



## ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОМОДУЛЯЦИИ НА ПЛОТНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ МИОСАТЕЛЛИТОЦИТОВ В РЕГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ

<sup>1</sup>Тахавиев Р.В., <sup>1,2</sup>Головнева Е.С., <sup>2</sup>Брюхин Г.В.

<sup>1</sup>Многопрофильный центр лазерной медицины, <sup>2</sup>Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия, e-mail: rkenpachi@bk.ru

### Для цитирования:

Тахавиев Р.В., Головнева Е.С., Брюхин Г.В. Влияние зеленой лазерной фотомодуляции на плотность расположения миосателлитоцитов в регенерирующей скелетной мышечной ткани. Морфологические ведомости. 2023;31(4):807. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(4\).807](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(4).807)

**Резюме.** Восстановление скелетной мышечной ткани после повреждений различного генеза является актуальной медицинской проблемой. В регенерирующей мышце происходит активация гиперхромных миосателлитоцитов, сопряженная с экспрессией факторов миогенеза, в том числе MyoD, пролиферацией и дифференцировкой ядер. Влияние низкоинтенсивной зеленой (520 нм) фотомодуляции на ткани на сегодняшний день мало изучено, однако можно предположить стимулирующее влияние лазерного излучения зеленой области спектра на регенерацию скелетной мышечной ткани. Целью исследования явился анализ влияния низкоинтенсивной фотомодуляции зеленым лазером (520 нм) на плотность расположения MyoD+ ядер в регенерирующей мышце. Было сформировано 3 экспериментальные группы животных: 0 – контроль (неповрежденная мышца); I – крысы с резаной раной m. gastrocnemius; II – воздействие зеленым лазером на зону раны, 60 с в непрерывном режиме. Проводился морфометрический анализ гистологических срезов, окрашенных гематоксилин-эозином и иммуногистохимическим методом. Результаты эксперимента показали, что под воздействием зеленой фотомодуляции происходило увеличение плотности расположения гиперхромных ядер на сроке 1 и 3 суток. В группе воздействия зеленого лазера обнаруживалось значительное увеличение плотности распределения MyoD+ ядер на 3-х сутках исследования, как в очаговой, так и в интактной зонах. При этом отмечалось достоверное увеличение плотности распределения MyoD+ ядер в очаговой зоне по сравнению с интактной на 1-и, 3-и и 14-е сутки эксперимента, что указывает на активное пополнение пула ядер поврежденного скелетного мышечного волокна. Впервые показано, что воздействие зеленого лазера на скелетные мышцы способствует ранней активации миосателлитоцитов на 3-и сутки по сравнению с 7-ми при естественном заживлении раны мышцы. Кроме того, наблюдается более широкий охват мышечной ткани репаративным процессом, так как после зеленой фотомодуляции количество MyoD+ ядер возрастает не только в очаговой зоне, но и вокруг нее.

**Ключевые слова:** скелетная мышечная ткань, миосателлитоциты, MyoD+ядра, регенерация, зеленый лазер

Статья поступила в редакцию 23 мая 2023  
Статья принята к публикации 31 декабря 2023

## THE EFFECT OF GREEN LASER PHOTOBIO-MODULATION ON THE DENSITY OF MYOSATELLITE CELLS IN REGENERATING SKELETAL MUSCLE TISSUE

<sup>1</sup>Takhaviev RV, <sup>1,2</sup>Golovneva ES, <sup>2</sup>Bryukhin GV

<sup>1</sup>Multispeciality Center for Laser Medicine, <sup>2</sup>South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia, e-mail: rkenpachi@bk.ru

### For the citation:

Takhaviev RV, Golovneva ES, Bryukhin GV. The effect of green laser photobiomodulation on the density of myosatellite cells in regenerating skeletal muscle tissue. Morphologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter. 2023;31(4):807. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(4\).807](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(4).807)

**Summary.** The regeneration of skeletal muscle tissue after injuries of various origins is an urgent medical problem. In regenerating muscle, activation of hyperchromic myosatellite cells occurs, associated with the expression of myogenesis factors, including MyoD, proliferation and differentiation of nuclei. The effect of low-intensity green (520 nm) laser photobiomodulation on tissue has been little studied to date, but it can be assumed that laser radiation in the green region of the spectrum has a stimulating effect on the regeneration of skeletal muscle tissue. The purpose of the study was to analyze the effect of low-intensity photobiomodulation with a green laser (520 nm) on the density of MyoD+ nuclei in regenerating muscle. Three experimental groups of animals were formed: 0 – control (rats with an intact muscle); I – rats with an incised wound of m. gastrocnemius; II – rats with green laser exposure to the wound area, 60 s in continuous mode. A morphometric analysis of histological sections stained with hematoxylin-eosin and immunohistochemical methods was carried out. The results of the study showed that under the influence of green photobiomodulation there was an increase in the density of hyperchromic nuclei at periods of 1 and 3 days of the experiment. In the group exposed to the green laser, a significant increase in the distribution density of MyoD+ nuclei were found on the 3rd day of the experiment, both in the wound site and intact zones. At the same time, there was a significant increase in the distribution density of MyoD+ nuclei in the wound site compared to the intact zone on the 1st, 3rd and 14th days of the experiment, which indicates an active replenishment of the pool of nuclei of the destroyed skeletal muscle fibers. For the first time, it was shown that the effect of a green laser on skeletal muscles promotes early activation of myosatellite cells on the 3rd day compared to the 7th day during natural healing of a muscle wound. In addition, there is a wider coverage of muscle tissue by the reparative process, since after green photobiomodulation the number of MyoD+ nuclei increase not only in the wound site, but also around it.

**Key words:** skeletal muscle tissue, myosatellite cells, MyoD+nuclei, regeneration, green laser

Article received 23 May 2023  
Article accepted 31 December 2024

**Введение.** Лазерное воздействие на молекулярные, клеточные и тканевые акцепторы вызывает многогранные эффекты, проявляющееся в усилении функциональной активности клеток и их пролиферативных способностей [1-3]. Влияние низкоинтенсивной зеленой (520 нм) фотомодуляции на биологические объекты на сегодняшний день мало изучено. Существует ряд эмпирических и теоретических данных, позволяющих предположить стимулирующее влияние лазерного излучения на регенерацию скелетной мышечной ткани.

Известно, что комплексы гемопротеинов являются акцепторами зеленого лазерного излучения [3-4]. Описаны сосудосуживающие и сосудорасширяющие эффекты зеленого лазера [5-6], активация ионных каналов и транспорта кальция [7], индукция пролиферации стволовых клеток жировой ткани [8], миграция и дифференцировка клеток дермы [9], усиление синтеза коллагена [10-11]. Влияние зеленого лазера на поврежденные скелетные мышцы не изучалось, несмотря на то, что известно, что инфракрасная фотомодуляция усиливает пролиферативный ответ миосателлитов [12-13].

Миосателлиты являются популяцией гиперхромных клеток, активирующейся при повреждении скелетной мышечной ткани [14-16]. Активация миосателлитов приводит к их пролиферации и дифференцировке, в ходе которой происходит деспирализация хроматина, потеря клеточного центра и усиление синтетических процессов [14-15]. В результате происходящих изменений образуется собственное ядро скелетного мышечного волокна [16].

Белок MyoD - фактор транскрипции, экспрессируемый активированными сателлитными клетками мышц [17, 18]. Его обнаружение в ядре является маркером выхода миосателлита из митотически неактивного состояния и начала дифференцировки для поддержания оптимального количества собственных ядер скелетных мышечных волокон [19, 20]. Количество MyoD<sup>+</sup> ядер может являться показателем интенсивности репаративных процессов при повреждении мышцы.

**Цель исследования** - анализ влияния зеленого лазерного излучения на плотность расположения гиперхромных и MyoD<sup>+</sup> ядер миосателлитов регенерирующей мышцы.

**Материалы и методы исследования.** Исследование было выполнено на базе морфологической лаборатории Многопрофильного центра лазерной медицины и кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии Южно-Уральского государственного медицинского университета. Проведение исследования одобрено на заседании локального этического комитета Южно-Уральского государственного медицинского университета (протокол № 2 от 21.02.2022). В эксперименте было использовано 88 самцов крыс (Wistar) в возрасте 4-6 месяцев, массой от 270 до 330 грамм. Содержание и обращение с животными в эксперименте соответствовали требованиям приказа Минздрава РФ № 199 Н от 01.04.2016 «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». Исходя из цели исследования были сформированы 3 экспериментальные группы: 0 группа - контроль (неповрежденная мышца); I группа - резаная рана *m. gastrocnemius* без дополнительного воздействия (n=40); II группа - резаная рана *m. gastrocnemius* с воздействием зеленого лазера с экспозицией 60 с (n=40).

Производился надрез по центру *m. gastrocnemius* скальпелем с глубиной раны 2,0 мм. Воздействие лазерным излучением производилось сразу после нанесения раны. Фотомодуляцию осуществляли лазерным аппаратом «Малахит» (Россия) с длиной волны 520 нм, мощность 1,0 Вт, в непрерывном режиме излучения. Обработку раневой поверхности *m. gastrocnemius* проводили с расстояния от световода до ткани в 5,0 мм, сканирующими движениями. Животных выводили из опыта на 1-е, 3-е, 7-е, 14-е и 30-е сутки эксперимента путем дислокации шейных позвонков под эфирным ингаляционным наркозом. Были изъяты фрагменты скелетных мышц для дальнейшей стандартной гистологической проводки и приготовления срезов. Для моделирования процессов естественной репаративной регенерации воздействие осуществлялось путем нанесения

резаной травмы под общим обезболиванием препаратом «Золетил» в дозе 5 мл/кг. Для доступа к икроножной мышце производили разрез кожных покровов длиной 1 см на дорсальной поверхности задних конечностей ниже коленного сустава на 0,4–0,5 см в проекции *m. gastrocnemius*. Хирургическим скальпелем производили механическое повреждение мышцы путем выполнения перпендикулярного хода мышцы надреза на глубину 2 мм.

Гиперхромные ядра миосателлитоцитов изучали при окраске гематоксилином-эозином. На полученных серийных срезах различали интактную и очаговую зоны. Иммуногистохимическое исследование проводили на парафиновых срезах, нанесенных на предметные стекла, покрытых поли-L-лизинном. Последующая демаскировка антигенов проводилась при температуре 95–98 °С в течение 25 минут. Постановка иммуногистохимической реакции осуществлялась с использованием антител к MyoD (Affinity biosciences, КНР) и набора реагентов «Novolink» (Leica, США) в соответствии с предоставленным протоколом. Показатель плотности расположения гиперхромных ядер и MyoD<sup>+</sup> ядер рассчитывали при увеличении  $\times 1000$  (об. $\times 100$ ; ок. $\times 10$ ) с использованием масляной иммерсии из расчета количества на единицу площади (1 мм<sup>2</sup>).

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью лицензионных пакетов прикладных программ. Для оценки достоверности различий использовался 4-х факторный метод дисперсионного анализа ANOVA, апостериорные вычисления для сравнения показателей нескольких экспериментальных групп осуществлялись с использованием метода Tukey. Данные представлены в виде среднего арифметического (M) с указанием 95% доверительных интервалов (ДИ). Осуществлялся анализ совокупности массивов данных по группам, по группам и срокам, а также по группам и зонам. Статистически значимыми считали различия при значении  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Гиперхромные ядра, по которым принять визуализировать миосателлитоциты, в

скелетных мышечных волокнах располагались между сарколеммой и базальной мембраной. В интактной икроножной мышце плотность расположения гиперхромных ядер составляла 651,80 [514,77; 788,82, 95%ДИ] ядер в расчете на мм<sup>2</sup>. В первые сутки после формирования раны в очаговой зоне отмечалось снижение данного показателя (табл. 1), на 3-и и 7-е сутки достоверных изменений не обнаруживалось. На 14-е и 30-е сутки происходило достоверное увеличение плотности расположения гиперхромных ядер на 40,32% и 39,61% соответственно, что свидетельствует об активно идущих процессах репарации. В целом, количество гиперхромных ядер в очаговой зоне повышалось к поздним срокам эксперимента. При этом были выявлены выраженные колебания плотности расположения гиперхромных ядер в интактной зоне мышцы с повышением на 3-и и 14 сутки и снижением на 7-е сутки. На основании этих данных можно предположить, что миосателлитоциты интактной зоны могли мигрировать в очаг повреждения и являться источником пополнения пула камбиальных клеток.

У животных, подвергшихся воздействию зеленого лазера, плотность расположения гиперхромных ядер мышц в очаговой зоне, достоверно увеличивалась на 1-е и 3-и сутки эксперимента на 59,92% и 60,59% по сравнению с показателями необлученных животных. На более поздних сроках достоверных изменений не обнаруживалось. В интактной зоне мышц с зеленой фотомодуляцией не происходило изменений числа гиперхромных ядер в зависимости от срока исследования, причем на сроках 3 и 14 сутки плотность расположения ядер была ниже, чем в группе I. В интактной зоне количество гиперхромных ядер на сроках 7-е и 30-е сутки было меньше чем в очаговой.

Увеличение плотности расположения гиперхромных ядер на первых сутках эксперимента может указывать на индуцированную фотомодуляцией миграцию сателлитных клеток в зону очаговых изменений. Усиление подвижности стволовых клеток после облучения зеленым лазерным облучением было обнаружено Malthery [21].

Таблица 1

Плотность расположения гиперхромных ядер в регенерирующей *m. gastrocnemius* крыс Wistar, M, доверительный интервал [-95%; +95%]

Сутки / группы	1 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	30 сутки
Интактная зона (п/мм <sup>2</sup> )					
I группа	481,6 [330,3; 632,9]	1300,1+ [862,2; 1738,0]	394,5+ [294,4; 494,6]	965,0+ [790,7; 1139,3]	839,3 [723,4; 955,1]
II группа	427,17 [364,3; 490,0]	648,9* [487,7; 810,1]	488,4 [411,6; 565,2]	587,9* [480,2; 695,6]	687,2 [485,4; 889,0]
Очаговая зона (п/мм <sup>2</sup> )					
I группа	303,89+ [255,0; 352,8]	495,58++ [417,3; 573,9]	808,6 [428,9; 1188,3]	1071,6+ [959,5; 1183,6]	1059,9+ [924,8; 1195,0]
II группа	507,1* [410,2; 604,0]	817,8* [662,9; 972,7]	1096,4++ [826,0; 1366,7]	851,0 [669,8; 1032,2]	1139,6++ [887,9; 1391,4]
0 группа: 651,80 [514,77; 788,82] п/мм <sup>2</sup>					

Примечание: + -  $p \leq 0,05$  – при сравнении 0 и I групп; \* -  $p \leq 0,05$  – при сравнении I и II групп; ++ -  $p \leq 0,05$  – при сравнении очаговой с интактной зоной

Плотность распределения MyoD<sup>+</sup> ядер в неповрежденной *m. gastrocnemius* (группа 0) составила 1241,27 [1011,09; 1471,45] ядер на мм<sup>2</sup> (табл. 2). При сравнении очаговой зоны группы I, где происходило естественное заживление мышцы, с группой 0, достоверное увеличение количества MyoD<sup>+</sup> ядер (на 30%) регистрировалось на 7 сутки, что свидетельствует о максимальной активизации миосателлитоцитов на этом сроке. В интактной зоне мыш-

цы, окружающей очаг повреждения, по сравнению с показателями группы 0, значимых изменений плотности распределения MyoD<sup>+</sup> ядер ни на одном из сроков исследования не происходило. На сроке 14 суток в очаговой зоне было выявлено достоверное повышение плотности распределения MyoD<sup>+</sup> ядер по сравнению с окружающей интактной областью мышцы.

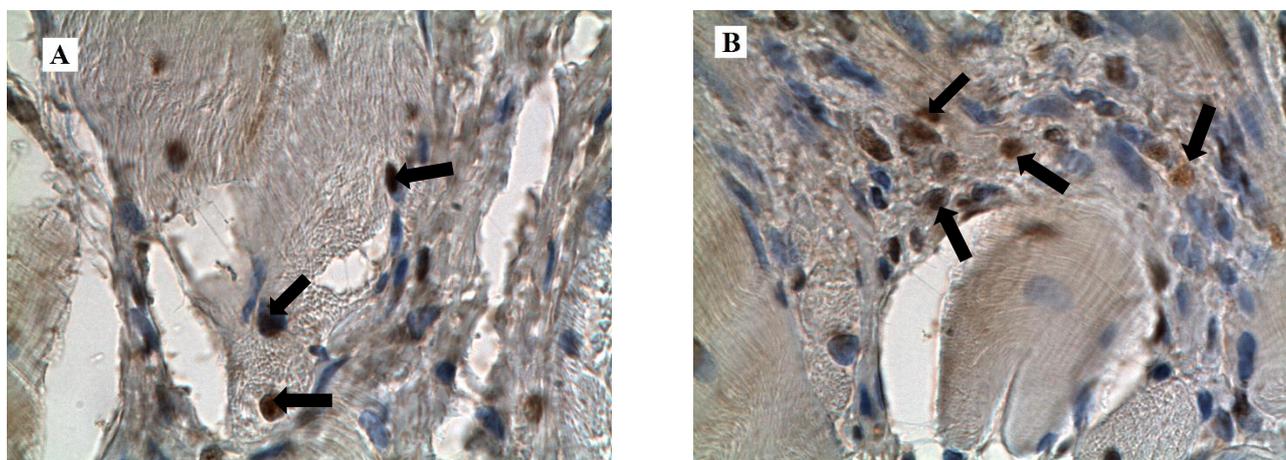


Рис. 1. MyoD<sup>+</sup> клетки в поперечнополосатой скелетной мышечной ткани *m. gastrocnemius* крыс Wistar в очаговой зоне на 30-е сутки эксперимента. А – контрольная группа I, В – опытная группа II. Окр.: гематоксилином-эозином. Ув. x1000

Таблица 2

**Плотность расположения MyoD<sup>+</sup> ядер в регенерирующей *m. gastrocnemius* крыс Wistar, M, доверительный интервал [-95%; +95%]**

Сутки / группы	1 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	30 сутки
Интактная зона (n/мм <sup>2</sup> )					
I группа	1063,3 [767,7; 1358,9]	939,7 [660,7; 1218,8]	1603,4 [1259,5; 1947,3]	1098,2 [701,8; 1494,5]	1347,3 [1095,4; 1599,2]
II группа	1151,4 [890,7; 1412,2]	1583,0* [1328,7; 1837,3]	2140,2 [1777,9; 2502,5]	1457,2 [1262,1; 1652,4]	1353,4 [1160,5; 1546,3]
Очаговая зона (n/мм <sup>2</sup> )					
I группа	1480,1 [1230,6; 1729,6]	1192,0 [884,9; 1499,2]	1921,4+ [1415,8; 2427,0]	1705,0++ [1531,4; 1878,5]	1648,7 [1102,0; 2195,4]
II группа	2143,6++ [1458,2; 2828,8]	2480,9*++ [2071,2; 2890,6]	2645,6 [2087,4; 3203,7]	1961,4++ [1670,2; 2252,5]	1426,2 [1095,0; 1757,4]
0 группа: 1241,27 [1011,09; 1471,45] n/мм <sup>2</sup>					

Примечание: + -  $p \leq 0,05$  – при сравнении 0 и I группы; \* -  $p \leq 0,05$  – при сравнении I и II групп; ++ -  $p \leq 0,05$  – при сравнении очаговой с интактной зоной

Эти результаты отражают локальность происходящих в мышце пролиферативных изменений при естественном заживлении раны и их четкую связь с зоной деструкции. В группе воздействия зеленого лазера обнаруживалось значительное увеличение плотности распределения MyoD<sup>+</sup> ядер на 3-х сутках исследования, как в очаговой, так и в интактной зонах. При этом отмечалось достоверное увеличение плотности распределения MyoD<sup>+</sup> ядер в очаговой зоне по сравнению с интактной на 1-и, 3-и и 14-е сутки эксперимента, что указывает на активное пополнение пула ядер поврежденного скелетного мышечного волокна (рис. 1).

Плотность расположения MyoD<sup>+</sup> ядер в очаговой зоне (табл. 2) была выше, чем плотность расположения гиперхромных ядер (табл. 1), что свидетельствует об экспрессии маркера MyoD светлыми ядрами, а также о преобладании пула активированных миосателлитоцитов в процессе репарации скелетной мышечной ткани.

Механизмы, благодаря которым может реализоваться прямое активирующее воздействие зеленого лазерного излучения на миосателлитоциты связаны с известным феноменом изменения проницаемости мембран клетки для ионов кальция, что наблюдается при стимуляции зе-

ленным лазером TRPV1 каналов [7]. Увеличение концентрации кальция, через кальмодулин, может вызывать модификацию гистоновых белков и гетерохроматина [1], что по данным Wardle приводит к повышению экспрессии детерминирующего миогенез и белка MyoD гена [17].

**Заключение.** Таким образом, фотомодуляция зеленого цвета низкоинтенсивным лазерным излучением приводит к увеличению количества гиперхромных ядер в зоне репарации мышцы с первых суток наблюдения. Впервые показано, что воздействие зеленого лазера на скелетные мышцы способствует ранней активации миосателлитоцитов на 3-и сутки по сравнению с 7-ми сутками при естественном заживлении раны мышцы. Кроме того, наблюдается более широкий охват мышечной ткани репаративным процессом, так как после зеленой фотомодуляции количество MyoD<sup>+</sup> ядер возрастает не только в очаговой зоне, но и вокруг нее.

Наблюдаемая активация миосателлитоцитов с увеличением плотности их расположения при воздействии зеленой фотомодуляции может являться отправной точкой для разработки методов лазерной стимуляции регенерации мышц после повреждений различного генеза.

## Литература References

1. Vladimirsky VE, Vladimirsky EV, Vinogradov AB et al. Fizicheskie i biologicheskie predposylki regeneratorykh effektov nizkointensivnykh lazernykh izlucheny (obzor). *Kurortnaya meditsina*. 2018;4:91-99. In Russian
2. Vladimirov JuA, Klebanov GI, Borisenko GG, Osipov AN. Molekuljarnye i kletochnye mehanizmy deystviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya. *Biofizika*. 2004;49:339-350. In Russian
3. Sperandio FF, Simões A, Corrêa L, et al. Low-level laser irradiation promotes the proliferation and maturation of keratinocytes during epithelial wound repair. *J Biophotonics*. 2015;8(10):795-803. <https://doi.org/10.1002/jbio.201400064>
4. Carroll L, Humphreys TR. Laser-tissue interactions. *Clin Dermatol*. 2006;24:2-7. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2005.10.019>
5. Gorshkova OP, Shuvaeva VN, Dvoretzky DP. Reaktsii pial'nykh arterial'nykh sosudov na vozdeystvie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya siney i zelenoy oblastiye spectra. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*. 2013;12(3):71-74. In Russian
6. Huynh QS, Elangovan S, Holsinger RMD. Non-Pharmacological Therapeutic Options for the Treatment of Alzheimer's Disease. *Int J Mol Sci*. 2022;23(19):11037. <https://doi.org/10.3390/ijms231911037>
7. Gu Q, Wang L, Huang F, Schwarz W. Stimulation of TRPV1 by Green Laser Light. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2012;2012:857123. <https://doi.org/10.1155/2012/857123>
8. Chang CJ, Hsiao YC, Hang NLT, Yang TS. Biophotonic Effects of Low-Level Laser Therapy on Adipose-Derived Stem Cells for Soft Tissue Deficiency: WAPSCD Submission. *Annals of Plastic Surgery*. 2023;90(5S):158-164. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000003376>
9. Merigo E, Bouvet-Gerbetz S, Boukhechba F, et al. Green laser light irradiation enhances differentiation and matrix mineralization of osteogenic cells. *J Photochem Photobiol B*. 2016;155:130-136. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.12.005>
10. Fushimi T, Inui S, Nakajima T, et al. Green light emitting diodes accelerate wound healing: Characterization of the effect and its molecular basis in Vitro and in Vivo. *Wound Repair*. 2012;20:226-235. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2012.00771.x>
11. Gong C, Lu Y, Jia C, Xu N. Low-level green laser promotes wound healing after carbon dioxide fractional laser therapy. *J Cosmet Dermatol*. 2022;21(11):5696-5703. <https://doi.org/10.1111/jocd.15298>
12. Gallyamutdinov RV, Astakhova LV, Golovneva ES, Serysheva OJu. Vliyaniye lazernogo infrakrasnogo izlucheniya na nekotorye morfofunktsional'nye pokazateli regeneriruyushchey skeletnoy myshtsy v vozrastnom aspekte. *Lazernaya meditsina*. 2021;24(2-3):90-94. In Russian
13. Gallyamutdinov RV, Golovneva ES, Revel' -Muroz ZhA, Elovskikh IV. Infrakrasnoe lazernoe vozdeystvie v kombinatsii s priemom aminokislot s razvetvennoy bokovoy cep'yu stimuliruet fiziologicheskuyu adaptatsiyu skeletnykh myshts. *Lazernaya meditsina*. 2022;25(3):40-46. In Russian
14. Shurygin MG, Bolbat AV, Shurygina IA. Miosatellity kak istochnik regeneratsii myshechnoy tkani. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015;1(8):1741-1746. In Russian
15. Odintsova IA, Chepurnenko MN, Komarova AS. Miosatellitotsity – kambial'ny rezerv poperechnopolosatoy myshechnoy tkani. *Geny i Kletki*. 2014;9(1):6-14. In Russian
16. Dvurekova EA, Artem'eva SS, Popova IE. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya skeletnoy myshechnoy tkani. Voronezh: VGIFK, 2019. – 175s. In Russian
17. Wardle FC. Master control: transcriptional regulation of mammalian Myod. *Journal of muscle research and cell motility*. 2019;40(2):211-226. <https://doi.org/10.1007/s10974-019-09538-6>
18. Mokalled MH, Johnson AN, Creemers EE, Olson EN. MASTR directs MyoD-dependent satellite cell differentiation during skeletal muscle regeneration. *Genes & Development*. 2012;26(2):190-202. <https://doi.org/10.1101/gad.179663.111>
19. Wagner ASR, Gonçalves W, Garrido CWL, et al. Nandrolone stimulates MyoD expression during muscle regeneration in the condition of myonecrosis induced by *Bothrops jararacussu* venom poisoning. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2010;73(13-14):934-943. <https://doi.org/10.1080/15287391003751729>
20. Lv W, Jin J, Xu Z, et al. IncMGPF is a novel positive regulator of muscle growth and regeneration. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2020;11(6):1723-1746. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12623>
21. Malthiery E, Chouaib B, Hernandez-Lopez AM, et al. Effects of green light photobiomodulation on Dental Pulp Stem Cells: enhanced proliferation and improved wound healing by cytoskeleton reorganization and cell softening. *Lasers Med Sci*. 2021;36(2):437-445. <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03092-1>

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Тахавиев Ростислав Винаерович**, научный сотрудник, Многопрофильный центр лазерной медицины, Челябинск, Россия;  
**e-mail: rkenpachi@bk.ru**

**Головнева Елена Станиславовна**, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научно-исследовательской работе Многопрофильного центра лазерной медицины, профессор кафедры нормальной физиологии Южно-Уральского государственного медицинского университета, Челябинск, Россия;  
**e-mail: micron30@mail.ru**

**Брюхин Геннадий Васильевич**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гистологии, эмбриологии и цитологии Южно-Уральского государственного медицинского университета Челябинск, Россия;  
**e-mail: bgenvas@mail.ru**

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Rostislav V. Takhaviev**, Researcher of the Multispeciality Center for Laser Medicine, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia;  
**e-mail: rkenpachi@bk.ru**

**Elena S. Golovneva**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director for Research at the Multispeciality Center for Laser Medicine, Professor of the Department of Normal Physiology of the South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia;  
**e-mail: micron30@mail.ru**

**Gennady V. Bryukhin**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Histology, Embryology and Cytology of the South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia;  
**e-mail: bgenvas@mail.ru**