

## ЭКСПРЕССИЯ VEGF-A В ЖИРОВЫХ ТРАНСПЛАНТАТАХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

**Кастыро И.В.<sup>1</sup>,  
Хлысталов М.В.<sup>1</sup>,  
Костяева М.Г.<sup>1</sup>,  
Ибадуллаева С.С.<sup>1,2</sup>,  
Королев А.Г.<sup>1,3</sup>,  
Ганьшин И.Б.<sup>1</sup>,  
Еремина И.З.<sup>1</sup>,  
Попадюк В.И.<sup>1</sup>,  
Малаховский В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумубы» (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Россия)

<sup>2</sup> Эстетический центр "Referans" (AZ1069, г. Баку, Наримановский район, ул. М. Араза 105А, Азербайджан)

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Россия)

Автор, ответственный за переписку:  
**Кастыро Игорь Владимирович**,  
e-mail: ikastyro@gmail.com

### РЕЗЮМЕ

Изучение васкуляризации жировых имплантатов сосредоточено на оценке конкретных внешних и/или внутренних факторов, влияющих на ее стимуляцию.

**Цель исследования.** Изучить плотность сосудистого русла и экспрессию VEGF-A в различных жировых графтах при проведении липофилинга у крыс на средних и отдаленных постоперационных сроках.

**Материалы и методы.** Исследование было проведено на 65 половозрелых крысах-самцах линии Wistar. При помощи иммуногистохимической окраски оценивали экспрессию VEGF-A реципиентных тканей и жировых графтов на 30, 90 и 180 дни после проведения моделирования липофилинга у крыс: трансплантация в области холки на площади 1 см<sup>2</sup> солидного жирового графта (3x4x2 мм), измельченных жировых графтов (1x2x2 мм) и гомогенизированного жира (0,05 мл).

**Результаты.** Трансплантация солидного графта размером более чем 3x3x3 мм приводит к некрозу графтов вследствие ишемии и гипоксии, через 1 месяц после его трансплантации сохраняется лейкоцитарная инфильтрация. Максимальная экспрессия VEGF-A и большая плотность микрососудов наблюдались у групп животных с солидным графтом и измельченными жировыми графтами по сравнению с гомогенизированным жиром в шприце Луер-лок (Luer-Lock). Васкуляризация гомогенизированного жира имеет меньшую интенсивность по сравнению с жировыми графтами.

**Заключение.** Экспрессия VEGF-A в центре солидного жирового графта достигает своего максимума на 30-й постоперационный день. Снижение экспрессии белка VEGF-A в солидном графте через 6 месяцев после ауто трансплантации свидетельствует о нормализации гемоперфузии его центральных отделов. На третьем месяце после липофилинга происходит активный процесс неоангиогенеза на периферии мелких жировых графтов. Васкуляризация гомогенизированного жира происходит с меньшей интенсивностью и не отличается от физиологической васкуляризации нормальной жировой ткани.

**Ключевые слова:** липофилинг, VEGF-A, ауто трансплантация жира, ангиогенез

Статья поступила: 25.09.2025  
Статья принята: 15.01.2026  
Статья опубликована: 25.03.2026

**Для цитирования:** Кастыро И.В., Хлысталов М.В., Костяева М.Г., Ибадуллаева С.С., Королев А.Г., Ганьшин И.Б., Еремина И., Попадюк В.И., Малаховский В.В. Экспрессия VEGF-A в жировых трансплантатах (экспериментальное исследование). *Acta biomedica scientifica*. 2026; 11(1): 238-247. doi: 10.29413/ABS.2026-11.1.23

## VEGF-A EXPRESSION IN FAT GRAFTS (EXPERIMENTAL STUDY)

**Kastyro I.V.<sup>1</sup>,  
Khlystalov M.V.<sup>1</sup>,  
Kostyaeva M.G.<sup>1</sup>,  
Ibadullayeva S.S.<sup>1,2</sup>,  
Korolev A.G.<sup>1,3</sup>,  
Ganshin I.B.<sup>1</sup>,  
Eremina I.Z.<sup>1</sup>,  
Popadyuk V.I.<sup>1</sup>,  
Malakhovsky V.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> RUDN University  
(Miklukho-Maklaya st., 6, Moscow 117198,  
Russian Federation)

<sup>2</sup> Referans Aesthetic Center (M. Araz st.,  
105A, Narimanovsky district, Baki AZ1069,  
Azerbaijan Republic)

<sup>3</sup> M.V. Lomonosov Moscow State  
University (Leninskie Gory, 1, building 12,  
Moscow 119234, Russian Federation)

Corresponding author:

**Igor V. Kastyro,**  
e-mail: ikastyro@gmail.com

## RESUME

*The study of vascularization of fat implants is focused on the assessment of specific external and/or internal factors affecting its stimulation.*

**The aim.** *To study the vascular bed density and VEGF-A expression in various fat grafts during lipofilling in rats at mid and late postoperative periods.*

**Materials and methods.** *The study was conducted on 65 sexually mature male Wistar rats. VEGF-A expression in recipient tissues and fat grafts was assessed on days 30, 90 and 180 after lipofilling modeling in biological objects: transplantation in the withers area on an area of 1 cm<sup>2</sup> of solid fat graft (3x4x2 mm), crushed fat grafts (1x2x2 mm) and homogenized fat (0.05 ml).*

**Results.** *Transplantation of a solid graft larger than 3x3x3 mm results in necrotic changes due to ischemia and hypoxia; leukocyte infiltration and inflammatory phenomena persist 1 month after transplantation. Maximum VEGF-A expression and higher microvessel density were observed in groups of animals with a solid graft and crushed fat grafts compared to homogenized fat in a Luer-Lock syringe. Vascularization of homogenized fat is less intense compared to fat grafts.*

**Conclusion.** *VEGF-A expression in the center of a solid fat graft reaches its maximum on the 30th postoperative day. A decrease in VEGF-A protein expression in a solid graft 6 months after autotransplantation indicates normalization of hemoperfusion of its central sections. In the third month after lipofilling, an active process of neoangiogenesis occurs on the periphery of small fat grafts. Vascularization of homogenized fat occurs with less intensity and does not differ from the physiological vascularization of normal adipose tissue.*

**Key words:** *fat grafting, VEGF-A, autologous fat transplantation, angiogenesis*

Received: 25.09.2025  
Accepted: 15.01.2026  
Published: 25.03.2026

**For citation:** Kastyro I.V., Khlystalov M.V., Kostyaeva M.G., Ibadullaeva S.S., Korolev A.G., Ganshin I.B., Eremina I.Z., Popadyuk V.I., Malakhovsky V.V. VEGF-A expression in fat grafts (experimental study). *Acta biomedica scientifica*. 2026; 11(1): 238-247. doi: 10.29413/ABS.2026-11.1.23

## ВВЕДЕНИЕ

Ангиогенез — жизненно важный процесс, являющийся основным процессом формирования тканей во время эмбриогенеза, играющим важнейшую роль в постнатальном росте и регенерации тканей, в заживлении ран. Ангиогенез необходим для сохранения трансплантированной жировой ткани [1]. Васкуляризация жирового графта кровью играет важную роль в приживлении в реципиентной зоне [1-4]. Показано, что мезенхимальные стволовые клетки стимулируют неоангиогенез и способствуют повышению выживаемости трансплантированного жира [5], включая стволовые клетки жировой ткани человека [6]. VEGF регулирует васкулогенез и ангиогенез в норме и патологии [7-10].

В настоящее время крайне мало исследований, направленных на изучение морфо-функционального состояния микроциркуляторного русла в различных видах жировых графтов при липофилинге. Большинство работ сосредоточено на стимуляции стволовых клеток жировой ткани, модулировании путей ангиогенеза и т.п. [11-13] без общего понимания особенностей ангиогенеза при трансплантации жировых графтов различного размера [13, 14].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить плотность сосудистого русла и экспрессию VEGF-A в жировых графтах при проведении липофилинга у крыс на средних и отдаленных постоперационных сроках.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

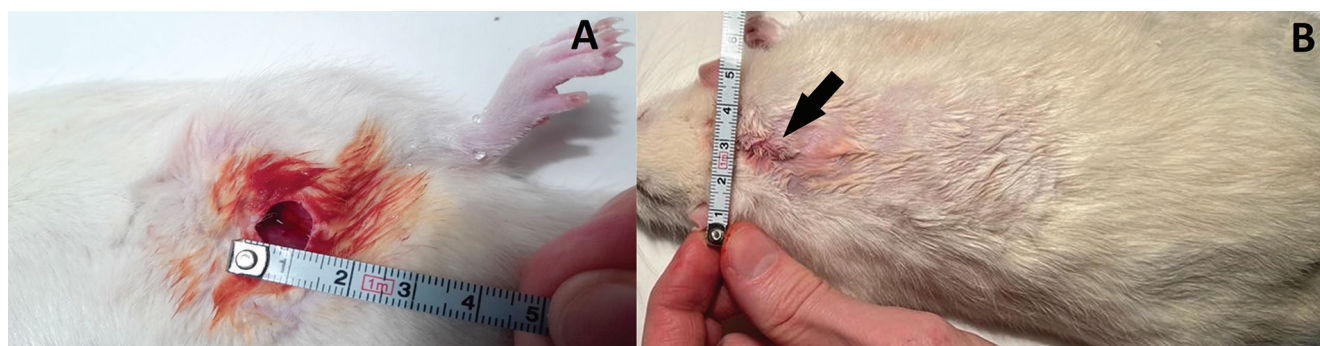
**Дизайн исследования.** Исследование было проведено на 65 половозрелых крысах-самцах линии Wistar. Контроль-негативную группу интактных животных составили 5 крыс, которым не проводилось никаких

манипуляций (1 группа). Вторую группу составили 15 животных, которые входили в контроль-позитивную группу. Крысам данной группы вводили 0,9 % раствор хлорида натрия (0,05 мл) иглой 25G (D = 0,5 мм) в участок кожи на холке площадью 1 см<sup>2</sup> внутрикожно. В третьей группе 15 крысам вводился аутотрансплантат цельной жировой ткани в области холки через разрез длиной 5 мм (3x4x2 мм, 1,2 ± 0,5 мг). В четвертой группе 15 крысам проводилась трансплантация предварительно измельченной собственной жировой ткани. Также, как и в 3-й группе, трансплантировали в область холки предварительно измельченную скальпелем жировую ткань (1x2x2 мм, 1,33 ± 0,47 мг). В пятой группе 15 крысам проводили инъекции иглой 20G (D = 1 мм) собственной жировой ткани, обработанной предварительно посредством насадки-измельчителя (Luer-Lock, производ. «Microbeats», Китай), объемом 0,05 мл посредством 6-ти инъекций на площади 1 см<sup>2</sup>.

**Забор жировой ткани и введение препаратов и графтов.** Извлеченная из паховой области (рис. 1а) жировая ткань промывалась охлажденным 0,9 % раствором хлорида натрия, после чего выкладывалась на предметное стекло и разрезалась на несколько частей. Жир размельчали на необходимые по объему куски или гомогенизировали в шприце Luer-Lock при помощи насадки-измельчителя со съёмным стальным фильтром с диаметром отверстий от 2,4 мм до 0,2 мм. В группе 3 жир незамедлительно трансплантировался в область холки, а в группах 4 и 5 жировая ткань незамедлительно отправлялась на обработку и сразу же трансплантировалась в область холки по методикам, указанным выше (рис. 1б). В группах 2 и 5 препараты вводились внутрикожно иглой под углом 40° к поверхности кожи.

**Анестезиологическое обеспечение.** Всем крысам 2–5 групп манипуляции проводились под общей анестезией при помощи 6 % раствора изофлурана (Piramal Enterprises Limited, Индия) в эсикаторе.

**Гистологическая техника и окраска препаратов.** Выведение животных опытных групп осуществляли



**РИС. 1.** А – локализация места забора аутотрансплантата жировой ткани у крыс. В – определение координат для трансплантации жировой ткани у крыс в 3-й и 4-й группах. Стрелкой указано место разреза.

**FIG. 1.** А – localization of the site of collection of autotransplant of adipose tissue in rats. В – determination of coordinates for transplantation of adipose tissue in rats in the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> groups. The incision site is indicated by the arrow.

эвтаназией золетилом 100 (Virbac, Франция) через 30, 60 и 90 суток У животных контроль-негативной группы (1 группа) забирали кожу в области верхней поверхности шеи размером 1x1 см. У животных контроль-позитивной группы (2 группа), экспериментальных групп (3–5 группы) кожный лоскут размером 1x1 см забирался в зоне введения препаратов жировой ткани и пересадки аутотрансплантата. Образцы фиксировали в 4 % растворе параформальдегида, заливали парафином, делали срезы толщиной 3–5 мкм. Срезы депарафинировали в ксилоле и регидратировали. Для иммуногистохимического окрашивания антителами к VEGF-A срезы обрабатывали раствором трипсина [трипсин (Difco, Детройт, Мичиган, США) 100 мг, хлорид кальция 100 мг, 0,05 М Трис (рН 7,6)] при комнатной температуре в течение 15 мин. После промывки фосфатно-солевым буфером (ФСБ) срезы инкубировали с кроличьими IgG-антителами против VEGF (V-3; IBL, Fujioka, Япония), разведенными в 20 раз в 1 % бычьим сывороточном альбумине (BSA; Wako, Токио, Япония). Далее промывали ФСБ и инкубировали в Histofine Simple Stain Rat MAX PO (Multi) (Nichirei, Токио, Япония) в течение 30 мин. После промывки срезы инкубировали с раствором 3-3'-диаминобензидина тетрагидрохлорида (DAB; Sigma, Сент-Луис, Миссури, США) (DAB 30 мг, 3 % перекись водорода 0,1 мл в 100 мл 0,05 М трис-HCl, рН 7.6) и докрашивали гематоксилином Майера.

**Анализ гистологических срезов.** Полученные микропрепараты сканировали на микроскопе KFBIO 400 (Konfoong Biotech International Co., Ltd., КНР). Сканы анализировались при помощи программы Aperio ImageScope v12.2.2.5015 (Leica Microsystems, США). Окрашивание эндотелиоцитов в коричневый цвет принимали за VEGF-позитивное окрашивание. Оценивали количество сосудов с VEGF-позитивными эндотелиоцитами микроциркуляторного русла в единице площади ( $n/500000 \mu\text{m}^2$ ), а также долю VEGF-неактивных гемокпилляров из общего их количества в жировой ткани в области ее трансплантации. За активные гемокпилляры принимали гемоперфузирующие сосуды, за неактивные (спавшиеся) гемокпилляры принимали сосуды без просвета.

**Статистическая обработка данных.** Данные обрабатывались при помощи программного обеспечения Microsoft Excel, MATLAB, STATISTICA 12.6, JASP 0.14.0.0. Полученные выборки данных проверяли на нормальность распределения при помощи критерия Шапиро – Уилка. При сопоставлении данных группы на различных сроках после введения препаратов применялся критерий Вилкоксона. При сравнении данных экспериментальных групп между собой и с данными контрольных групп в случае ненормального распределения применяли критерий Краскела – Уоллиса для проверки равенства медиан нескольких выборок или критерий Манна – Уитни для сравнения двух независимых выборок. Для каждого сравнения в результате статистического анализа определялся свой уровень значимости.

**Этическая экспертиза.** Эксперименты выполнены в соответствии с требованиями Директивы 2010/63/EU.

Исследование одобрено локальным Комитетом по Этике медицинского института РУДН, протокол № 02-24 от 20.02.2023 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Экспрессия VEGF-а в жировых трансплантатах у крыс.** В обеих контрольных группах в гиподерме не было выявлено наличие жировой ткани. Согласно критерию Манна – Уитни, количество VEGF-позитивных клеток на 30-й день после операции было достоверно выше в жировом солидном графте 3-й группы по сравнению с подкожно-жировой клетчаткой (ПЖК) 3-й группы, жировыми графтами 4-й группы и жировой прослойкой гиподермы 5-й группы. В жировых графтах 4-й группы количество клеток, экспрессировавших эндотелиальный фактор роста, было достоверно выше, чем в жировой ткани гиподермы 3-й и 5-й групп ( $p < 0,004$ ,  $p < 0,019$  соответственно). На 90-й день в солидном графте 3-й группы численность указанных клеток была значимо выше, чем в гиподерме 3-й группы, мелких графтах 4-й группы и гиподерме 5-й группы ( $p < 0,002$ ,  $p < 0,031$  и  $p < 0,001$  соответственно). На данном этапе уровень экспрессии VEGF-A в измельченных графтах 4-й группы был таким же, как и через месяц после операции по отношению к жиру гиподермы 3-й и 5-й групп ( $p < 0,006$  и  $p < 0,0008$  соответственно). Через 180 дней уровень VEGF-позитивных клеток был значительно выше в солидном графте, по сравнению с жиром в гиподерме той же 3-й группы, графтами 4-й группы и 5-й группой ( $p < 0,0001$ ,  $p < 0,007$  и  $p < 0,00001$  соответственно). По-прежнему уровень VEGF-позитивных клеток был значимо выше в 4-й группе по сравнению с ПЖК 3-й и 5-й группы ( $p < 0,004$  и  $p < 0,00002$  соответственно) (рис. 2, табл. 1).

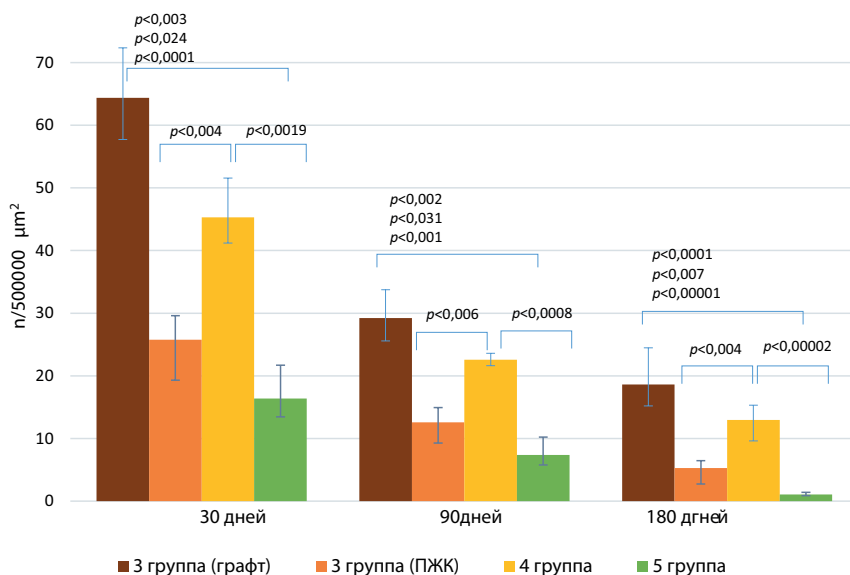
Критерий Вилкоксона показал, что в солидном графте 3-й группы на 90-й день после хирургического вмешательства произошло уменьшение количества VEGF-позитивных эндотелиоцитов по сравнению с 30-м днем ( $p < 0,0038$ ). На 180-й день в указанном месте реципиентной области также произошло снижение их количества по сравнению с предыдущим сроком ( $p < 0,019$ ). В образовавшемся жире в гиподерме у крыс 3-й группы на 90-й день по сравнению с 30-м днем количество клеток, экспрессировавших VEGF-A, было значимо меньше ( $p < 0,006$ ). Та же динамика наблюдалась и на 180-й день по сравнению с 90-м днем после операции ( $p < 0,01$ ). В 4-й и 5-й группах на 90-й день количество VEGF-позитивных клеток снизилось ( $p < 0,0003$  и  $p < 0,002$  соответственно). Еще через 3 месяца в этих же группах так же произошло снижение экспрессии белка VEGF-A ( $p < 0,01$  и  $p < 0,0005$  соответственно) (рис. 2, табл. 1).

**Доля новообразованных гемокпилляров в общем количестве гемокпилляров.** Критерий Манна – Уитни показал, что на 30-й день относительное количество неперфузирующих (спавшихся, неактивных) гемокпилляров относительно общего

их количества было достоверное выше в солидном жировом графте в 3-й группе, по сравнению с ПЖК этой же группы, центром и периферией мелких жировых графтов 4-й группы и ПЖК 5-й группы ( $p < 0,0038$ ,  $p < 0,041$ ,  $p < 0,0002$ ,  $p < 0,00001$  соответственно). Количество неактивных гемокапилляров с экспрессией VEGF-A в ПЖК 3-й группы было достоверно ниже, чем в центре измельченных жировых графтов 4-й группы ( $p < 0,0072$ ) и выше, чем на их периферии и в гиподерме 5-й группы ( $p < 0,05$  и  $p < 0,037$  соответственно). В центре жировых графтов 4-й группы на 30-й день после операции их доля среди всех гемокапилляров была

достоверно выше, чем на периферии жировых ауто-трансплантатов той же группы и в жире гиподермы 5-й группы ( $p < 0,0063$  и  $p < 0,0012$  соответственно). В 5-й группе их число было достоверно ниже, чем на периферии графтов 4-й группы ( $p < 0,044$ ) (рис. 3, табл. 2).

Через 3 месяца после проведения моделирования липофилинга, согласно критерию Манна – Уитни, доля неперфузирующих гемокапилляров была достоверно выше в солидном жировом графте по сравнению с жиром гиподермы 3-й группы, центром и периферией жировых графтов 4-й группы и ПЖК 5-й группы ( $p < 0,0054$ ,  $p < 0,042$ ,  $p < 0,037$ ,  $p < 0,0002$  соответственно). В ПЖК



**Примечание:** указаны уровни значимости для межгруппового сравнения.

**Note.** Significance levels are indicated for intergroup comparisons.

**РИС. 2.**  
Количество VEGF-позитивных клеток в жировой ткани после различных видов липофилинга

**FIG. 2.**  
Number of VEGF-positive cells in adipose tissue after different types of lipofilling

**ТАБЛИЦА 1**  
**СРАВНЕНИЕ VEGF-ПОЗИТИВНЫХ КЛЕТОК В ЖИРОВОЙ ТКАНИ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПЛАНТАЦИИ ЖИРА**

**TABLE 1**  
**COMPARISON OF VEGF-POSITIVE CELLS IN ADIPOSE TISSUE AFTER DIFFERENT TYPES OF FAT TRANSPLANTATION**

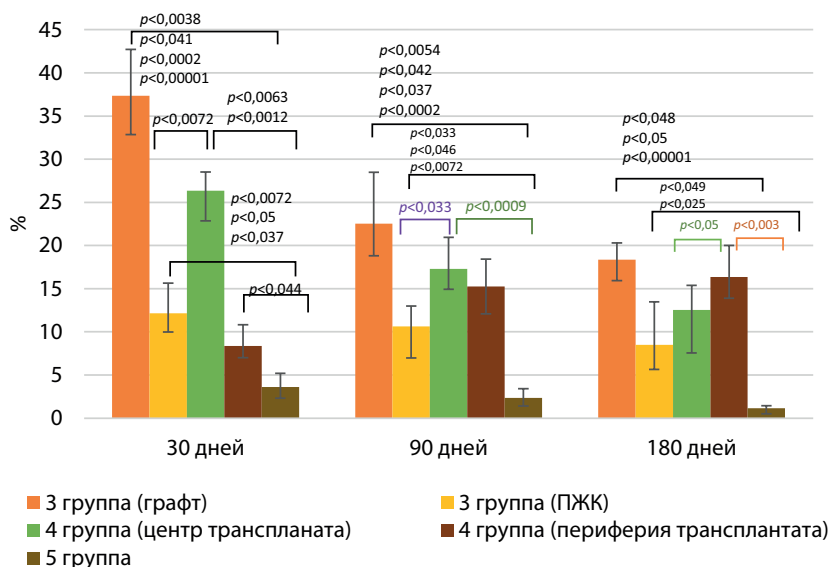
	n/500000 μm <sup>2</sup>	3 группа (графт)	3 группа (ПЖК)	4 группа	5 группа
30 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	6,67	3,84	6,27	5,32
	Медиана (Ме)	64,38	25,78	45,29	16,37
	Δ (75% перцентиль-Ме)	7,98	6,48	4,08	2,91
90 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	3,67	2,35	1,03	2,84
	Медиана (Ме)	29,24	12,59	22,58	7,39
	Δ (75% перцентиль-Ме)	4,52	3,33	0,95	1,62
		$p < 0,0038^*$	$p < 0,006^*$	$p < 0,0003^*$	$p < 0,002^*$
180 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	3,44	1,18	2,38	0,33
	Медиана (Ме)	18,64	5,27	12,95	1,08
	Δ (75% перцентиль-Ме)	5,85	2,53	3,33	0,2
		$p < 0,019^*$	$p < 0,007^*$	$p < 0,01^*$	$p < 0,0005^*$

**Примечание:** \* — указаны уровни значимости для внутригруппового сравнения по отношению к предыдущему сроку.

3-й группы после аутотрансплантации солидного жирового графта доля неактивных гемокapилляров была достоверно выше, чем в 5-й группе ( $p < 0,0072$ ) и ниже, чем в центральной и периферической частях графтов 4-й группы ( $p < 0,033$  и  $p < 0,046$  соответственно). В 5-й группе их доля была значимо ниже, чем в центре измельченных жировых графтов 4-й группы ( $p < 0,0009$ ) (рис. 3, табл. 2).

Согласно критерию Манна – Уитни, через 180 дней после операции в ПЖК 3-й группы, в центре графтов 4-й

группы и в гиподермальном жире 5-й группы процент «спящих» гемокapилляров с экспрессией VEGF-A был достоверно ниже, чем в солидном графте 3-й группы ( $p < 0,048$ ,  $p < 0,05$ ,  $p < 0,00001$  соответственно). В гиподерме 3-й группы доля гемокapилляров была достоверно выше, чем в 5-й группе ( $p < 0,025$ ) и ниже, чем на периферии графтов 4-й группы ( $p < 0,049$ ). Процентное содержание неактивных гемокapилляров на периферии измельченных графтов 4-й группы было достоверно выше, чем в центре тех же графтов ( $p < 0,05$ )



**Примечание:** указаны уровни значимости для межгруппового сравнения.

**Note.** Significance levels are indicated for intergroup comparisons.

**РИС. 3.**

Доля новообразованных VEGF-позитивных гемокapилляров после аутотрансплантации жира

**FIG. 3.**

Proportion of newly formed VEGF-positive hemocapillaries after autologous fat transplantation

**ТАБЛИЦА 2**

**СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА НОВООБРАЗОВАННЫХ СОСУДОВ В ЖИРОВОЙ ТКАНИ В РЕЦИПИЕНТНОМ МЕСТЕ**

**TABLE 2**

**COMPARISON OF THE NUMBER OF NEWLY FORMED VESSELS IN ADIPOSE TISSUE AT THE RECIPIENT SITE**

% новых микрососудов от общего количества сосудов МЦР		3 группа (графт)	3 группа (ПЖК)	4 группа (центр трансплантата)	4 группа (периферия трансплантата)	5 группа
30 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	4,49	3,48	5,81	1,35	1,3
	Медиана (Ме)	37,34	12,16	26,34	8,36	3,62
	Δ (75% перцентиль-Ме)	5,36	2,18	6,17	2,46	1,56
90 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	3,74	2,35	4,91	3,17	0,95
	Медиана (Ме)	22,54	10,64	17,28	15,27	2,35
	Δ (75% перцентиль-Ме)	5,94	3,67	4,66	3,17	1,08
		$p < 0,033^*$		$p < 0,0077^*$	$p < 0,02^*$	$p < 0,04^*$
180 дней	Δ (Ме-25% перцентиль)	2,43	4,99	3,33	2,45	0,64
	Медиана (Ме)	18,37	8,48	12,55	16,34	1,15
	Δ (75% перцентиль-Ме)	1,92	2,84	1,18	3,67	0,28
		$p < 0,048^*$		$p < 0,05^*$	$p < 0,037^*$	

**Примечание:** \* — указаны уровни значимости для внутригруппового сравнения по отношению к предыдущему сроку.



неоангиогенез в жировых трансплантатах при проведении липофилинга.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспрессия VEGF-A в центре солидного жирового графта достигает своего максимума на 30-й постоперационный день. Снижение экспрессии белка VEGF-A в солидном графте через 6 месяцев после аутотрансплантации свидетельствует о нормализации гемоперфузии его центральных отделов. На третьем месяце после липофилинга происходит активный процесс неоангиогенеза на периферии мелких жировых графтов. Васкуляризация гомогенизированного жира происходит с меньшей интенсивностью и не отличается от физиологической васкуляризации нормальной жировой ткани.

### Финансирование

Исследование проведено без дополнительного финансирования.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Левицкая М.Г., Кочнева И.С., Кораблева Н.П., Грецова Е.Е. Липофилинг для коррекции ложной варусной деформации голеней. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2023; (3): 61-70. [Levitskaya MG, Kochneva IS, Korableva NP, Gretsikova EE. Lipofilling for false varus deformity of the lower legs. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2023; (3): 61-70. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202303161
2. Kato H, Mineda K, Eto H, Doi K, Kuno S, Kinoshita K, et al. Degeneration, regeneration, and cicatrization after fat grafting: dynamic total tissue remodeling during the first 3 months. *Plast Reconstr Surg*. 2014; 133(3): 303e–313e. doi: 10.1097/PRS.0000000000000066
3. Istranov AL, Lyubchenko AV, Isakova Yul, Mkhitarian OA, Arutyunyan EG. Feminization of the middle third of the face. Head and neck. Russian magazine = Head and neck. *Russian Journal*. 2022; 10(2): 78–84. doi: 10.25792/HN.2022.10.2.78-84
4. Yang F, Li Z, Cai Z, He Y, Ke C, Wang J, et al. Pluronic F-127 Hydrogel Loaded with Human Adipose-Derived Stem Cell-Derived Exosomes Improve Fat Graft Survival via HIF-1 $\alpha$ -Mediated Enhancement of Angiogenesis. *Int J Nanomedicine*. 2023; 18: 6781-6796. doi: 10.2147/IJN.S435106
5. Borkar R, Wang X, Zheng D, Miao Z, Zhang Z, Li E, et al. Human ESC-derived MSCs enhance fat engraftment by promoting adipocyte reaggregation, secreting CCL2 and mobilizing macrophages. *Biomaterials*. 2021; 272: 120756. doi: 10.1016/j.biomaterials.2021.120756
6. Zhao H, Shang Q, Pan Z, Bai Y, Li Z, Zhang H, et al. Exosomes from adipose-derived stem cells attenuate adipose inflammation and obesity through polarizing M2 macrophages and being in white adipose tissue. *Diabetes*. 2018; 67(2): 235–247. doi: 10.2337/db17-0356
7. Seah I, Zhao X, Lin Q, et al. Use of biomaterials for sustained delivery of anti-VEGF to treat retinal diseases. *Eye*. 2020; 34(8): 1341-1356. doi: 10.1038/s41433-020-0770-y
8. Saikia Q, Reeve H, Alzahrani A, Critchley WR, Zeqiraj E, Divan A, et al. VEGFR endocytosis: Implications for angiogenesis. *Prog Mol Biol Transl Sci*. 2023; 194: 109-139. doi: 10.1016/bs.pmbts.2022.06.021
9. Коненков В.И., Нимаев В.В., Шевченко А.В., Прокофьев В.Ф. Полиморфизм генов факторов регуляции ангиогенеза (VEGF/VEGFR), генов ремоделирования внеклеточного матрикса (MMP/TIMP) и уровни соответствующих белков во внеклеточных тканях пациентов с первичной и вторичной лимфедемой. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024; 28(4): 433-442. [Kononkov VI, Nimaev VV, Shevchenko AV, Prokofiev VF. Polymorphism of angiogenesis regulation factor genes (VEGF/VEGFR), and extracellular matrix remodeling genes (MMP/TIMP), and the levels of their products in extracellular tissues of patients with primary and secondary lymphedema. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024; 28(4): 433-442. (In Russ.)]. doi: 10.18699/vjgb-24-49
10. Шевченко А.В., Прокофьев В.Ф., Коненков В.И., Хапаев Р.С., Нимаев В.В. Полиморфизм генов фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) и матриксных металлопротеиназ (MMP) при первичной лимфедеме конечностей. *Медицинская иммунология*. 2020; 22(3): 497-506. [Shevchenko AV, Prokofyev VF, Kononkov VI, Khapaev RS, Nimaev VV. Polymorphism of vascular endothelial growth factor gene (VEGF) and matrix metalloproteinase (MMP) genes in primary limb lymphedema. *Medical Immunology (Russia)/Meditsinskaya Immunologiya*. 2020; 22(3): 497-506. (In Russ.)]. doi: 10.15789/1563-0625-POV-1913
11. Yu F, Witman N, Yan D, Zhang S, Zhou M, Yan Y, et al. Human adipose-derived stem cells enriched with VEGF-modified mRNA promote angiogenesis and long-term graft survival in a fat graft transplantation model. *Stem Cell Res Ther*. 2020; 11(1): 490. doi: 10.1186/s13287-020-02008-8
12. Jie X, Hu H, Nie B, Zhu L, Jiang H, Liu A. Effects of miR126 Expressing Adipose-Derived Stem Cells on Fat Graft Survival and Angiogenesis. *Aesthetic Plast Surg*. 2023; 47(2): 825-832. doi: 10.1007/s00266-022-03077-1
13. Li K, Luo R, Yu X, Dong W, Hao G, Hu D, et al. Enhanced human adipose-derived stem cells with VEGFA and bFGF mRNA promote stable vascular regeneration and improve cardiac function following myocardial infarction. *Clin Transl Med*. 2025; 15(3): e70250. doi: 10.1002/ctm2.70250
14. Teufelsbauer M, Stickler S, Eggerstorfer MT, Hammond DC, Lang C, Hamilton G. Markers for the angiogenic potential of fat grafts. *Wien Klin Wochenschr*. 2025; 137(21-22): 684-692. doi: 10.1007/s00508-025-02532-8

15. Wang M, Wang C, Chen M, Xi Y, Cheng W, Mao C, et al. Efficient angiogenesis-based diabetic wound healing/skin reconstruction through bioactive antibacterial adhesive ultraviolet shielding nanodressing with exosome release. *ACS Nano*. 2019; 13(9): 10279–10293. doi: 10.1021/acsnano.9b03656
16. Bellini E, Grieco MP, Raposio E. The science behind autologous fat grafting. *Ann Med Surg*. 2017; 24: 65–73. doi: 10.1016/j.amsu.2017.11.001
17. Moustaki M, Papadopoulos O, Verikokos C, Karypidis D, Masud D, Kostakis A, et al. Application of adipose-derived stromal cells in fat grafting: Basic science and literature review. *Exp Ther Med*. 2017; 14(3): 2415–2423. doi: 10.3892/etm.2017.4811
18. Бурлова М.Г., Кочнева И.С., Васильев В.С., КорABLEVA Н.П., Евлахова Н.А. Липофилинг молочных желез: 12-летний опыт. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2024; (2): 28–37. [Burlova MG, Kochneva IS, Vasilyev VS, Korableva NP, Evlakhova NA. Fat transfer breast augmentation: 12-year experience. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2024; (2): 28–37. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202402128
19. Chang CS, Lanni MA, Mirzabeigi MN, Bucky LP. Large-Volume Fat Grafting: Identifying Risk Factors for Fat Necrosis. *Plast Reconstr Surg*. 2022; 150(5): 941e–949e. doi: 10.1097/PRS.00000000000009655
20. Gao S, Lu B, Zhou R, Gao W. Research progress of mechanisms of fat necrosis after autologous fat grafting: A review. *Medicine (Baltimore)*. 2023; 102(10): e33220. doi: 10.1097/MD.00000000000033220
21. Васильев С.А., Васильев И.С. Липофилинг как метод коррекции формы молочных желез после удаления силиконовых имплантатов. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2025; (2): 61–69. [Vasilyev VS, Burlova MG, Volchenko AA, Gurba MA, Vasilyev SA, Vasilyev IS. Fat grafting for breast shaping after implant removal. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2025; (2): 61–69. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202502161
22. Kastyro IV, Ibadullaeva SS, Lavrentyeva EA, Ganshin IB, Khlystalov MV, Moroz SE, et al. Changes in the morphofunctional state of sebaceous glands in rats after fat autotransplantation in rats at late stages. *Head and neck. Russian Journal*. 2025; 13(2): 29–36. doi: 10.25792/HN.2025.13.2.29-36
23. Moroz SE, Lavrentyeva EA, Khlystalov MV, Ibadullaeva SS, Popadyuk VI, Kastyro IV, et al. Pathomorphological changes in tissues with various methods of transplantation of adipose tissue (experimental study). *Head and neck. Russian Journal*. 2024; 12(4): 41–49. doi: 10.25792/HN.2024.12.4.41-49
24. Liu X, Yao Y, Zhu Y, Lu F, Chen X. Inhibition of Adipocyte Necroptosis Alleviates Fat Necrosis and Fibrosis After Grafting in a Murine Model. *Aesthet Surg J*. 2024; 44(8): NP585–NP605. doi: 10.1093/asj/sjae108
25. Khlystalov MV, Moroz SE, Kastyro IV, Lavrentyeva EA, Ibadullaeva SS, Ganshin IB, et al. Angiogenesis in the autologous adipose tissue graft after various methods of preoperative fat treatment in rats. *Head and neck. Russian Journal*. 2024; 12(3): 57–62. doi: 10.25792/HN.2024.12.3.57-62
26. Бурлова М.Г., Кочнева И.С., КорABLEVA Н.П., Евлахова Н.А. Применение липофилинга для коррекции различных видов деформации груди. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2024; (1): 66–83. [Burlova MG, Kochneva IS, Korableva NP, Evlakhova NA. Lipofilling for correction of various breast deformations. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2024; (1): 66–83. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202401166
27. Бурлова М.Г., КорABLEVA Н.П., Грецкова Е.Е. Коррекция тубулярной груди липофилингом. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2024; (3): 52–61. [Burlova MG, Korableva NP, Gretsikova EE. Correction of tubular breast using lipofilling. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2024; (3): 52–61. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202403152
28. Рахимов А.Я., Файзуллин Т.Р., Васильев В.С., Сергеев И.В. Безопасность липофилинга: механизмы, методы профилактики и лечения тяжелых осложнений инъекционной трансплантации жировой ткани. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2020; (4): 73–78. [Rakhimov AY, Fayzullin TR, Vasilyev VS, Sergeev IV. Lipofilling safety: mechanisms, prevention and treatment of severe complications of injectable adipose tissue transplantation. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2020; (4): 73–78. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202004173
29. Jiang X, Cao H, He X, Zou X, Mao H, Tang L, et al. Skin necrosis after autologous fat grafting for augmentation rhinoplasty: a case report and review of the literature. *J Cosmet Laser Ther*. 2024; 26(5–8): 138–142. doi: 10.1080/14764172.2024.2421013
30. Bhoopalam M, Atayeva R, Tiongco RFP, Heron MJ, Girard AO, Er S, et al. Are We Speaking the Same Language? A Systematic Review on the Use of Consistent Language in Reporting Fat Necrosis in Autologous Fat Grafting of the Breast. *Aesthetic Plast Surg*. 2024; 48(7): 1403–1416. doi: 10.1007/s00266-023-03568-9
31. Wang X, Li Q, He S, Bai J, Ma C, Zhang L, et al. LncRNA FENDRR with m6A RNA methylation regulates hypoxia-induced pulmonary artery endothelial cell pyroptosis by mediating DRP1 DNA methylation. *Mol Med*. 2022; 28(1): 126. doi: 10.1186/s10020-022-00551-z
32. Liu Q, Song T, Chen B, Zhang J, Li W. Ferroptosis of brain microvascular endothelial cells contributes to hypoxia-induced blood-brain barrier injury. *FASEB J*. 2023; 37(5): e22874. doi: 10.1096/fj.202201765R
33. Jiang Y, Huang J, Xia Y, Sun Z, Hu P, Wang D, et al. Hypoxia activates GPR146 which participates in pulmonary vascular remodeling by promoting pyroptosis of pulmonary artery endothelial cells. *Eur J Pharmacol*. 2023; 941: 175502. doi: 10.1016/j.ejphar.2023.175502
34. Kazmirczak F, Vogel NT, Prisco SZ, Patterson MT, Annis J, Moon RT, et al. Ferroptosis-Mediated Inflammation Promotes Pulmonary Hypertension. *Circ Res*. 2024; 135(11): 1067–1083. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.123.324138
35. Thayaparan D, Emoto T, Khan AB, Besla R, Hamidzada H, El-Maklizi M, et al. Endothelial dysfunction drives

atherosclerotic plaque macrophage-dependent abdominal aortic aneurysm formation. *Nat Immunol.* 2025; 26(5): 706-721. doi: 10.1038/s41590-025-02132-8

36. Zhang Z, Zhao L, Zhou X, Meng X, Zhou X. Role of inflammation, immunity, and oxidative stress in hypertension: New insights and potential therapeutic targets. *Front Immunol.* 2023; 13: 1098725. doi: 10.3389/fimmu.2022.1098725

37. Ivanov AY, Petrov AE, Vershinina EA, Galagudza MM, Vlasov TD. Evidence of active regulation of cerebral venous tone in individuals undergoing embolization of brain arteriovenous malformations. *J Appl Physiol.* 2013; 115(11): 1666-71. doi: 10.1152/jappphysiol.00951.2013

#### Сведения об авторах

**Кастыро Игорь Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры пластической хирургии, профессор кафедры клинической физиологии и нелекарственных методов терапии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: ikastyro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6134-3080>

**Хлысталов Максим Владимирович** – аспирант кафедры пластической хирургии ФНМО ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: maxim.hlystalov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6766-8323>

**Костяева Маргарита Гурьевна** – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: kostyaeva.71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5182-0373>

**Ибадуллаева Светлана Сулеймановна** – аспирант кафедры пластической хирургии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; врач-пластический хирург, Эстетический центр "Referans"; e-mail: ibadullayeva00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-9651-949X>

**Королев Алексей Геннадьевич** – научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности МГУ им. М.В. Ломоносова, ассистент кафедры нормальной физиологии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: korolevpost@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0828-7715>

**Ганшин Игорь Борисович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пластической хирургии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: ganshin-ib@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5766-9416>

**Еремина Ирина Эдиславовна** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: eremina\_iz@pfur.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5444-9231>

**Попадюк Валентин Иванович** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: lorval04@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3309-4683>

**Малаховский Владимир Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры клинической физиологии и нелекарственных методов терапии, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»; e-mail: tulgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5024-5239>

#### Information about the authors

**Igor V. Kastyro** – Dr. Sc. (Med.), Professor at the Department of Plastic Surgery, Professor at the Department of Clinical Physiology and Non-drug Therapy, RUDN University; e-mail: ikastyro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6134-3080>

**Maksim V. Khlystalov** – Postgraduate Student at the Department of Plastic Surgery, RUDN University; e-mail: maxim.hlystalov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6766-8323>

**Margarita G. Kostyaeva** – Cand. Sc. (Vet.), Associate Professor at the Department of Histology, Cytology, and Embryology, RUDN University; e-mail: kostyaeva.71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5182-0373>

**Svetlana S. Ibadullayeva** – Postgraduate Student at the Department of Plastic Surgery, Faculty of New Medical Education, RUDN University; plastic surgeon, "Referans" Aesthetic Center; e-mail: ibadullayeva00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-9651-949X>

**Aleksey G. Korolev** – Researcher at the Department of Higher Nervous Activity, Lomonosov Moscow State University; Assistant at the Department of Normal Physiology, RUDN University; e-mail: korolevpost@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0828-7715>

**Igor B. Ganshin** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Plastic Surgery, RUDN University; e-mail: ganshin-ib@rudn.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5766-9416>

**Irina Z. Eremina** – Cand. Sc. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Histology, Cytology, and Embryology, RUDN University; e-mail: eremina\_iz@pfur.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5444-9231>

**Valentin I. Popadyuk** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Otolaryngology Department, RUDN University; e-mail: lorval04@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3309-4683>

**Vladimir V. Malakhovskiy** – Dr. Sc. (Med.), Professor at the Department of Clinical Physiology and Non-Drug Therapy, RUDN University; e-mail: e-mail: tulgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5024-5239>

#### Авторский вклад:

Кастыро И.В. – разработка концепции и дизайна, обоснование рукописи, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации;

Хлысталов М.В., Ибадуллаева С.С. – разработка дизайна, проведение эксперимента, анализ и интерпретация данных, написание рукописи;

Попадюк В.И., Еремина И.З. – редактирование рукописи, окончательное утверждение рукописи для публикации;

Королев А.Г., Малаховский В.В. – написание статьи, статистическая обработка данных.