



ИЮНЬСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
В КАРДИОКЛИНИКЕ

г. Санкт-Петербург · 26 июня 2025 г.

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА В КАРДИОЛОГИИ

МЕСТО СТРЕСС-МРТ В ДИАГНОСТИКЕ ХРОНИЧЕСКОЙ ИБС

Доцент, эксперт в области лучевой диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы

ООО МЦВТ клиника «Белоостров»

к.м.н. Рудь Сергей Дмитриевич



ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Перфузия – один из фундаментальных биологических процессов, отражающих процесс доставки кислорода и метаболитов к тканям с током крови.

Обычно выражается в показателе - объем крови, протекающий через исследуемую ткань в минуту – мл крови /мин/100г ткани

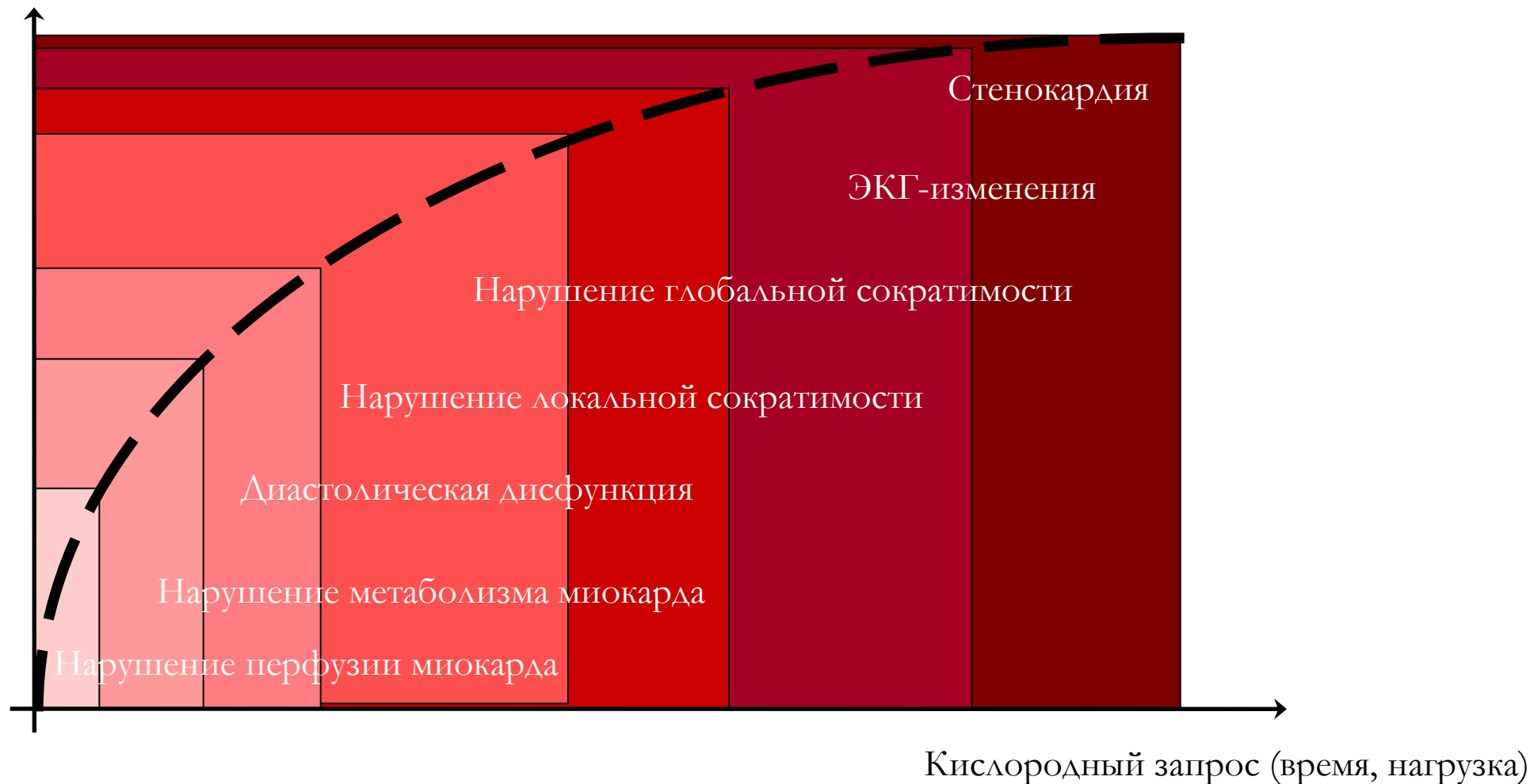
Лучевые методы оценки перфузии в тканях:

- Оценка изменений происходящих в тканях при недостаточной перфузии (стресс-ЭКГ, стресс-эхокардиография, стресс-MPT с добутамином);
- Оценка фиксации химического вещества в тканях, накопление которого происходит пропорционально перфузии ткани (ОФЭКТ, ПЭТ, Хе-КТ);
- Оценка динамики первого прохождения болюса химического вещества на серии динамических изображений (КТ, МРТ, контрастная УЗИ);
- Оценка анатомии сосудистого русла и на основе анатомии и особенностей контрастирования просвета артерий расчет гемодинамики магистральных сосудов в зоне интереса (коронарография, FFR, УЗИ коронарных сосудов, КТ, МРТ).
- Оценка линейных и объемных скоростей кровотоков в магистральных артериальных сосудах (УЗИ с доплерографией, фазово-контрастная МРТ)



ИШЕМИЧЕСКИЙ КАСКАД

Кислородный
дефицит



МЕТОДИКА МРТ СЕРДЦА ПРИ СТЕНОКАРДИИ



НАГРУЗОЧНЫЕ ПРОБЫ

Физическая нагрузка	Обладает высокой воспроизводимостью результатов. Требуется проведения оценки региональной подвижности после каждой степени нагрузки. Требуется специального оборудования.
Добутамин (5, 10, 20, 30, 40, 40+атропин мкг/кг/мин)	Может использоваться для оценки жизнеспособного миокарда. Высокий риск развития осложнений. Требуется проведения оценки региональной подвижности после каждой степени нагрузки.
Аденозин (140 мкг/кг/мин в течении 5-6 мин)	Обладает высокой управляемостью и меньшей частотой развития осложнений.
Аденозин трифосфат (160 мкг/кг/мин в течении 5-6 мин)	Более низкая чувствительность по сравнению с добутамином или физической нагрузкой.
Дипиридамол (0,56 мг/кг/мин в течении 4 мин)	Действует на протяжении до 20 мин Меньшая управляемость по сравнению с аденозином, для купирования обычно прибегают к в/в введению эуфиллина
Rogadenoson (Lexiscan) 400 мг/исследование	Селективный агонист A2 рецепторов. Требуется однократного введения при проведении нагрузочной пробы без расчета дозы, которая должна быть проведена в течении 6 - 10 мин.



АДЕНОЗИН ИЛИ АТФ

Electrophysiologic Effects of Adenosine Triphosphate and Adenosine on the Mammalian Heart: Clinical and Experimental Aspects

BERNARD BELHASSEN, MD, AMIR PELLEG, PhD

Tel Aviv, Israel and Philadelphia, Pennsylvania

Adenosine triphosphate (ATP) and adenosine have strong negative chronotropic and dromotropic effects on the mammalian heart. The sensitivity of the sinus node and the atrioventricular node to ATP and adenosine manifests pronounced variability among species. For more than three decades, ATP has been used routinely in Europe in the acute therapy of paroxysmal supraventricular tachycardia. Preliminary clinical trials with aden-

osine in the United States suggest that this compound may have a similar therapeutic value. The exact mechanisms of action of ATP and adenosine on the mammalian heart are still not fully known. However, the vast clinical experience indicates that ATP, and probably also adenosine, can be safely and repetitively used in the acute therapy of paroxysmal supraventricular tachycardia.

Belhassen B, Pelleg A.

Electrophysiologic effects of adenosine triphosphate and adenosine on the mammalian heart: clinical and experimental aspects.

J Am Coll Cardiol 1984;4:414-424.

Comparison of Adenosine Triphosphate and Dipyridamole in Diagnosis by Thallium-201 Myocardial Scintigraphy

Kouki Watanabe, Michihito Sekiya, Shuntarou Ikeda, Masao Miyagawa, Masayuki Kinoshita and Seishi Kumano
Division of Cardiology, Minamiuwa Ehime Prefectural Hospital, Minamiuwa-gun; Division of Cardiology and Division of Radiology, Ehime National Hospital, Onsen-gun, Ehime, Japan

We examined whether ^{201}Tl myocardial scintigraphy with intravenous infusion of adenosine triphosphate (ATP) can be substituted for dipyridamole (DIP) in the diagnosis of coronary artery disease (CAD). **Methods:** The coronary flow reserve (CFR) during intravenous infusion of ATP (0.10–0.20 mg/kg/min) was compared with that during intravenous infusion of DIP (0.56 mg/kg) using a Doppler flow wire in 19 subjects with normal coronary arteries. The highest CFR level was found in the ATP dose range of 0.16–0.20 mg/kg/min. The CFR at the ATP dose of 0.16 mg/kg/min was significantly higher than that during DIP infusion (4.2 versus 3.6) ($p < 0.01$), for which reason we adopted this dose of ATP. Accordingly, ^{201}Tl SPECT in

140 patients with suspected CAD was performed after infusion of 0.16 mg/kg/min of ATP in 70 of them and 0.56 mg/kg of DIP in the 70 others. **Results:** ATP stress ^{201}Tl SPECT showed no significant difference in sensitivity and accuracy from DIP stress ^{201}Tl SPECT (87.0% versus 82.9, and 87.1% versus 78.6, respectively). Adverse effects occurred at higher frequency when ATP was used, but they were mild and disappeared rapidly after administration was stopped. **Conclusion:** ATP stress ^{201}Tl SPECT is accurate and safe. The optimal ATP regimen for this purpose is considered to be a 5-min infusion at 0.16 mg/kg/min. However, our data in CAD patients suggest that ATP stress ^{201}Tl SPECT is equivalent to DIP stress ^{201}Tl SPECT in the detection of CAD.

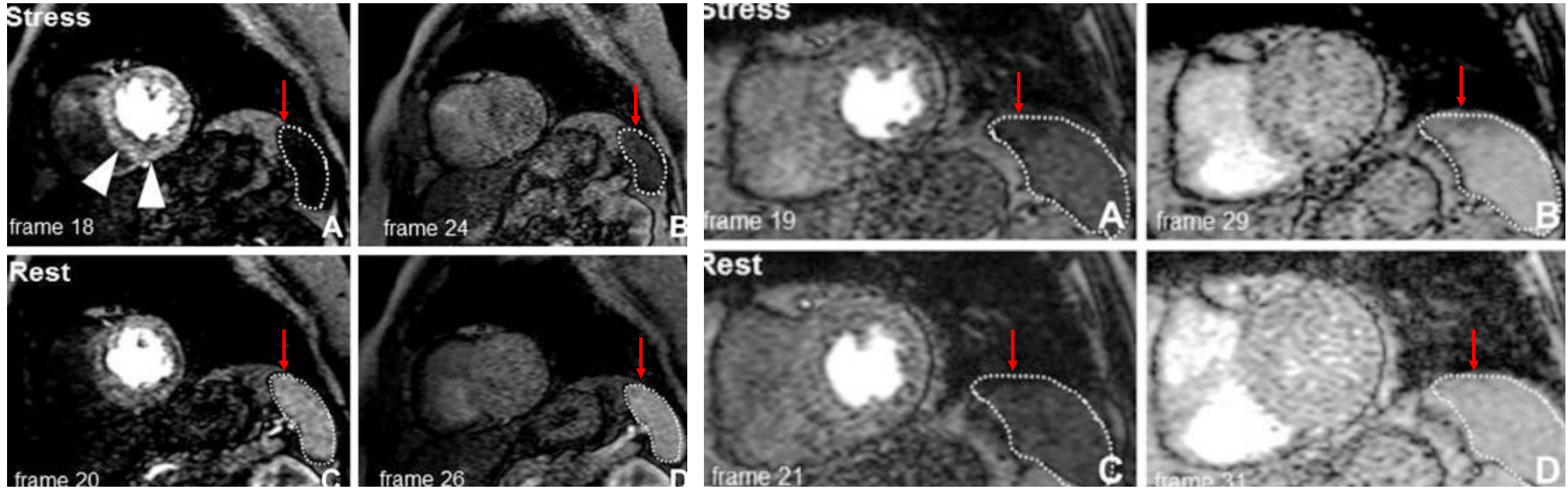
Key Words: thallium-201; adenosine triphosphate; dipyridamole; coronary artery disease; coronary flow reserve

J Nucl Med 1997; 38:577–581

Received May 20, 1996; revision accepted Aug. 14, 1996.
For correspondence or reprints contact: Kouki Watanabe, MD, Division of Cardiology, Minamiuwa Ehime Prefectural Hospital, Jouhen-cho, Minamiuwa-gun, Ehime, 798-41, Japan.

Watanabe K, Sekiya M, Ikeda S, Miyagawa M, Kinoshita M, Kumano S. Comparison of adenosine triphosphate and dipyridamole in diagnosis by thallium-201 myocardial scintigraphy. J Nucl Med 1997;38:577–581.

АДЕКВАТНОСТЬ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ



Достаточная доза аденозина трифосфата

Доза аденозина трифосфата недостаточна

При неадекватности нагрузочной пробы необходимо рассмотреть вопрос о повышении дозе аденозина 210 мкг/кг/мин

ДОЗИРОВКА КОНТРАСТНОГО ВЕЩЕСТВА

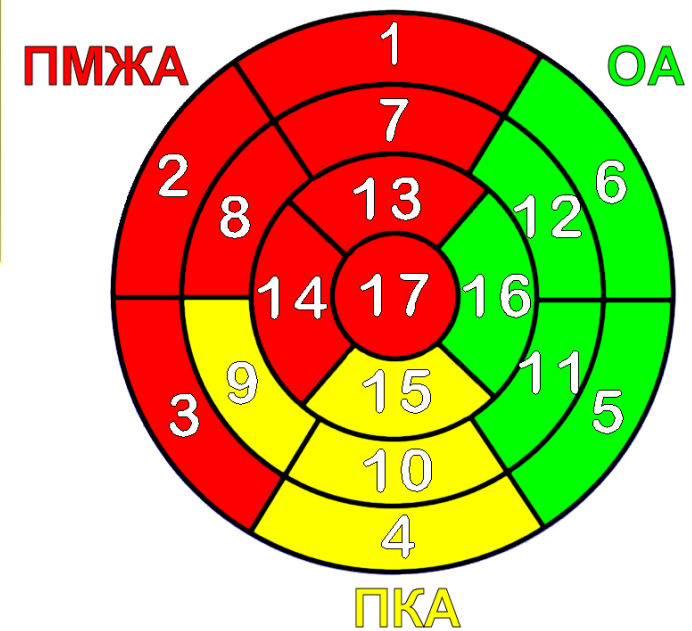
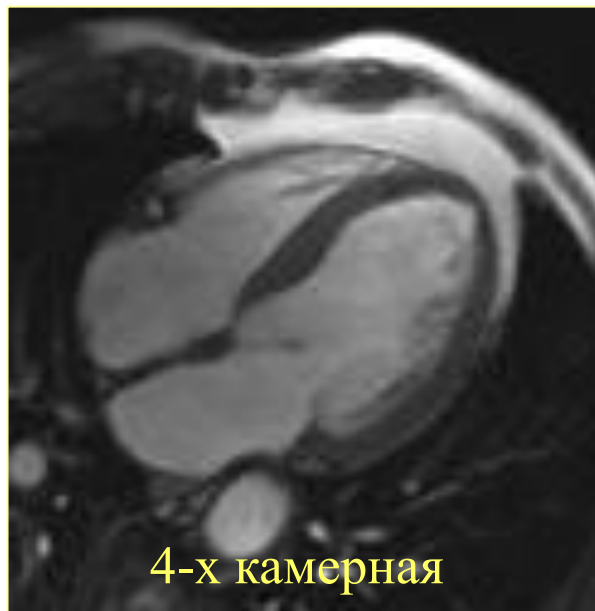
- Для качественной оценки - 0,05-0,1 ммоль/кг (7-10 мл)
- Для полуколичественной оценки – 0,05 ммоль/кг (3-5 мл)
- Для количественной оценки - не более 0,005 -0,01 ммоль/кг (1-3 и 7-10 мл)



- Рекомендованная скорость введения контрастного вещества – 3-5 мл/сек
- Необходимо использование «болюса-преследователя» физиологического раствора в количестве 15-30 мл



СТАНДАРТНЫЕ ПРОЕКЦИИ СЕРДЦА



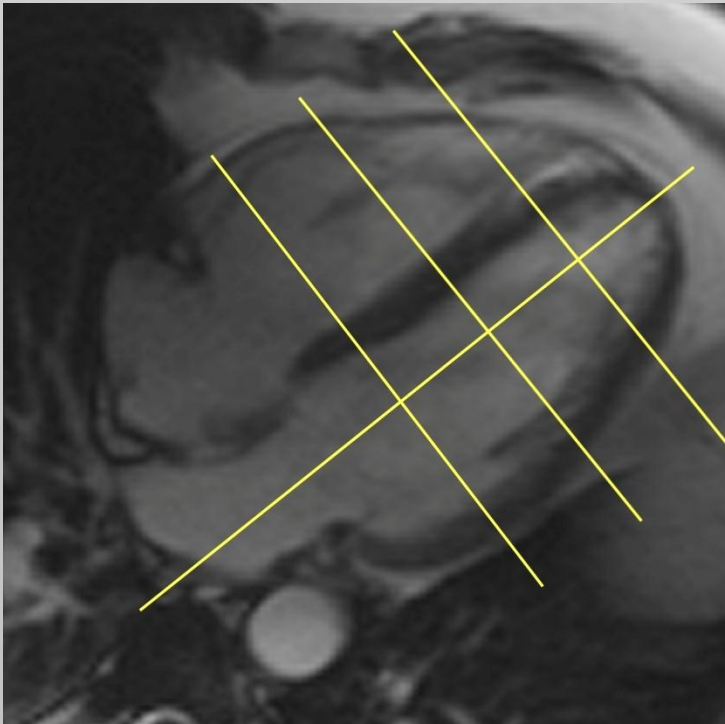
ПМЖА — передняя межжелудочковая артерия

ОА — огибающая артерия

ПКА — правая коронарная артерия



ПАРАМЕТРЫ СКАНИРОВАНИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЕ СРЕЗОВ

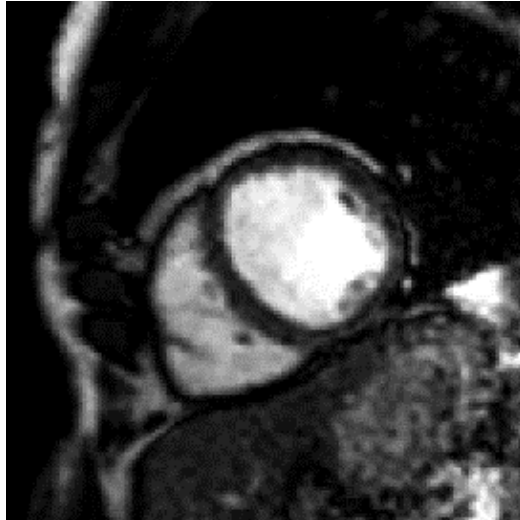
Параметры	T-Flash, SSFP, EPI	
TR (мс)	182	
TE (мс)	1,11	
TI (мс)	60 - 100	
Flip Angle (градусы)	15 - 70	
Простр. разрешение (мм x мм x мм)	1,8x1,8x8,0	
Матрица (пиксел x пиксел)	156x192	
Время сканирования (количество сборов)	50-60	
Gd-содержащее парамагнитное вещество 0,5 ммоль/мл	0,1 ммоль/кг	
	4 мл/сек	
Фарм. нагрузка – аденозинтрифосфат	160 мкг/кг/мин	
	4-5 мин	



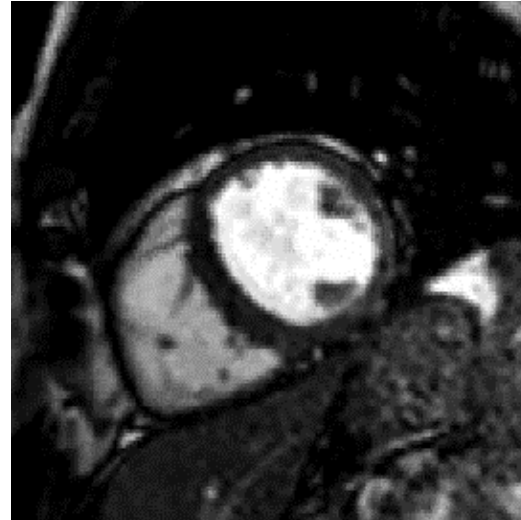
КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА



Покой



Добутамин 15 мкг/мин/кг

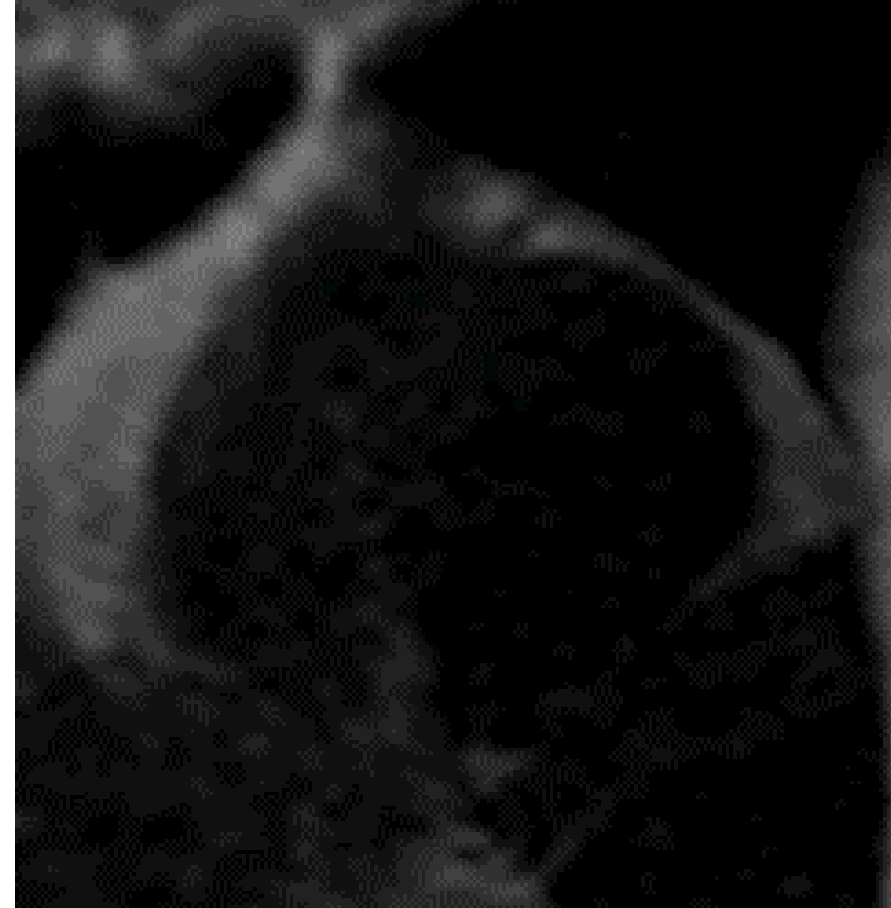


Добутамин 30 мкг/мин/кг

NB! При нагрузочной МРТ следить за признаками ишемии по изменению сегмента ST на ЭКГ не представляется возможным

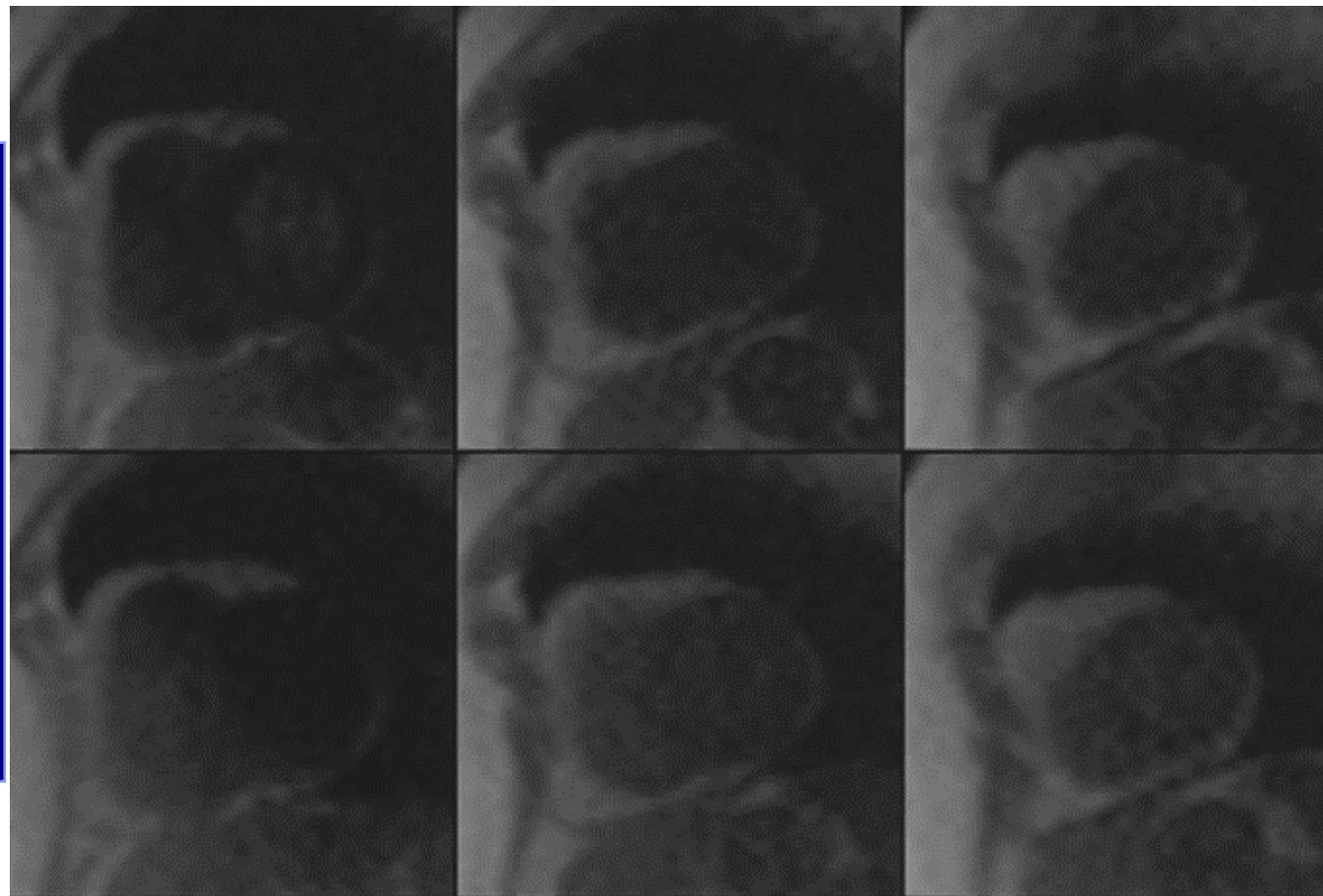
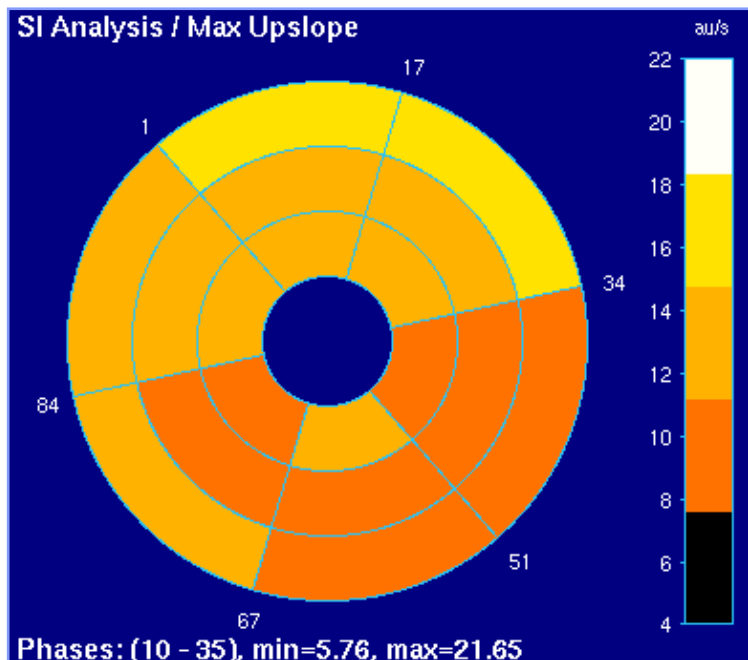
КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА

- Не требует специального ПО для оценки
- Малая погрешность при оценке разными исследователями
- Оценивает только относительный кровоток в сегментах





ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА



нагрузка

покой

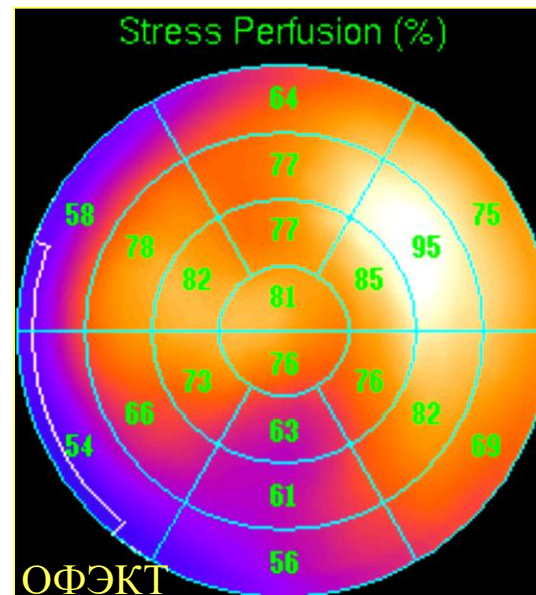
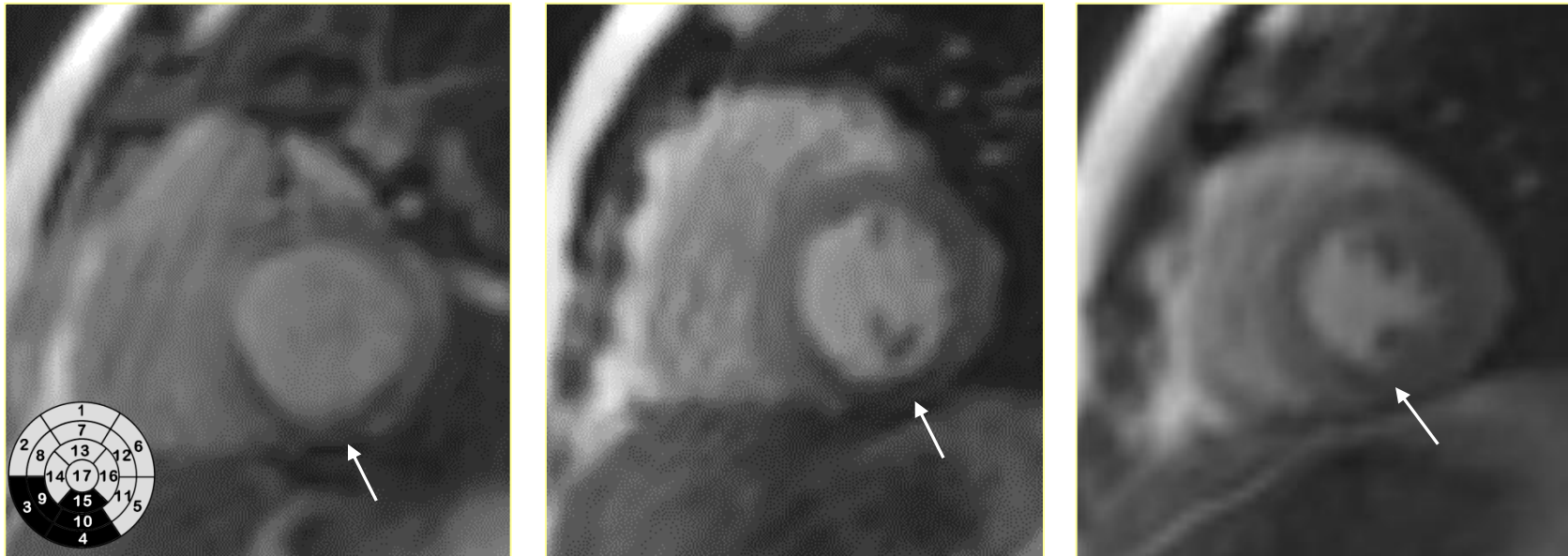
Приходящий дефект перфузии задней стенки левого желудочка наблюдается при оценке первого прохождения контрастного вещества при фармакологической нагрузке и в покое

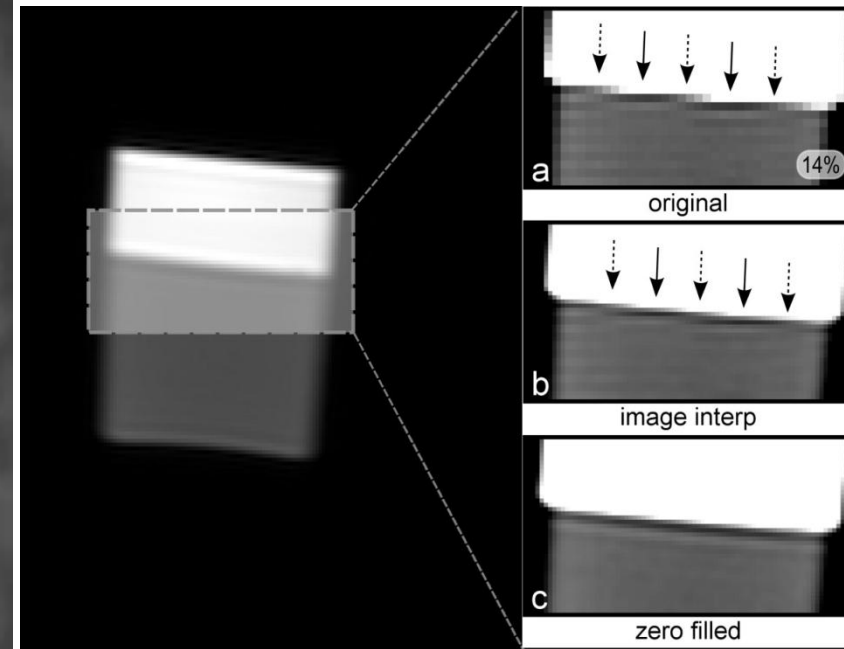
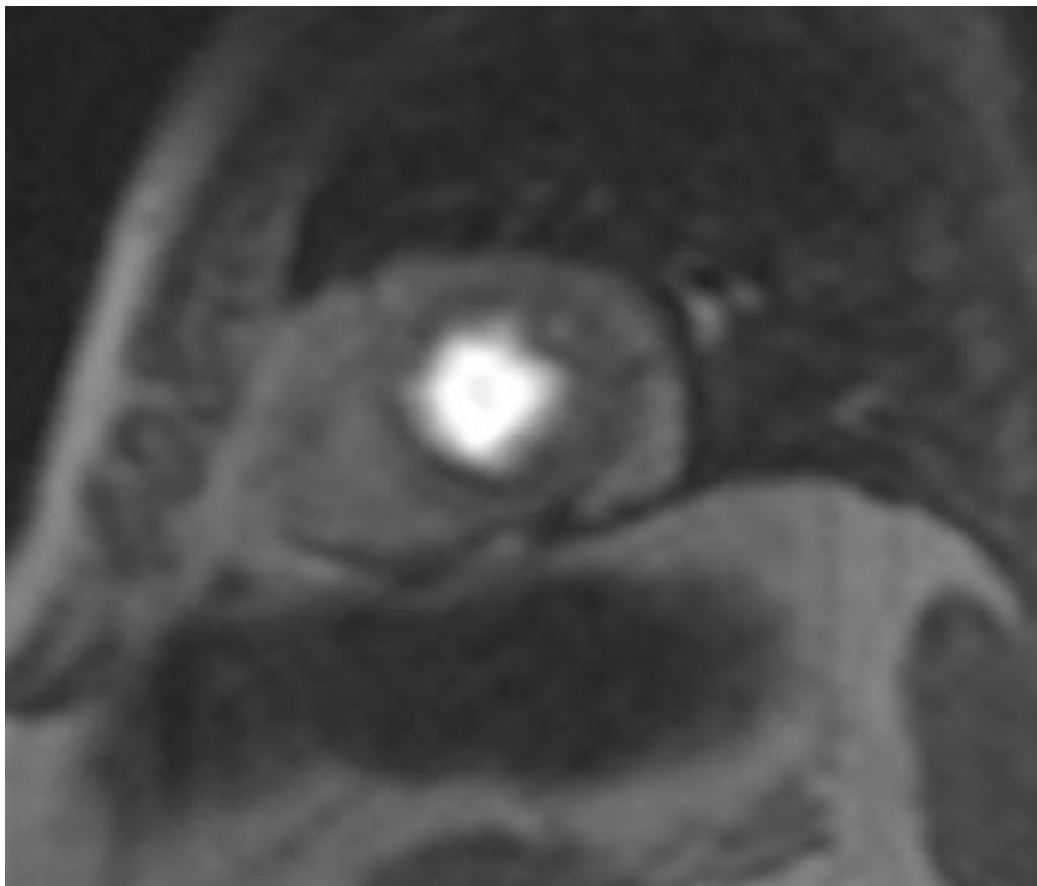
ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА



Перфузионный дефект в покое у пациента с ПИКС в бассейне ПМЖА

Визуальная оценка перфузии миокарда



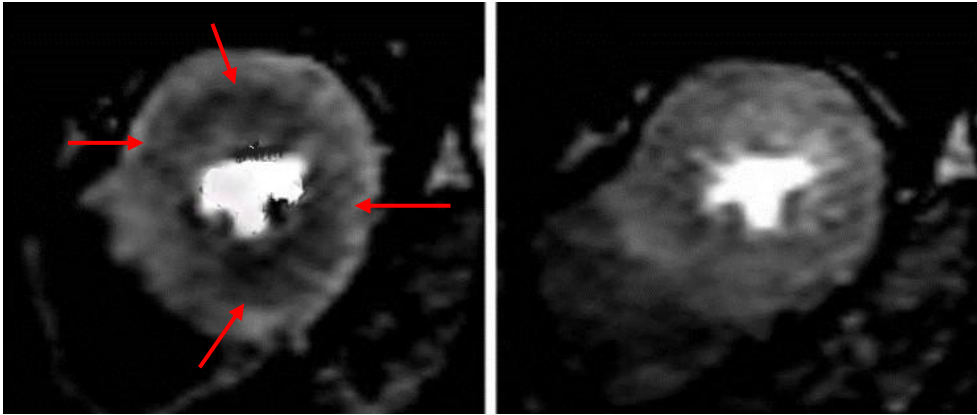


Dark rim artifact – гипоинтенсивный субэндокардиальный ободок перегородки в раннюю фазу контрастирования

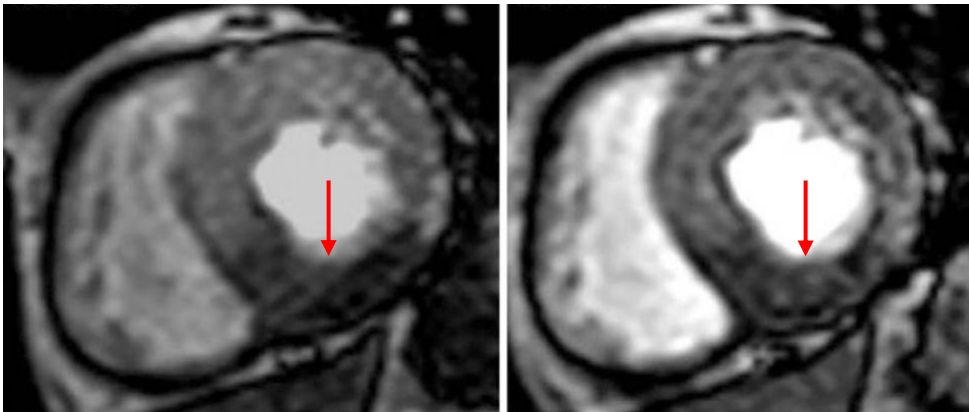
ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРФУЗИИ МИОКАРДА

нагрузка

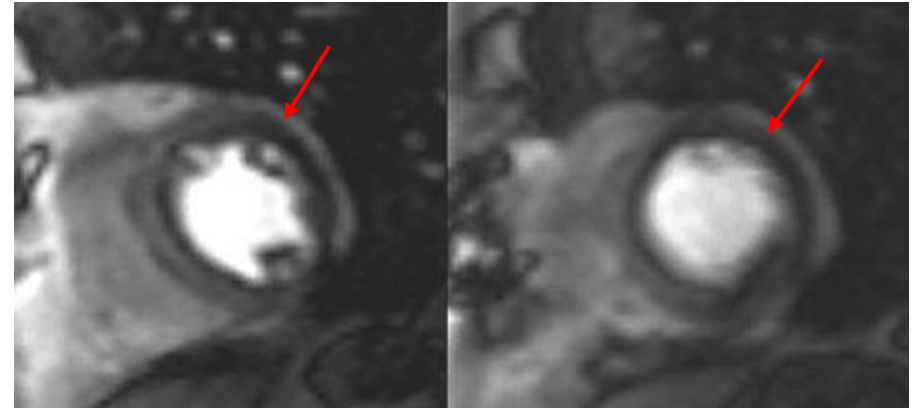
покой



Перфузионная МРТ при трехсосудистом поражении

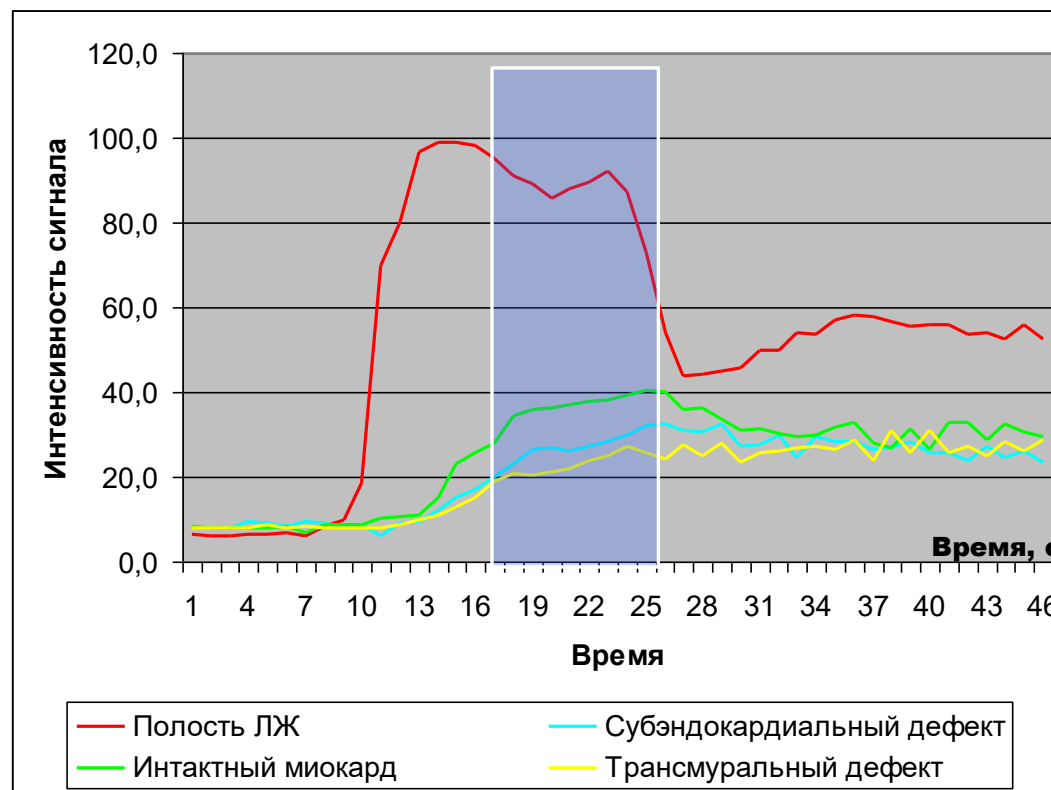
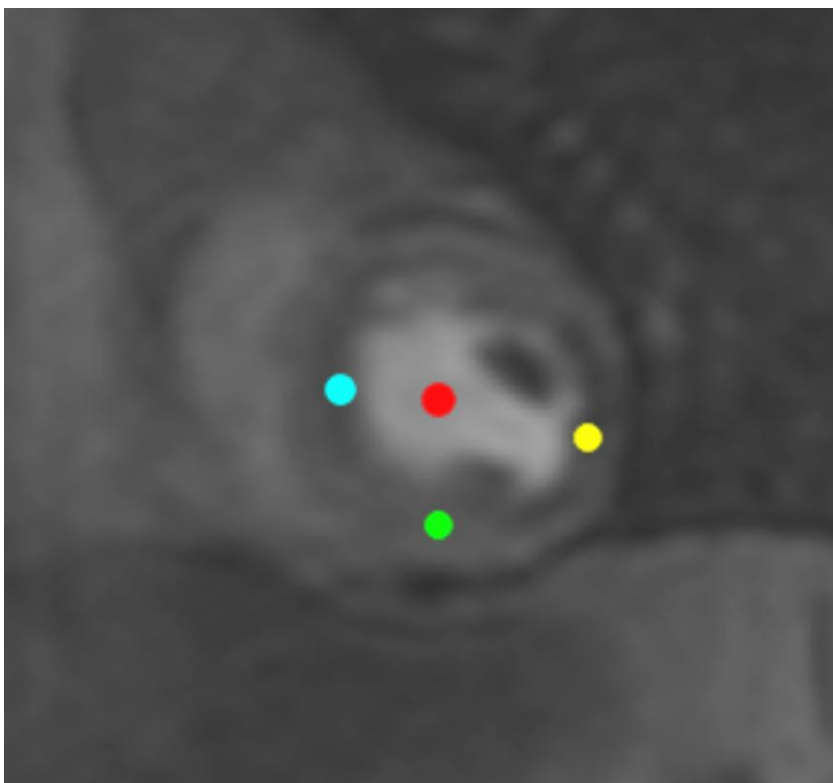


Перфузионная МРТ при АКШ ПКА

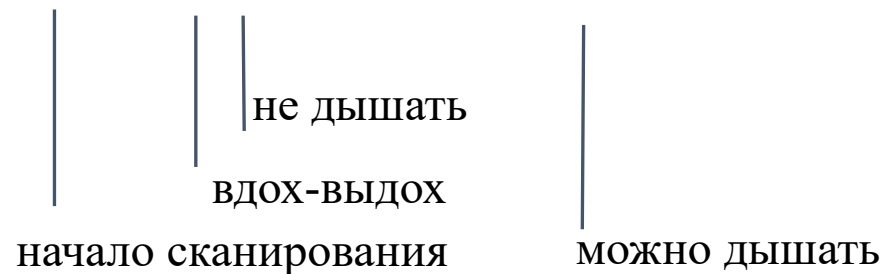


Перфузионная МРТ при сахарном диабете

ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

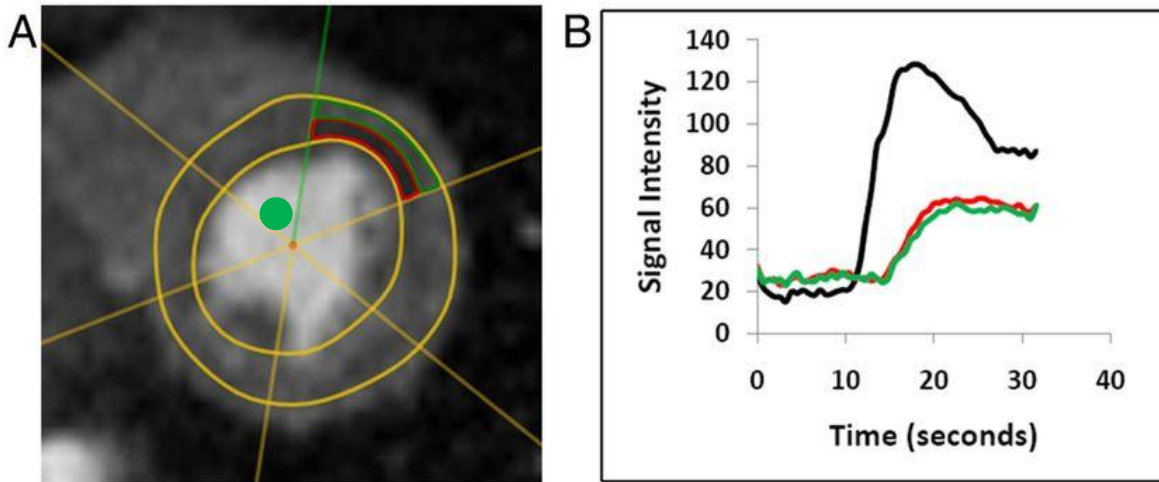


- Требуется постпроцессинговая обработка изображений
- Оценивает наклон кривой «интенсивность – время» и максимум накопления контрастного вещества





ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА



MPI (перфузионный индекс миокарда) =

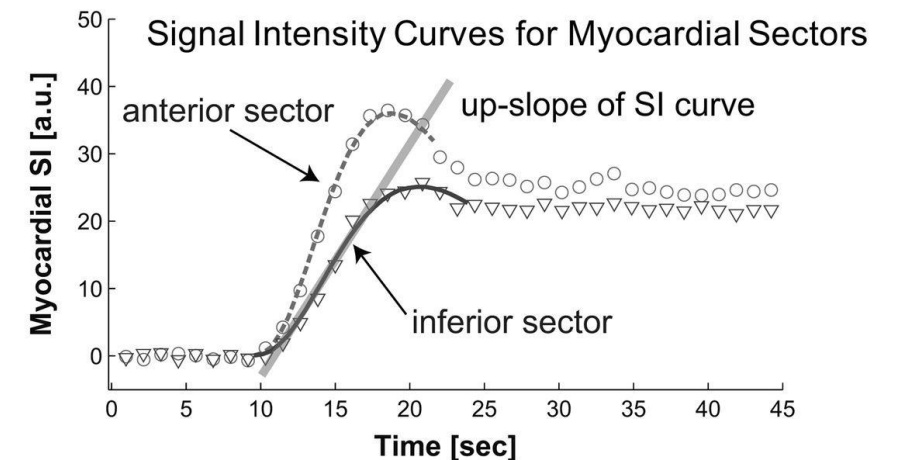
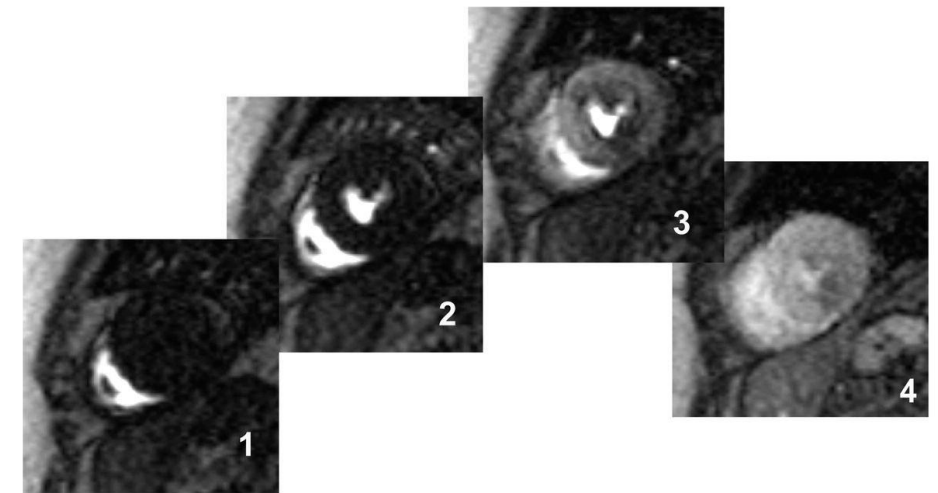
$\text{max } I \text{ в полости ЛЖ} / \text{max } I \text{ в сегменте}$

(0,065 – 0,085)

MPRI (индекс перфузионного резерва) =

$\text{max } I \text{ в сегменте stress} / \text{max } I \text{ в сегменте rest}$

(1,9 – 2,0)





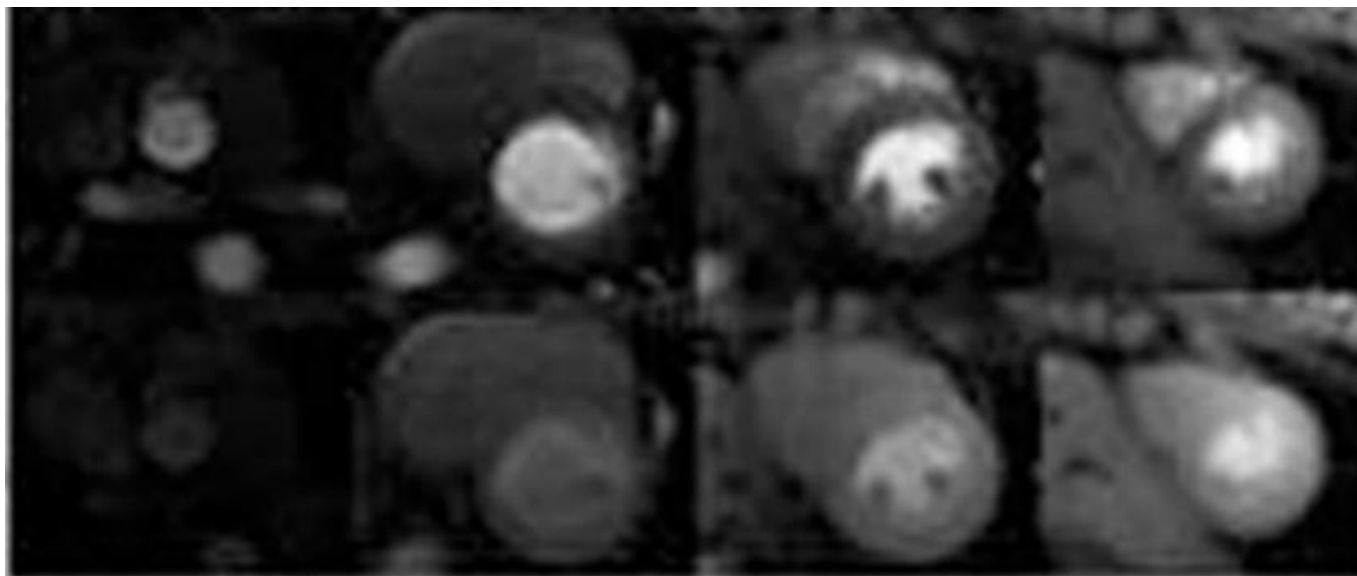
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

Требует значительной постобработки

С учетом количества малого количества контрастного вещества сложна для визуальной оценки

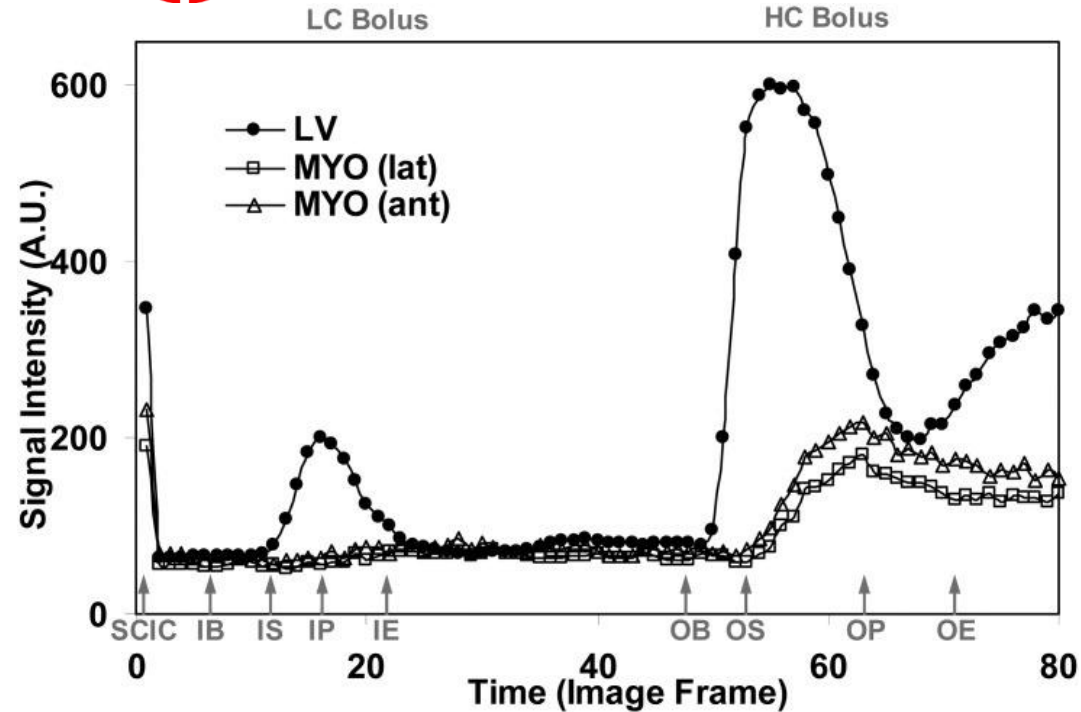
Требует математического моделирования распределения контрастного вещества

Оценивает абсолютные значения миокардиальной перфузии глобально и в отдельных сегментах



Breton *et al.* *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2011, **13**(Suppl 1):P60
<http://jcmr-online.com/content/13/S1/P60>

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА



JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING 23:315-322 (2006)

Original Research

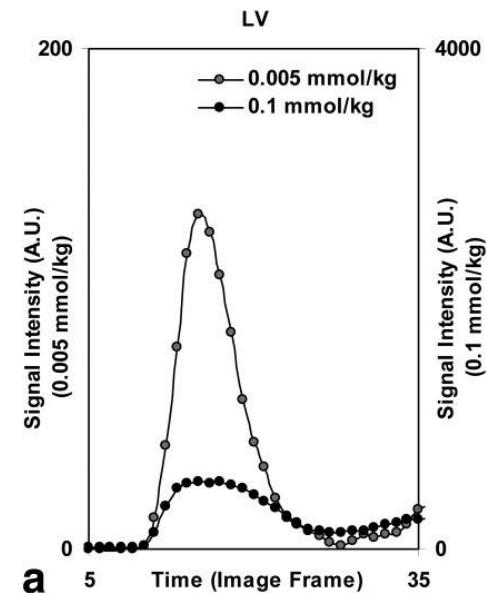
Quantitative Myocardial Perfusion Analysis With a Dual-Bolus Contrast-Enhanced First-Pass MRI Technique in Humans

Li-Yueh Hsu, DSc, Kenneth L. Rhoads, MD, Jessica E. Holly, BSc, Peter Kellman, PhD, Anthony H. Aletras, PhD, and Andrew E. Arai, MD*

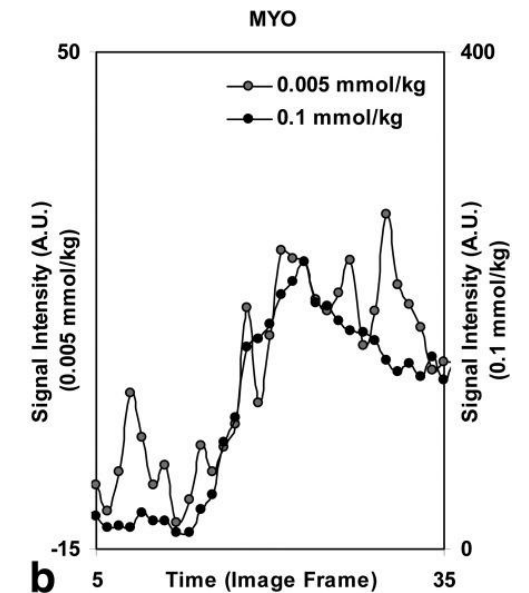
Методика двойного болюса контрастирования для расчета перфузии миокарда

Первый болюс в дозе 0,005 ммоль/кг

Второй болюс в дозе 0,1 ммоль/кг



Полость ЛЖ



Миокард

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

Quantification of Absolute Myocardial Perfusion in Patients With Coronary Artery Disease

Comparison Between Cardiovascular Magnetic Resonance
and Positron Emission Tomography

Geraint Morton, MA, MBBS,* Amedeo Chiribiri, MD, PhD,* Masaki Ishida, MD, PhD,*
Shazia T. Hussain, MBChB,* Andreas Schuster, MD, PhD,* Andreas Indermuehle, MD, PhD,*
Divaka Perera, MA, MD,† Juhani Knuuti, MD, PhD,‡ Stacey Baker, BASc,*

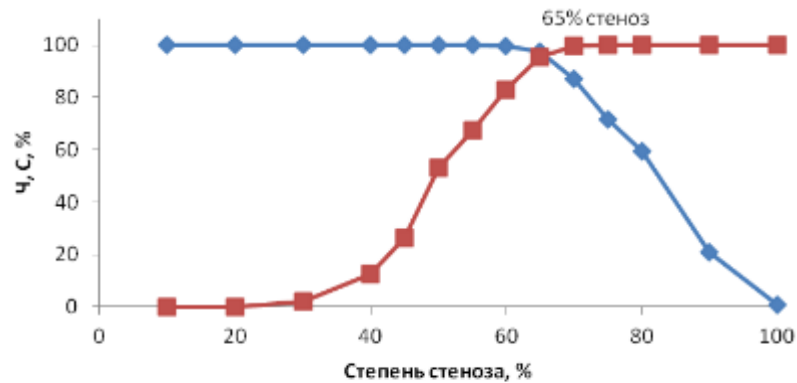
* Paul Schleyer, BSc,* Michael O'Doherty, MBBS, MD,*
D,* Eike Nagel, MD, PhD*
d Turku, Finland

Table 3 Quantitative Perfusion Values in Patients With and Without Significant CAD

	CAD			No CAD	
	Stenotic Territory	Remote Territory	p Value*	All Territories	p Value†
Stress perfusion (ml/min/g)					
PET	1.24 ± 0.49	1.56 ± 0.66	<0.0001	1.72 ± 0.66	0.49
CMR	1.54 ± 0.34	1.94 ± 0.59	0.001	2.03 ± 0.63	0.68
Rest perfusion (ml/min/g)					
PET	0.77 ± 0.24	0.81 ± 0.25	0.08	0.85 ± 0.26	0.71
CMR	1.03 ± 0.30	1.06 ± 0.33	0.28	0.98 ± 0.29	0.47
MPR					
PET	1.57 ± 0.31	1.87 ± 0.36	<0.0001	2.06 ± 0.44	0.20
CMR	1.55 ± 0.36	1.90 ± 0.48	0.001	2.20 ± 0.56	0.13
Mean MPR of 2 lowest segments					
PET	1.36 ± 0.32	1.74 ± 0.32	<0.0001	1.92 ± 0.39	0.14
CMR	1.31 ± 0.30	1.70 ± 0.42	<0.0001	1.93 ± 0.53	0.16

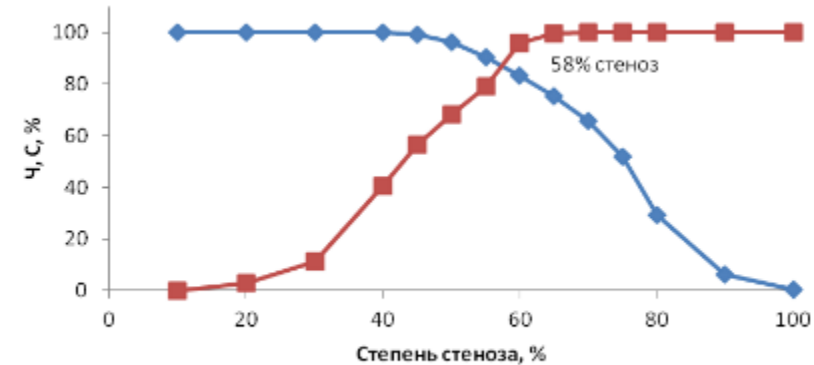


ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ СТЕНОЗОВ ПРИ КТ И ИНВАЗИВНОЙ КОРОНАРОГРАФИИ В СРАВНЕНИИ С НАГРУЗОЧНОЙ ПЕРФУЗИОННОЙ МРТ



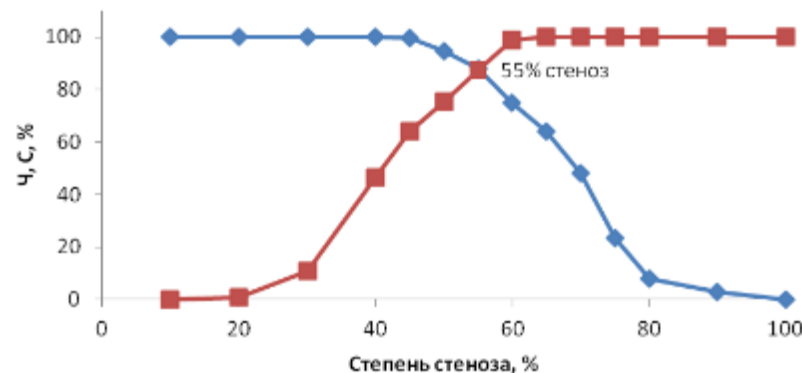
Чувствительность, % Специфичность, %

стеноз >65% площади при КТ
Ч=97,7%; С=95,5%



Чувствительность, % Специфичность, %

стеноз >58% диаметра при КТ
Ч=86,2%; С=90,7%



Чувствительность, % Специфичность, %

стеноз >55% диаметра при инвазивной коронарографии
Ч=87,8%; С=87,4%

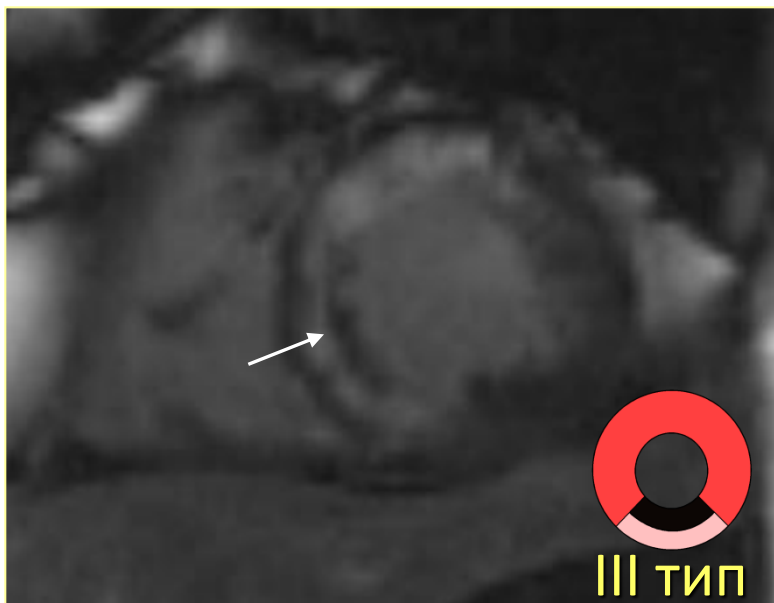
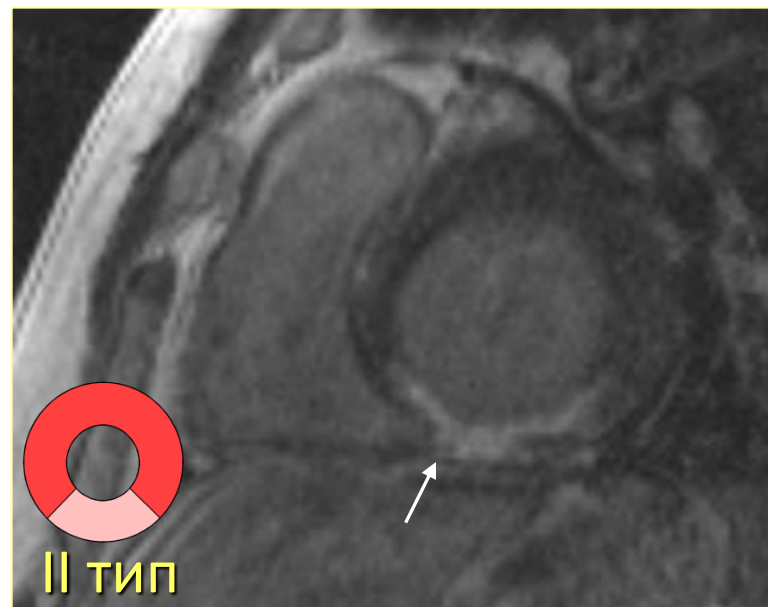
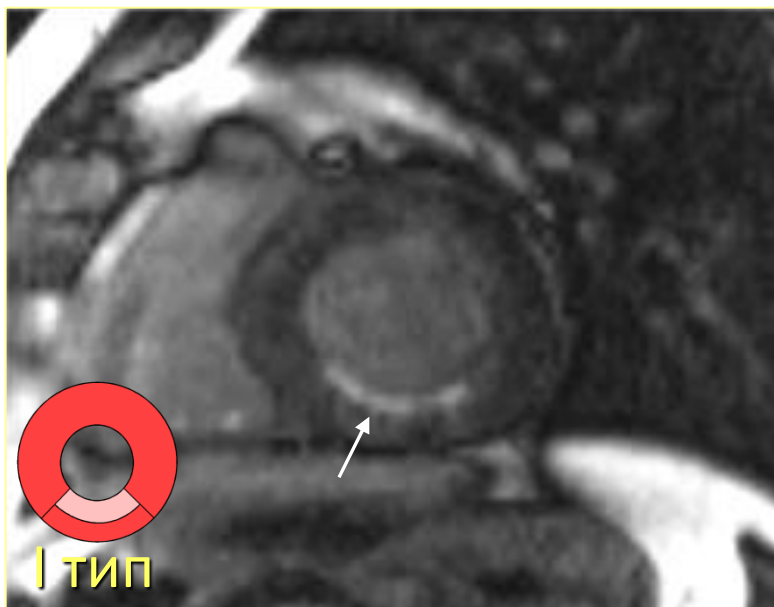


ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПЕРФУЗИОННОЙ МРТ В ДИАГНОСТИКЕ ЗНАЧИМЫХ СТЕНОЗОВ КОРОНАРНЫХ АРТЕРИЙ

Author and Year*	No. of Patients	Criterion for Significant CAD	Stress Agent	Sensitivity	Specificity
Schwitzer et al, 2001 (48)	48	Stenosis $\geq$ 50%	Dipyridamole	0.86	0.80
Doyle et al, 2003 (55)	229	Stenosis $\geq$ 70%	Dipyridamole	0.58	0.78
Ishida et al, 2003 (56)	104	Stenosis $>$ 70%	Dipyridamole	0.90	0.85
Nagel et al, 2003 (57)	90	Stenosis $\geq$ 75%	Adenosine	0.88	0.90
Giang et al, 2004 (51)	94	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.87	0.86
Kawase et al, 2004 (58)	50	Stenosis $>$ 70%	Nicorandil	0.94	0.94
Paetsch et al, 2004 (59)	79	Stenosis $>$ 50%	Adenosine	0.91	0.62
Plein et al, 2004 (60)	72	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	0.88	0.83
Takase et al, 2004 (61)	102	Stenosis $>$ 50%	Dipyridamole	0.93	0.85
Thiele et al, 2004 (62)	20	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	0.75	0.58
Plein et al, 2005 (63)	92	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.88	0.74
Sakuma et al, 2005 (64)	40	Stenosis $>$ 70%	Dipyridamole	0.81	0.68
Cury et al, 2006 (65)	47	Stenosis $\geq$ 70%	Dipyridamole	0.93	0.64
Klem et al, 2006 (30)	100	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	0.84	0.58
Pilz et al, 2006 (66)	176	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.96	0.83
Merkle et al, 2007 (67)	228	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.96	0.72
Cheng et al, 2007 (29)	65	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.90	0.67
Greenwood et al, 2007 (68)	35	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	0.72	1.0
Seeger et al, 2007 (69)	51	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.92	0.85
Gebker et al, 2008 (37)	101	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.90	0.71
Meyer et al, 2008 (70)	60	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.89	0.79
Pilz et al, 2008 (71)	22	Stenosis $>$ 70%	Adenosine	0.92	1.0
Schwitzer et al, 2008 (52)	225	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.85	0.67
Klein et al, 2008 (72)	54	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.87	0.88
Klem et al, 2008 (73)	147	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	0.84	0.88
Thomas et al, 2008 (74)	60	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.93	0.84
Burgstahler et al, 2008 (75)	23	Stenosis $\geq$ 70%	Adenosine	1.0	0.80
Arnold et al, 2010 (76)	65	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.90	0.81
Manka et al, 2010 (77)	41	Stenosis $\geq$ 50%	Adenosine	0.92	0.75
Lockie et al, 2011 (78)	42	Fractional flow reserve $<$ 0.75	Adenosine	0.82	0.94



ОЦЕНКА ОТСРОЧЕННОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ





ПЕРФУЗИОННАЯ МРТ СЕРДЦА

- Информативная методика оценки перфузии миокарда и оценки значимости стенозов
- Не связана с использованием ионизирующего излучения
- Относительно высокое пространственное разрешение позволяет визуализировать даже небольшие дефекты перфузии
- Позволяет дифференцировать приходящие дефекты перфузии от ПИКС
- Оценка происходит в отдельных срезах (4-6 срезов)
- При трехсосудистом поражении возможен ложно- отрицательный результат
- Затруднена оценка после МКШ, АКШ
- Доступность в России ограничена



ИЮНЬСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
В КАРДИОКЛИНИКЕ

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**



Приглашаем присоединиться
к участникам конференций
в Telegram-канале.