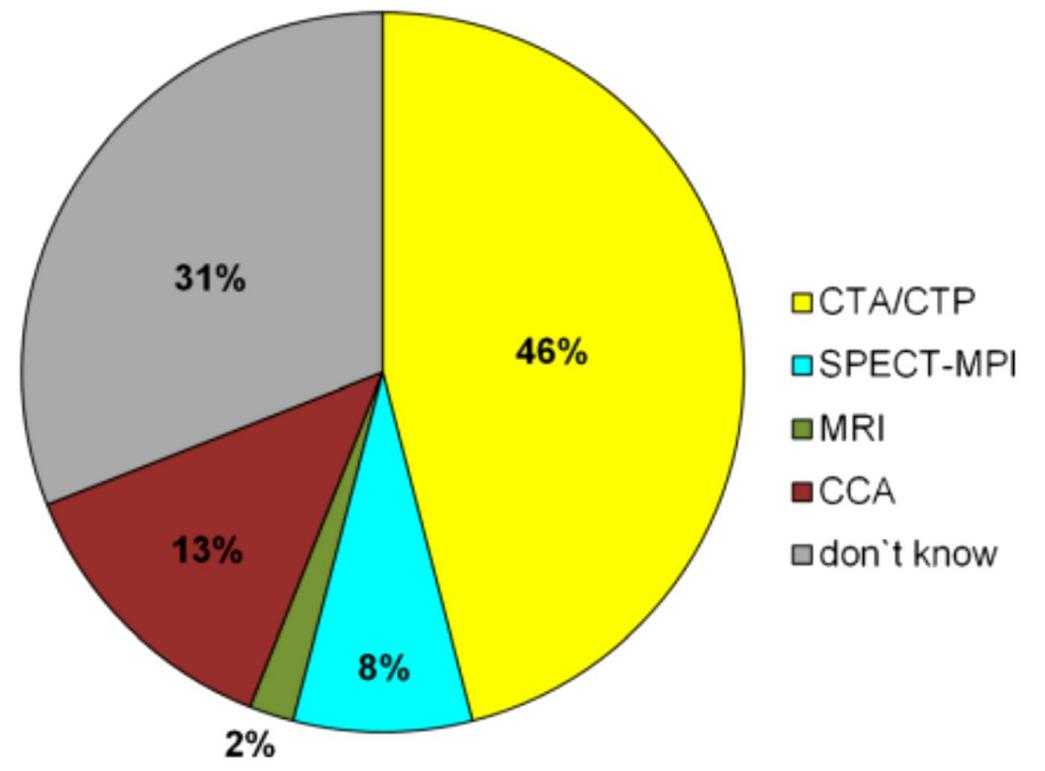
# Patient satisfaction with coronary CT angiography, myocardial CT perfusion, myocardial perfusion MRI, SPECT myocardial perfusion imaging and conventional coronary angiography

S. Feger • M. Rief • E. Zimmermann • F. Richter •  
R. Roehle • M. Dewey • E. Schönenberger

Внутрииндивидуальное сравнение восприятия  
48 пациентов из многоцентрового международного  
исследования CORE320



Данные индивидуального опросника



# SUMMARY

## КТ-перфузия миокарда:

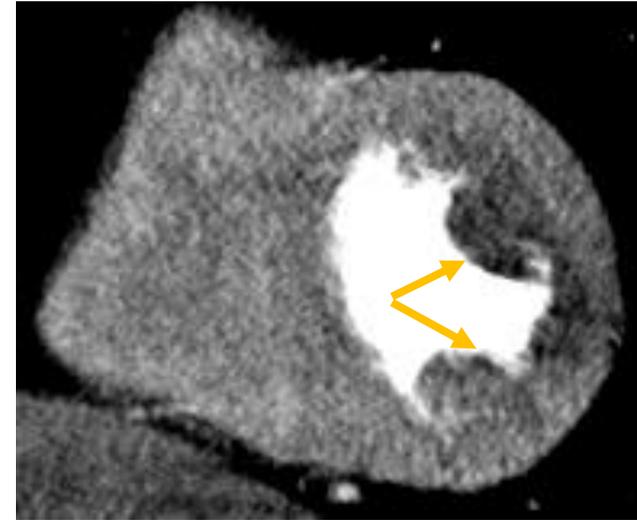
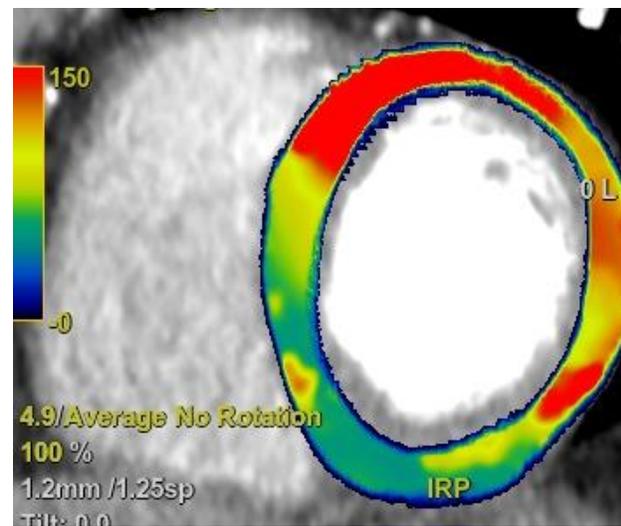
### ✓ Здесь и сейчас:

- Статическая - от 64-х срезовых КТ
- Динамическая – двухтрубочные, широкодетекторные машины

✓ Количественная оценка ишемии, резерв коронарного кровотока, микроваскулярная дисфункция/обструкция, постинфарктный рубец – DECT

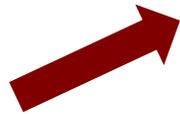
✓ Поставленная клин. задача → выбор протокола сканирования → ↓↓ луч. нагрузка

✗ Необходимость стресс-агента, нет сертифицированных препаратов



# SUMMARY

**Компьютерная томография –  
потенциальный «one stop shop»  
метод диагностики ХКС.**



**кКТА**



**сКТП**



**КТ-ФРК**

- ✓ Один томограф
- ✓ Одинаковые параметры сканирования
- ✓ Возможность оценки одним специалистом
- ✓ Одновременная анатомо-функциональная оценка сердца

# Спасибо за внимание!

Меньков Игорь Анатольевич  
врач-рентгенолог, к.м.н.  
+7-911-087-00-09

Военно-медицинская академия  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург  
[i.menkov@gmail.com](mailto:i.menkov@gmail.com)





ИЮНЬСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
В КАРДИОКЛИНИКЕ

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**



Приглашаем присоединиться  
к участникам конференций  
в Telegram-канале.