

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОВОЛНОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СРЕД МИОКАРДА У БОЛЬНЫХ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ

Терехов И. В.<sup>1</sup>, Солодухин К. А.<sup>1</sup>, Никифоров В. С.<sup>2</sup>, Ломоносов А. В.<sup>3</sup>

**Цель.** Исследование водосодержащих сред миокарда у больных артериальной гипертензией для оценки функционального состояния последнего методом сверхвысокочастотной (СВЧ) радиометрии.

**Материал и методы.** Методом эхокардиографии (ЭхоКГ) обследовано 30 больных артериальной гипертензией (АГ) II–III степени, сопровождавшейся развитием хронической сердечной недостаточности (ХСН) I–III ФК в возрасте 40–60 лет. Радиометрия миокарда проводилась с помощью диагностического комплекса "Акватон", позволяющего исследовать состояние водосодержащих сред в СВЧ диапазоне путем оценки интенсивности стимулированного излучения тканей на частоте 65 ГГц при их зондировании резонансным радиоизлучением частотой 1 ГГц.

**Результаты.** Выявлена сильная отрицательная корреляция интенсивности радиосигнала с ТЗСЛЖс ( $r=-0,96$ ), ИММ ( $r=-0,82$ ), КСР ( $r=-0,66$ ), а также положительная корреляция с КДР ( $r=0,55$ ) и ФИ ( $r=0,73$ ).

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о существенных изменениях радиофизических свойств миокарда у больных АГ, проявляющихся нарушением способности тканей к преобразованию внешнего зондирующего излучения в стимулированное.

Российский кардиологический журнал 2013, 5 (103): 40-43

**Ключевые слова:** гипертрофия миокарда, артериальная гипертензия, радиоволновое зондирование.

<sup>1</sup>ГОУ ВПО Саратовский Военно-медицинский институт МО РФ; <sup>2</sup>ГБОУ ВПО Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова МЗ и СР РФ; <sup>3</sup>Госпиталь ФКУЗ МСЧ МВД по Саратовской области, Саратов, Россия.

Терехов И. В.\* — к.м.н., ст. преподаватель кафедры организации медицинского обеспечения, Солодухин К. А. — д.м.н., доцент, и.о. начальника научно-исследовательского отдела, Никифоров В. С. — д.м.н., профессор кафедры функциональной диагностики, Ломоносов А. В. — к.м.н., начальник госпиталя.

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): terex26@mail.ru

АГ — артериальная гипертензия, ВА — волновая активность, ГГц — гигагерц, ИММ — индекс массы миокарда, КДР — конечно-диастолический размер ЛЖ, КСР — конечно-систолический размер ЛЖ, ЛЖ — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, ПЖ — правый желудочек, ПИМ — приемно-излучающий модуль, ПП — правое предсердие, СВЧ — сверхвысокие частоты, ТЗСЛЖд — толщина задней стенки ЛЖ в диастолу, ТЗСЛЖс — толщина задней стенки ЛЖ в систолу, ТМЖПд — толщина межжелудочковой перегородки в диастолу, ТМЖПс — толщина межжелудочковой перегородки в систолу, УО — ударный объем, ФИ — фракция изгнания, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ЭМИ — электромагнитное излучение, ЭхоКГ — эхокардиография.

Рукопись получена 30.01.2013

Принята к публикации 21.10.2013

## Radiometry of water-containing myocardial tissue in patients with arterial hypertension

Terekhov I. V.<sup>1</sup>, Solodukhin K. A.<sup>1</sup>, Nikiforov V. S.<sup>2</sup>, Lomonosov A. V.<sup>3</sup>

**Aim.** To study the water-containing myocardial tissue in patients with arterial hypertension (AH), using the ultra-high frequency (UHF) radiometry method, in order to assess myocardial function parameters.

**Material and methods.** In total, echocardiography was performed in 30 patients, aged 40–60 years, with Stage I–III AH and Functional Class I–III chronic heart failure. Myocardial radiometry was performed with the diagnostic complex "Aquatone", which assesses the status of water-containing tissues using the resonance probe radio emission (1 GHz) and stimulated tissue emission (65 GHz).

**Results.** There was a strong negative correlation between the radio signal intensity and left ventricular posterior wall thickness ( $r=-0,96$ ), myocardial mass index ( $r=-0,82$ ), and end-systolic dimension ( $r=-0,66$ ), as well as a strong positive correlation with end-diastolic dimension ( $r=0,55$ ) and ejection fraction ( $r=0,73$ ).

**Conclusion.** The results obtained suggest the presence of pronounced changes in myocardial radio-physical characteristics in AH patients, as manifested in the disturbed myocardial ability to transform the external probe emission into the stimulated one.

Russ J Cardiol 2013, 5 (103): 40-43

**Key words:** myocardial hypertrophy, arterial hypertension, radiometry.

<sup>1</sup>Saratov Military Medical Institute; <sup>2</sup>I.I. Mechnikov North-Western State Medical University; <sup>3</sup>Saratov Region Ministry of Interior Clinical Hospital, Saratov, Russia.

Артериальная гипертензия (АГ) представляет собой одну из наиболее значимых медико-социальных проблем. Распространенность АГ в возрастной группе 22–45 лет в настоящее время достигает 23%, увеличиваясь с возрастом [1]. Общеизвестно, что АГ является фактором риска развития многих заболеваний, приводит к формированию патологических изменений внутренних органов, сопровождается дисфункцией эндотелия и нарушениями водно-электролитного баланса [1–3].

Учитывая высокую актуальность совершенствования методов диагностики и мониторинга патологических изменений внутренних органов у больных АГ и сопутствующими сердечно-сосудистыми заболеваниями, для повышения эффективности выявле-

ния патологических изменений, в том числе на ранних стадиях заболевания, необходима разработка и освоение в клинике новых диагностических методов.

Одной из сравнительно новых технологий оценки состояния внутренних органов является технология нелинейного зондирования водосодержащих сред в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне. Указанный метод основан на явлении возбуждения в водных и водосодержащих средах, включая внутриклеточную воду, низкоинтенсивных электромагнитных излучений (ЭМИ) частотой 1 ГГц при зондировании таких сред электромагнитным полем частотой 65 ГГц, вызывающим резонансные колебания молекул воды [4–7].

Биофизическим механизмом диагностики является взаимодействие ЭМИ резонансных частот с надмолекулярными водными ассоциатами (кластерами). Последствием взаимодействия низкоинтенсивных зондирующих электромагнитных волн резонансных частот (53, 65, 130 ГГц) при плотности потока мощностью 1–20 мВт/см<sup>2</sup> с молекулярными ассоциатами, образованными за счет водородных связей, является возрастание уровня теплового (электромагнитного) излучения молекул воды, фиксируемого с помощью высокочувствительного радиометра на частоте 1 ГГц.

Таким образом, эффективность преобразования водосодержащей средой внешнего зондирующего радиоизлучения, а, следовательно, и уровень принимаемого радиосигнала, определяется структурой водной фазы, которая, в свою очередь, в живом организме существенно зависит от метаболической активности клеток [4, 5].

Цель исследования — сопоставление результатов радиометрии миокарда в СВЧ диапазоне и эхокардиографии у больных с артериальной гипертензией.

### Материал и методы

В исследование включено 30 больных с верифицированным диагнозом артериальной гипертензии II–III степени, сопровождавшейся развитием хронической сердечной недостаточности (ХСН) I–III ФК в возрасте 40–60 лет. Критериями исключения являлись перенесенный инфаркт миокарда, хроническая обструктивная болезнь легких. Группу сравнения составили 20 пациентов без патологии сердечно-сосудистой системы, сопоставимых с основной группой по полу и возрасту.

В ходе исследования всем больным проводилось эхокардиографическое исследование (ЭхоКГ) на аппарате “APOGEE-SX” с использованием датчика частотой 3,5 МГц. При ЭхоКГ из парастерального доступа определялись следующие показатели структуры и функции левого (ЛЖ) и правого желудочков (ПЖ) а также предсердий: фракция изгнания (ФИ) ЛЖ, ударный объем (УО) ЛЖ, индекс массы миокарда (ИММ) левого желудочка, толщину межжелудочковой перегородки в систолу (ТМЖПс) и диастолу (ТМЖПд), толщину задней стенки ЛЖ в систолу (ТЗСЛЖс) и диастолу (ТЗСЛЖд), конечно-диастолический (КДР) и конечно-систолический (КСР) размер ЛЖ, размер правого и левого предсердий (ПП, ЛП).

Волновую активность (ВА) миокарда (эффективность преобразования тканями зондирующего излучения в стимулированное излучение) исследовали с помощью радиоэлектронного диагностического комплекса “Акватон” производства ООО “Телемак” (г. Саратов).

Диагностический комплекс включает в себя модуляционный радиометр, настроенный на прием радиоволн в полосе частот  $1000 \pm 25$  МГц с чувствительностью  $\sim 10^{-14}$  Вт, и приемно-излучающий модуль (ПИМ), в составе источника зондирующего излуче-

ния с плотностью потока мощности 2,5 мВт/см<sup>2</sup>, частотой 65 ГГц и приемной аппликаторной антенной диаметром 1 см [4].

Используемый в исследовании радиоэлектронный комплекс “Аквафон” (ООО “Телемак”, г. Саратов) сертифицирован и внесен в реестр медицинской техники и изделий медицинского назначения (номер регистрационного удостоверения 07292).

Радиометрическое зондирование миокарда осуществлялось в 5 межреберье по левой парастеральной линии в течение 30 секунд.

Обследование пациентов осуществлялось в положении лежа, в состоянии спокойного бодрствования и заключалось в приложении ПИМ комплекса к обследуемой области с последующей регистрацией излучения тканей в течение 2–3 секунд. Результаты исследования обрабатывались с помощью специализированного программного обеспечения входящего в состав комплекса.

Оценка ВА производилась в условных единицах: за 100 единиц принимался уровень излучения дистиллята воды при 37<sup>0</sup> С. За диапазон нормальных значений принимался уровень излучения 95–117 единиц [4, 6].

Статистический анализ результатов исследования проводился с помощью программы Statistica 6.0. В ходе исследования анализировались такие показатели как средняя ( $\bar{x}$ ), медиана выборки (Me), 25% и 75% проценты. Степень связи показателей ЭхоКГ и ВА оценивали с помощью коэффициента корреляции ( $r$ ) Пирсона и его уровня значимости ( $p$ ). Взаимосвязь показателей функционального состояния миокарда и его волновой активности исследовалась с помощью линейного регрессионного анализа.

### Результаты

Показатели функционального состояния миокарда представлены в таблице 1.

Результаты ЭхоКГ оценки состояния миокарда свидетельствуют о существенной его гипертрофии и снижении насосной функции. Анализ волновой активности водосодержащих сред миокарда свидетельствует о том, что ремоделирование и снижение систолической функции сопровождается снижением интенсивности стимулированного излучения миокарда.

С целью изучения характера связи ЭхоКГ показателей миокарда и волновой активности его водосодержащих сред был проведен линейный корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 2.

Проведенная оценка данных анализа указывает на тесную корреляцию волновой активности с показателями, характеризующими состояние миокарда. Так, выявлена сильная статистически значимая отрицательная связь показателей, характеризующих массу (ТЗСЛЖс, ИММ) и размер полостей (КСР и КДР) миокарда. Кроме того, отмечена тесная положительная связь ФИ и ВА.

Таблица 1

Состояние миокарда обследованных больных

Группы Параметры	Основная группа				Группа сравнения			
	х	25%	Ме	75%	х	25%	Ме	75%
Возраст, годы	50,6	40,0	51,0	60,0	48	37	50	59
Аорта, см.	2,8	2,6	2,9	3,0	2,7	2,0	2,2	2,5
ЛП, см.	4,2*	3,6	4,1	4,6	2,9	2,4	2,8	3,2
ПП, см.	3,6	3,5	3,75	3,8	2,73	2,3	2,6	3,1
ПЖ, см.	2,5	1,9	2,8	3,0	2,1	1,6	1,8	2,3
ТМЖПс, см.	0,95*	0,8	0,9	0,9	0,68	0,64	0,7	0,9
ТМЖПд, см.	1,39*	0,9	1,4	1,8	1,0	0,9	1,02	1,05
ТЗСЛЖс, см.	1,14*	1,0	1,0	1,3	0,87	0,8	0,88	0,95
ТЗСЛЖд, см.	1,84*	1,4	1,8	2,4	1,1	0,93	1,2	1,4
КДР, см.	6,06*	3,2	4,2	5,5	4,49	3,9	4,2	4,8
КСР, см.	4,4*	5,1	6,0	6,9	2,84	2,4	2,9	3,6
УО, мл.	94,2	68,0	94,0	116,0	96,5	87,4	97,1	105,2
ФИ, %	53	41	56	67	67	53	68	75
ИММ, г/м <sup>2</sup>	156,7*	98,0	159,0	206,0	78	68	82	93
ВА, ед.	87,4*	80,0	86,0	95,0	102	95	105	117

Примечание: \* — статистически значимое различие с группой сравнения ( $p < 0,05$ ).

Сокращения: ВА — волновая активность, ИММ — индекс массы миокарда, КДР — конечно-диастолический размер ЛЖ, КСР — конечно-систолический размер ЛЖ, ЛЖ — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, ПЖ — правый желудочек, ПП — правое предсердие, ТЗСЛЖд — толщина задней стенки ЛЖ в диастолу, ТЗСЛЖс — толщина задней стенки ЛЖ в систолу, ТМЖПд — толщина межжелудочковой перегородки в диастолу, ТМЖПс — толщина межжелудочковой перегородки в систолу, УО — ударный объем, ФИ — фракция изгнания.

Таблица 2

Корреляция ЭхоКГ показателей и волновой активности миокарда

Показатели	Коэффициент корреляции, r	p
Возраст, годы	-0,43	0,34
Аорта, см.	0,63	0,051
ЛП, см.	-0,36	0,43
ПП, см.	-0,23	0,66
ПЖ, см.	0,07	0,88
ТМЖПс, см.	-0,42	0,35
ТМЖПд, см.	0,14	0,76
ТЗСЛЖс, см.	-0,96	0,0005
ТЗСЛЖд, см.	-0,50	0,045
КСР, см.	-0,66	0,049
КДР, см.	-0,55	0,042
УО, мл.	-0,14	0,76
ФИ, %	0,73	0,049
ИММ, г/м <sup>2</sup>	-0,82	0,023

Сокращения: ИММ — индекс массы миокарда, КДР — конечно-диастолический размер ЛЖ, КСР — конечно-систолический размер ЛЖ, ЛЖ — левый желудочек, ЛП — левое предсердие, ПЖ — правый желудочек, ПП — правое предсердие, ТЗСЛЖд — толщина задней стенки ЛЖ в диастолу, ТЗСЛЖс — толщина задней стенки ЛЖ в систолу, ТМЖПд — толщина межжелудочковой перегородки в диастолу, ТМЖПс — толщина межжелудочковой перегородки в систолу, УО — ударный объем, ФИ — фракция изгнания.

С целью выделения и изучения роли наиболее информативных показателей состояния миокарда, определяющих эффективность преобразования внешнего зондирующего радиоизлучения в стимулированное излучение его водосодержащих сред, был проведен пошаговый регрессионный анализ. В результате регрессии в модель были включены наи-

более информативные показатели, определяющие уровень ВА — ТЗСЛЖс и ФИ (табл. 3).

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что функциональное состояние миокарда и волновая активность его водосодержащих сред связаны линейной зависимостью, имеющей следующий вид:  $ВА = 117,2 \cdot ФИ - 19,8 \cdot ТЗСЛЖс$ .

Анализ информативности регрессионного уравнения показал, что коэффициент корреляции (R) предикторных признаков (ФИ и ТЗСЛЖс) и ВА составил 0,943, коэффициент детерминации ( $R^2$ ) — 0,882; уровень значимости регрессионного уравнения  $p = 0,00016$ . Приведенные показатели свидетельствуют о высокой степени обобщения исходных данных регрессионной зависимостью. Результаты исследования свидетельствуют о том, что изменчивость ФИ и ТЗСЛЖс на 88% определяет уровень ВА.

Анализ остатков полученной формулы, описывающей взаимосвязь радиометрических и ЭхоКГ показателей, проведенный путем оценки критерия Дарбина-Уотсона и коэффициента серийной корреляции остатков, величина которых составила 1,99 и 0,005, соответственно, подтверждает адекватность статистической модели.

Исследование стандартизированных регрессионных коэффициентов позволило сделать вывод о вкладе каждого из анализируемых предикторных показателей модели (ФИ и ТЗСЛЖс) в формирование величины ВА. Соответствующий анализ показал, что влияние ТЗСЛЖс на величину ВА составляет 31,2%, ФИ — 57,0%, что указывает на большую

чувствительность ВА к функциональному состоянию миокарда, что согласуется с известными результатами [6, 8].

Таким образом, изменение фракции изгнания сопровождается более сильным влиянием на ВА водосодержащих сред миокарда, нежели изменение морфологической характеристики — толщины миокарда. При этом увеличение массы миокарда обуславливает уменьшение эффективности преобразования тканями зондирующего радиоизлучения. Увеличение фракции изгнания сопровождается противоположным эффектом — увеличением мощности стимулированного излучения мышцы сердца.

### Заключение

Молекулярные изменения, формирующиеся в патогенезе заболеваний миокарда, протекающих на фоне АГ, приводят не только к изменению морфологических свойств и структуры тканей, но и существенно изменяют радиофизические свойства миокарда, которые могут быть оценены с применением высокочувствительных радиометрических комплексов [5, 6].

Результаты проведенных ранее исследований [8], выявивших тесную связь изменений волновой активности с нарушениями транскапиллярного обмена воды и белка, позволяют говорить о том, что у обследованных больных, имеющих низкие значения ВА, имеет место снижение транскапиллярного обмена в миокарде, являющееся следствием эндотелиальной дисфункции.

Представляется перспективным исследование не только механических и биохимических показателей состояния сердечной мышцы, но и с позиции изменения радиофизических свойств миокарда, что позволит глубже понять суть происходящих патоло-

Таблица 3

Регрессионные коэффициенты

Анализируемые параметры	Beta	b	t	p
ТЗСЛЖс, см.	-0,27	-19,8	-4,3	0,043
ФИ, %	0,49	117,2	9,97	0,031

**Сокращения:** Beta — стандартизованные регрессионные коэффициенты, b — коэффициенты регрессионного уравнения, t — критерий Стьюдента статистической значимости коэффициентов регрессионного уравнения, p — уровень значимости соответствующего коэффициента, ТЗСЛЖс — толщина задней стенки ЛЖ в систолу, ФИ — фракция изгнания.

гических процессов для более полноценной коррекции формирующихся нарушений.

Установлена тесная связь структурно-функциональных изменений миокарда с эффективностью преобразования его тканями зондирующего радиосигнала, что проявляется сильной отрицательной корреляционной связью стимулированного радиосигнала миокарда с толщиной задней стенки ЛЖ в систолу ( $r=-0,96$ ), ИММ ( $r=-0,83$ ), а также с КСР ЛЖ ( $r=-0,66$ ). Кроме этого выявлена сильная положительная связь стимулированного радиоизлучения тканей миокарда с ФИ ЛЖ ( $r=0,73$ ).

Полученная математическая зависимость, связывающая ВА с изменениями, отражающими геометрию миокарда (ТЗСЛЖс) и его функцию (ФИ), характеризуется информативностью 88,2%, при этом 57,0% всей изменчивости ВА связано с ФИ. Таким образом, ВА более чувствительна к изменению функционального состояния миокарда.

Учитывая тесную связь волновой активности тканей миокарда с его функциональным состоянием, динамическая оценка ВА может служить дополнительным критерием оценки функционального состояния миокарда у больных с АГ.

### Литература

- Messerli F., Williams B., Eberhard R. Essential hypertension. The Lancet 2007; 370 (9587): 539–628.
- Nikitin A. Je., Filippov A. E., Shahnovich P. G., et al. Endothelial dysfunction in the initial stages of development of arterial hypertension in men young age and its relation to cardiovascular risk factors. MMJ 2010; 331:4:20–5. Russian (Никитин А. Э. Филиппов А. Е. Шахнович П. Г. и др. Эндотелиальная дисфункция на начальных этапах развития артериальной гипертензии у мужчин молодого возраста и ее связь с сосудистыми факторами риска. Военно-медицинский журнал, 2010; 331:4:20–5).
- Diagnosis and treatment of arterial hypertension. The recommendations of the Russian medical society for arterial hypertension and all-Russian scientific society of cardiologists (third revision). Cardiovascular Therapy and Prevention 2008; 7 (6):3–32. Russian (Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Рекомендации Российского медицинского общества по артериальной гипертензии и Всероссийского научного общества кардиологов (третий пересмотр). Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2008, 7 (6); 3–32).
- Beckij O. V. Frequency dependence of biological effects in the field of electromagnetic waves: new biological resonances in the millimeter range. Millimeter waves in biology and medicine 1998; 2 (12):3–6. Russian (Бецкий О. В. Частотная зависимость биологических эффектов в области электромагнитных волн: новые биологические резонансы в миллиметровом диапазоне. Миллиметровые волны в биологии и медицине. 1998; 2 (12):3–6).
- Petrosyan V. I., Gromov M. S., Vlaskin S. V. et al. Trans-resonant functional topography. The biophysical rationale. Millimeter waves in biology and medicine 2003; 1 (29):23–6. Russian (Петросян В. И., Громов М. С., Власкин С. В. и др. Транс-резонансная функциональная топография. Биофизическое обоснование. Миллиметровые волны в биологии и медицине 2003, 1 (29):23–6).
- Morozov D. V., Ponomarenko K. V., Kon'kov A. V. et al. The use of a method transresonant functional scanning in the diagnosis of diseases of the cardiovascular system of the pilots of air force. MMJ 2010; 331:2:62–3. Russian (Морозов Д. В., Пономаренко К. В., Коньков А. В. и др. Использование метода трансрезонансного функционального сканирования в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы у летного состава ВВС. Военно-медицинский журнал 2010, 331:2:62–3).
- Petrosyan V. I. Resonant emission of water in the radio range. Technical Physics Letters 2005; 31:23:29–33. Russian (Петросян В. И. Резонансное излучение воды в радиодиапазоне. Письма в Журнал технической физики. 2005, 31:23:29–33).
- Terekhov I. V. Assessment of vascular permeability with an active radiometry Aspirantskiy vestnik Povolzhja 2009; 7–8:187–90. Russian (Терехов И. В. Оценка сосудистой проницаемости с помощью активной радиометрии. Аспирантский вестник Поволжья. 2009, 7–8:187–90).