

В.Н. ДИОМИДОВА, О.В. ЗАХАРОВА, М.А. САФОНОВА, О.В. ВАЛЕЕВА

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ И ЗНАЧЕНИЯМИ ИЗМЕРЯЕМОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ В ОЦЕНКЕ СТРУКТУР МАТКИ И ПРИДАТКОВ У ЖЕНЩИН РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА

Ключевые слова: эластография, сдвиговая волна, эластометрия, измеряемый коэффициент диффузии, матка, яичники, магнитно-резонансная томография, корреляция.

Цель исследования. Изучить корреляционную связь между результатами исследования матки и яичников у здоровых женщин репродуктивного возраста с помощью ультразвуковой эластографии сдвиговой волной с эластометрией и магнитно-резонансной томографии (МРТ) с оценкой измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ).

Материалы и методы. Группа исследования – 45 здоровых женщин репродуктивного возраста (средний возраст – $32,9 \pm 3,1$ года). Всем выполнено ультразвуковое исследование с технологией двумерной эластографии сдвиговой волной с эластометрией (Aixplorer, Supersonic Imagine, Франция) по разработанной и внедренной нами методике. МРТ структур матки и яичников выполнена с использованием протокола ДВИ (магнитно-резонансный томограф Excelart Vantage Atlas, «Toshiba», Япония, 1,5 Тл), оценивались миометрий и слизистая матки в области тела и шейки матки, яичники. В автоматическом режиме в зоне интереса на ADC-картах производился расчет ИКД неизменных структур тела и шейки матки и придатков. Проводился расчет степени корреляционной связи между результатами ультразвуковой эластографии с эластометрией и магнитно-резонансной томографии с оценкой измеряемого коэффициента диффузии.

Результаты. Корреляционный анализ связи показателей жесткости и ИКД структур матки и придатков показал прямую обратную связь между этими значениями и высокую степень тесноты связи по шкале Чеддока ($p = 0,000000$). При этом большим количественным значениям модуля упругости Юнга (кПа) всех структур матки и яичников соответствовали меньшие значения ИКД ($\text{мм}^2/\text{с}$) аналогичных структур исследуемых органов.

Заключение. Полученные данные позволяют оптимизировать диагностический алгоритм и дополнить стандартные протоколы ультразвуковых и магнитно-резонансно-томографических исследований гинекологических органов с использованием двумерной эластографии сдвиговой волной с эластометрией и магнитно-резонансной томографии с оценкой измеряемого коэффициента диффузии диффузионно-взвешенных изображений.

Актуальность. В последнее время на рынке медицинского оборудования появляются всё более совершенные модели диагностической аппаратуры, что делает возможным разработку и внедрение в практическую медицину новых технологий лучевой диагностики, позволяющих более детально изучить состояние структур различных органов.

Согласно рекомендациям Европейской федерации ультразвука в биологии и медицине (EFSUMB) от 2017 г., метод ультразвуковой эластографии позволяет не только исследовать структуру органов, но и производить дистанционную пальпацию, дающую возможность оценить упруго-эластичные свойства исследуемых тканей [7, 26]. Данную оценку жесткости исследуемых структур с помощью ультразвуковой и магнитно-резонансной эластографии можно рассматривать как дополнение к контактной ручной пальпации органов [27].

Технологии ультразвуковой эластографии начинают широко внедряться в гинекологическую практику. Проводятся исследования зависимости репродуктивного здоровья женщины от различных показателей жесткости внутренних гинекологических органов [4, 5]. Однако публикации об опыте использования эластографии в акушерстве и гинекологии посвящены в основном изучению диагностических возможностей ультразвуковой эластографии при исследовании шейки матки беременных женщин [22, 25].

Внедрение новых цифровых технологий в лучевую диагностику улучшило качество и информативность получаемых визуальных диагностических снимков [11]. Одной из таких технологий является диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография (ДВ МРТ) [23]. Данный вид МРТ основан на получении диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) (diffusion weight imaging (DWI)), позволяющих визуализировать нормальное и патологически измененное движение молекул воды от внеклеточного до внутриклеточного пространства в структурах и тканях разных органов [10].

С помощью ДВ МРТ можно производить количественную оценку диффузии молекул воды в исследуемых структурах на основе вычисления измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Характеристики диффузии несут информацию о состоянии микроструктуры тканей и являются определенными маркерами наличия или отсутствия в них патологии различного характера [16, 24].

Несомненным преимуществом ДВ МРТ по сравнению с другими методами лучевой диагностики является то, что данный вид исследования позволяет одновременно получать информацию об анатомическом и функциональном состоянии органов. Исследования, посвященные изучению информативности и возможных направлений клинического применения ДВ МРТ, в последнее время набирают актуальность [8, 20].

Однако не во всех областях практической медицины накоплен достаточный опыт использования в клинике технологии ДВ МРТ. В основном ДВ МРТ используется при исследовании головного мозга, некоторых паренхиматозных органов (в частности печени). Чаще всего данный метод диагностики применяется в случаях, когда имеется подозрение на острую сосудистую и/или онкологическую патологию [19]. В последнее время появляются данные о результатах использования ДВ МРТ при исследовании органов брюшной и тазовой полостей, молочной железы [2]. Интересными с точки зрения клинического применения становятся исследования, посвященные МРТ всего тела [2]. Согласно литературным данным, в настоящее время проводятся также исследования, в которых ДВ МРТ используется при диагностике различных патологий матки [1, 9, 12].

В гинекологии МРТ в основном применяется для диагностики опухолевых патологий матки и придатков в качестве метода, позволяющего получить многоплоскостное изображение исследуемых органов с высоким пространственным разрешением за счет достаточной естественной контрастности мягкотканых структур и малого таза, а также матки с придатками [18]. Этими авторами отмечено, что современные возможности МРТ фактически могут стать «золотым стандартом» в определении стадии морфологически подтвержденного рака шейки матки.

Следует отметить, что в акушерско-гинекологической практике во избежание врачебных ошибок результаты МРТ необходимо сопоставлять с данными других методов диагностики, в частности ультразвуковых [1, 9, 12, 18]. Однако отсутствуют публикации, посвященные изучению корреляционной связи

ультразвуковой эластографии и МРТ с оценкой ИКД при исследовании состояния структур матки с целью получения дополнительной диагностической информации.

Цель исследования – изучить корреляционную связь между результатами исследования матки и яичников у здоровых женщин репродуктивного возраста с помощью ультразвуковой эластографии сдвиговой волной с эластометрией и магнитно-резонансной томографии (МРТ) с оценкой измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ).

Материалы и методы исследования. Группа исследования была сформирована из 45 здоровых женщин репродуктивного возраста (средний возраст – $32,9 \pm 3,1$ года).

Всем женщинам проведено мультипараметрическое ультразвуковое исследование (МПУЗИ) с технологией протокола двухмерной эластографии сдвиговой волной с эластометрией (англ. – Shear Wave Elastography – 2DSWE), (Aixplorer, Supersonic Imagine, Франция) по разработанной и внедренной нами методике [5].

МРТ всех структур матки и яичников проводилась в трех взаимно перпендикулярных плоскостях при умеренно наполненном мочевом пузыре с использованием протокола ДВИ с b факторами 0; 400; 800 с/мм² (магнитно-резонансный томограф Excelart Vantage Atlas, «Toshiba», Япония, 1,5 Тл), оценивались миометрий и слизистая матки в области тела и шейки матки, яичники. Последовательно использовались режимы T2 ВИ TSE sag; T2 ВИ TSE axial; T1 ВИ TSE axial; T2 Fatsat ВИ TSE axial; T2 ВИ TSE cor. Соотношение сигнал/шум составило 1, толщина среза – 3-4 мм, общее время сканирования – 25-30 мин. В автоматическом режиме в зоне интереса на ADC-картах производился расчет ИКД неизмененных структур тела и шейки матки и придатков.

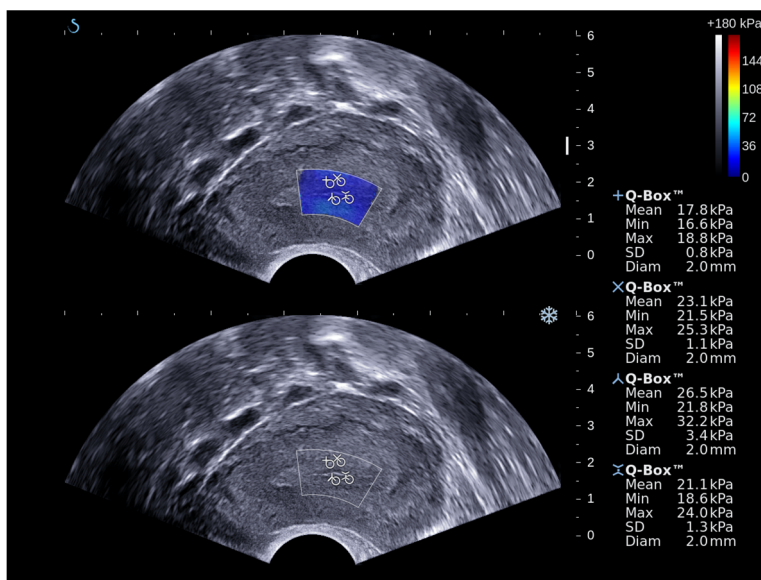
Для проведения корреляционного анализа между результатами эластографии с эластометрией и МРТ использовались следующие параметры структур матки и яичников: интенсивность и гомогенность эхо- и МРТ-сигналов, показатели модуля упругости Юнга и ИКД исследуемых структур матки и яичников.

Статистическая обработка полученных результатов исследования проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel 2010 и StatSoft STATISTICA 12. Результаты были представлены в виде абсолютных (число случаев) и относительных (%) величин. Производилось вычисление количественных значений в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm \sigma$). Для признаков, не подчиняющихся закону нормального распределения, вычислялись медиана (Me), (2,5–97,5 перцентиль, 95%-ный доверительный интервал (95% ДИ)); минимальные (min) и максимальные (max), средние значения (E_{mean}) и стандартное отклонение (SD) модуля упругости Юнга. Статистическую значимость исследуемых параметров оценивали по критерию Стьюдента (t), при $p < 0,05$ различия считались статистически значимыми. При проведении корреляционного анализа двух методов (2DSWE и МРТ) и признаков (модуль Юнга, кПа, и значения ИКД при ДВИ МРТ, мм²/с) применялся коэффициент корреляции с расчетом степени корреляционной связи (абсолютное значение коэффициента корреляции $r=1$, минимальное $r = -1$).

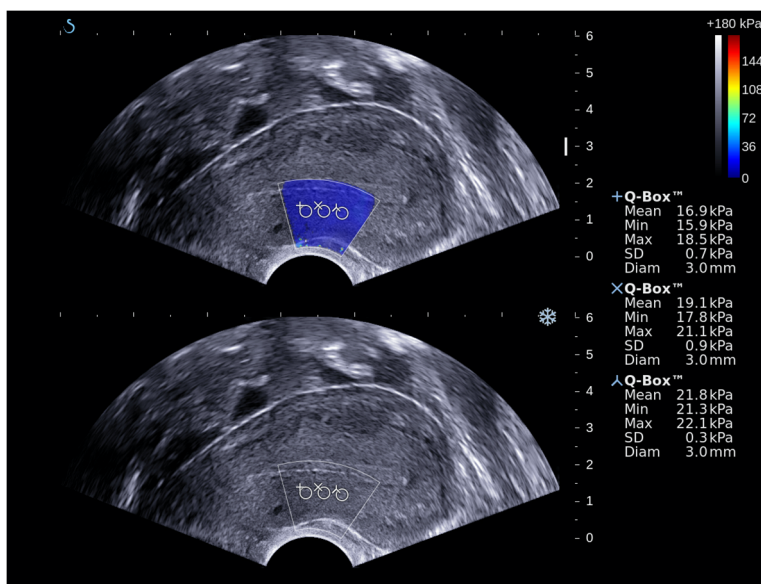
Для подтверждения достоверности полученных результатов данные МПУЗИ и МРТ сопоставлялись с результатами морфологических, бактериологических, клинико-anamnestических и лабораторно-инструментальных исследований.

Результаты исследования. При использовании двухмерной эластографии сдвиговой волной с эластометрией (2DSWE) установлены следующие количественные характеристики жесткости структур тела матки (рис. 1): в области

слизистой – Emean 16,9 кПа (Emax 24,3 кПа; SD 1,6 кПа); в области миометрия – Emean – 23,4 кПа (Emax – 29,9 кПа; SD – 1,8 кПа) ($p = 0,005887$). В области шейки матки были получены следующие значения жесткости: слизистой – Emean – 27,1 кПа (Emax – 38,9 кПа, SD – 1,9 кПа); миометрия шейки матки – Emean – 37,3 кПа (Emax – 44,7 кПа, SD – 2,8 кПа) ($p = 0,003374$).



a



б

Рис. 1. Ультразвуковое изображение матки в серошкальном и 2DSWE режимах. Представлены количественные характеристики жесткости эндометрия (а) и миометрия (б) тела матки у здоровой женщины репродуктивного возраста

Показатели жесткости эндоцервикса и миометрия шейки были выше, чем показатели эндометрия и миометрия тела (различия были статистически значимыми, $p < 0,05$). При этом не установлены различия показателей модуля упругости Юнга в зависимости от глубины залегания мышечных структур в толще миометрия тела и шейки матки ($p = 0,066$) и сегментов матки в области дна, тела и шейки ($p = 0,075$).

Аналогичным образом произведен анализ жесткости эндометрия, при этом не получена потенциальная зависимость значений жесткости слизистой тела матки в разных отделах органа ($p = 0,37$).

Изучение жесткости яичников у здоровых женщин репродуктивного возраста производилось при среднем объеме яичника $4,9 \pm 0,5 \text{ см}^3$ (диапазон: $3,7-6,9 \text{ см}^3$). Были получены следующие показатели модуля Юнга жесткости структур яичников: медиана $E_{\text{mean}} - 8,7 \text{ кПа}$ (95%-й ДИ – $2,1-16,9 \text{ кПа}$), $SD - 1,6 \text{ кПа}$ ($0,3-3,3$). При этом достоверных различий между значениями модуля Юнга жесткости структур правого и левого яичников не выявлено ($p = 0,35$). Для правого яичника E_{mean} составил $9,3 \text{ кПа}$ ($2,9-17,2$), $SD - 1,9 \text{ кПа}$ ($0,8 - 2,9$), для левого яичника E_{mean} был равен $8,1 \text{ кПа}$ ($2,3-18,3$), $SD - 1,3 \text{ кПа}$ ($0,3-3,3$).

Применение протокола МРТ с оптимально подобранными импульсными последовательностями (T2 ВИ, T1 ВИ, T2FatStat ВИ, T2STIR ВИ) и техническими параметрами сканирования (толщина среза, оптимальное соотношение параметров сигнал/шум, высокое пространственное разрешение, поле обзора) позволяло получать достоверную информацию о структурах матки (рис. 2).

У здоровых женщин репродуктивного возраста значения ИКД миометрия тела и шейки матки отличались незначительно ($2,072 \pm 0,052 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$; $2,080 \pm 0,061 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, соответственно) и не имели статистической значимости ($p = 0,92098$). Однако значения ИКД миометрия тела и шейки матки отличались от аналогичных показателей эндометрия и эндоцервикса и были статистически значимо большими, чем значения ИКД слизистой тела и шейки матки ($1,496 \pm 0,025 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ и $1,430 \pm 0,045 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, соответственно) ($p < 0,05$).

Сравнение значений ИКД структур (стромы и фолликулярного аппарата) правого ($2,065 \pm 0,045 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ и $2,502 \pm 0,036 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, соответственно) и левого ($2,050 \pm 0,056 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$ и $2,501 \pm 0,036 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, соответственно) яичников не выявило достоверных различий между ними ($p = 0,83535$ и $p = 0,98439$). При этом ИКД стромы яичника был меньше, чем аналогичный показатель фолликулярного аппарата ($p = 0,00001$).

Все вычисленные корреляции между полученными эхографическими и МРТ-критериями о состоянии структур матки и яичников были статистически значимыми ($p < 0,05$). Коэффициент корреляции Спирмена (ρ) между результатами двух многопараметровых диагностических методов 2DSWE и МРТ в оценке качественных показателей структур матки и яичников (гомогенность и интенсивность сигнала) у здоровых женщин репродуктивного возраста был равен $0,94$ и $0,91$, соответственно, что говорит о высокой прямой корреляционной связи между ними (зависимость признаков статистически значима – $p < 0,05$).

Корреляционный анализ связи показателей жесткости эндометрия по результатам 2DSWE и ИКД эндометрия при проведении ДВИ МРТ показал прямую обратную связь между этими значениями. При этом коэффициент корреляции Пирсона (r) был равен $0,937$ (критическое значение t -критерия Стьюдента $2,018$), коэффициент детерминации r^2 равен $0,878$, что показало высокую силу тесноты связи по шкале Чеддока (зависимость признаков статистически значима, $p = 0,000000$).

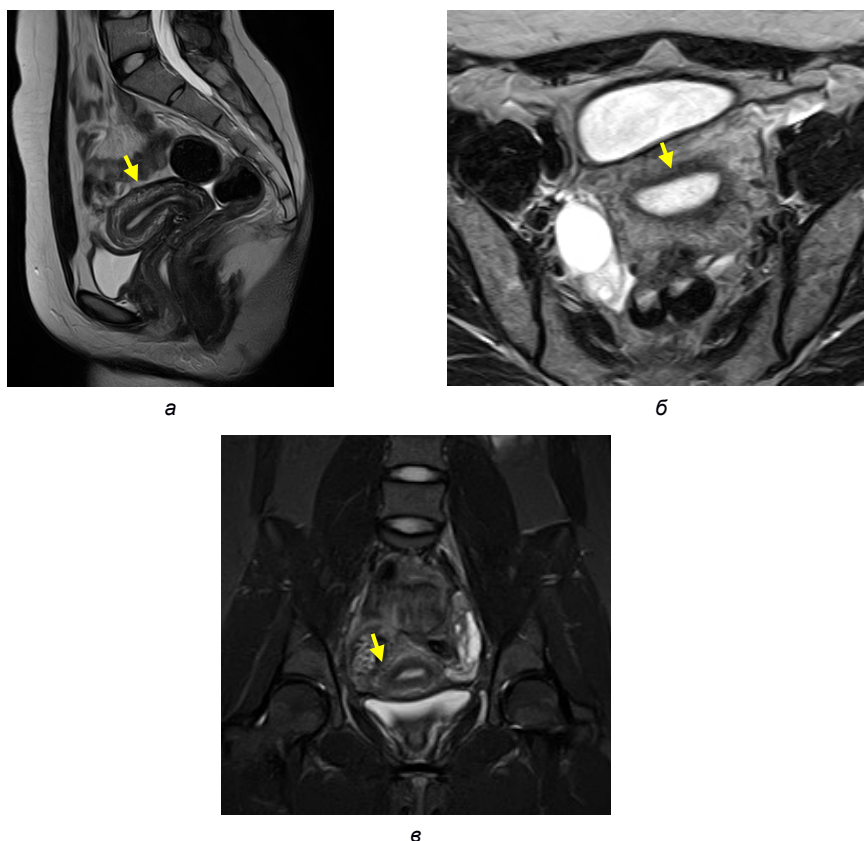


Рис. 2. Магнитно-резонансное томографическое изображение тела матки в разных режимах и плоскостях сканирования: а – Т2 ВИ, сагиттальная плоскость сканирования; б – Т2 ВИ, аксиальная плоскость; в – Т2 ВИ, коронарная плоскость

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что большим количественным значениям модуля упругости Юнга (кПа) всех структур матки (миометрия и слизистой тела и шейки матки) и яичников соответствовали меньшие значения ИКД (мм²/с) аналогичных структур исследуемых органов (таблица).

Анализ корреляции данных эластографии и МРТ матки

Показатели	Слизистый слой матки		Мышечный слой матки	
	шейка	тело	шейка	тело
Коэффициент корреляции (r)	0,815	0,937	0,832	0,921
Коэффициент детерминации (r^2)	0,665	0,878	0,692	0,848
Зависимость признаков (p)	0,005317	0,000000	0,003858	0,000285
Критическое значение t -критерия Стьюдента	2,018	2,306	2,306	2,306
Адекватность регрессионной модели	1,1%	0,5%	0,6%	0,6%
Связь между исследуемыми признаками	прямая	прямая	прямая	прямая
Теснота связи по шкале Чеддока	высокая	весьма высокая	высокая	весьма высокая

Обсуждение. В настоящее время, несмотря на широкие возможности современных визуальных диагностических технологий при исследовании матки и придатков, актуальной проблемой остается изучение роли двухмерной эластографии

сдвиговой волной и диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии в оценке структур гинекологических органов.

Обсуждая преимущества ДВИ при МРТ, исследователи отмечают возможность получения достаточной диагностической информации по данным ДВИ даже без проведения искусственного контрастирования [17].

Установлено, что режим диффузионно-взвешенного изображения с изучением качественных и количественных параметров (интенсивность МР-сигнала, измерение коэффициента диффузии) в алгоритме МРТ-сканирования женских генитальных органов может стать фактором, способствующим повышению информативности МРТ [13].

С внедрением в клиническую практику технологии ДВИ МРТ появился дополнительный высокоспецифичный способ диагностики патологических процессов в органах, позволяющий проводить качественную и количественную оценку визуальных МРТ-изображений. Однако отечественные публикации, посвященные МРТ-исследованиям матки и придатков с оценкой ИКД, касаются в основном диагностики онкологической патологии гинекологических органов [13, 15, 17], и лишь в единичных из них обсуждаются вопросы репродукции. Результаты оценки диагностической информативности МРТ и прогностической значимости эластографии сдвиговой волной с эластометрией при исследовании здоровых женщин репродуктивного возраста и при вторичном бесплодии были отражены в наших предыдущих работах [3, 6, 21].

В исследовании О.В. Сергиеня с соавт. представлены результаты МРТ пациенток репродуктивного возраста, страдающих бесплодием [14]. В публикации изучена роль МРТ в выявлении причин бесплодия, среди которых отмечены: аномалии развития матки (16,3%), разные формы эндометриоза (53,06%), доброкачественные опухоли матки (14,2%) и поликистоз яичников (16,3%).

В доступной иностранной литературе практически не нашлось публикаций, посвященных этой теме.

Заключение. Анализ корреляционной связи между полученными результатами ультразвуковой эластографии сдвиговой волной с эластометрией и магнитно-резонансной томографии с оценкой измеряемого коэффициента диффузии в оценке структур матки и придатков у здоровых женщин репродуктивного возраста указал на высокую прямую корреляционную связь между ними. Полученные данные позволяют оптимизировать диагностический алгоритм и дополнить стандартные протоколы ультразвуковых и магнитно-резонансных томографических исследований гинекологических органов.

Литература

1. Адамян Л.В., Панов В.О., Макиян З.Н., Кулабухова Е.А., Панова М.М., Сташук Г.А., Степанян А.А. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике аномалий матки и влагалища: алгоритм исследования и МРТ семиотика // Медицинская визуализация. 2009. Т. 6. С. 100–113.
2. Гележе П.Б., Трофименко И.А., Морозов С.П. Основы интерпретации диффузионно-взвешенной томографии всего тела // REJR. 2015. Т. 5(3). С. 65–73.
3. Диомидова В.Н., Сафонова М.А., Захарова О.В., Дмитриева А.Н., Ефимова О.А. Информативность магнитно-резонансной томографии с применением протокола диффузионно-взвешенных изображений в оценке эндометрия при полинеоплазиях // Исследования и практика в медицине. 2020. Т. 7(4). С. 51–61. DOI: <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2020-7-4-5>.
4. Диомидова В.Н., Захарова О.В., Петрова О.В., Сиordia А.А. Ультразвуковая эластография (компрессионная и сдвиговой волной) в акушерстве и гинекологии // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2016. Т. 15(2). С. 52–58.
5. Диомидова В.Н., Захарова О.В., Петрова О.В. Эластография сдвиговой волной в оценке эндометрия и миометрия у здоровых женщин репродуктивного возраста // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2015. Т. 5. С. 51–56.

6. Диомидова В.Н., Захарова О.В., Сиордия А.А. Прогностическое значение количественного показателя модуля упругости Юнга эндометрия при вторичном бесплодии // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2020. Т. 19(2). С. 22–26. DOI: 10.20953/1726-1678-2020-2-22-26.

7. Изранов В.А., Казанцева Н.В., Мартинович М.В., Бут-Гусаим В.И., Степанян И.А. Физические основы эластографии печени // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер. Естественные и медицинские науки. 2019. Т. 2. С. 69–87.

8. Ильясов К.А. Количественное измерение диффузии in vivo методом магнитно-резонансной томографии // Ученые записки Казанского университета. Сер. Физико-математические науки. 2011. Т. 153(1). С. 17–37.

9. Кайнова Е.П., Калипарова М.П., Метелева Т.А., Олина А.А. Применение магнитно-резонансной томографии в гинекологической практике // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Новшества в медицине и фармакологии» (Тюмень, 25 декабря). Тюмень, 2016. С. 7–9.

10. Карельская Н.А., Кармазановский Г.Г. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография всего тела // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2010. Т. 8. С. 57–60.

11. Морозов С.П., Шелехов П.В., Владзимирский А.В. Современные стандартизованные подходы к совершенствованию службы лучевой диагностики // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2019. Т. 5-6. С. 30–34. DOI: 10.26347/1607-2502201905-06030-034.

12. Рогожин В.А. МРТ в гинекологической практике // Russian electronic journal of radiology. 2012. Т. 2(3). С. 27–40.

13. Рубцова Н.А., Новикова Е.Г., Синицын В.Е. Возможности МРТ в предоперационной оценке местной распространенности рака шейки матки // Акушерство, гинекология и репродукция. 2012. Т. 6(3). С. 6–13.

14. Сергиеня О.В., Юхно Е.А., Павловская Е.А., Фокин В.А., Труфанов Г.Е. Возможности магнитно-резонансной томографии в визуализации структурных изменений органов малого таза у женщин репродуктивного возраста при бесплодии // REJR. 2018. Т. 8(1). С. 119–128. DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-1-119-128.

15. Солопова А.Е., Макацария А.Д., Сдвижков А.М., Терновой С.К. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике образований яичников. Возможности количественной мультипараметрической оценки // Акушерство и гинекология. 2017. Т. 2. С. 80–85.

16. Столярова И.В., Яковлева Е.К., Шаракова В.В. Оценка диагностической эффективности методики диффузионно-взвешенных МР-изображений в диагностике патологии тела матки // Вопросы онкологии. 2015. Т. 61(6). С. 986–993.

17. Столярова И.В., Яковлева Е.К., Шаракова В.В. Результаты эффективности методики диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) в диагностике рака эндометрия // Медицинский алфавит. 2016. Т. 1(25). С. 47–53.

18. Тарачкова Е.В., Стрельцова О.Н., Базеева И.Я., Ахвердиева Г.И., Панов В.О., Кравец О.А., Тюрин И.Е. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике рака шейки матки // Опухоли женской репродуктивной системы. 2014. № 3. С. 78–85.

19. Федоров М.А., Диомидова В.Н., Мигушкина Л.П. Роль магнитно-резонансной томографии в повышении качества оказания медицинской помощи больным с ишемическим инсультом // Практическая медицина. 2015. Т. 6(91). С. 115–118.

20. Хоружик С.А., Дулинец И.С. Сравнительная нормальная анатомия шейки матки на T1-, T2- и диффузионно-взвешенных магнитно-резонансных изображениях // Медицинская визуализация. 2012. Т. 2. С. 71–80.

21. Diomidova V.N., Zakharova O.V., Siordiya A.A., Chameeva T.V., Vinogradova V.S. Ultrasonic elastography of shear wave with elastometry in defining normative values of young's modulus of elasticity of the ovaries in women of reproductive age. *Gynecology, Obstetrics and Perinatology*, 2018, vol. 17(2), pp. 32–35.

22. Frank M.L., Schäfer S.D., Möllers M., Falkenberg M.K., Braun J., Möllmann U. et al. Importance of Transvaginal Elastography in the Diagnosis of Uterine Fibroids and Adenomyosis. *Ultraschall Med.*, 2015, Aug 14. DOI: 10.1055/s-0035-1553266.

23. Haider M.A., Amoozadeh Y., Jhaveri K., Dow-Mu K., Thoeny H.C. DW-MRI for Disease Characterization in the Pelvis. In: Dow-Mu K, Thoeny HC, editors. Diffusion-Weighted MR Imaging. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, pp. 143–156.

24. Low R.N., Sebregts C.P., Barone R.M., Muller W. Diffusion-weighted MRI of peritoneal tumors: comparison with conventional MRI and surgical and histopathologic findings—a feasibility study. *AJR. American journal of roentgenology*, 2009, vol. 08-193(2), pp. 461–470.

25. Preis K., Zielinska K., Swiatkowska-Freund M., Wydra D., Kobierski J. The role of elastography in the differential diagnosis of endometrial pathologies—preliminary report. *Ginekol Pol.*, 2011, vol. 82(7), pp. 494–497.

26. Shiina T., Nighthingale K.R., Palmeri M.L. et al. WFUMB guidelines and terminology. *Ultrasound Med Biol.*, 2015, vol. 41, pp. 1126–1147.

27. Wood C.D., Vijayvergia M., Miller F.H., Carroll T., Fasanati C., Shea L.D. et al. Multi-modal magnetic resonance elastography for noninvasive assessment of ovarian tissue rigidity in vivo. *Acta Biomater.*, 2015, vol. 13, pp. 295–300. DOI: 10.1016/j.actbio.2014.11.022.

ДИОМИДОВА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (diomidovavn@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3627-7971>).

ЗАХАРОВА ОКСАНА ВЛАДИМИРОВНА – кандидат медицинских наук, врач акушер-гинеколог родового отделения, Университетская клиническая больница № 2 Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова, Россия, Москва (zaharova260272@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3728-963X>).

САФОНОВА МАРИНА АНАТОЛЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет; заведующая отделением рентгенодиагностики, Республиканский клинический онкологический диспансер, Россия, Чебоксары (safmaran@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8578-6449>).

ВАЛЕЕВА ОЛЬГА ВИТАЛЬЕВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней с курсом лучевой диагностики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (valeeva-usd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0349-1883>).

Valentina N. DIOMIDOVA, Oksana V. ZAKHAROVA, Marina A. SAFONOVA, Olga V. VALEEVA

ANALYSIS OF THE CORRELATIONAL RELATIONSHIP BETWEEN THE RESULTS OF ULTRASOUND ELASTOGRAPHY AND THE VALUES OF THE MEASURED DIFFUSION COEFFICIENT IN ASSESSING UTERINE AND ADNEXAL STRUCTURES IN REPRODUCTIVE AGE WOMEN

Key words: elastography, shear wave, elastometry, measured diffusion coefficient, uterus, ovaries, magnetic resonance imaging, correlation

The purpose of the study. To study the correlational relationship between the results obtained by examining the uterus and ovaries in healthy women of reproductive age using shear wave ultrasound elastography with elastometry and magnetic resonance imaging (MRI) and assessment of the measured diffusion coefficient (MDC) of diffusion-weighted images (DWI).

Materials and methods. The study group consisted of 45 healthy women of reproductive age (the average age was 32.9 ± 3.1 years). All of them underwent ultrasound examination with the technology of two-dimensional shear wave elastography with elastometry (Aixplorer, Supersonic Imagine, France) according to the method developed and implemented by us. The MRI of uterine and ovarian structures was performed using the DWI protocol (Excelart Vantage Atlas magnetic resonance tomograph, Toshiba, Japan, 1.5 T), the myometrium and the uterine mucosa in the body and cervix, ovaries were evaluated. In the automatic mode, the MDC of unaltered structures in the uterine body and cervix and their appendages was calculated in the area of interest on ADC-maps. The degree of correlational relationship between the results of ultrasound elastography with elastometry and magnetic resonance tomography with an estimate of the measured diffusion coefficient was calculated.

Results. Correlation analysis of the relationship between rigidity and the MDC of uterine and adnexal structures showed a direct inverse relationship between these values and a high degree of connection by Cheddock scale ($p = 0.000000$). At this, lesser MDC values (mm^2/s) of similar structures of the organs under study corresponded to large quantitative values of the Young's elasticity modulus (kPa) of all uterine and ovarian structures.

Conclusion. The obtained data make it possible to optimize the diagnostic algorithm and to supplement the standard protocols for ultrasound and magnetic resonance imaging studies of gynecological organs using two-dimensional shear wave elastography with elastometry and magnetic resonance tomography with an assessment of the measured diffusion coefficient of diffusion-weighted images.

References

1. Adamyan L.V., Panov V.O., Makiyan Z.N., Kulabukhova E.A., Panova M.M., Stashuk G.A., Stepanyan A.A. *Magnitno-rezonansnaya tomografiya v differentsial'noi diagnostike anomalii matki i vlagalishcha: algoritm issledovaniya i MRT semiotika* [Magnetic-Resonance Imaging in the Differential Diagnosis Anomalies of the Uterus and Vagina: Algorithm Research and MRI Semiotics]. *Meditsinskaya vizualizatsiya*, 2009, vol. 6, pp. 100–113.
2. Gelezhe P.B., Trofimenko I.A., Morozov S.P. *Osnovy interpretatsii diffuzionno-vzveshennoi tomografii vsego tela* [The Basics of Whole Body Diffusion-Weighted Imaging Interpretation]. *REJR*, 2015, vol. 5(3), pp. 65–73.

3. Diomidova V.N., Safonova M.A., Zakharova O.V., Dmitrieva A.N., Efimova O.A. *Informativnost' magnitno-rezonansnoi tomografii s primeneniem protokola diffuzionno-vzveshennykh izobrazhenii v otsenke endometriya pri polineoplaziyakh* [The Informative Value of Magnetic Resonance Imaging with the Application of the Protocol of Diffusion-Weighted Images in the Assessment of the Endometrium when Multiple Neoplasias]. *Issledovaniya i praktika v meditsine*, 2020, vol. 7(4), pp. 51–61. DOI: <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2020-7-4-5>.
4. Diomidova V.N., Zakharova O.V., Petrova O.V., Siordiya A.A. *Ul'trazvukovaya elastografiya (kompriionnaya i sdvigovoi volnoi) v akusherstve i ginekologii* [Ultrasound (Compression and Shear Wave) Elastography in Obstetrics and Gynaecology]. *Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii*, 2016, vol. 15(2), pp. 52–58.
5. Diomidova V.N., Zakharova O.V., Petrova O.V. *Elastografiya sdvigovoi volnoi v otsenke endometriya i miometriya u zdorovykh zhenshchin reproduktivnogo vozrasta* [Endometrium and Myometrium Shear Wave Elastography in Healthy Women of Reproductive Age]. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika*, 2015, vol. 5, pp. 51–56.
6. Diomidova V.N., Zakharova O.V., Siordiya A.A. *Prognosticheskoe znachenie kolichestvennogo pokazatelya modulya uprugosti Yunga endometriya pri vtornom besplodii* [Prognostic Significance of the Quantitative Measurement of Young's Modulus of the Endometrium in Secondary Infertility]. *Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii*, 2020, vol. 19(2), pp. 22–26. DOI: [10.20953/1726-1678-2020-2-22-26](https://doi.org/10.20953/1726-1678-2020-2-22-26).
7. Izranov V.A., Kazantseva N.V., Martinovich M.V., But-Gusaim V.I., Stepanyan I.A. *Fizicheskie osnovy elastografii pecheni* [Physical Foundations of Liver Elastography]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Ser. Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2019, vol. 2, pp. 69–87.
8. Il'yasov K.A. *Kolichestvennoe izmerenie diffuzii in vivo metodom magnitno-rezonansnoi tomografii* [Quantitative measurement of diffusion in vivo by magnetic resonance imaging]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Fiziko-matematicheskie nauki*, 2011, vol. 153(1), pp. 17–37.
9. Kainova E.P., Kaliparova M.P., Meteleva T.A., Olina A.A. *Primenenie magnitno-rezonansnoi tomografii v ginekologicheskoi praktike* [The use of magnetic resonance imaging in gynecological practice]. In: *Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Novshestva v meditsine i farmakologii» (Tyumen', 25 dekabrya)* [Proc. of Int. Sci. Conf. «Innovations in medicine and pharmacology» (Tyumen, December 25)]. Tyumen, 2016, pp. 7–9.
10. Karel'skaya N.A., Karmazanovskii G.G. *Diffuzionno-vzveshennaya magnitno-rezonansnaya tomografiya vsego tela* [Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the whole body]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, 2010, vol. 8, pp. 57–60.
11. Morozov S.P., Shelekhov P.V., Vladzimirskii A.V. *Sovremennyye standartizovannyye podkhody k sovershenstvovaniyu sluzhby luchevoi diagnostiki* [Modern Approaches to the Radiology Service Improvement]. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneni*, 2019, vol. 5-6, pp. 30–34. DOI: [10.26347/1607-2502201905-06030-034](https://doi.org/10.26347/1607-2502201905-06030-034).
12. Rogozhin V.A. *MRT v ginekologicheskoi praktike* [MRI in gynecological practice]. *Russian electronic journal of radiology*, 2012, vol. 2(3), pp. 27–40.
13. Rubtsova N.A., Novikova E.G., Sinityn V.E. *Vozmozhnosti MRT v predoperatsionnoi otsenke mestnoi rasprostranennosti raka sheiki matki* [MRI Opportunities in Cervical Cancer Local Staging Preoperative Evaluation]. *Akusherstvo, ginekologiya i reproduktivnaya medicina*, 2012, vol. 6(3), pp. 6–13.
14. Sergienya O.V., Yukhno E.A., Pavlovskaya E.A., Fokin V.A., Trufanov G.E. *Vozmozhnosti magnitno-rezonansnoi tomografii v vizualizatsii strukturnykh izmenenii organov malogo taza u zhenshchin reproduktivnogo vozrasta pri besplodii* [Magnetic Resonance Imaging in Visualization of Structural Changes in the Pelvic Organs in Women of Reproductive Age with Infertility]. *REJR*, 2018, vol. 8(1), pp. 119–128. DOI: [10.21569/2222-7415-2018-8-1-119-128](https://doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-1-119-128).
15. Solopova A.E., Makatsariya A.D., Sdvizhkov A.M., Ternovoi S.K. *Magnitno-rezonansnaya tomografiya v differentsial'noi diagnostike obrazovaniy yaichnikov. Vozmozhnosti kolichestvennoi multiparametricheskoi otsenki* [Magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of ovarian formations. Possibilities of quantitative multiparameter estimation]. *Akusherstvo i ginekologiya*, 2017, vol. 2, pp. 80–85.
16. Stolyarova I.V., Yakovleva E.K., Sharakova V.V. *Otsenka diagnosticheskoi effektivnosti metodiki diffuzionno-vzveshennykh MR-izobrazhenii v diagnostike patologii tela matki* [Evaluation of Diagnostic Effectiveness of the Method of Diffusion-Weighted MR-Images in Diagnosis of Pathology of the Uterine Body]. *Voprosy onkologii*, 2015, vol. 61(6), pp. 986–993.
17. Stolyarova I.V., Yakovleva E.K., Sharakova V.V. *Rezultaty effektivnosti metodiki diffuzionno-vzveshennykh izobrazhenii (DWI) v diagnostike raka endometriya* [The results of the effectiveness of the diffusion-weighted imaging (DWI) technique in the diagnosis of endometrial cancer]. *Meditsinskii afavit*, 2016, vol. 1(25), pp. 47–53.
18. Tarachkova E.V., Strel'tsova O.N., Bazaeva I.Ya., Akhverdieva G.I., Panov V.O., Kravets O.A., Tyurin I.E. *Vozmozhnosti magnitno-rezonansnoi tomografii v diagnostike raka sheiki matki* [Capabilities of magnetic resonance imaging in the diagnosis of cancer of the cervix uteri]. *Opukholi zhenskoi reproduktivnoi sistemy*, 2014, no. 3, pp. 78–85.
19. Fedorov M.A., Diomidova V.N., Migushkina L.P. *Rol' magnitno-rezonansnoi tomografii v povyshenii kachestva okazaniya meditsinskoj pomoshchi bol'nym s ishemicheskimi insultami* [The Role of

Magnetic Resonance Imaging in Improving the Quality of Medical Care in Patients with Ischemic Stroke]. *Prakticheskaya meditsina*, 2015, vol. 6(91), pp. 115–118.

20. Khoruzhik S.A., Dulinets I.S. *Sravnitel'naya normal'naya anatomiya sheiki matki na T1-, T2- i diffuzionno-vzveshennykh magnitno-rezonansnykh izobrazheniyakh* [Comparative normal anatomy of the cervix on T1, T2, and diffusion-weighted magnetic resonance images]. *Meditsinskaya vizualizatsiya*, 2012, vol. 2, pp. 71–80.

21. Diomidova V.N., Zakharova O.V., Siordiya A.A., Chameeva T.V., Vinogradova V.S. Ultrasonic elastography of shear wave with elastometry in defining normative values of young's modulus of elasticity of the ovaries in women of reproductive age. *Gynecology, Obstetrics and Perinatology*, 2018, vol. 17(2), pp. 32–35.

22. Frank M.L., Schäfer S.D., Möllers M., Falkenberg M.K., Braun J., Möllmann U. et al. Importance of Transvaginal Elastography in the Diagnosis of Uterine Fibroids and Adenomyosis. *Ultraschall Med.*, 2015, Aug. 14. DOI: 10.1055/s-0035-1553266.

23. Haider M.A., Amoozadeh Y., Jhaveri K., Dow-Mu K., Thoeny H.C. DW-MRI for Disease Characterization in the Pelvis. In: Dow-Mu K, Thoeny HC, editors. *Diffusion-Weighted MR Imaging*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, pp. 143–156.

24. Low R.N., Sebrecths C.P., Barone R.M., Muller W. Diffusion-weighted MRI of peritoneal tumors: comparison with conventional MRI and surgical and histopathologic findings—a feasibility study. *AJR. American journal of roentgenology*, 2009, vol. 08-193(2), pp. 461–470.

25. Preis K., Zielinska K., Swiatkowska-Freund M., Wydra D., Kobierski J. The role of elastography in the differential diagnosis of endometrial pathologies—preliminary report. *Ginekol Pol.*, 2011, vol. 82(7), pp. 494–497.

26. Shiina T., Nightingale K.R., Palmeri M.L. et al. WFUMB guidelines and terminology. *Ultrasound Med Biol.*, 2015, vol. 41, pp. 1126–1147.

27. Wood C.D., Vijayvergia M., Miller F.H., Carroll T., Fasanati C., Shea L.D. et al. Multi-modal magnetic resonance elastography for noninvasive assessment of ovarian tissue rigidity in vivo. *Acta Biomater.*, 2015, vol. 13, pp. 295–300. DOI: 10.1016/j.actbio.2014.11.022.

VALENTINA N. DIOMIDOVA – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of Pro-paedeutics of Internal Medicine with a Course of Radiation Diagnostics, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (diomidovavn@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3627-7971>).

OKSANA V. ZAKHAROVA – Candidate of Medical Sciences, Obstetrician-Gynaecologist at the Obstetric Department, University Clinical Hospital № 2 of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Russia, Moscow (zaharova260272@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3728-963X>).

MARINA A. SAFONOVA – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Pro-paedeutics of Internal Diseases with a Course of Radiology, Chuvash State University; Head of X-ray Diagnostics Department, Republican Clinical Oncologic Dispensary, Russia, Cheboksary (safmaran@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8578-6449>).

OLGA V. VALEEVA – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Pro-paedeutics of Internal Diseases with a Course of Radiation Diagnostics, Russia, Cheboksary (valeeva-usd@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0349-1883>).

Формат цитирования: Диомидова В.Н., Захарова О.В., Сафонова М.А., Валеева О.В. Ана-лиз корреляционной связи между результатами ультразвуковой эластографии и значениями изме-ряемого коэффициента диффузии в оценке структур матки и придатков у женщин репродуктивного возраста [Электронный ресурс] // *Acta medica Eurasica*. – 2022. – № 3. – С. 1–11. – URL: <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2022/3/1>. DOI: 10.47026/2413-4864-2022-3-1-11.