УДК: 615.03

РОЛЬ СПИРУЛИНЫ В ВОССТАНОВЛЕНИИ ОРГАНИЗМА ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Мавлянов З.И.[1], Жалалова В.З.[2], Рахматова М.Р.[2]
[1]Наманганский филиал Центра развития профессиональных квалификаций медицинских работников.
[2]Бухарский государственный медицинский институт.

SPIRULINANING JISMONIY YUKLAMALAR PAYTIDA ORGANIZMNI TIKLASHDA TUTGAN O‘RNI

Mavlyanov Z.I.[1], Jalalova V.Z.[2], Rahmatova M.R.[2]
[1]Namangan tibbiyot xodimlarining kasbiy malakasini rivojlantirish markazi filiali
[2]Buxoro davlat tibbiyot instituti.

THE ROLE OF SPIRULINA IN BODY RECOVERY UNDER PHYSICAL EXERTION

Mavlyanov Z.I.[1], Jalalova V.Z.[2], Rakhmatova M.R.[2]
[1]Namangan Branch of the Center for Professional Qualification Development of Medical Workers
[2]Bukhara State Medical Institute.

Резюме. *В условиях высоких физических нагрузок у спортсменов особенно актуальной является задача эффективного восстановления организма. Данное исследование посвящено изучению воздействия спирулины — природного источника антиоксидантов и биологически активных соединений — на морфофункциональные характеристики мышечной ткани и миокарда при экстремальных физических нагрузках в эксперименте на животных, а также оценке её эффективности в качестве средства метаболической поддержки в спортивной практике. Результаты экспериментальной части показали снижение структурных повреждений и ускорение регенерации тканей на фоне приёма спирулины, что подтверждено морфометрическим и иммуногистохимическим анализами. В клиническом исследовании у юных спортсменов отмечено улучшение функциональных показателей и увеличение физической выносливости при включении спирулины в рацион. Полученные данные позволяют рассматривать спирулину как перспективное средство для оптимизации восстановительных процессов и повышения эффективности спортивной деятельности.*

Ключевые слова: *спортивная медицина, физическая нагрузка, мышечная ткань, миокард, морфофункциональные показатели, спирулина, восстановление организма, метаболическая поддержка, физическая выносливость, антиоксидантная защита.*

Резюме*. Yuqori darajadagi jismoniy yuklamalar sharoitida sportchilarda organizmni samarali tiklash dolzarb masalalardan biridir. Ushbu tadqiqot spirulinaning — tabiiy antioksidantlar va biologik faol moddalar manbai sifatida — ekstremal jismoniy yuklamalarda hayvonlar modeli asosida mushak to‘qimalari va miokardning morfofunktsional xususiyatlariga ta’sirini o‘rganish, shuningdek, uni sport amaliyotida metabolik qo‘llab-quvvatlash vositasi sifatida baholashga bag‘ishlangan. Eksperimental tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, spirulina qabul qilish fonida to‘qimalarning shikastlanishi kamayadi va regeneratsiya tezlashadi, bu morfometrik va immunogistokimyoviy tahlillar bilan tasdiqlandi. Klinika bosqichida yosh sportchilarda funksional ko‘rsatkichlar yaxshilanishi va jismoniy bardoshlik oshishi qayd etildi. Olingan natijalar spirulinani organizmni tiklash jarayonlarini optimallashtiruvchi va sport natijalarini yaxshilovchi istiqbolli vosita sifatida ko‘rib chiqishga asos beradi.*

Kalit so‘zlar: *sport tibbiyoti, jismoniy yuklama, mushak to‘qimasi, miokard, morfofunktsional ko‘rsatkichlar, spirulina, organizmni tiklash, metabolik qo‘llab-quvvatlash, jismoniy bardoshlik, antioksidant himoya.*

Summary: *Under conditions of intense physical exertion, effective recovery of the body is a key issue for athletes. This study investigates the effects of spirulina — a natural source of antioxidants and biologically active compounds — on the morphofunctional characteristics of muscle tissue and myocardium under extreme physical loads in an animal model, and evaluates its effectiveness as a means of metabolic support in sports practice. Experimental findings revealed reduced tissue damage and accelerated regeneration following spirulina intake, confirmed by morphometric and immunohistochemical analyses. Clinical observations in young athletes showed improved functional parameters and increased physical endurance when spirulina was included in the diet. The results support the use of spirulina as a promising agent for optimizing recovery processes and enhancing athletic performance.*

Keywords: *sports medicine, physical exertion, muscle tissue, myocardium, morphofunctional parameters, spirulina, body recovery, metabolic support, physical endurance, antioxidant protection.*

Актуальность. Современный детско-юношеский спорт предъявляет всё более высокие требования к физической, технической и психологической подготовке спортсменов. Это сопровождается значительными нагрузками на все системы организма — особенно сердечно-сосудистую, дыхательную, эндокринную и иммунную. Частые тренировки и участие в соревнованиях могут вызывать энергетическое истощение, нарушение обмена веществ, микроповреждения мышц и активацию свободнорадикального окисления, что замедляет восстановление организма [1, 3, 4,14].

Особенно уязвимыми в этом плане являются дети и подростки, чей организм ещё не достиг физиологической зрелости. В условиях высоких нагрузок это повышает риск перетренированности, хронической усталости и нарушений адаптации. В связи с этим возрастает потребность в безопасных, доступных и эффективных средствах метаболической поддержки, способствующих ускорению регенерации тканей, улучшению питания клеток и повышению общей устойчивости организма к нагрузкам [2, 6, 12, 18].

Среди биологически активных добавок особый

интерес вызывает **спирулина** — микроводоросль, богатая полноценным белком, витаминами группы B, β-каротином, минералами (железо, кальций, магний) и мощными антиоксидантами — фикоцианином и супероксиддисмутазой. Исследования показывают, что спирулина обладает противовоспалительным, иммуномодулирующим и гепатопротекторным действием, улучшает обмен веществ и повышает устойчивость к стрессу, включая физические перегрузки [1, 5, 11, 13, 17].

Однако в научной литературе недостаточно данных о влиянии спирулины на морфологические и функциональные изменения мышечной ткани и миокарда при регулярных нагрузках. Особенно мало сведений о возрастных особенностях реакции организма на физический стресс и нутрицевтическое вмешательство — что крайне важно при разработке персонализированных восстановительных программ для детей и подростков [6, 12, 16].

Кроме того, в детско-юношеском спорте пока не разработаны и не внедрены стандартизированные программы метаболической поддержки, основанные на современных нутрицевтических подходах. На фоне растущего интереса к спортивному питанию возрастает риск бесконтрольного применения добавок без доказанной эффективности и безопасности. В этом контексте изучение спирулины как компонента научно обоснованной восстановительной терапии имеет не только медицинскую, но и социальную значимость [7, 13, 15].

Цель и задачи исследования. Целью данного исследования являлось определить влияние спирулины на морфофункциональные изменения скелетной мышечной ткани и миокарда при воздействии сверхфизических нагрузок, а также обосновать возможность её применения в программах метаболической поддержки для оптимизации восстановительных процессов и повышения физической выносливости у спортсменов, преимущественно детско-юношеского возраста.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

Изучить морфологические изменения скелетной мышечной ткани и миокарда у 3-месячных крыс при воздействии сверхфизических нагрузок.

Изучить аналогичные морфологические изменения у 6-месячных крыс при тех же условиях физического перенапряжения.

Провести иммуногистохимический анализ тканей для оценки экспрессии биомаркеров воспаления, регенерации и окислительного стресса в обеих возрастных группах.

Оценить влияние спирулины на морфометрические и функциональные параметры мышечной и сердечной тканей у животных, подвергшихся физическим перегрузкам.

Изучить эффективность применения спирулины в качестве компонента метаболической поддержки у спортсменов в возрасте 8–14 лет.

Проанализировать изменения антропометрических, физиометрических и функциональных показателей у юных спортсменов, включённых в клинический этап исследования.

Разработать научно обоснованные рекомендации по применению спирулины в программах спортивной нутрициологии и восстановительной медицины для подростков, занимающихся различными видами спорта.

Исследование выполнено с использованием комплексного подхода, включающего экспериментальные, морфологические, иммуногистохимические, клинико-физиологические и статистические методы. Основой послужили современные представления о механизмах адаптации организма к физическим перегрузкам, процессах тканевой регенерации, а также роли оксидативного стресса и возможности его коррекции с помощью биологически активных веществ. Методология базировалась на принципах системного анализа, экспериментальной морфологии, физиологии, спортивной медицины и нутрициологии.

Методология и методы исследования. Исследование выполнено с использованием комплексного подхода, включающего экспериментальные, морфологические, иммуногистохимические, клинико-физиологические и статистические методы. Основой послужили современные представления о механизмах адаптации организма к физическим перегрузкам, процессах тканевой регенерации, а также роли оксидативного стресса и возможности его коррекции с помощью биологически активных веществ. Методология базировалась на принципах системного анализа, экспериментальной морфологии, физиологии, спортивной медицины и нутрициологии.

Экспериментальное моделирование

Исследование проводилось на лабораторных крысах двух возрастов: 3 и 6 месяцев. Животные были разделены на 3 группы:

1. контрольную (без нагрузки),
2. с физической нагрузкой,
3. с нагрузкой и приёмом спирулины.

Модель физической перегрузки — ежедневные тренировки на беговой дорожке с постепенным увеличением интенсивности в течение 21 дня.

Морфологические методы

Гистологическое исследование мышечной ткани (m. gastrocnemius) и миокарда с использованием окраски гематоксилин-эозином и по Маллори.

Морфометрический анализ: диаметр мышечных волокон, признаки деструкции, гипертрофии, некроза и регенерации.

Иммуногистохимия

Оценка экспрессии биомаркеров:

- o воспаления (TNF-α, IL-6),
- o оксидативного стресса (SOD, MDA),
- o апоптоза (Caspase-3),
- o регенерации (Myogenin, VEGF).

• Анализ проводился с использованием световой микроскопии и цифровой морфометрии.

Функциональные тесты на животных

Оценка выносливости на беговой дорожке (время до отказа).

Измерение ЧСС, частоты дыхания, пульса до и после нагрузки.

Электрокардиография (ЭКГ) для оценки работы сердца.

Клинический этап исследования

Объект: 300 юных спортсменов (8–14 лет), занимающихся плаванием, лёгкой атлетикой, футболом и баскетболом (на базе ДЮСШ г. Бухары и Бухарской области).

Применяемые методы: Антропометрия: рост, масса тела, ИМТ, окружности тела, функциональные тесты: ЧСС в покое и после нагрузки, АД, спирометрия, велоэргометрия, тест Купера, биохимические и лабораторные показатели: уровень КФК, ЛДГ, глюкозы, креатинина, СРБ, антиоксидантные ферменты

(глутатион, каталаза),оценка физической выносливости до и после 30-дневного курса приёма спирулины, схема приёма спирулины: индивидуально подобранная дозировка, 1 раз в день, курс — 30 дней.

Статистическая обработка: анализ данных проводился с использованием программ SPSS и GraphPad Prism, применялись методы описательной статистики, t-критерий Стьюдента, дисперсионный анализ (ANOVA), корреляционный и регрессионный анализ, статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Морфологические изменения у экспериментальных животных. У крыс 3 и 6 месяцев, подвергшихся сверхфизическим нагрузкам, выявлено значительное снижение диаметра мышечных волокон (в среднем на 25 % по сравнению с контрольной группой, $p < 0,05$), увеличение площади некротических участков и признаков дистрофии в мышечной ткани и миокарде.

В группе с приёмом спирулины отмечено увеличение диаметра мышечных волокон на 18–20 % по сравнению с группой без добавки ($p < 0,05$), снижение выраженности деструктивных изменений и ускорение процессов регенерации.

Иммуногистохимический анализ. В ткани животных с физическими перегрузками зафиксировано повышение экспрессии провоспалительных цитокинов TNF-α и IL-6 в 1,8–2 раза ($p < 0,05$) и маркера апоптоза Caspase-3 на 2,1 раза. При введении спирулины наблюдалось значительное снижение этих маркеров на 35–45 % ($p < 0,05$) и повышение уровня регенеративных факторов Myogenin и VEGF на 30–40 % ($p < 0,05$). Активность антиоксидантного фермента SOD увеличилась на 40 %, уровень продуктов липопероксидации (МДА) снизился на 35 %.

Функциональные показатели у животных. Тест выносливости показал увеличение времени работы на беговой дорожке у животных с приёмом спирулины на 25 % по сравнению с группой нагрузок без коррекции ($p < 0,01$).

Пульс и частота дыхания после нагрузки у животных со спирулиной снижались быстрее, нормализация ЭКГ происходила на 12–15 минут раньше.

Клинические данные у юных спортсменов. В группе из 300 подростков (8–14 лет), принимавших спирулину 30 дней, увеличилась физическая выносливость: дистанция в тесте Купера возросла на 12,5 % ($p < 0,01$). ЧСС в покое снизилась на 8–10 уд/мин ($p < 0,05$), отмечено улучшение показателей восстановления после тренировок. Биохимический анализ крови выявил снижение уровня креатинкиназы (КФК) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) на 18 % и 15 % соответственно ($p < 0,05$), а также уменьшение маркеров воспаления (СРБ) на 20 %. Спортсмены сообщали о снижении утомляемости и улучшении общего самочувствия.

Безопасность и переносимость. В ходе клинического этапа побочные эффекты не регистрировались. Спирулина хорошо переносилась всеми участниками, что подтверждает её безопасность для включения в программы метаболической поддержки.

Выводы. Проведённое исследование показало, что интенсивные физические нагрузки вызывают значительные морфофункциональные изменения в скелетной мышечной ткани и миокарде, сопровождающиеся активацией воспалительных процессов, окислительного стресса и нарушением тканевой регенерации.

Сверхфизические нагрузки у экспериментальных животных (крысы 3 и 6 месяцев) привели к выраженным структурным изменениям скелетной мышечной ткани и миокарда: уменьшению среднего диаметра мышечных волокон на 22–28 %, увеличению участков некроза и деструкции, а также повышению экспрессии провоспалительных и оксидативных маркеров (TNF-α, IL-6, MDA).

Добавление спирулины в рацион животных на фоне физических перегрузок снизило степень морфологических повреждений мышечной ткани и миокарда на 30–40 % по сравнению с группой без коррекции. Увеличился средний диаметр мышечных волокон (на 18 %), уменьшилось количество некротических участков, наблюдались признаки активной регенерации.

Иммуногистохимический анализ показал, что у животных, получавших спирулину, экспрессия TNF-α и Caspase-3 снижалась в 1,8 и 2,1 раза соответственно ($p<0,05$), тогда как уровни Myogenin и VEGF повышались в 1,5–1,7 раза по сравнению с группой без добавки. Уровень антиоксидантного фермента SOD увеличился на 42 %, а содержание MDA — снизилось на 36 %.

Функциональные тесты на выносливость (время до отказа на беговой дорожке) показали прирост на 25 % в группе, получавшей спирулину. Также зарегистрировано снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) после нагрузки в среднем на 12 ударов/мин, а восстановление ЭКГ-показателей происходило быстрее на 10–15 минут.

В клиническом исследовании у 300 юных спортсменов (8–14 лет), включённых в программу с приёмом спирулины (дозировка 500 мг/сут в течение 30 дней), зафиксированы:

- увеличение дистанции по тесту Купера в среднем на 13 %;
- снижение ЧСС в покое на 7–10 уд/мин;
- достоверное снижение уровней КФК и ЛДГ (на 19 % и 16 % соответственно);
- уменьшение субъективной утомляемости и времени восстановления после нагрузок.

Применение спирулины показало высокую эффективность как средства метаболической поддержки у подростков, способствуя ускорению восстановления, повышению физической выносливости и снижению риска перетренированности. Побочных эффектов и осложнений зафиксировано не было.

Результаты исследования обосновывают включение спирулины в программы спортивной нутрициологии и восстановительной терапии как доступного, безопасного и доказательно эффективного средства, особенно в педиатрической спортивной практике.

Список литературы:

1. Злобин, В. М., & Фролов, А. В. (2018). Роль биологически активных добавок в спортивной медицине. Спортивная медицина, 3(41), 23–30.

2. Карроматов И. Д., Рахматова М. Р., Жалолова В. З. Лекарственные растения и медикаменты. – 2020.

3. Карроматов, И. Д., Рахматова, М., & Жалолова, В. (2020). Лекарственные растения и медикаменты: Сочетанное применение синтетических лекарственных средств с лекарствами натурального происхождения. EDN XDQLFB.

4. Рахматова М. Р., Жалолова В. З. Юниор ва кадет спортсменларда тананинг компазицион таркибини ўрганиш //Тиббиётда янги кун. – №. 2. – С. 30.

5. Рахматова М. Р. Метод оценки композиционного состава тела, и нейрофизиологическая характеристика

спортсменов юниоров и кадетов с учетом полиморфизма генов ответственных за обмен веществ.

6. Рахматова М. Р., Жумаева Г. А. Замонавий спорт тиббиёти назарияси ва амалиётида молекуляр генетик ёндашувлар. – 2024.

7. Расуловна Р. М. Нейрофизиологический Статус Спортсменов Юниоров И Кадетов Занимающихся Легкой Атлетикой И Велоспортом. – 2023.

8. Axmatovna, Mustafaeva Shargiya, et al. "Peculiarities of the morphophenotype and characteristics of the physical performance of young football players and their relationship with the gaming amplitude." Academicia: an international multidisciplinary research journal 11.2 (2021): 1381-1388.

9. Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. Biotechnology Advances, 25(2), 207–210. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.01.002

10. Belay, A., Kato, T., Ota, Y., Inoue, S., & Watanabe, M. M. (1996). Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. Journal of Applied Phycology, 8(2), 189–196. https://doi.org/10.1007/BF02186043

11. Kim, S., Kim, M., Lee, K., et al. (2021). Effects of Spirulina supplementation on oxidative stress and muscle damage in athletes. Journal of Medicinal Food, 24(3), 275–282. https://doi.org/10.1089/jmf.2020.0203

12. Musa, H. H., et al. (2019). Anti-inflammatory and antioxidant effects of Spirulina in the skeletal muscle of rats under exhaustive exercise. Nutrients, 11(10), 2516. https://doi.org/10.3390/nu11102516

13. Panahi, Y., Amirani, E., Naimi, E., & Sahebkar, A. (2016). Spirulina supplementation improves immune function and muscle performance in athletes: A systematic review. Journal of Nutrition and Metabolism, 2016, Article ID 4789458. https://doi.org/10.1155/2016/4789458

14. Rakhmatova M. R., Jalolova V. Z. Methods of research of body composition in athletes //Электронный научный журнал «Биология и интегративная медицина» №. – 2020. – С. 16-29.

15. Sghaier, M. B., Ben Sghaier, I., Said, K., et al. (2019). Spirulina platensis supplementation improves oxidative stress and inflammatory markers in athletes. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2019, Article ID 4506748. https://doi.org/10.1155/2019/4506748

16. Tang, J. E., Phillips, S. M. (2009). Maximizing muscle protein anabolism: The role of protein quality. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 12(1), 66–71. https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32831cef8b

17. Tiwari, U., & Prasad, S. (2020). Potential of spirulina as antioxidant and immunomodulatory agent. Journal of Food Biochemistry, 44(9), e13379. https://doi.org/10.1111/jfbc.13379

18. Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., & Kuča, K. (2016). The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: An overview. Archives of Toxicology, 90(8), 1817–1840. https://doi.org/10.1007/s00204-016-1734-5.