



Особенности функции сегментов миокарда левого желудочка у постинфарктных пациентов до и после коронарного шунтирования по данным технологии velocity vector imaging

Петрова Е.Б.¹

Актуальность. При помощи технологии визуализации вектора скорости движения миокарда (velocity vector imaging) возможно проведение неинвазивного анализа волокон левого желудочка (ЛЖ) для определения глубины и площади ишемического повреждения и реакции на реваскуляризацию. **Цель** – оценка деформационных показателей ЛЖ у пациентов с инфарктом миокарда без зубца Q и с зубцом Q с помощью технологии velocity vector imaging до и в ранние сроки после коронарного шунтирования. **Материал и методы.** Проведен анализ деформации (S) и скорости деформации (SR) продольных, циркулярных и радиальных волокон в 252 сегментах ЛЖ у 14 пациентов с инфарктом миокарда без зубца Q (группа I) и в 252 сегментах ЛЖ у 14 пациентов с инфарктом миокарда с зубцом Q (группа II) до и на 12-е сутки после коронарного шунтирования. **Результаты.** С использованием технологии

velocity vector imaging проведен общий анализ волокон всех сегментов ЛЖ и детальный анализ каждого сегмента. Общий анализ показал: функция продольных волокон в группе I представлена низким показателем S ($-15,2 \pm 7,4\%$) и нормальным SR ($-1,04 \pm 0,6 \text{ с}^{-1}$), в группе II – низким S ($-12,7 \pm 6,4\%$) и SR ($-0,80 \pm 0,4 \text{ с}^{-1}$). Деформационные свойства циркулярных волокон снижены в обеих группах (группа I: S $-17,1 \pm 8,9\%$, SR $-1,23 \pm 0,7 \text{ с}^{-1}$; группа II: S $-14,02 \pm 8,3\%$, SR $-0,98 \pm 0,6 \text{ с}^{-1}$). Показатели радиальных волокон имели нормальные значения S ($29,1 \pm 19,9\%$ – группа I, $25,9 \pm 19,7\%$ – группа II), высокий SR в группе I ($1,73 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$) и нормальный SR в группе II ($1,35 \pm 0,6 \text{ с}^{-1}$). После коронарного шунтирования динамика в группе II со стороны SR продольных ($-0,91 \pm 0,5 \text{ с}^{-1}$, $p=0,001$) и циркулярных ($-1,11 \pm 0,5 \text{ с}^{-1}$, $p=0,001$) волокон охарактеризована как положительная, а со стороны S радиальных волокон ($21,7 \pm 8,9\%$, $p=0,0004$)

как отрицательная. В группе I выявлена нормализация SR радиальных волокон ($1,39 \pm 0,6 \text{ с}^{-1}$, $p=0,0004$). Детальный анализ ЛЖ показал наличие 10 групп сегментов в зависимости от изменения S и/или SR. Реваскуляризация оказала влияние на все сегменты у пациентов обеих групп. Сегменты с сочетанным изменением S и SR улучшают свою функцию. Функция сегментов с изменением только S или только SR снижается, что расценивается как этап к гармоничному сокращению. **Заключение.** Общий анализ волокон ЛЖ отражает влияние инфаркта миокарда, детальный анализ – влияние реваскуляризации.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, velocity vector imaging, функция левого желудочка, деформация, скорость деформации

doi: 10.18786/2072-0505-2017-45-3-208-217

Эхокардиография – важный диагностический метод исследования пациентов с ишемической болезнью сердца и перенесенным инфарктом миокарда. С ее помощью можно неинвазивно проводить динамическое наблюдение за функцией миокарда левого желудочка (ЛЖ) у постинфарктных пациентов до операции коронарного шунтирования (КШ) и после нее. При оценке эффективности оперативного лечения основными показателями считаются систолическая, диастолическая

и сократительная функции ЛЖ. Следует отметить: стандартное эхокардиографическое исследование позволяет достаточно точно оценить объемы и фракцию выброса ЛЖ. Сократительная функция ЛЖ – более сложный процесс, связанный с взаимодействием продольных, радиальных и циркулярных волокон. Известно, что во время систолы происходит укорочение продольных и циркулярных волокон, а также поперечное утолщение радиальных [1]. Объективная оценка функции волокон при визуальном контроле



затруднена. Детальный анализ сократимости миокарда ЛЖ можно получить при использовании технологии velocity vector imaging [2–4]. В отечественной литературе она определяется термином «визуализация вектора скорости движения миокарда» [5]. Показателями, отражающими функцию волокон ЛЖ, являются деформация (strain – S) и скорость деформации (strain rate – SR) [2]. В частности, при ишемической болезни сердца в первую очередь изменяются деформационные показатели продольных волокон, поскольку кровоснабжение субэндокардиальных слоев страдает в большей степени [6]. Нетрансмуральный инфаркт миокарда (без зубца Q) с сохраненной фракцией выброса ЛЖ характеризуется снижением продольной и радиальной деформации. При трансмуральном поражении (инфаркт с зубцом Q) нарушается функция продольных, радиальных и циркулярных волокон [1]. Опубликован ряд работ, дающих информацию о функции волокон ЛЖ при различных формах ишемической болезни сердца до и после реваскуляризации, однако основное внимание как исходно, так и при динамическом наблюдении уделяется продольным волокнам [7–9].

Цель исследования – оценить показатели деформации (S) и скорости деформации (SR) продольных, циркулярных и радиальных волокон миокарда ЛЖ до и после КШ у пациентов с инфарктом миокарда с зубцом Q и без зубца Q.

Материал и методы

Проведен анализ 252 сегментов ЛЖ у 14 человек с инфарктом миокарда без зубца Q в анамнезе (группа I: женщин – 5 (35,7%), мужчин – 9 (64,3%)) и 252 сегментов у 14 человек с инфарктом миокарда с зубцом Q в анамнезе (группа II: женщин – 3 (21,4%), мужчин – 11 (78,6%)) до хирургической реваскуляризации и на 12-е сутки после операции КШ. Средний возраст обследуемых из группы I составил $60 \pm 4,6$ года, группы II – $57 \pm 9,2$ года.

По данным чрескожного коронарного вмешательства в обеих группах преобладало трехсосудистое поражение коронарного русла: у 10 (71,4%) пациентов в группе I и у 11 (78,5%) – в группе II. Двухсосудистое поражение выявлено в 3 (21,4%) и 2 (14,2%) случаях соответственно. Однососудистое поражение (передняя нисходящая артерия) зарегистрировано в 1 наблюдении в каждой из групп. При анализе характера поражения коронарного русла в обеих группах превалировали стенозы – 71 (99%). Количество окклюзий было больше в группе II – 22 (28,5%) (табл. 1).

Эхокардиографическое исследование выполняли на ультразвуковом сканере Acuson X 300 (Siemens) датчиком 1–5 МГц в В-режиме и в режиме дуплексного сканирования. Анализ деформационных свойств миокарда ЛЖ проводился в режиме постобработки с помощью системы Syngo Velocity Vector Imaging (Siemens Medical Solutions USA Inc.).

Деление ЛЖ на сегменты для анализа с помощью технологии velocity vector imaging осуществляли согласно рекомендациям Американского общества эхокардиографии (American Society of Echocardiography – ASE) [4]. Функцию продольных волокон исследовали в апикальных 4-, 2- и 5-камерных позициях. В каждой позиции анализировали по 6 сегментов. Изучение циркулярных и радиальных волокон проводили из парастернального доступа в поперечном сечении ЛЖ на уровне митрального клапана, папиллярных мышц и на уровне верхушки. В каждом поперечном сечении ЛЖ оценивались 6 сегментов. При использовании технологии velocity vector imaging выполняется деление ЛЖ на 18 сегментов. Исследование функции продольных, циркулярных и радиальных волокон до и после реваскуляризации осуществлялось на основании изменения величины S и SR. Для более детального анализа функции ЛЖ и ее динамики сформировано 10 групп сегментов для всех волокон по величине S и SR [10]. Группу 1 составили нормальные показатели S и SR; группу 2 – низкие показатели S и SR; группу 3 – увеличение показателей S и SR; группу 4 – нормальный S и низкий SR; группу 5 – нормальный S и высокий SR; группу 6 – низкий S и нормальный SR; группу 7 – низкий S и высокий SR; группу 8 – высокий S и нормальный SR; группу 9 – высокий S и низкий SR; группу 10 – парадоксальное сокращение волокон.

При стандартном эхокардиографическом исследовании проводился анализ систолической функции ЛЖ согласно модифицированному

Петрова Екатерина Борисовна – канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики факультета повышения квалификации врачей¹
✉ 603005, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1, Российская Федерация.
Тел.: +7 (831) 433 75 78.
E-mail: eshakhova@yandex.ru

Таблица 1. Характер поражения коронарного русла

Поражение	Группа I, n (%)	Группа II, n (%)
До 50%	5 (6,4)	5 (6,5)
51–70%	23 (28,7)	24 (31,3)
71–99%	37 (46,2)	26 (33,7)
Окклюзии	15 (18,7)	22 (28,5)
Всего	80 (100)	77 (100)

¹ ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России; 603005, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1, Российская Федерация

методу Симпсона. Для объективной оценки вычисляли индексы объемов ЛЖ – конечно-диастолический и конечно-систолический – и фракцию выброса (ФВ) ЛЖ в апикальной 4-камерной позиции. Оценку сегментарной сократимости в покое проводили согласно рекомендациям ASE при делении ЛЖ на 17 сегментов. Рассчитывался индекс нарушения локальной сократимости (ИНЛС) [6].

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией, принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия), и одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России (протокол № 2 от 08.02.2017). От каждого пациента получено информированное согласие.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica 6.0. При сравнении показателей использован критерий Манна – Уитни. Для анализа изменений показателей внутри каждой группы применялся критерий Вилкоксона. Данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения

($M \pm SD$), в квадратных скобках приведены минимальное и максимальное значения [min; max].

Результаты

В отношении систолической функции ЛЖ до и после реваскуляризации стандартное эхокардиографическое исследование в покое не выявило статистически значимой разницы ($p_{I-II} = 0,14$ – до КШ, $p_{I-II} = 0,86$ – после КШ) между группой I (ФВ ЛЖ до КШ $56,3 \pm 4,7\%$ [51; 65], после – $55,5 \pm 5,8\%$ [45; 65], $p_I = 0,62$) и группой II (ФВ ЛЖ до КШ $53,1 \pm 6,5\%$ [42; 63], после – $55,1 \pm 7,14\%$ [44; 67], $p_{II} = 0,3$) (табл. 2). Статистически значимое различие было получено при оценке ИНЛС, который был больше в группе II по сравнению с группой I до (1,39 \pm 0,4 [1,0; 2,18] против 1,1 \pm 0,1 [1; 1,43], $p_{I-II} = 0,01$) и после КШ (1,32 \pm 0,4 [1,0; 2,18] против 1,05 \pm 0,1 [1; 1,31], $p_{I-II} = 0,01$). Динамическое наблюдение за показателями функции ЛЖ дало положительную динамику только со стороны сократительной функции ЛЖ в группе II ($p_I = 0,09$, $p_{II} = 0,03$).

После выполнения стандартного эхокардиографического исследования проводили анализ

Таблица 2. Эхокардиографические показатели функции левого желудочка до и после операции коронарного шунтирования

Показатель	Группа I	Группа II	p_{I-II}
Индекс конечно-диастолического объема, мл/м ²			
до операции	55,1 \pm 12,5	62,5 \pm 20,6	0,26
после операции	51,4 \pm 9,2	61,6 \pm 17,4	0,06
значение p	$p_I = 0,20$	$p_{II} = 0,75$	
Индекс конечно-систолического объема, мл/м ²			
до операции	23,9 \pm 6,9	29,6 \pm 12,6	0,14
после операции	22,7 \pm 5,2	28,2 \pm 11,6	0,11
значение p	$p_I = 0,55$	$p_{II} = 0,35$	
Фракция выброса, %			
до операции	56,3 \pm 4,7	53,1 \pm 6,5	0,14
после операции	55,5 \pm 5,8	55,1 \pm 7,14	0,86
значение p	$p_I = 0,62$	$p_{II} = 0,30$	
Индекс нарушения локальной сократимости			
до операции	1,1 \pm 0,1	1,39 \pm 0,4	0,01*
после операции	1,05 \pm 0,1	1,32 \pm 0,4	0,01*
значение p	$p_I = 0,09$	$p_{II} = 0,03^*$	

p_I – сравнение данных внутри группы I, p_{II} – сравнение данных внутри группы II, p_{I-II} – сравнение между группами

Данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$)

* различия статистически значимы ($p < 0,05$)



функции волокон миокарда ЛЖ с помощью технологии velocity vector imaging (табл. 3). В группе I при исследовании продольных волокон до КШ отмечено снижение S (-15,2 ± 7,4% [-1,8; -35,7]) и нормальные значения SR (-1,04 ± 0,6 с⁻¹ [-0,06; -5,6]), которые после КШ не изменились (S -14,7 ± 6,4% [-2,2; -34,1], p_I = 0,29; SR -1,11 ± 0,5 с⁻¹ [-0,15; -3,5], p_I = 0,13). В группе II наблюдалось снижение деформации (-12,7 ± 6,4% [-1,89; -35,9])

и скорости деформации (-0,80 ± 0,4 с⁻¹ [-0,07; -2,9]) наряду с нормализацией SR после операции (-0,91 ± 0,5 с⁻¹ [-0,01; -2,76]). Следует отметить, что до и после КШ показатели в группе I были статистически значимо выше (S до КШ p_{I-II} = 0,0006; S после КШ p_{I-II} = 0,006; SR до КШ p_{I-II} = 0,00001; SR после КШ p_{I-II} = 0,00005).

Показатели функции циркулярных волокон до КШ (S -17,1 ± 8,9% [-1,8; -39,2]; SR -1,23 ± 0,7 с⁻¹

Таблица 3. Деформационные свойства волокон миокарда левого желудочка до и после операции коронарного шунтирования

Показатель	Группа I (n = 252)	Группа II (n = 252)	p _{I-II}
Продольные волокна			
S, %			
до операции	-15,2 ± 7,4	-12,7 ± 6,4	0,0006*
после операции	-14,7 ± 6,4	-13,2 ± 6,3	0,006*
значение p	p _I = 0,29	p _{II} = 0,21	
SR, с ⁻¹			
до операции	-1,04 ± 0,6	-0,80 ± 0,4	0,00001*
после операции	-1,11 ± 0,5	-0,91 ± 0,5	0,00005*
значение p	p _I = 0,13	p _{II} = 0,001*	
Циркулярные волокна			
S, %			
до операции	-17,1 ± 8,9	-14,02 ± 8,3	0,00003*
после операции	-15,6 ± 6,4	-14,4 ± 6,7	0,04*
значение p	p _I = 0,006*	p _{II} = 0,32	
SR, с ⁻¹			
до операции	-1,23 ± 0,7	-0,98 ± 0,6	0,00003*
после операции	-1,16 ± 0,5	-1,11 ± 0,5	0,33
значение p	p _I = 0,17	p _{II} = 0,001*	
Радиальные волокна			
S, %			
до операции	29,1 ± 19,9	25,9 ± 19,7	0,07
после операции	25,7 ± 17,8	21,7 ± 8,9	0,00008*
значение p	p _I = 0,02*	p _{II} = 0,0004*	
SR, с ⁻¹			
до операции	1,73 ± 1,0	1,47 ± 1,0	0,00006*
после операции	1,39 ± 0,6	1,35 ± 0,6	0,56
значение p	p _I = 0,0004*	p _{II} = 0,10	

p_I – сравнение данных внутри группы I, p_{II} – сравнение данных внутри группы II, p_{I-II} – сравнение между группами

Данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (M ± SD)

* различия статистически значимы (p < 0,05)

[-0,13; -4,1] – группа I; S $-14,02 \pm 8,3\%$ [-1,25; -33,2]; SR $-0,98 \pm 0,6$ с⁻¹ [-0,03; -3,5] – группа II) и после операции остались сниженными (S $-15,6 \pm 6,4\%$ [-2,0; -37,3]; SR $-1,16 \pm 0,5$ с⁻¹ [-0,13; -3,2] – группа I; S $-14,4 \pm 6,7\%$ [-2,4; -35,8]; SR $-1,11 \pm 0,5$ с⁻¹ [-0,27; -4,5] – группа II).

В группе I было отмечено снижение S в ответ на реваскуляризацию ($p_1=0,006$), а в группе II выявлена положительная динамика SR ($p_{II}=0,001$). При сравнении групп между собой отмечено: показатель S был выше в группе I как до КШ ($p_{I-II}=0,00003$), так и после операции, несмотря на отрицательную динамику ($p_{I-II}=0,04$). Статистически значимо выше показатель SR был в группе I только до операции ($p_{I-II}=0,00003$).

Деформационные показатели радиальных волокон исходно были представлены нормальными значениями S в обеих группах (29,1 ± 19,9% [2; 134] – группа I; 25,9 ± 19,7% [3; 110] – группа II; $p_{I-II}=0,07$) при увеличенном SR в группе I (1,73 ± 1,0 с⁻¹ [0,03; 1,77]) и нормальном SR в группе II (1,35 ± 0,6 с⁻¹ [0,09; 5,4]). После КШ в обеих группах отмечается снижение S, при этом в группе II ниже нормы (21,7 ± 8,9% [2,3; 50], $p_{II}=0,0004$), а также снижение SR до нормальных значений в группе I (1,39 ± 0,6 с⁻¹ [0,1; 4,2], $p_1=0,0004$). Статистически значимое различие в показателях S было отмечено после КШ ($p_{II}=0,00008$), а SR – до операции ($p_{II}=0,00006$).

Таким образом, анализ деформационных показателей всех сегментов ЛЖ в каждой группе продемонстрировал: исходно функция продольных волокон ЛЖ в группе I была представлена низким S и нормальным SR, а в группе II – низкими S и SR. После КШ в обеих группах зарегистрированы низкое значение S и нормальный показатель SR. Низкий S и SR в обеих группах до и после операции выявлены при исследовании циркулярных волокон. Изучение функции радиальных волокон до КШ показало нормальное значение S и высокий SR в группе I, а также нормальный S и SR в группе II. После реваскуляризации в группе I показатели деформации нормализовались, а в группе II значение S снизилось. Полученный вывод решено проверить, используя распределение сегментов ЛЖ по величине S и SR до и после КШ.

Анализ функции продольных волокон

При детальном анализе функции продольных волокон исходно (рис. 1) в обеих группах преобладали сегменты с низкими значениями S и SR (группа I – 116 (46%): S $-10,19 \pm 4,14\%$ [-1,8; -17,2]; SR $-0,6 \pm 0,19$ с⁻¹ [-0,06; -0,88]; группа II – 158 (62%): S $-9,56 \pm 3,8\%$ [-1,89; -16,5]; SR $-0,55 \pm 0,19$ с⁻¹ [-0,07;

-0,88]). При этом большее количество сегментов с низкими деформационными свойствами выявлено в группе II. Однако наряду с этим были сегменты с нормальными (группа I – 19 (7,5%): S $-18,9 \pm 1,18\%$ [-17,6; -21,6], SR $-1,00 \pm 0,07$ с⁻¹ [-0,9; -1,14]; группа II – 8 (3,1%): S $-19,4 \pm 1,41\%$ [-17,7; -21,4], SR $-1,05 \pm 0,07$ с⁻¹ [-0,95; -1,13]) и высокими значениями S и SR (группа I – 37 (14,6%): S $-26,55 \pm 3,5\%$ [-22,6; -35,7], SR $-1,96 \pm 0,82$ с⁻¹ [-1,17; -5,6]; группа II – 18 (7,1%): S $-26,6 \pm 3,9\%$ [-22,4; -35,9], SR $-1,72 \pm 0,4$ с⁻¹ [-1,23; -2,9]), доминирующими в группе I.

До хирургической реваскуляризации достаточное количество сегментов было отнесено к группам нормального S при высоком SR – 27 (10,7%) сегментов группы I (S $-19,7 \pm 1,2\%$ [-17,6; -21,6], SR $-1,61 \pm 0,53$ с⁻¹ [-1,16; -3,2]) и 15 (5,9%) сегментов группы II (S $-19,3 \pm 1,09\%$ [-18,1; -21,4], SR $-1,36 \pm 0,17$ с⁻¹ [-1,17; -1,77]); низкому S при нормальном SR – 23 (10,7%) сегмента группы I (S $-14,04 \pm 3,2\%$ [-5,3; -17,1], SR $-1,01 \pm 0,06$ с⁻¹ [-0,9; -1,14]) и 25 (9,9%) – группы II (S $-13,64 \pm 2,5\%$ [-8,26; -17,2], SR $-1,01 \pm 0,07$ с⁻¹ [-0,91; -1,14]); низкому S при высоком SR – 15 (5,9%) сегментов группы I (S $-13,6 \pm 2,8\%$ [-6,2; -17,3], SR $-1,55 \pm 0,39$ с⁻¹ [-1,2; -2,7]) и 14 (5,5%) сегментов группы II (S $-13,8 \pm 2,8\%$ [-8,5; -17,5], SR $-1,46 \pm 0,4$ с⁻¹ [-1,17; -2,7]).

Детальный анализ позволил выявить сегменты с изменением направления движения – по 2 (0,79%) в каждой группе (группа I: S $10,78 \pm 12,2\%$ [2,12; 19,44], SR $0,82 \pm 0,95$ с⁻¹ [0,15; 1,50]; группа II: S $4,85 \pm 0,07\%$ [4,3; 5,4], SR $0,39 \pm 0,35$ с⁻¹ [0,14; 0,64]). При динамическом наблюдении нормальное движение сегментов восстановилось (рис. 2), однако величины S и SR были низкими (группа I: S $-5,9 \pm 4,8\%$ [-2,5; -9,4], SR $-0,43 \pm 0,38$ с⁻¹ [-0,16; -0,7]; группа II: S $-5,8 \pm 6,2\%$ [-1,4; -10,2], SR $-0,65 \pm 0,63$ с⁻¹ [-0,2; -1,1]).

Оценка влияния КШ на сегменты с низкими значениями S и SR в обеих группах показала улучшение деформационных свойств, а также нормализацию SR в группе I (группа I – 116 (46%): S $-13,09 \pm 5,6\%$ [-2,2; -28,7], $p_1=0,00001$, SR $-0,96 \pm 0,46$ с⁻¹ [-0,15; -2,4], $p_1=0,000001$; группа II – 158 (62%): S $-11,19 \pm 5,9\%$ [0; -30,2], SR $-0,75 \pm 0,42$ с⁻¹ [-0,01; -2,34], $p_{II}=0,00001$). Таким образом, после операции в группе I преобладало количество сегментов с низким S и нормальным SR – 139 (55%) сегментов (S $-13,1 \pm 2,8\%$ [-2,7; -17,2], SR $-1,01 \pm 0,07$ с⁻¹ [-0,9; -1,18]). В группе II большинство сегментов – 174 (71%) – после КШ имели низкие значения S и SR (S $-8,8 \pm 4,2\%$ [0; -17,4], SR $-0,53 \pm 0,22$ с⁻¹ [-0,01; -1,1]). Такое увеличение связано с тем, что в данную группу прибавилось количество сегментов из группы с низким S



и высоким SR – 14 (5,5%) (S $-13,8 \pm 2,8\%$ [-8,5; -17,5], SR $-1,46 \pm 0,4 \text{ c}^{-1}$ [-1,17; -2,7]), в которой после операции произошло снижение SR ($-0,88 \pm 0,26 \text{ c}^{-1}$ [-0,36; -1,38], $p=0,0005$).

Анализ функции циркулярных волокон

При подробном исследовании циркулярных волокон ЛЖ до КШ в обеих группах (рис. 3) доминировали низкие значения S и SR: 119 (47%) сегментов в группе I (S $-11,7 \pm 4,84\%$ [-1,8; -20,1], SR $-0,81 \pm 0,28 \text{ c}^{-1}$ [-0,13; -1,31]) и 165 (65%) сегментов в группе II (S $-11,6 \pm 4,5\%$ [-1,25; -21,5], SR $-0,8 \pm 0,28 \text{ c}^{-1}$ [-0,03; -1,31]), при этом большее количество сегментов было отнесено к группе II.

Тем не менее были отмечены нормальные показатели S и SR в 47 (18,6%) сегментах группы I (S $-25,5 \pm 4,02\%$ [-20,3; -37,2], SR $-1,60 \pm 0,18 \text{ c}^{-1}$ [-1,33; -1,97]) и 25 (9,9%) сегментах группы II (S $-24,09 \pm 3,4\%$ [-20,1; -32,1], SR $-1,67 \pm 0,21 \text{ c}^{-1}$ [-1,37; -1,99]). Кроме того, достаточное количество сегментов имело нормальное значение S при низком SR – 19 (7,5%) группы I (S $-23,24 \pm 2,4\%$ [-20,7; -28,1], SR $-1,04 \pm 0,53 \text{ c}^{-1}$ [-1,05; -1,31]) и 19 (7,5%) группы II (S $-22,12 \pm 1,4\%$ [-20,3; -25,7], SR $-1,10 \pm 0,17 \text{ c}^{-1}$ [-0,48; -1,31]), нормальное значение S при высоком SR – 29 (11,5%) сегментов группы I (S $-28,4 \pm 4,9\%$ [-20,5; -37,6], SR $-2,31 \pm 1,01 \text{ c}^{-1}$ [-2,16; -4,11]) и 12 (4,7%) сегментов группы II (S $-28,0 \pm 3,5\%$ [-22,1; -33,2], SR $-2,33 \pm 0,43 \text{ c}^{-1}$ [-2,0; -3,5]), а также низкий S и нормальный SR – 27 (10,7%) сегментов группы I (S $-14,9 \pm 4,05\%$ [-4,3; -19,7], SR $-1,55 \pm 0,18 \text{ c}^{-1}$ [-1,33; -1,94]) и 22 (8,7%) сегмента группы II (S $-15,7 \pm 3,5\%$ [-6,3; -20,2], SR $-1,45 \pm 0,14 \text{ c}^{-1}$ [-1,33; -1,95]).

Исходно изменение направления движения циркулярных волокон отмечено в 4 (1,58%) сегментах группы I (S $11,65 \pm 4,7\%$ [5,7; 17,0], SR $1,01 \pm 0,49 \text{ c}^{-1}$ [0,55; 1,72]) и 9 (4,2%) сегментах группы II (S $11,12 \pm 5,7\%$ [2,0; 18,9], SR $0,81 \pm 0,46 \text{ c}^{-1}$ [0,2; 1,51]), что было представлено положительными значениями. При динамическом наблюдении (рис. 4) нормальное движение сегментов восстановилось, однако величины S и SR были низкими (группа I: S $-8,8 \pm 3,3\%$ [-6,05; -13,3], SR $-0,56 \pm 0,32 \text{ c}^{-1}$ [-0,16; -0,9]; группа II: S $-5,08 \pm 13,1\%$ [-4,6; -28,3], SR $-0,55 \pm 0,72 \text{ c}^{-1}$ [-0,45; -1,29]).

Анализ влияния КШ на сегменты с низкими значениями S и SR показал положительную динамику деформационных свойств сегментов в обеих группах (группа I – 119 (47%): S $-14,76 \pm 6,6\%$ [-3,0; -37,3], $p_I=0,00007$, SR $-1,09 \pm 0,52 \text{ c}^{-1}$ [-0,13; -3,29], $p_I=0,0002$; группа II – 165 (65%): S $-13,3 \pm 5,8\%$ [-7,6; -28,8], $p_{II}=0,002$, SR $-1,03 \pm 0,54 \text{ c}^{-1}$ [-0,95; -4,5], $p_{II}=0,00001$).

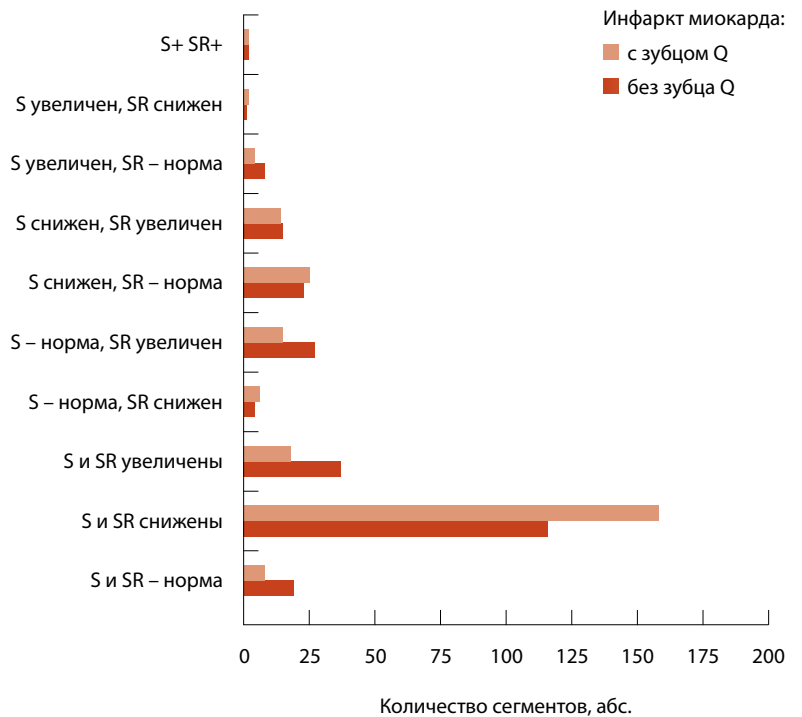


Рис. 1. Деформационные свойства сегментов продольных волокон левого желудочка до хирургической реваскуляризации в группе I (n=252) и группе II (n=252); S+SR+ – парадоксальное сокращение волокон

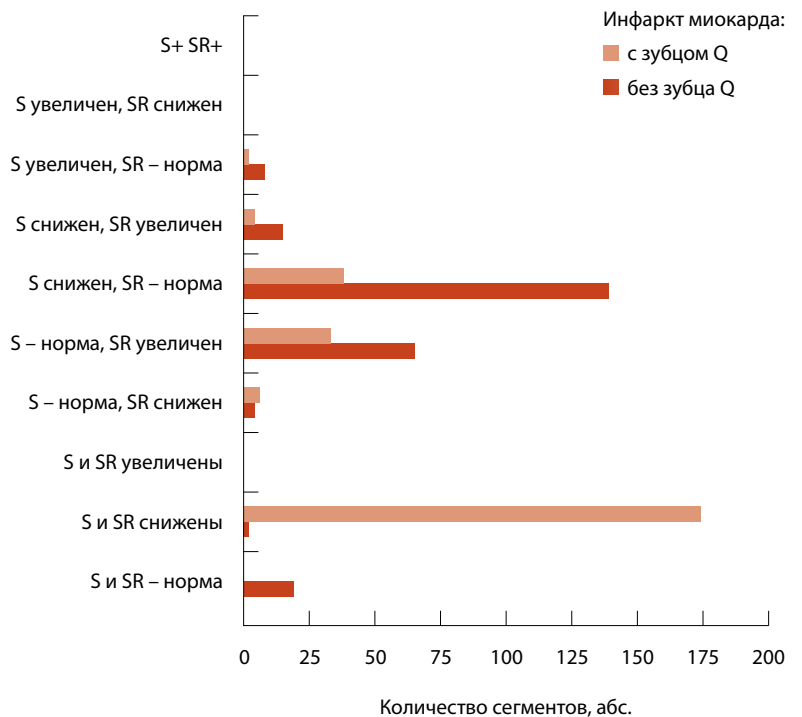


Рис. 2. Деформационные свойства сегментов продольных волокон левого желудочка после хирургической реваскуляризации в группе I (n=252) и группе II (n=252); S+SR+ – парадоксальное сокращение волокон

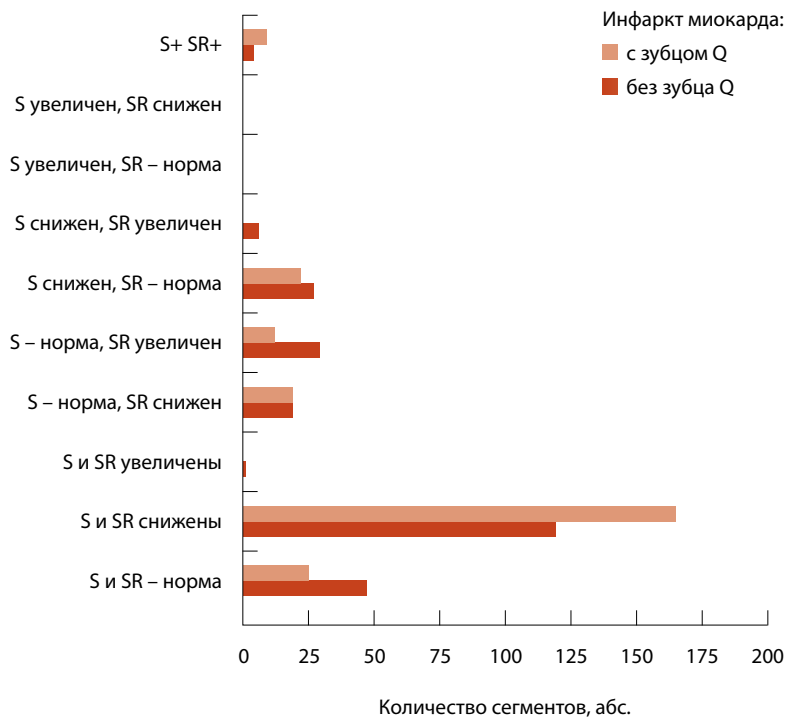


Рис. 3. Деформационные свойства сегментов циркулярных волокон левого желудочка до хирургической реваскуляризации в группе I (n = 252) и группе II (n = 252); S+ SR+ – парадоксальное сокращение волокон

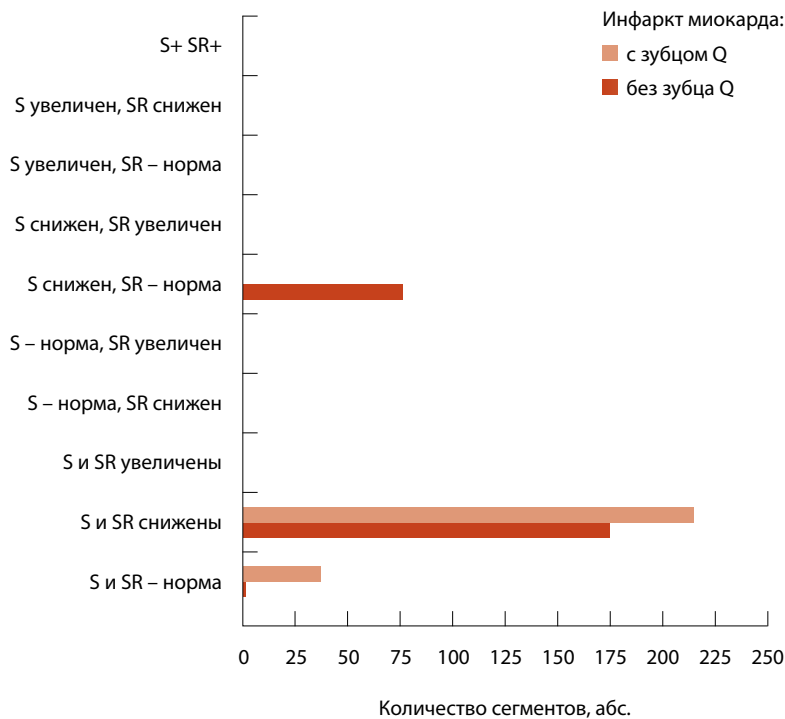


Рис. 4. Деформационные свойства сегментов циркулярных волокон левого желудочка после хирургической реваскуляризации в группе I (n = 252) и группе II (n = 252); S+ SR+ – парадоксальное сокращение волокон

Таким образом, после хирургической реваскуляризации в обеих группах отмечалось преобладание сегментов с низкими значениями S и SR: 175 (69,4%) в группе I ($S -11,8 \pm 4,5\%$ [-2,1; -19,6], $SR -0,81 \pm 0,28 \text{ c}^{-1}$ [-0,13; -1,29]) и 215 (85%) в группе II ($S -11,7 \pm 4,4\%$ [-2,4; -20,6], $SR -0,85 \pm 0,28 \text{ c}^{-1}$ [-0,27; -1,29]). Это связано с добавлением сегментов из групп с нормальным S и низким SR, низким S и нормальным SR, низким S и высоким SR, ответивших на КИШ снижением обоих показателей деформации. Нормализация показателя SR ($-1,49 \pm 0,15 \text{ c}^{-1}$ [-0,33; -1,87]) при низком значении S ($-15,9 \pm 2,8\%$ [-7,5; -20,1]) наблюдалась в 76 (30,1%) сегментах группы I.

Анализ функции радиальных волокон

При анализе радиальных волокон до КИШ (рис. 5) в обеих группах отмечалось достаточно равномерное распределение сегментов по группам в зависимости от величины показателей деформации без существенного доминирования какой-либо группы.

Вместе с тем в группе I наблюдалось незначительное преимущество в количестве сегментов с нормальными значениями S и SR – 41 (16,2%) сегмент группы I ($S 28,1 \pm 4,02\%$ [22,5; 36,1], $SR 1,38 \pm 0,15 \text{ c}^{-1}$ [1,05; 1,68]) и 32 (12,6%) сегмента группы II ($S 28,1 \pm 4,28\%$ [22,5; 36,6], $SR 1,35 \pm 0,17 \text{ c}^{-1}$ [1,05; 1,68]), увеличенными S и SR – 65 (25,7%) сегментов группы I ($S 52,6 \pm 20,9\%$ [38; 138], $SR 2,60 \pm 1,04 \text{ c}^{-1}$ [1,65; 6,16]) и 44 (17,4%) сегмента группы II ($S 54,5 \pm 19,2\%$ [33,2; 110], $SR 2,53 \pm 0,76 \text{ c}^{-1}$ [1,62; 4,7]), нормальным S и увеличенным SR – 43 (17%) сегмента группы I ($S 28,6 \pm 4,3\%$ [20; 36,9], $SR 2,34 \pm 0,75 \text{ c}^{-1}$ [1,62; 4,6]) и 35 (13,8%) сегментов группы II ($S 30,3 \pm 4,8\%$ [22,5; 37,5], $SR 2,4 \pm 0,72 \text{ c}^{-1}$ [1,66; 5,4]). Больше количество сегментов с низким S и SR отмечено в группе II: 51 (20,2%) сегмент группы I ($S 11,33 \pm 5,7\%$ [2,0; 22,3], $SR 0,63 \pm 0,26 \text{ c}^{-1}$ [0,03; 1,04]) и 62 (24,6%) сегмента группы II ($S 13,5 \pm 5,6\%$ [3,1; 22,2], $SR 0,72 \pm 0,23 \text{ c}^{-1}$ [0,09; 1,09]).

Изменение направления движения радиальных волокон зарегистрировано в 4 (1,58%) сегментах группы I ($S -16,7 \pm 5,6\%$ [-10,5; -21,6], $SR -2,9 \pm 1,28 \text{ c}^{-1}$ [-1,21; -3,7]) и в 11 (4,3%) сегментах группы II ($S -16,25 \pm 9,3\%$ [-8,2; -34,5], $SR -1,11 \pm 0,53 \text{ c}^{-1}$ [-0,4; -2,02]), что было представлено отрицательными значениями. При динамическом наблюдении (рис. 6) нормальное движение сегментов восстановилось, однако величины S были низкими, а значения SR достигли нормы (группа I: $S 11,6 \pm 5,6\%$ [7,8; 18,1]; $SR 1,27 \pm 0,28 \text{ c}^{-1}$ [0,96; 1,51]; группа II: $S 19,7 \pm 9,2\%$ [5,7; 30,9], $SR 1,58 \pm 0,92 \text{ c}^{-1}$ [0,37; 3,14]).



После операции в группе I доминировали сегменты с нормальными значениями S и SR – 149 (59,2%) (S $28,0 \pm 4,9\%$ [22,4; 38,8], SR $1,35 \pm 0,75 \text{ c}^{-1}$ [1,06; 1,65]), в группе II – с низким S и нормальным SR – 206 (81,7%) (S $16,45 \pm 4,4\%$ [4,3; 21,0], SR $1,29 \pm 0,14 \text{ c}^{-1}$ [1,05; 1,63]).

Обсуждение

Результаты детального анализа функции сегментов дают представление о том, какие сегменты вовлечены в ишемический процесс, о наличии компенсаторных механизмов в виде увеличения значений S и/или SR, а также о зонах с нормальными показателями. Детальное изучение сегментов всех волокон миокарда может свидетельствовать о глубине и площади ишемического поражения ЛЖ. В зависимости от сегмента ответ на реваскуляризацию может проходить по-разному: изменение только S, изменение только SR, сочетанное изменение S и SR.

Необходимость проведения детального анализа функции сегментов была основана на определении понятий деформации и скорости деформации. Уточним: показатель деформации зависит от геометрии ЛЖ, его эластичности, состояния соседних сегментов и позволяет судить о его систолической функции, а скорость деформации отражает активность миокарда или его сократимость [1]. Перенесенный инфаркт миокарда в нашем исследовании привел к снижению S и SR продольных и циркулярных волокон. Нормальные значения показателей деформации свидетельствовали о сегментах, не вовлеченных в ишемический процесс. Высокие значения S и SR продольных и радиальных волокон были расценены нами как гиперкинез сегментов. По данным литературы, снижение функции продольных волокон может компенсироваться функцией радиальных волокон [1, 9]. Низкие значения показателя деформации расценивались исходя из определения, как снижение способности сегмента под влиянием перенесенного инфаркта миокарда изменять свою форму по отношению к исходной величине (кроме того, влияние на деформацию может вызывать нарушение функции соседних сегментов). Сохранение при этом нормального значения скорости деформации или ее увеличение позволило считать, что сократительная функция сохранена или компенсаторно увеличена, однако ее не достаточно для достижения нормальных параметров деформации. Снижение скорости деформации указывало на нарушение активности или сократимости сегмента под влиянием инфаркта миокарда. Наличие нормального значения деформации при этом

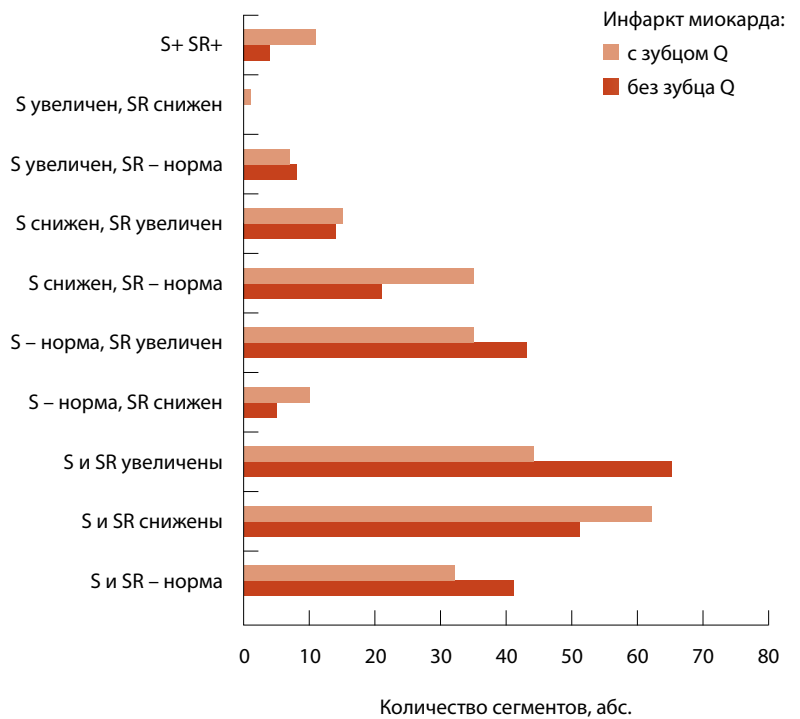


Рис. 5. Деформационные свойства сегментов радиальных волокон левого желудочка до хирургической реваскуляризации в группе I (n = 252) и группе II (n = 252); S+ SR+ – парадоксальное сокращение волокон

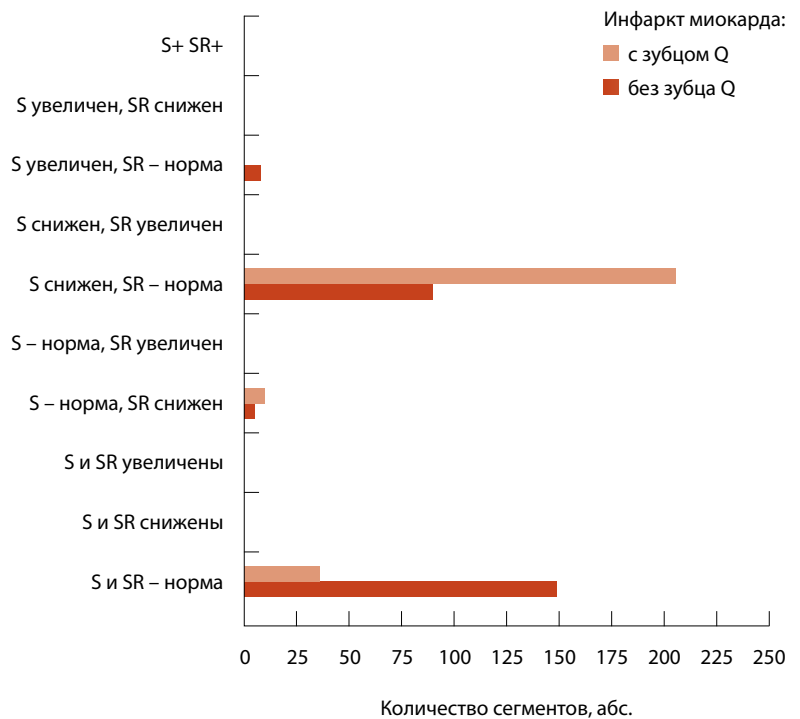


Рис. 6. Деформационные свойства сегментов радиальных волокон левого желудочка после хирургической реваскуляризации в группе I (n = 252) и группе II (n = 252); S+ SR+ – парадоксальное сокращение волокон

позволяет говорить о том, что на данный момент низкой скорости достаточно для адекватного изменения формы сегмента.

Операция КШ направлена на восстановление коронарного кровотока, однако само вмешательство, как и использование искусственного кровообращения, способны приводить к повреждению миокарда, изменению кальциевого обмена, а также к повреждению сосудов микроциркуляторного русла. Все это может ухудшить функцию миокарда в ранние сроки после КШ [11]. Реваскуляризация оказала влияние на все сегменты всех волокон миокарда. Но на первый взгляд, при детальном анализе сегментов продольных и циркулярных волокон может сложиться впечатление, что это влияние отрицательное и операция коронарного шунтирования была не эффективна. Вместе с тем в сегментах самой многочисленной группы – с низкими значениями S и SR – у всех пациентов отмечена положительная динамика (увеличение) показателей S и SR, то есть равнозначный вклад деформации и ее скорости в восстановление систолической и сократительной функции сегментов. Увеличение количества сегментов с низкими деформационными показателями связано с ухудшением функции сегментов с разнообразными вариантами изменения S или SR в ответ на хирургическое вмешательство. Можно предположить, что в таких сегментах один из показателей для адекватного функционирования находится в состоянии «напряженной работы», при этом само оперативное вмешательство, повреждение миокарда, изменение обмена и даже восстановление кровотока могут способствовать

своеобразной декомпенсации в функции данных сегментов с переходом их в группу низких значений S и SR. Тем не менее и это можно считать положительным влиянием КШ, так как гармоничное взаимодействие деформации и ее скорости может быть предпосылкой к улучшению функции как каждого сегмента, так и всего ЛЖ в целом.

Выводы

1. Технология velocity vector imaging позволяет провести обобщенный и детальный анализ функции миокарда ЛЖ для определения глубины и площади ишемического повреждения, получить представление о сегментах и вариантах изменений их деформационных показателей, а также об особенностях их реакции на реваскуляризацию.
2. Обобщенный анализ функции волокон ЛЖ у пациентов обеих групп выявил более низкие значения показателей деформации в группе инфаркта миокарда с зубцом Q и более динамичный ответ на реваскуляризацию.
3. Детальный анализ позволил отметить преобладание сегментов с сочетанным снижением S и SR при анализе продольных и циркулярных волокон у пациентов с инфарктом миокарда как с зубцом Q, так и без зубца Q с положительной динамикой обоих показателей в ответ на операцию. При исследовании радиальных волокон существенного преобладания какой-либо группы сегментов до КШ выявлено не было. Ответом на реваскуляризацию стало исчезновение групп сегментов с низкими показателями S и SR. ©

Литература

1. Алехин МН. Ультразвуковые методы оценки деформации миокарда и их клиническое значение. М.: Видар-М; 2012. 88 с.
2. Butz T, Lang CN, van Bracht M, Prull MW, Yeni H, Maagh P, Plehn G, Meissner A, Trappe HJ. Segment-orientated analysis of two-dimensional strain and strain rate as assessed by velocity vector imaging in patients with acute myocardial infarction. *Int J Med Sci.* 2011;8(2):106–13. doi: 10.7150/ijms.8.106.
3. Purushottam B, Parameswaran AC, Figueredo VM. Dyssynchrony in obese subjects without a history of cardiac disease using velocity vector imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(1):98–106. doi: 10.1016/j.echo.2010.10.003.
4. Carasso S, Biaggi P, Rakowski H, Mutlak D, Lesick J, Aronson D, Woo A, Agmon Y. Velocity Vector Imaging: standard tissue-tracking results acquired in normals – the VVI-STRAIN study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2012;25(5):543–52. doi: 10.1016/j.echo.2012.01.005.
5. Васюк ЮА, ред. Функциональная диагностика в кардиологии: клиническая интерпретация: учебное пособие. М.: Практическая медицина; 2009. 312 с.
6. Резник ЕВ, Гендлин ГЕ, Сторожаков ГИ. Эхокардиография в практике кардиолога. М.: Практика; 2013. 212 с.
7. Valocic G, Valocikova I, Mitro P, Fojtikova L, Druzbacka L, Kristofova B, Juhas S, Kolesar A, Sabol F. Diagnostic accuracy of global myocardial deformation indexes in coronary artery disease: a velocity vector imaging study. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2012;28(8):1931–42. doi: 10.1007/s10554-012-0025-5.
8. Гиляров МЮ, Мурашова НК, Новикова НА, Семенов ВП, Сыркин АЛ. Использование спекл-трекинг эхокардиографии для предсказания жизнеспособности миокарда у больных с постинфарктным кардиосклерозом. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2014;(1):73–83.
9. Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, Haugaa KH, Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur Heart J.* 2016;37(15):1196–207. doi: 10.1093/eurheartj/ehv529.
10. Петрова ЕБ. Влияние хирургической и интервенционной реваскуляризации на миокард левого желудочка при использовании технологии визуализации вектора скорости движения миокарда (velocity vector imaging). Медицинская визуализация. 2015;(6):33–41.
11. Бузиашвили ЮИ, Кокшенева ИВ, Самсонова НН, Абуков СТ, Бузиашвили ВЮ, Климович ЛГ. Динамика уровня факторов воспалительной реакции в раннем послеоперационном периоде при различных методах коронарного шунтирования. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2015;(1):4–11. doi: 10.17116/kardio2015814-11.



References

- Alekhin MN. Ultrasound estimation techniques and their clinical significance. Moscow: Vidar-M; 2012. 88 p. Russian.
- Butz T, Lang CN, van Bracht M, Prull MW, Yeni H, Maagh P, Plehn G, Meissner A, Trappe HJ. Segment-orientated analysis of two-dimensional strain and strain rate as assessed by velocity vector imaging in patients with acute myocardial infarction. *Int J Med Sci.* 2011;8(2):106–13. doi: 10.7150/ijms.8.106.
- Purushottam B, Parameswaran AC, Figueredo VM. Dyssynchrony in obese subjects without a history of cardiac disease using velocity vector imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(1):98–106. doi: 10.1016/j.echo.2010.10.003.
- Carasso S, Biaggi P, Rakowski H, Mutlak D, Lessick J, Aronson D, Woo A, Agmon Y. Velocity Vector Imaging: standard tissue-tracking results acquired in normals – the VVI-STRAIN study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2012;25(5):543–52. doi: 10.1016/j.echo.2012.01.005.
- Vasyuk YuA, editor. Functional diagnostics in cardiology: clinical interpretation. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2009. 312 p. Russian.
- Reznik EV, Gendlin GE, Storozhakov GI. Echocardiography in cardiologist's practice. Moscow: Praktika; 2013. 212 p. Russian.
- Valocik G, Valocikova I, Mitro P, Fojtikova L, Druzbacka L, Kristofova B, Juhas S, Kolesar A, Sabol F. Diagnostic accuracy of global myocardial deformation indexes in coronary artery disease: a velocity vector imaging study. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2012;28(8):1931–42. doi: 10.1007/s10554-012-0025-5.
- Gilyarov MY, Murashova NK, Novikova NA, Sedov VP, Sirkin AL. Speckle tracking echocardiography for myocardial viability predicting in patients with previous myocardial infarction. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2014;1(1):73–83. Russian.
- Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, Haugaa KH, Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur Heart J.* 2016;37(15):1196–207. doi: 10.1093/eurheartj/ehv529.
- Petrova EB. The impact of surgical and interventional revascularization on the myocardium of the left ventricle using Velocity Vector Imaging. *Medical Visualization.* 2015;6(6):33–41. Russian.
- Buziashvili Yul, Koksheneva IV, Samsonova NN, Abukov ST, Buziashvili VYu, Klimovich LG. The dynamics of inflammatory factors in the early postoperative period after various techniques of coronary artery bypass grafting. *Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya.* 2015;8(1):4–11. Russian. doi: 10.17116/kardio2015814-11.

The function of the left ventricular myocardial segments assessed by velocity vector imaging in patients with a myocardial infarction before and after coronary artery bypass

Petrova E.B.¹

Rationale: Velocity vector imaging is a non-invasive technique to analyze left ventricle (LV) fibers and determine the depth and area of an ischemic injury and the response to revascularization. **Aim:** To assess LV functional parameters in patients with non Q-wave myocardial infarction and Q-wave myocardial infarction using velocity vector imaging before and in the early postoperative period after coronary bypass grafting. **Methods:** We analyzed the strain (S) and strain rate (SR) of longitudinal, circular and radial fibers in 252 LV segments in 14 patients with non Q-wave myocardial infarction (group I) and in 252 segments in 14 patients with Q-wave myocardial infarction (group II) before and at day 12 after coronary bypass grafting. **Results:** General analysis of the fibers from all LV segments, as well as a detailed analysis of each segment was performed by velocity vector imaging. The general analysis showed the following: the function of longitudinal fibers in group I was characterized by a low S parameter ($-15.2 \pm 7.4\%$) and normal SR ($-1.04 \pm 0.6 \text{ s}^{-1}$); in group II – a low S ($-12.7 \pm 6.4\%$) and SR ($-0.80 \pm 0.4 \text{ s}^{-1}$). The deformation characteristics of the circular fibers were reduced in both groups (group I: S $-17.1 \pm 8.9\%$, SR $1.23 \pm 0.7 \text{ s}^{-1}$; group II:

S $-14.02 \pm 8.3\%$, SR $-0.98 \pm 0.6 \text{ s}^{-1}$). The radial fibers had normal S values (group I: $29.1 \pm 19.9\%$, group II: $25.9 \pm 19.7\%$), high SR value in group I ($1.73 \pm 1.0 \text{ s}^{-1}$) and normal SR in group II ($1.35 \pm 0.6 \text{ s}^{-1}$). After coronary bypass surgery, the group II demonstrated an improvement in the SR of longitudinal ($-0.91 \pm 0.5 \text{ s}^{-1}$, $p=0.001$) and circumferential ($-1.11 \pm 0.5 \text{ s}^{-1}$, $p=0.001$) fibers, whereas the S of radial fibers deteriorated ($21.7 \pm 8.9\%$, $p=0.0004$). In group I, radial fiber SR became normal ($1.39 \pm 0.6 \text{ s}^{-1}$, $p=0.0004$). A detailed analysis of the LV identified 10 groups of segments depending on the changes S and/or SR. Revascularization had an impact on all segments in patients of both groups. The segments with combined changes in S and SR improved its function. The segments with changes only in S or only in SR reduce their function, which is considered as a step to harmonic contraction. **Conclusion:** General analysis of LV fibers shows the impact of myocardial infarction, and the detailed analysis helps to identify the impact of revascularization.

Key words: coronary heart disease, velocity vector imaging, left ventricular function, strain, strain rate

doi: 10.18786/2072-0505-2017-45-3-208-217

Petrova Ekaterina B. – MD, PhD, Associate Professor, Chair of Radiology, Faculty of Postgraduate Training¹

✉ 10/1 Minina i Pozharskogo pl., Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation.

Tel.: +7 (831) 433 75 78.

E-mail: eshakhova@yandex.ru

¹ Nizhny Novgorod State Medical Academy; 10/1 Minina i Pozharskogo pl., Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation