

УДК 616.1/.9: 616-092

Связь ДНК-фрагментации сперматозоидов с их морфокинетическими параметрами и факторами риска идиопатического бесплодия у мужчин

Громенко И.Д.¹, Галимова Э.Ф.¹, Литвицкий П.Ф.², Галимов Ш.Н.¹, Галимов К.Ш.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации 450000, Уфа, ул. Ленина, д. 3

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Актуальность. Мужское бесплодие затрагивает значительную часть супружеских пар. При этом стандартная спермограмма часто недостаточна для оценки реального функционального потенциала сперматозоидов. Фрагментация ДНК сперматозоидов (SDF) является важным молекулярным маркером нарушения фертильности и перспективы исхода вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ), однако её клиническое применение весьма ограничено.

Цель. Определить взаимосвязь между морфокинетическими параметрами сперматозоидов, уровнем их ДНК-фрагментации и факторами риска бесплодия у мужчин.

Материалы и методы. В ретроспективное одноцентровое исследование включены 96 мужчин, разделенных на две группы: основную составили 56 пациентов с диагнозом «идиопатическое мужское бесплодие»; группу сравнения – 40 фертильных доноров спермы. Всем участникам проведены: стандартная спермограмма; оценка фрагментации ДНК сперматозоидов (SDF) методом TUNEL с использованием проточной цитометрии и компьютерный анализ подвижности сперматозоидов (CASA). Для выявления модифицируемых факторов риска все пациенты заполнили стандартизированную анкету, включавшую вопросы о курении, анамнезе, антропометрических данных (для расчета ИМТ) и наличии метаболических нарушений (включая нарушение толерантности к глюкозе). Статистическая обработка данных проведена с использованием непараметрических методов корреляции (Спирмена) и логистической регрессии.

Результаты: В группе пациентов с идиопатическим бесплодием нарушения параметров эякулята встречались достоверно чаще, чем в группе фертильных доноров: астенозооспермия (57,3% vs 32,3%; $p < 0,01$), олигоастенозооспермия (13,5% vs 3,1%; $p = 0,03$) и тератозооспермия (39,6% vs 20,8%; $p = 0,036$). Анализ факторов риска показал, что курение и нарушение толерантности к глюкозе были статистически значимо ассоциированы с наличием бесплодия. При анализе взаимосвязей выявлены сильные отрицательные корреляции между уровнем SDF и скоростными параметрами движения сперматозоидов: прямой (VSL) и криволинейной (VCL) скоростью ($r = -0,55$ и $r = -0,51$ соответственно; $p < 0,01$). Морфология сперматозоидов по строгим критериям Крюгера также демонстрировала умеренную отрицательную связь с SDF. Параметр BCF (частота биения жгутика) имел слабую, но достоверную положительную корреляцию с уровнем фрагментации ДНК.

Заключение. Исследование подтвердило значимую связь мужского бесплодия с нарушениями подвижности и морфологии сперматозоидов, а также с модифицируемыми факторами риска – курением и метаболическими нарушениями. Полученные данные обосновывают необходимость комплексной диагностики, включающей оценку ДНК-фрагментации сперматозоидов и их кинетических параметров, а также важность коррекции образа жизни при лечении мужского бесплодия.

Ключевые слова: идиопатическое мужское бесплодие; сперматозоиды; фрагментация ДНК; мужское бесплодие; вспомогательные репродуктивные технологии; окисленные основания; сперматозоиды

Для цитирования: Громенко И.Д., Галимова Э.Ф., Литвицкий П.Ф., Галимов Ш.Н., Галимов К.Ш. Связь ДНК-фрагментации сперматозоидов с их морфокинетическими параметрами и факторами риска идиопатического бесплодия у мужчин. 2026; 24(1): 89–96

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2026.01.89-96

Для корреспонденции: Галимова Эльмира Фанисовна, e-mail: efgalimova@mail.ru

Финансирование. Исследование не имеет спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 16.12.25.

The relationship between sperm DNA fragmentation with morphokinetic parameters and men idiopathic infertility risk factors

Gromenko I.D.¹, Galimova E.F.¹, Litvitskiy P.F.², Galimov Sh.N.¹, Galimov K.Sh.¹

¹Bashkir State Medical University
Lenina Str. 3, Ufa 450000, Russian Federation

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Trubetskaya Str. 8, Bldg. 2, Moscow 119991, Russian Federation

Relevance. Male infertility affects a significant proportion of married couples. However, standard semen analysis is often insufficient for assessing the actual functional potential of spermatozoa. Sperm DNA fragmentation (SDF) is an important molecular marker of impaired fertility and the prospect of assisted reproductive technology (ART) outcomes, yet its clinical application remains very limited.

Objective. To determine the relationship between the morphokinetic parameters of spermatozoa, the level of their DNA fragmentation, and the influence of modifiable risk factors (lifestyle and metabolic) in men with idiopathic infertility.

Materials and Methods. A retrospective study included 96 men (56 infertile and 40 fertile donors). The following assessments were performed: standard semen analysis, DNA fragmentation evaluation using the TUNEL assay with flow cytometry, and computer-assisted sperm analysis (CASA) for motility. Statistical analysis used non-parametric correlation methods and logistic regression.

Results. In the group of patients with idiopathic infertility, abnormalities in ejaculate parameters were significantly more frequent than in the group of fertile donors: asthenozoospermia (57.3% vs 32.3%; $p < 0.01$), oligoasthenozoospermia (13.5% vs 3.1%; $p = 0.03$), and teratozoospermia (39.6% vs 20.8%; $p = 0.036$). Risk factor analysis showed that smoking and impaired glucose tolerance were statistically significantly associated with the presence of infertility. Analysis of relationships revealed strong negative correlations between SDF level and sperm velocity parameters: straight-line (VSL) and curvilinear (VCL) velocity ($r = -0.55$ and $r = -0.51$, respectively; $p < 0.01$). Sperm morphology assessed by strict Kruger criteria also demonstrated a moderate negative association with SDF. The BCF (beat cross frequency) parameter showed a weak but significant positive correlation with the level of DNA fragmentation.

Conclusion. The study confirmed a significant association between male infertility and impairments in sperm motility and morphology, as well as with modifiable risk factors such as smoking and metabolic disorders. The findings justify the need for comprehensive diagnosis, including assessment of sperm DNA fragmentation and their kinetic parameters, and highlight the importance of lifestyle modification in the treatment of male infertility.

Key words: idiopathic male infertility; spermatozoa; DNA fragmentation; male infertility; assisted reproductive technologies; oxidized bases; spermatozoa

For citation: Gromenko I.D., Galimova E.F., Litvitskiy P.F., Galimov Sh.N., Galimov K.Sh. [The relationship between sperm DNA fragmentation with morphokinetic parameters and men idiopathic infertility risk factors]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2026; 24(1): 89–96 (in Russian)

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2026.01.89-96

For correspondence: Galimova Elmira Fanisovna, e-mail: efgalimova@mail.ru

Funding. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: 16.12.25.

Введение

Бесплодие – распространённое заболевание, от которого страдают около 70 миллионов человек по всему миру. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 15% супружеских пар во всём мире сталкиваются с проблемами фертильности, и в 50% случаев причиной является мужской фактор [1, 2]. Для оценки мужской фертильности основным методом диагностики остается стандартный анализ эякулята (спермограмма) [3]. Несмотря на то, что такой анализ позволяет оценить количество, подвижность, концентрацию и жизнеспособность сперматозоидов, он не дает представления о функциональном потенциале эякулята и способности к оплодотворению сперматозоидов [4].

Среди расширенных методов оценки их молекулярно-генетических особенностей особое место занимает анализ ДНК-фрагментации. Фрагментация ДНК – это молекулярный маркер, отражающий целостность и дееспособность генетического материала.

Широкое внедрение метода оценки наличия и масштаба фрагментации ДНК сперматозоидов в клиническую практику сталкивается с существенными ограничениями, связанными с высокой стоимостью исследования и значительной трудоемкостью выполнения теста [5, 6]. Ценность выявления поврежденных ДНК сперматозоидов как биомаркера для диагностики мужского бесплодия и прогнозирования исходов ВРТ подтверждается его ассоциацией со снижением частоты оплодотворения, качества эмбрионов и наступления беременности, а также с повышенным риском невынашивания беременности и спонтанных аборт [7]. Указанный анализ позволяет количественно определить долю сперматозоидов, содержащих поврежденную ДНК [8].

Цель исследования. Определить взаимосвязь между морфокинетическими параметрами сперматозоидов, уровнем их ДНК-фрагментации и факторами риска бесплодия у мужчин.

Материалы и методы исследования

В ретроспективном исследовании приняли участие 96 мужчин в возрасте 25–49 лет, которые наблюдались в медицинском центре «Семья» г. Уфа с диагнозом «Идиопатическое мужское бесплодие». Пациентами было подписано информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Исследование проведено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации (World Medical Association, 2013) и правилами Национального комитета по этике. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет (протокол № 4 от 16 апреля 2025 г.).

Исследование фрагментации ДНК сперматозоидов проводилось после оценки стандартных показателей спермограммы (объём, концентрация, подвижность, общее число клеток, морфология по Крюгеру). Обследуемые сдавали эякулят после двухдневного полового воздержания.

Оценка фрагментации ДНК сперматозоидов осуществлялась методом TUNEL (The terminal deoxynucleotidyl-transferase-mediated dUTP nick end labeling assay) с применением набора Invitrogen Apo-Direct™ Kit. Для подсчёта числа клеток с поврежденной ДНК использована проточная цитометрия на аппарате «Beckman Coulter Navios Flow Cytometer».

Образцы эякулята разводились при помощи фосфатного буфера до концентрации 5 млн клеток в мл и проводилось центрифугирование 5 мл полученного материала при 300g в течение 7 мин. После удаления надосадочной жидкости к образцам добавлялся 1 мл 3,7% параформальдегида, разведённого на фосфатном буфере. При необходимости материал мог быть подвергнут длительному хранению до проведения дальнейших этапов исследования. Для удаления параформальдегида образцы повторно центрифугировали при 300g в течение 7 мин. Надосадочная жидкость

удалялась, полученный осадок разбавлялся 1 мл 70% ледяного этанола при температуре –20°C.

Для проведения основного этапа исследования применялся набор APO-DIRECT™ Kit, содержащий в своем составе терминальную дезоксиуклеотидилтрансферазу (TdT), флуоресцеиндезоксидридинтрифосфат и раствор пропидиум йодида/РНКазы для контрастного окрашивания общей ДНК. Для подсчёта процентного числа клеток с поврежденной ДНК в исследовании была использована проточная цитометрия с применением аппарата «BD Accuri C6 flow cytometer».

Компьютерный анализ подвижности сперматозоидов CASA, проводили для объективной и высокоточной количественной оценки кинематических характеристик сперматозоидов. В анализе CASA применялось программное обеспечение MMC Sperm. Оценивались следующие кинематические характеристики сперматозоидов: скорость криволинейного движения (VCL) сперматозоидов; скорость их прямолинейного движения (VSL); скорость движения по среднему пути (VAP); амплитуда бокового смещения головки (ALH); линейность криволинейного пути (LIN); степень отклонения фактической траектории относительно усредненной (WOB); частота, с которой криволинейная траектория пересекает средний путь движения сперматозоида (BCF); степень прямолинейно направленных движений сперматозоидов (STR).

Для выявления потенциально модифицируемых факторов риска, ассоциированных с нарушением фертильности и фрагментацией ДНК сперматозоидов все участники заполнили стандартизированную анонимную анкету. Анкета состояла из пяти основных блоков, охватывающих анамнез, образ жизни, соматический статус и средовые воздействия (табл. 1). На основании полученных данных участники были категоризированы по наличию ключевых факторов для последующего статистического анализа (курение, ожирение по ИМТ, нарушение углеводного обмена).

Таблица 1

Перечень основных блоков и вопросов анонимной анкеты для оценки факторов риска

№ блока	Оцениваемый фактор	Ключевые вопросы / параметры
1	Общие данные	Возраст, профессия, стаж работы в текущих условиях.
2	Андрологический анамнез	- Наличие диагноза бесплодия, его длительность - Перенесенные заболевания (паротит, ИППП, простатит); операции/травмы органов мошонки, паха.
3	Привычки (образ жизни)	- Курение: статус (да/нет), количество сигарет в день, стаж. - Алкоголь: частота употребления (реже 1 р/мес, 1–4 р/мес, ≥2 р/нед), тип напитков. - Питание/активность: характер питания (сбалансированное, фастфуд), частота физических нагрузок.
4	Соматический статус	- Рост, вес (для расчёта ИМТ). - Наличие хронических заболеваний (артериальная гипертензия, сахарный диабет, др.) - Регулярный приём лекарств.
5	Профессиональные / бытовые воздействия	- Контакт с химикатами, источниками ионизирующего излучения. - Работа в условиях повышенной температуры, вибрации. - Привычки: ношение тесного белья, использование ноутбука на коленях, частое посещение сауны/бани.

Для статистической обработки данных использовали программное обеспечение Pandas – Python DataPython Open Source. После проверки на нормальность распределения показателей по Шапиро–Уилку был использован метод ранговой корреляции Спирмена для выявления взаимосвязей величин. Сила корреляционных связей оценивалась по шкале Чеддока [9].

Результаты исследования и обсуждение

Возраст мужчин колебался от 20 до 48 лет, средний показатель возраста пациентов составил $36 \pm 0,4$ лет. Статистический анализ не выявил достоверных различий в возрасте между группой пациентов с идиопатическим бесплодием и группой фертильных доноров ($p > 0,05$). Схожие возрастные характеристики исследуемых групп позволяют исключить значимое влияние возрастного фактора на сравниваемые параметры спермограммы и уровень ДНК-фрагментации.

Вся выборка мужчин ($n = 96$) была разделена на две клинические группы на основании фертильного статуса и уровня фрагментации ДНК сперматозоидов (SDF). Основную группу составили 56 пациентов с диагнозом «идиопатическое мужское бесплодие» и повышенным уровнем SDF ($\geq 30\%$). Контрольную группу образовали 40 фертильных доноров спермы с нормальным уровнем SDF ($< 30\%$). Сравнительная характеристика групп по возрасту, уровню SDF и основным параметрам спермограммы представлена в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения основных параметров стандартного анализа эякулята ($M \pm m$)

Параметры спермограммы	Бесплодные мужчины ($n = 56$)	Фертильные доноры ($n = 40$)
Концентрация, млн клеток/мл	$28,7 \pm 15,6$	$35,4 \pm 17,4$
Общее количество, млн клеток	$97,7 \pm 68,5$	$113,4 \pm 81,1$
Прогрессивная подвижность, %	$23,6 \pm 8,0$	$29,2 \pm 6,7$
Морфология по Крюгеру, %	$3,2 \pm 1,0 *$	$3,5 \pm 0,9$

Примечание: * – $p > 0,05$ по сравнению с фертильными донорами (по критерию Стьюдента)

Согласно данным спермограммы, наиболее распространенными формами патологии оказались астенозооспермия (снижение доли прогрессивно-подвижных сперматозоидов менее 32%) и тератозооспермия (менее 4% морфологически нормальных форм по критериям Крюгера). К другим оцениваемым в исследовании патологиям отнесены олигозооспермия (концентрация сперматозоидов менее 39 млн/мл эякулята) и олигоастенозооспермия (сочетание сниженной концентрации и нарушенной подвижности).

На следующем этапе выполнили сравнительный анализ частоты нарушений спермограммы между группами бесплодных пациентов и фертильных доноров с последующей оценкой статистической значимости различий (табл. 3).

Наиболее распространенным нарушением в обеих группах оказалась астенозооспермия, однако среди бесплодных мужчин с уровнем ДНК-фрагментации вы-

Таблица 3

Частота встречаемости нарушений спермограммы в группах

Нарушение	Бесплодные мужчины ($n = 56$)	Фертильные доноры ($n = 40$)	Общее количество обследуемых ($n=96$)	p
Олигоспермия	14 (14,6%)	6 (6,3%)	20 (10,4%)	$> 0,05$
Астенозооспермия	55 (57,3%)	31 (32,3%)	86 (44,8%)	$< 0,01$
Олигоастенозооспермия	13 (13,5%)	3 (3,1%)	16 (8,3%)	0,030
Тератозооспермия	38 (39,6%)	20 (20,8%)	58 (30,2%)	0,036

Примечание: уровень статистической значимости различий (p) приведён по критерию χ -квадрат.

ше 30% она встречается значительно чаще (57,3% против 32,3 %, $p < 0,01$). Самое выраженное различие наблюдается при олигоастенозооспермии: она в 4,3 раза чаще встречалась у бесплодных пациентов (13,5 % против 3,1%, $p = 0,03$).

Показано, что к патологическим отклонениям эякулята, статистически значимо чаще встречающимся в группе мужчин с патоспермией, относятся олигоастенозооспермия и тератозооспермия ($p = 0,030$; $p = 0,036$, соответственно). При этом, концентрация сперматозоидов и общее число клеток в сперме, согласно данным исследования, не влияли значимо на распределение по группам ($p > 0,05$). В ходе оценки распределения параметра морфологии по группам, выявлена тенденция к преобладанию более низких показателей в группе мужчин с бесплодием по сравнению с фертильными донорами ($p < 0,05$).

Самыми распространенными факторами риска оказались курение, ожирение и нарушенная толерантность к глюкозе (табл. 4).

Несмотря на то, что в группе бесплодных мужчин частота встречаемости факторов риска была выше, чем у фертильных доноров, после расчета точного критерия Фишера статистически достоверная разница была установлена только нарушенной толерантности к глюкозе ($p < 0,05$). К другим факторам, имевшим потенциальное влияние на уровень фрагментации ДНК сперматозоидов, можно отнести опухоли яичек, однако низкая частота их встречаемости в выборке не позволила подтвердить это допущение ($p = 0,13$). Полученные данные указывают также на то, что

нарушения углеводного обмена являются наиболее значимым и распространенным из изученных факторов, ассоциированных с мужским бесплодием. Это подчеркивает важ-

Таблица 4

Сравнительный анализ факторов риска нарушений фертильности

Фактор риска	Все участники (n = 96)	Бесплодные мужчины (n = 56)	Фертильные доноры (n = 40)	p
Нарушенная толерантность к глюкозе	18 (18,8%)	14 (25,0 %)	4 (10,0 %)	< 0,05
Курение	42 (43,8 %)	26 (46,4%)	16 (40,0 %)	> 0,05
Хронический простатит	13 (13,5 %)	8 (14,3 %)	5 (12,5 %)	> 0,05
Бактериальные ИППП/инфекции	12 (12,5 %)	7 (12,5 %)	5 (12,5 %)	> 0,05
Опухоль яичек	1 (1,0 %)	1 (1,8 %)	0 (0 %)	0,130
Ожирение (ИМТ ≥ 30)	28 (29,2 %)	18 (32,1 %)	10 (25,0%)	> 0,05

Примечание: уровень статистической значимости различий (p) приведён по точному критерию Фишера.

ность модификации образа жизни (контроль веса и уровня глюкозы) как неотъемлемой части комплексного лечения мужского бесплодия.

Влияние такого фактора риска, как возраст было исключено, вследствие сопоставимого нормального распределения пациентов в группах. Средний возраст в подгруппе мужчин с идиопатическим бесплодием составил $36 \pm 0,4$

ных процессов, вероятно, связан с неравномерным распределением фрагментированной ДНК в эмбрионе, приводящим к хаотичному мозаицизму.

При анализе потенциально модифицируемых факторов риска, связанных с образом жизни и анамнезом, влияние факторов окружающей среды (таких как уровень промышленного или бытового загрязнения) не оценивалось. Поскольку все участники исследования являлись жителями одного региона (г. Уфа и его пригороды), можно предположить, что их средовая экспозиция была сопоставимой, что минимизирует потенциальное влияние этого фактора как систематической ошибки при сравнении групп [14].

Основной задачей данного исследования был анализ связи между морфокинетическими параметрами сперматозоидов, оцененными с помощью системы CASA, и уровнем их ДНК-фрагментации (SDF) у мужчин с идиопатическим бесплодием. Полученные данные дополняют существующие сведения о взаимосвязи функциональных характеристик сперматозоидов с целостностью их генетического материала [15–17].

На следующем этапе были изучены морфокинетические параметры эякулята и их влияние на уровень SDF в общей совокупности участников исследования. Наиболее сильная корреляционная связь выявлена для прямолинейной скорости движения, скорости криволинейного движения и скорости движения по среднему пути ($r = -0,553$, при $p < 0,01$; $r = -0,508$, при $p < 0,01$, $r = -0,476$, при $p < 0,01$ соответственно), сила корреляционной связи для которых по шкале Чеддока определялась как заметная (рис. 1).

Амплитуда бокового смещения головки сперматозоида также характеризовалась значимой статистической ассоциацией с уровнем повреждения генетического материала гамет ($r = -0,360$; $p < 0,01$). В противоположность этому, производный параметр BCF, определяемый путем расчета частоты пересечения криволинейной траектории

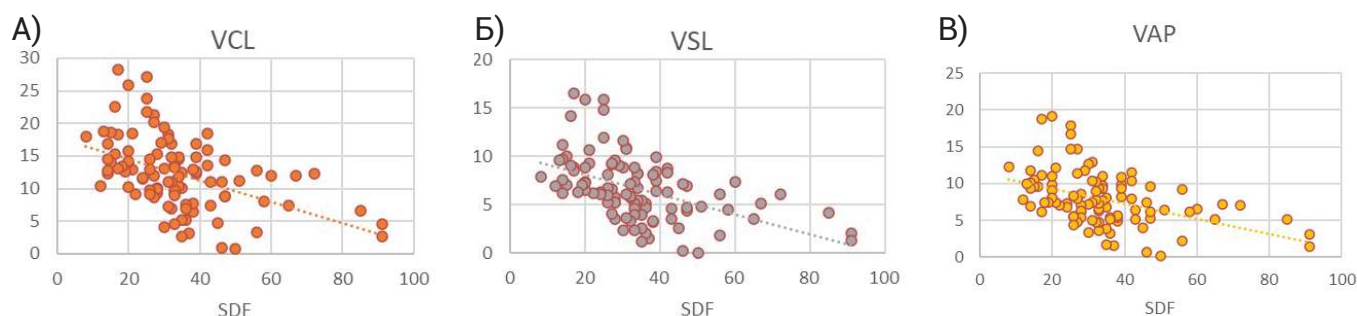


Рис. 1. Зависимость кинетических параметров CASA от ДНК фрагментации сперматозоидов (SDF) с заметной силой корреляционных связей по шкале Чеддока: А – VCL (скорость криволинейного движения), Б – VSL (прямолинейная скорость движения), В – VAP (скорость движения по среднему пути).

лет, у фертильных доноров – $35 \pm 0,2$ лет. По литературным данным, высокий уровень фрагментации ДНК сперматозоидов (SDF) ассоциирован с риском повторных выкидышей в программах BPT [10, 11]. Так, при $SDF > 30\%$ в цикле ИКСИ риск выкидыша удваивается ($p = 0,045$), а частота живорождений снижается ($p = 0,029$), без влияния на частоту наступления беременности [12, 13]. Патогенез дан-

ей среднего пути движения сперматозоида, обладал достоверной прямой зависимостью со степенью SDF ($r = 0,209$, $p = 0,027$). Эта кинетическая характеристика оказалась единственной среди оцениваемых, которая обладала положительной ассоциацией с повреждением генетического материала, хотя и со слабой силой корреляционной связи по шкале Чеддока.

Таким образом, полученные результаты выявили статистически достоверную связь между некоторыми кинетическими и морфологическими параметрами со степенью повреждения генетического материала гамет с разной степенью силы корреляционной связи.

Амплитуда бокового смещения головки сперматозоида также характеризовалась значимой ассоциацией с уровнем повреждения генетического материала гамет ($r = -0,360$; $p < 0,01$). В противоположность этому, производный параметр BCF, определяемый из расчета частоты пересечения криволинейной траекторией среднего пути движения сперматозоида, обладал достоверной прямой зависимостью со степенью SDF ($r = 0,209$, $p = 0,026$) (рис. 2).

Помимо кинетических параметров, в исследовании оценивалась морфология сперматозоидов по строгим критериям Крюгера. Была выявлена достоверная умеренная обратная корреляция между долей нормальных морфоло-

Таким образом, для прогнозирования высокого уровня фрагментации ДНК сперматозоидов ($SDF \geq 30\%$) может быть использована модель логистической регрессии, включающая в качестве предикторов три кинетических параметра, показавших наиболее сильную ассоциацию с уровнем SDF – скорость криволинейного движения VCL, скорость прямолинейного движения VSL и скорость движения по среднему пути VAP, а также показатель нормальных форм сперматозоидов по строгим критериям Крюгера.

Закключение

Результаты исследования подтвердили значимую связь мужского бесплодия с повышенным уровнем фрагментации ДНК сперматозоидов (SDF), а также с нарушениями ключевых параметров спермограммы – подвижности

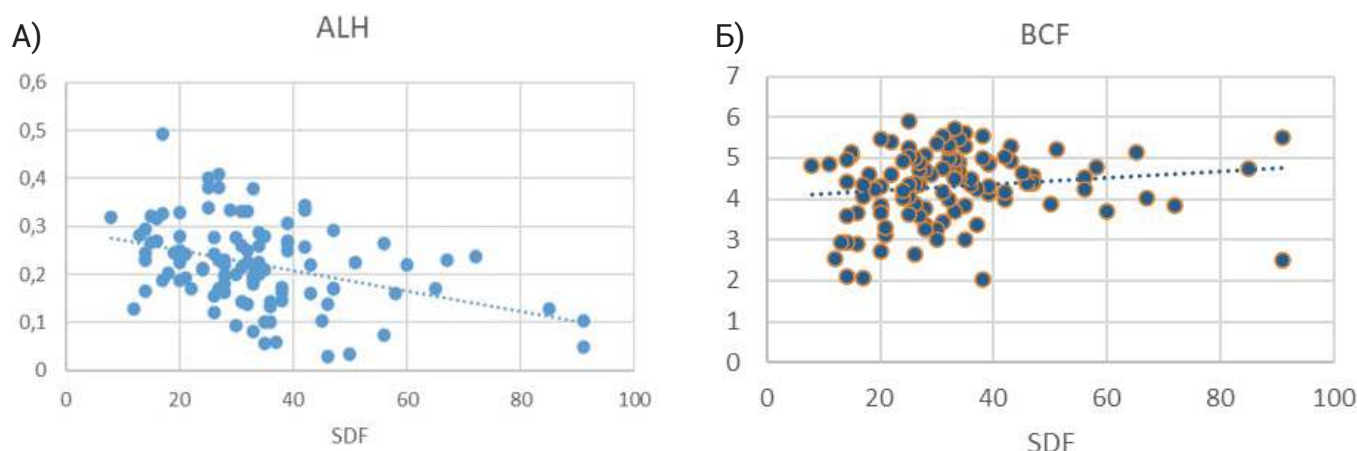


Рис. 2. Зависимость кинетических параметров CASA от ДНК фрагментации (SDF) сперматозоидов с умеренной и слабой силой ассоциативных связей заметной силой корреляционных связей по шкале Чеддока: А – ALH; Б – BCF.

гических форм и уровнем ДНК-фрагментации ($r = -0,351$, $p < 0,001$). При характеристике абсолютных значений средних величин показатели концентрации эякулята, процента прогрессивно подвижных клеток и морфологической оценки сперматозоидов по критериям Крюгера, составили для пациентов с бесплодием ($28,7 \pm 15,6$ млн клеток на мл, $23,6 \pm 8,0\%$ и $3,2 \pm 1,0\%$ соответственно), в то время как аналогичные параметры для фертильных доноров группы превосходили их ($35,4 \pm 17,48$ млн клеток на мл, $29,2 \pm 6,7\%$ и $3,5 \pm 0,9\%$ соответственно).

и морфологии. Кроме того, выявлена ассоциация идиопатического бесплодия с модифицируемыми факторами риска – метаболическими нарушениями (нарушением толерантности к глюкозе). Полученные данные обосновывают необходимость расширенной диагностики, включающей оценку ДНК-фрагментации и кинетических параметров сперматозоидов (CASA), наряду с коррекцией образа жизни (отказ от курения, контроль углеводного обмена и массы тела) в рамках комплексного лечения мужского бесплодия.

Список литературы

1. Feinberg J., Kashanian J.A. Recent advances in the study and treatment of male infertility. *F1000Res*. 2019; 8: F1000 Faculty Rev-670. DOI: 10.12688/f1000research.17076.1
2. Agarwal A., Baskaran S., Parekh N., Cho C-L., Henkel R., Vij S., Arafat M., Selvam M.K.P., Shah R. Male infertility. *Lancet*. 2021; 397(10271): 319–333. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)32667-2
3. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 6th ed. Geneva: World Health Organization, Human Reproduction Programme, 2021. 276 p.
4. Божедомов В.А., Корнеев И.А., Липатова Н.А., Божедомова Г.Е., Камарина Р.А., Николаева М.А., Галимова Э.Ф., Галимов Ш.Н., Епанчинцева Е.А., Павлов В.Н., Камалов А.А. Референтные показатели базового анализа эякулята фертильных мужчин: российские региональные особенности (многоцентровое поперечное ретроспективное исследование). *Урология*. 2023; 5: 55–62. DOI:10.18565/urology.2023.5.48-56
5. Marinaro J.A., Schlegel P.N. Sperm DNA Damage and Its Relevance in Fertility Treatment: A Review of Recent Literature and Current

- Practice Guidelines. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24(2): 1446. DOI: 10.3390/ijms24021446
6. Громенко И.Д., Галимова Э.Ф., Салимгареева М.Х., Громенко Р.И., Галимов Ш.Н., Громенко Д.Д., Галимов К.Ш., Литвицкий П.Ф. Ассоциация фрагментации ДНК с кинетическими параметрами сперматозоидов у мужчин с идиопатическим бесплодием. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2023; 67(4): 22–28. DOI:10.25557/0031-2991.2023.04.22-28
 7. Lewis S.E., Aitken R.J., Conner S.J., Julius G.D., Evenson D.P., Henkel R., Giverkman A., Garagozlou P. Impact of sperm DNA damage on in vitro fertilization and beyond: recent advances in diagnosis and treatment. *Reprod. Biomed. Online.* 2013; 27(4): 325–337. DOI: 10.1016/j.rbmo.2013.06.014
 8. Cho C.L., Agarwal A., Majzoub A., Esteves S.C. Clinical utility of sperm DNA fragmentation testing: concise practice recommendations. *Transl. Androl. Urol.* 2017; 6(Suppl 4): S366–S373. DOI: 10.21037/tau.2017.07.13
 9. Бравина А.П., Борисов И.Б. Современные правила применения корреляционного анализа. *Медицинский альманах.* 2021; 3(68): 70–79.
 10. Repalle D., Saritha K.V., Bhandari S. Sperm DNA fragmentation negatively influences the cumulative live birth rate in the intracytoplasmic sperm injection cycles of couples with unexplained infertility. *Clin. Exp. Reprod. Med.* 2022; 49(3): 185–195. DOI: 10.5653/cerm.2021.04972
 11. Hervás I., Pacheco A., Gil Juliá M., Rivera-Egea R., Navarro-Gomezlechón A., Garrido N. Sperm deoxyribonucleic acid fragmentation (by terminal deoxynucleotidyl transferase biotin dUTP nick end labeling assay) does not impair reproductive success measured as cumulative live birth rates per donor metaphase II oocyte used. *Fertil. Steril.* 2022; 118: 79–89. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2022.04.015
 12. Panner Selvam M.K., Baskaran S., O'Connell S., Almajed W., Hellstrom W.J.G., Sikka S.C. Association between Seminal Oxidation-Reduction Potential and Sperm DNA Fragmentation-A Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel).* 2022; 11(8): 1563. DOI: 10.3390/antiox11081563
 13. Esteves S.C., Zini A., Coward R.M., Evenson D.P., Gosálvez J., Lewis S.E.M., Sharma R., Humaidan P. Sperm DNA fragmentation testing: Summary evidence and clinical practice recommendations. *Andrologia.* 2021; 53(2): e13874. DOI: 10.1111/and.13874
 14. Szabó A., Váncsa S., Hegyi P., Váradi A., Forintos A., Filipov T., Ács J., Ács N., Szarvas T., Nyirády P., Kopa Z. Lifestyle-, environmental-, and additional health factors associated with an increased sperm DNA fragmentation: a systematic review and meta-analysis. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2023; 21(1): 5. DOI: 10.1186/s12958-023-01061-1
 15. Zhang F., Li J., Liang Z., Wu J., Li L., Chen C., Jin F., Tian Y. Sperm DNA fragmentation and male fertility: a retrospective study of 5114 men attending a reproductive center. *J. Assist. Reprod. Genet.* 2021; 38(5): 1133–1141. DOI: 10.1007/s10815-021-02123-2
 16. Vinnakota C., Cree L., Peek J., Morbeck D.E. Incidence of high sperm DNA fragmentation in a targeted population of subfertile men. *Syst. Biol. Reprod. Med.* 2019; 65(6): 451–457. DOI: 10.1080/19396368.2019.1621235
 17. Chua S.C., Yovich S.J., Hinchliffe P.M., Yovich J.L. How Well Do Semen Analysis Parameters Correlate with Sperm DNA Fragmentation? A Retrospective Study from 2567 Semen Samples Analyzed by the Halosperm Test. *J. Pers. Med.* 2023; 13(3): 518. DOI: 10.3390/jpm13030518

References

1. Feinberg J., Kashanian J.A. Recent advances in the study and treatment of male infertility. *F1000Res.* 2019; 8: F1000 Faculty Rev-670. DOI: 10.12688/f1000research.17076.1
2. Agarwal A., Baskaran S., Parekh N., Cho C-L., Henkel R., Vij S., Arafa M., Selvam M.K.P., Shah R. Male infertility. *Lancet.* 2021; 397(10271): 319–333. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)32667-2
3. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 6th ed. Geneva: World Health Organization, Human Reproduction Programme, 2021. 276 p.
4. Bozhedomov V.A., Korneev I.A., Lipatova N.A., Bozhedomova G.E., Kamarina R.A., Nikolaeva M.A., Galimova E.F., Galimov Sh.N., Epanchintseva E.A., Pavlov V.N., Kamalov A.A. [Reference indicators of basic ejaculate analysis in fertile men: Russian regional characteristics]. *Urologiia [Urology].* 2023; (5): 55–62. DOI:10.18565/urology.2023.5.48-56 (in Russian)
5. Marinaro J.A., Schlegel P.N. Sperm DNA Damage and Its Relevance in Fertility Treatment: A Review of Recent Literature and Current Practice Guidelines. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24(2): 1446. DOI: 10.3390/ijms24021446
6. Gromenko I.D., Galimova E.F., Salimgareeva M.Kh., Gromenko R.I., Galimov Sh.N., Gromenko D.D., Galimov K.Sh., Litvitskii P.F. [Association of DNA fragmentation with kinetic parameters of spermatozoa in men with idiopathic infertility]. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya [Pathological Physiology and Experimental Therapy].* 2023; 67(4): 22–28. DOI:10.25557/0031-2991.2023.04.22-28 (in Russian)
7. Lewis S.E., Aitken R.J., Conner S.J., Julius G.D., Evenson D.P., Henkel R., Giverkman A., Garagozlou P. Impact of sperm DNA damage on in vitro fertilization and beyond: recent advances in diagnosis and treatment. *Reprod. Biomed. Online.* 2013; 27(4): 325–337. DOI: 10.1016/j.rbmo.2013.06.014
8. Cho C.L., Agarwal A., Majzoub A., Esteves S.C. Clinical utility of sperm DNA fragmentation testing: concise practice recommendations. *Transl. Androl. Urol.* 2017; 6(Suppl 4): S366–S373. DOI: 10.21037/tau.2017.07.13
9. Bravina A.P., Borisov I.B. [Modern rules for applying correlation analysis]. *Meditsinskiy al'manakh [Medical almanac].* 2021; 3(68): 70–79. (in Russian)
10. Repalle D., Saritha K.V., Bhandari S. Sperm DNA fragmentation negatively influences the cumulative live birth rate in the intracytoplasmic sperm injection cycles of couples with unexplained infertility. *Clin. Exp. Reprod. Med.* 2022; 49(3): 185–195. DOI: 10.5653/cerm.2021.04972
11. Hervás I., Pacheco A., Gil Juliá M., Rivera-Egea R., Navarro-Gomezlechón A., Garrido N. Sperm deoxyribonucleic acid fragmentation (by terminal deoxynucleotidyl transferase biotin dUTP nick end labeling assay) does not impair reproductive success measured as cumulative live birth rates per donor metaphase II oocyte used. *Fertil. Steril.* 2022; 118: 79–89. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2022.04.015
12. Panner Selvam M.K., Baskaran S., O'Connell S., Almajed W., Hellstrom W.J.G., Sikka S.C. Association between Seminal Oxidation-Reduction Potential and Sperm DNA Fragmentation-A Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel).* 2022; 11(8): 1563. DOI: 10.3390/antiox11081563
13. Esteves S.C., Zini A., Coward R.M., Evenson D.P., Gosálvez J., Lewis S.E.M., Sharma R., Humaidan P. Sperm DNA fragmentation testing: Summary evidence and clinical practice recommendations. *Andrologia.* 2021; 53(2): e13874. DOI: 10.1111/and.13874
14. Szabó A., Váncsa S., Hegyi P., Váradi A., Forintos A., Filipov T., Ács J., Ács N., Szarvas T., Nyirády P., Kopa Z. Lifestyle-, environmental-, and additional health factors associated with an increased sperm DNA fragmentation: a systematic review and meta-analysis. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2023; 21(1): 5. DOI: 10.1186/s12958-023-01061-1
15. Zhang F., Li J., Liang Z., Wu J., Li L., Chen C., Jin F., Tian Y. Sperm DNA fragmentation and male fertility: a retrospective study of 5114 men

-
- attending a reproductive center. *J. Assist. Reprod. Genet.* 2021; 38(5): 1133–1141. DOI: 10.1007/s10815-021-02123-2
16. Vinnakota C., Cree L., Peek J., Morbeck D.E. Incidence of high sperm DNA fragmentation in a targeted population of subfertile men. *Syst. Biol. Reprod. Med.* 2019; 65(6): 451–457. DOI: 10.1080/19396368.2019.1621235
17. Chua S.C., Yovich S.J., Hinchliffe P.M., Yovich J.L. How Well Do Semen Analysis Parameters Correlate with Sperm DNA Fragmentation? A Retrospective Study from 2567 Semen Samples Analyzed by the Halosperm Test. *J. Pers. Med.* 2023; 13(3): 518. DOI: 10.3390/jpm130305188

Сведения об авторах:

Громенко Иван Дмитриевич — ассистент кафедры урологии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0001-8582-660X>

Галимова Эльмира Фанисовна — доктор медицинских наук, доцент; профессор кафедры патологической физиологии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-3351-7669>

Литвицкий Петр Францевич – Литвицкий Петр Францевич — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, профессор кафедры патологической физиологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); <https://orcid.org/0000-0003-0151-9114>

Галимов Шамиль Нариманович — доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой биологической химии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-5871-5151>

Галимов Камиль Шамилович — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры патологической физиологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); <https://orcid.org/0000-0002-0148-4380>