

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 576.7

doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-1-158-161

**ВЛИЯНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
И ПРИЕМА АМИНОКИСЛОТ НА АДАПТАЦИЮ СОСУДИСТОГО РУСЛА
МЕЖМЫШЕЧНОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ
К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

**Ростислав Винерович Галлямутдинов¹, Елена Станиславовна Головнева^{2,2},
Геннадий Васильевич Брюхин^{2,3}**

¹ Многопрофильный центр лазерной медицины, Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

¹ rkenpachi@bk.ru

² main@cgilh.chel.su

³ gist_chelsma@mail.ru

Резюме. Целью исследования являлся анализ влияния лазерного облучения и аминокислот с разветвленной боковой цепью (ВСАА) на перестройку сосудистого компонента *m. Bicepsfemoris* при систематичных тренировках плаванием. Материал и методы. Эксперимент выполнен на 25 крысах, разделенных на 5 групп: 1) интактный контроль, 2) динамический контроль, 3) тренировки с приемом аминокислот, 4) тренировки с применением инфракрасного лазерного воздействия, 5) тренировки с лазерным воздействием и приемом аминокислот. Образцы ткани двуглавой мышцы бедра фиксировали формалином с дальнейшим использованием классической гистологической проводки. Проводился морфометрический анализ цифрового изображения объектов. Результаты. Воздействие инфракрасного лазерного излучения, как и использование аминокислот, способствует достоверному увеличению показателей площади сосудистого русла относительно площади соединительной ткани. При сочетании изучаемых факторов были обнаружены статистически достоверные различия с группами изолированного воздействия лазера либо аминокислот. Выводы. Прием аминокислот и применение лазерного излучения стимулируют увеличение площади сосудистого русла в течение тренировочного цикла.

Ключевые слова: лазер, ВСАА, тренировки, скелетная мышечная ткань, сосуды

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

**EFFECT OF INFRARED LASER RADIATION AND AMINO ACID
INTAKE ON THE VASCULAR BED ADAPTATION
OF THE INTERMUSCULAR CONNECTIVE TISSUE TO PHYSICAL ACTIVITY**

Rostislav V. Gallyamutdinov¹, Elena S. Golovaneva^{2,2}, Gennady V. Bryukhin^{2,3}

¹ Multidisciplinary Center of Laser Medicine, Chelyabinsk, Russia

² South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

¹ rkenpachi@bk.ru

² main@cgilh.chel.su

³ gist_chelsma@mail.ru

Resume. The aim of the study was to analyze the effect of laser irradiation and branched chain amino acids (BCAAs) on the restructuring of the vascular component of *m. biceps femoris* during systematic swimming training. Material and methods. The experiment was conducted on 25 rats divided into 5 groups: 1) intact control, 2) dynamic control, 3) training with amino acid intake, 4) training with infrared laser exposure, 5) training with laser exposure and amino acid intake. Tissue samples of the biceps femoral muscle were fixed with formalin with further use of classical histological wiring. Morphometric analysis of the digital image of objects was carried out. Results. Exposure of infrared laser radiation, as well as the use of amino acids, contributes to a reliable increase in the area of the vascular bed relative to the area of connective tissue. When the studied factors

were combined, statistically significant differences were found with isolated laser or amino acid exposure groups. Conclusions. The intake of amino acids and the use of laser radiation stimulates the increase of vascular bed area during the training cycle.

Keywords: laser, BCAA, training, skeletal muscle tissue, vascular bed

Для сохранения работоспособности мышц во время физической нагрузки необходим приток кислорода, являющийся обязательным условием для биологического окисления и синтеза АТФ, обеспечивающего потребность организма в энергии [1]. При выполнении длительных нагрузок аэробной направленности, когда резервы фосфогенной и лактатной систем энергообеспечения – креатин фосфат и гликоген – уже истощены, наблюдается переход к аэробной системе энергообеспечения. В связи с увеличенной потребностью мышц в кислороде развиваются краткосрочные адаптивные реакции, включающие увеличение частоты сердечных сокращений, сердечного выброса, внутрисосудистого давления, что позволяет увеличить приток крови к мышцам. Долгосрочные адаптивные процессы развиваются при повторяющейся и увеличивающейся со временем физической нагрузке и проявляются в ангиогенезе, изменении реологических свойств крови и эритроцитов с течением времени [2, 3]. Известно, что фотобиомодуляция способствует увеличению экспрессии ростовых факторов, в частности, фактора роста эндотелия [4], а также адаптации и регенерации скелетных мышц [5]. Аминокислоты с разветвленной боковой цепью (BCAA) способствуют восстановлению скелетной мышечной ткани после физических нагрузок [6]. Однако влияние BCAA в сочетании с действием фотобиомодуляции на перестройку сосудистого русла мышц при тренировках плаванием не исследовалось ранее.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Анализ влияния лазерного облучения и аминокислот с разветвленной боковой цепью (BCAA) на перестройку сосудистого компонента *m. Bicepsfemoris* при систематических тренировках плаванием.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на 25 крысах-самцах (сток Wistar) на этапе онтогенеза от 4 до 7 месяцев, с массой тела от 310 до 390 г. Содержание и обращение с животными в эксперименте осуществлялись согласно приказу Минздрава РФ от 01.04.2016 № 199Н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». Животные были разделены на 5 групп по 5 особей: 1-я группа – интактный контроль, 2-я группа – динамический контроль (тренировки принудительным плаванием), 3-я группа – тренировки и прием BCAA, 4-я группа – тренировки и лазерное инфракрасное воздействие на мышцы бедра (970 нм, 1 Вт, 60 с), 5-я группа – тренировки и прием BCAA, комбинированный

с лазерным инфракрасным излучением. Модель тренировки соответствовала принципу благоприятного влияния нагрузки, чередуя тренировочное время с достаточным отдыхом. Тренировочный процесс моделировался путем погружения животных в емкость с водой диаметром 60 см, высотой 85 см, емкостью 200 л. Во избежание опоры во время плавания глубина от поверхности воды составляла 50–55 см.

Тренировки проводились 3 раза в неделю, с увеличением времени плавания каждую неделю на 5 минут, в первую неделю время плавания составляло 30 минут, на последней неделе время плавания составляло 55 минут. Пищевую добавку BCAA животные получали вместе с питьевой водой. На поилку объемом 500 мл добавляли 2 г смеси (содержание на 1 г – L-лейцин – 0,46 г, L-валин и L-изолейцин по 0,22 г). В день каждое животное потребляло ($27,00 \pm 1,02$) мл жидкости, что в пересчете на BCAA эквивалентно 0,049 г L-лейцина и по 0,024 г L-валина и L-изолейцина. Питьевую смесь ежедневно заменяли на свежую. Лазерное воздействие производилось каждый раз после тренировки в течение 1 минуты на каждую заднюю конечность, сканирующими движениями в области бедра, с захватом соответствующих мышц (двуглавой мышцы бедра, полусухожильной мышцы) задних конечностей. Фотомодуляцию осуществляли с помощью лазерного аппарата «ИРЭ Полюс» (Россия), мощностью 1 Вт, длиной волны 970 нм, в непрерывном режиме. Излучение подавалось через моноволоконный кварцевый световод с диаметром светонесущей жилы 0,4 мм. Обработку целевой поверхности производили с расстояния 5 мм сканирующими движениями со скоростью продвижения 5 мм/с. Опыт проводился 6 недель, на следующий день после окончания эксперимента производилось выведение животных с забором *m. bicepsfemoris*.

Для оценки морфофункционального состояния скелетной мышечной ткани препараты фиксировали 10%-м нейтральным забуференным формалином. После стандартной гистологической проводки, приготовления парафиновых блоков срезы окрашивались гематоксилин-эозином. Гистологические препараты изучали на микроскопе LEICA DMRXA (Германия), с помощью цифровой видеокамеры LEICA DFC 290 (Германия), сопряженной с ПК. Получившиеся изображения микропрепаратов в формате графических файлов *.TIFF в цветовом пространстве RGB, использовали в качестве объектов для морфометрических исследований. Для морфометрических исследований использовали лицензионную версию программы анализа изображений ImageScope M (Россия). Статистическая

обработка данных проводилась с помощью лицензионного пакета прикладных программ: Excel 2020 и PAST версии 4.03. При обработке полученных данных использовались методы вариационной статистики. Для оценки достоверности различий между группами использовали непараметрический метод Манна – Уитни. Данные представлены в виде среднего арифметического значения и его ошибки ($M \pm m$). Статистически значимыми считали различия $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе эксперимента данные свидетельствуют о достоверном увеличении площади

сосудистого русла межмышечной соединительной ткани в опытных группах по сравнению с группой интактного контроля. Это указывает на идущий процесс адаптации к увеличивающейся потребности скелетных мышц в кислороде, при еженедельно увеличивающейся продолжительности тренировочного процесса плаванием.

В группе тренировок с применением аминокислот (3-я группа), помимо площади сосудистого компонента, увеличивалась толщина сосудистой стенки и площадь просвета артерий по сравнению с интактными животными, что отражало адаптацию артериальных сосудов к росту гемодинамических нагрузок при тренировках на фоне интенсивного роста мышечной ткани [6, 7, 8].

Характеристика компонентов сосудистого русла межмышечной соединительной ткани

| Показатели | Интактные крысы (1) | Физическая нагрузка | | | | |
|--|---------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | | динамический контроль (2) | ВСАА (3) | лазерное облучение (4) | лазерное облучение + ВСАА (5) | |
| Относительная площадь сосудистого русла, % | 0,0200 ± 0,0011 | 0,0220 ± 0,0013 | 0,0280 ± 0,0026 ^{#^} | 0,0290 ± 0,0022 ^{#^} | 0,0340 ± 0,0037 ^{**} | |
| Толщина сосудистой стенки, мкм | артериолы | 13,76 ± 0,51 | 14,22 ± 0,82 | 14,48 ± 0,65 [#] | 14,45 ± 0,75 [#] | 15,11 ± 0,71 ^{**} |
| | венулы | 10,02 ± 0,39 | 9,98 ± 0,56 | 10,47 ± 0,42 | 9,80 ± 0,53 | 9,60 ± 0,37 |
| Площадь просвета сосуда, мкм ² | артериолы | 230,17 ± 8,03 | 252,17 ± 20,03 | 263,00 ± 19,58 [#] | 243,33 ± 8,34 | 247,17 ± 13,97 |
| | венулы | 431,5 ± 30,2 | 439,00 ± 26,27 | 448,50 ± 24,65 | 427,50 ± 17,67 | 421,50 ± 27,32 |

[#] $p < 0,05$ при сравнении опытной группы с интактной группой.

^{*} $p < 0,05$ при сравнении с группой динамического контроля.

[^] $p < 0,05$ при сравнении 3-й и 4-й групп с 5-й группой.

В группе использования инфракрасного лазерного излучения также было обнаружено увеличение площади сосудистого русла (относительно групп интактного и динамического контроля) и толщины стенки артериол (по сравнению с интактными животными), однако достоверных различий в площади просвета артериол не было обнаружено. Очевидно, рост толщины стенки артерий является отражением стимуляции ангиогенеза под влиянием лазерного излучения, а увеличение площади сосудистого русла напрямую связано с синтезом и выделением клетками регуляторов сосудистого тонуса, так как известно, что лазерное воздействие является стимулятором микроциркуляции в тканях [4, 5].

В экспериментальной группе с сочетанным действием инфракрасного лазерного облучения и ВСАА увеличение относительной площади сосудистого русла, а также толщины сосудистой стенки артериол относительно показателей групп интактного и динамического контроля имело достоверный характер. Также

относительная площадь сосудистого русла имеет достоверные различия с группами изолированного воздействия аминокислот либо лазера, отражая синергическую природу регенеративного влияния сочетания приема аминокислот и лазерного облучения на процесс адаптации скелетных мышц к физической нагрузке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инфракрасное лазерное воздействие и прием аминокислот с разветвленной боковой цепью при тренировках плаванием способствуют адаптивной перестройке сосудистого компонента соединительной ткани скелетных мышц, что проявляется в увеличении показателя относительной площади сосудистого русла и толщины сосудистой стенки артериол.

REFERENCES

- Green D.J., Smith K.J. Effects of Exercise on Vascular Function, Structure, and Health in Humans. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 2018;a029819. doi:10.1101/cshperspect.a029819.

2. Nystoriak M.A., Bhatnagar A. Cardiovascular Effects and benefits of exercise. *Front. Cardiovasc. Med.* 2018;5:135. doi:10.3389/fcvm.2018.00135.

3. Kerkhof P.L.M., Miller V.M. Sex-Specific analysis of cardiovascular function. *Chapter 21.* 2018:329–346. doi: 10.1007/978-3-319-77932-4_21.

4. Bae J.Y., Koo G.H., Park S.C., Shin K.O. Effects of branchedchain amino acid and glutamine supplementation on angiogenic factors and pro-inflammatory cytokines after acute exercise in adolescence athletes. *Asian J Kinesiol.* 2019;21:51–58.

5. Kamei Y., Hatazawa Y., Uchitomi R., Yoshimura R., Miura S. Regulation of skeletal muscle function by amino acids. *Nutrients.* 2020;12(1):261. doi: 10.3390/nu12010261. PMID: 31963899; PMCID: PMC7019684.

6. Nascimento J.J.A.C., Machado A.S.D., Della-Santa G.M.L. et al. Effects of photobiomodulation therapy on functional recovery, angiogenesis and redox status in denervated muscle of rats. *Einstein (São Paulo).* 2021;19:eAO6001. doi: 10.31744/einstein_journal/2021AO6001.

7. Barnes J.N., Fu Q. Sex-specific ventricular and vascular adaptations to exercise. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2018;1065:329–346. doi: 10.1007/978-3-319-77932-4_21. PMID: 30051394.

8. Morais S.R., Goya A.G., Urias Ú. et al. Strength training prior to muscle injury potentiates low-level laser therapy (LLLT)-induced muscle regeneration. *Lasers Med. Sci.* 2017; 32(2):317–325. doi: 10.1007/s10103-016-2116-3.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

В.В. Галлямутдинов – научный сотрудник, Многопрофильный центр лазерной медицины, Челябинск, Россия;

Е.С. Головнева – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, заместитель директора по научно-исследовательской работе, Многопрофильный центр лазерной медицины, Челябинск, Россия;

Г.В. Брюхин – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гистологии, эмбриологии и цитологии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия.

Статья поступила в редакцию 28.12.2021; одобрена после рецензирования 31.01.2022; принята к публикации 24.02.2022.

The authors declare no conflicts of interests.

Information about the authors

V.V. Gallyamutdinov – Researcher, Multidisciplinary Center of Laser Medicine, Chelyabinsk, Russia;

E.S. Golovneva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, South Ural State Medical University, Deputy Director for Research, Multidisciplinary Center for Laser Medicine, Chelyabinsk, Russia;

G.V. Bryukhin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Histology, Embryology and Cytology, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia.

The article was submitted 28.12.2021; approved after reviewing 31.01.2022; accepted for publication 24.02.2022.