

Рис. 3 – Торец коллектора при подсветке каналов синим и красным цветом

По результату круговой съемки можно произвести разбраковку жгутов по количеству поломанных волокон и проценту пустот, не заполненных волокнами, а также визуально определить степень рандомизации.

#### *Библиографический список*

1. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. Под ред. Э. Удда: - М. : Техносфера, 2008.- 520 с.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики 2-е изд., доп., М.: Техносфера, 2008.- 400 с.
3. Дианов Е.М. Волоконная оптика: сорок лет спустя. Квантовая Электроника. 2010, т. 40, №1.
4. Явелов И.С., Каплунов С.М., Даниелян Г.Л. Волоконно-оптические измерительные системы. Прикладные задачи // Под ред. д.т.н. С.М. Каплунова.- М. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010.- 304 с.
5. Явелов И.С. Механопульсография и основные феномены сердечно - сосудистой системы. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2020. – 196 с.

УДК 612.135:615.47

#### **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМАХ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ**

И.Ю. Власов<sup>1</sup>, Ю.И. Локтионова<sup>1</sup>, Е.В. Жарких<sup>1</sup>, Г.М. Бойко<sup>2</sup>, И.В. Быкова<sup>2</sup>,  
Ф.Б. Литвин<sup>3</sup>, А.В. Дунаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,  
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел

<sup>2</sup>Брянский государственный технический университет, г. Брянск

<sup>3</sup>Смоленский государственный университет спорта, г. Смоленск

*В работе рассмотрены результаты оценки изменений параметров микроциркуляторно-тканевых систем у спортсменов-тяжелоатлетов, измеренных методами лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Были выявлены адаптационные изменения в системе микроциркуляции крови как результат реакции организма на физическую нагрузку, а именно повышение температуры и усиление кровотока.*

**Ключевые слова:** *лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, микроциркуляторно-тканевые системы, микроциркуляция крови, тренировочный процесс, спорт*

## **ASSESSMENT OF CHANGES IN MICROCIRCULATORY-TISSUE SYSTEMS IN WEIGHTLIFTERS DURING EXERCISE**

I.Yu. Vlasov<sup>1</sup>, Yu.I. Loktionova<sup>1</sup>, E.V. Zharkikh<sup>1</sup>,

G.M. Boiko<sup>2</sup>, I.V. Bykova<sup>2</sup>, F.B. Litvin<sup>3</sup>, A.V. Dunaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and development center of biomedical photonics,

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

<sup>2</sup>Bryansk State Technical University, Bryansk

<sup>3</sup>Smolensk State Academy of Physical Education, Smolensk

*The study considers the results of evaluation of the changes in microcirculatory-tissue systems parameters in weightlifters measured by laser Doppler flowmetry (LDF) and fluorescence spectroscopy (FS) methods. Adaptive changes in microcirculatory bed, namely increase in temperature and increased blood flow, were detected as a result of the body's response to physical activity.*

**Key words:** *laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, microcirculatory-tissue systems, blood microcirculation, training process, sport*

На сегодняшний день проблема результативности тренировочного процесса обусловлена отсутствием объективного контроля функционального состояния организма, в частности параметров микроциркуляторного кровотока. Возможным решением может стать использование методов лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС) и дальнейший анализ полученных данных, что позволило бы повысить результативность тренировок, оптимизировать индивидуальную нагрузку для каждого из спортсменов [1]. Целью исследования явилась оценка реакции организма на физическую нагрузку, испытываемую спортсменами-тяжелоатлетами в течение тренировочного процесса.

В настоящем исследовании использовался метод ЛДФ, основанный на зондировании тканей инфракрасным лазерным излучением и анализе обратно отраженного от эритроцитов света. Метод ЛДФ позволяет оценить колебательные процессы в микроциркуляторном русле: эндотелиальный ( $A_{\text{э}}$ , 0,01-0,021 Гц), нейрогенный ( $A_{\text{н}}$ , 0,021-0,05 Гц), миогенный ( $A_{\text{м}}$ , 0,05-0,15

Гц), дыхательный ( $A_d$ , 0.15-0,6 Гц) и сердечный ( $A_c$ , 0.6-2 Гц)[2]. Также применялся метод ФС, при котором анализируется флуоресценция живых тканей, являющаяся ответной реакцией на монохроматическое световое излучение, что позволяет оценивать состояние тканевого кислородного метаболизма

Исследование проводилось на четырех условно-здоровых спортсменах-тяжелоатлетах: 2 волонтерах мужского пола и 2 женского, средний возраст –  $20 \pm 5$  лет. Измерения длились по 7 минут, проводились на этапах до (До), сразу после физической нагрузки (После) и через 30 минут после окончания тренировки (После 30 мин). Силовая нагрузка на каждой тренировке распределялась следующим образом: 70% уделялось на мышцы нижних конечностей и тазового пояса, остальные 30% - на плечевой пояс и верхние конечности. Спортсмен располагался лежа, портативные устройства для анализа микроциркуляции крови «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия) закреплялись на внешних сторонах предплечий и на внутренних сторонах голеней.

На рисунке 1 представлены графики измеренных параметров, разделенные по периодам и зонам измерения.

После осуществления физической нагрузки у исследуемых происходит увеличение показателя микроциркуляции (ПМ), что говорит об увеличении интенсивности кровотока во время исследования. Время до начала снижения этого параметра до уровня состояния покоя индивидуально для каждого из волонтеров. Амплитуды сердечных колебаний ( $A_c$ ) статистически значимо увеличиваются у всех волонтеров сразу после тренировки и на этапе «После 30 мин», что ассоциировано с увеличением притока артериальной крови в микроциркуляторное русло. Наблюдается тенденция возрастания амплитуд флуоресценции НАДН ( $A_{\text{НАДН}}$ ) в руках на этапах «После» и «После 30 мин», что может свидетельствовать о нехватке кислорода для окисления НАДН в следствие его активного поглощения тканями. Время восстановления параметра индивидуально для каждого из спортсменов.

Также были получены данные по другим параметрам. Так, возросли амплитуды дыхательных осцилляций ( $A_d$ ) во всех областях исследования на этапах «После» и «После 30 мин», что может являться следствием увеличения экскурсии грудной клетки. Температура ( $T$ ) возрастает у всех добровольцев после тренировки, что происходит из-за физической нагрузки, усиливающей кровоток в конечностях. Эффект сохраняется и на этапе «После 30 мин». Из оцениваемых амплитуд активных колебаний наиболее заметна тенденция изменения миогенных осцилляций ( $A_m$ ), которые обусловлены состоянием мышечного тонуса прекапилляров, регулирующим приток крови в нутритивное русло. В ногах повышение их амплитуд более ярко выражено.

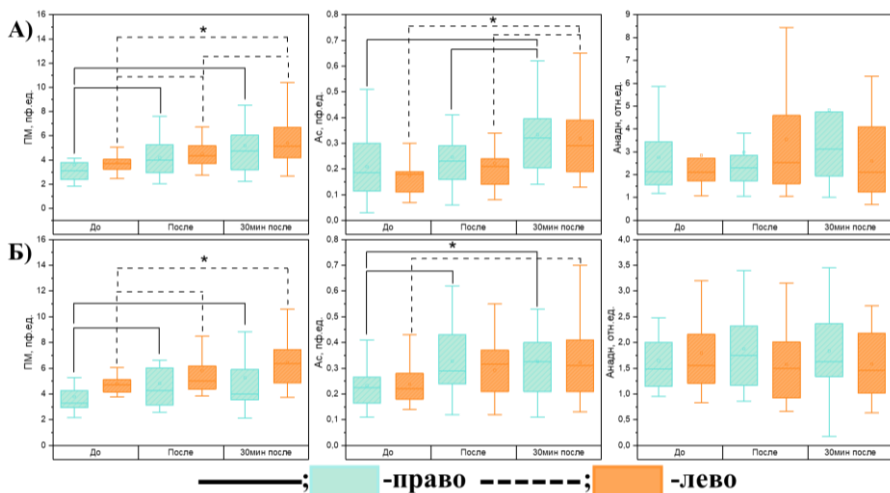


Рис. 1 – Показатель микроциркуляции, сердечные осцилляции и амплитуда флуоресценции НАДН на разных стадиях тренировочного процесса (А – предплечья; Б – голени)

\* – статистически значимое различие (тест Манна-Уитни,  $p < 0,05$ )

Таким образом, в результате анализа измеренных данных были зафиксированы изменения в микроциркуляторно-тканевых системах спортсменов, являющиеся реакцией организма на физическую нагрузку. Продолжение исследований с использованием методов ЛДФ и ФС позволит сравнить изменения в микроциркуляторном русле в зависимости получаемой нагрузки, где объективным критерием станет результат выступления спортсмена на различных соревнованиях.

#### *Библиографический список*

1. Дунаев А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с.: ил.
2. Крупаткин А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. Изд. 2.е. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 496 с.