

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 681.2.082:615.849.19

П.М. БЕЛЫХ, И.Н. НОВИКОВА, А.В. ДУНАЕВ, Е.В. ШУРАЕВА

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ПО АНАЛИЗУ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО–ТКАНЕВЫХ СИСТЕМ БИОТКАНЕЙ

Данная работа посвящена оценке эффективности применения ортопедического средства в виде варежки, применяемой при синдроме Рейно, вибрационной болезни и ряде других заболеваний микроциркуляторно–тканевых систем организма. Приведена методика проведения эксперимента, описаны расчётные параметры и представлены результаты исследований изменений параметров микроциркуляторно–тканевых систем до и после использования ортопедического средства.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, оптическая тканевая оксиметрия, пульсоксиметрия, флуоресцентная спектроскопия, ортопедическое средство, микроциркуляторно–тканевые системы.

Долгое время в медицине существует проблема диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушением микроциркуляторно–тканевых систем (МТС) организма человека, к примеру, таких как вибрационная болезнь, синдром Рейно, последствия травм, переломов и другие патологии [1]. Для лечения подобных заболеваний чаще всего применяют различные инвазивные методы, специальные мази, крема, массажи и также широко применяют ортопедические средства, эффективность которых обуславливается особенностью их конструкции, способом применения, длительностью применения, свойствами наполнителя [2].

На сегодняшний день рынок современной медицины переполнен многообразием различных ортопедических средств, из которых очень трудно выбрать наиболее эффективные. Одним из таких средств является ортопедическое изделие из микросфер в виде варежки (ООО «Альсария», г. Орёл), представленное на рисунке 1.



Рисунок 1 – Ортопедическое средство на основе микросфер (варежка)

Основная особенность данного ортопедического изделия заключается в том, что оно состоит из наполнителя, который представляет собой смесь из микростеклофер (микросфер): натриевоборосиликатного стекла размерами 15–200 мкм и микростеклофер из калий–натриевого стекла размерами 50–160 мкм с кремнийорганическим покрытием, который находится в двух чехлах (внутреннем и внешнем). Структура смеси микростеклофер во внутреннем чехле представлена на рисунке 2 [3].

За счет наличия специального наполнителя микросфер ортопедическое средство, по мнению производителя [4], обладает рядом специфических свойств, которые должны улучшить кровоток в конечностях, а именно: эффектом псевдоневесомости, эффектом отражения, обеспечивающим воздействие лечебным инфракрасным излучением и так называемым «эффектом биорезонанса», а также saniрующим и антиаллергическими эффектами.



Рисунок 2 – Структура смеси микростеклофер во внутреннем чехле ортопедического средства

Эффект псевдоневесомости реализуется за счет схожести свойств наполнителя со свойствами жидкости, такими как внутренний коэффициент трения (или вязкость), благодаря которому наполнитель оказывает наименьшее сопротивление изменению формы при неизменном объеме и сохраняет способность при воздействии внешнего давления передавать это давление по всем направлениям одинаково [3]. Данное свойство приводит к улучшению кровоснабжения тканей и органов, происходит стимуляция системы микроциркуляции крови, улучшается трофика, что обеспечивает более интенсивное протекание репаративных процессов. Псевдоневесомость также способствует максимальному расслаблению мышц при применении ортопедических свойств.

Эффект отражения позволяет распределить в процессе проведения процедуры (применение ортопедического средства) инфракрасное тепло человеческого тела. Инфракрасное излучение проникает в глубокие слои биоткани и может приводить к прогреванию всей толщи кожных покровов и подкожных тканей, в результате может происходить повышение потенциальной энергии клеток организма, может повышаться деятельность специфических клеточных структур, расти уровень иммуноглобулинов, увеличиваться активность ферментов и эстрогенов [3, 4]. Увеличение температуры может вызывать увеличение локального кровотока, как следствие, возрастает объем крови циркулирующей в тканях, ускоряются обменные процессы. Активация микроциркуляторного русла и повышение проницаемости сосудов может способствовать дегидратации воспалительного очага и удалению продуктов распада клеток. Использование данного ортопедического средства может приводить к ускорению заживления ран и трофических язв за счет активации пролиферации и дифференцировки фибробластов.

Таким образом, применение данных ортопедических средств на основе микросфер может приводить к значительным положительным изменениям в состоянии МТС биотканей, связанных в первую очередь с состоянием периферического кровотока и динамикой утилизации кислорода тканями. Оценка отклика МТС на внешнее воздействие является актуальной и важной задачей при использовании ортопедического средства и анализе эффективности его применения. Следует отметить, что ранее уже предпринимались попытки [5] оценить изменения параметров системы микроциркуляции крови при применении данного ортопедического средства с помощью лишь лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Однако, оценка изменений комплексных па-

раметров МТС (тканевое дыхание и др.) с помощью и других неинвазивных оптических методов диагностики не была проведена.

Таким образом, основной целью данной работы явилась оценка изменений комплексных параметров микроциркуляторно–тканевых систем биотканей в результате применения ортопедического средства в виде варежки из микросфер.

В настоящее время для исследования МТС широкое применение получили различные оптические неинвазивные технологии. В данной работе применялись такие, как ЛДФ, оптическая тканевая оксиметрия (ОТО), пульсоксиметрия (ПО) и флуоресцентная спектроскопия (ФС) [6].

Метод ЛДФ основан на неинвазивном зондировании ткани лазерным излучением и регистрации отраженного и рассеянного излучения от движущихся эритроцитов в диагностическом объеме (около 2–3 мм³ при зондировании ИК–излучением). Основным регистрируемым параметром является показатель микроциркуляции, измеряемый в относительных перфузионных единицах, который определяется следующим выражением [7]:

$$I_m = K \cdot N_{\text{эп}} \cdot V_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где I_m – показатель микроциркуляции (ПМ);
 K – коэффициент пропорциональности;
 $N_{\text{эп}}$ – среднее количество эритроцитов;
 $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость эритроцитов в зондируемом объеме.

Значение данного параметра варьируется в зависимости от анатомической области и зависит от пространственной ориентации направлений основных потоков крови [6].

Метод оптической тканевой оксиметрии основан на спектрофотометрическом анализе различных фракций гемоглобина при зондировании биоткани излучением двух диапазонов длин волн (красного 630 нм и зеленого 530 нм). Основными регистрируемыми параметрами являются тканевая сатурация (S_tO_2), определяемая выражением (2), которая показывает долю фракций оксигемоглобина по отношению к различным фракциям гемоглобина, и уровень объемного кровенаполнения, который рассчитывается по формуле (3) и показывает процентное содержание различных фракций гемоглобина в диагностируемом объеме биоткани [6, 8]:

$$S_tO_2 = \frac{C_{HbO_2}}{C_{HbO_2} + C_{Hb}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где S_tO_2 – тканевая сатурация;
 C_{HbO_2} – молярная концентрация оксигемоглобина;
 C_{Hb} – молярная концентрация дезоксигемоглобина.

$$V_b = \frac{C_{HbO_2} + C_{Hb}}{C_{HbO_2} + C_{Hb} + C_{\text{other}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где V_b – объемное кровенаполнение;
 C_{other} – молярная концентрация всех остальных (других, то есть сторонних) оптических поглотителей в ткани.

Как известно, метод пульсоксиметрии основан на способности гемоглобина, связанного (HbO_2) и не связанного с кислородом (Hb), абсорбировать свет различной длины волны. Измеряя разницу между количеством света, абсорбируемого во время систолы и диастолы, данный метод позволяет определить процентное содержание (сатурацию) оксигемоглобина в артериальной крови [9].

Флуоресцентная спектроскопия основана на зондировании биообъекта излучением в видимой области спектра с целью возбуждения эндогенных и экзогенных флуоресцирующих биомаркеров кожи (NADH, флавины, липофусцины, порфирины и др.) и регистрации спектров флуоресценции. Данный метод позволяет регистрировать и анализировать *in vivo* содержание в тканях и органах веществ, определяющих метаболизм и жизнеспособность клеток и тканей [10].

Для оценки изменений параметров МТС при применении ортопедического средства на основе микросфер была проведена серия тестовых экспериментов на добровольце мужского пола (25 лет) с синдромом холодных рук (температура пальцев рук 23–30°C) с использованием многофункционального лазерного неинвазивного диагностического комплекса (МЛНДК) «ЛАКК–М» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва), представленного на рисунке 3 [11]. Данный комплекс предназначен для совместного исследования в одном диагностируемом объеме биоткани параметров ее жизнедеятельности (МТС) всеми рассмотренными выше неинвазивными оптическими методами (ЛДФ, ОТО, ПО, ФС).

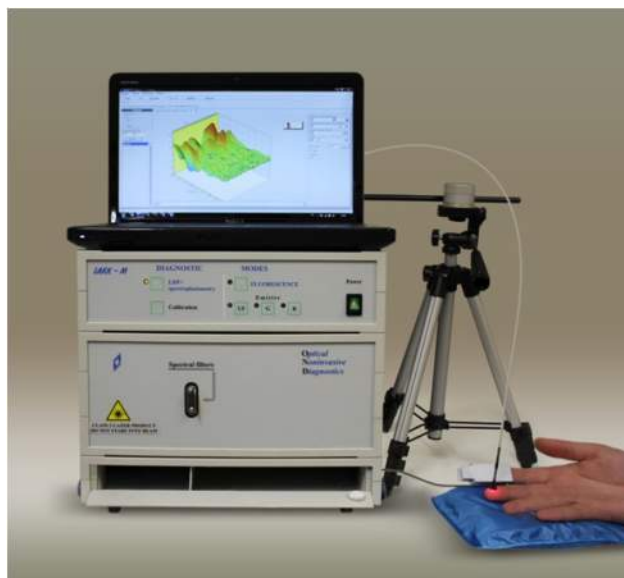


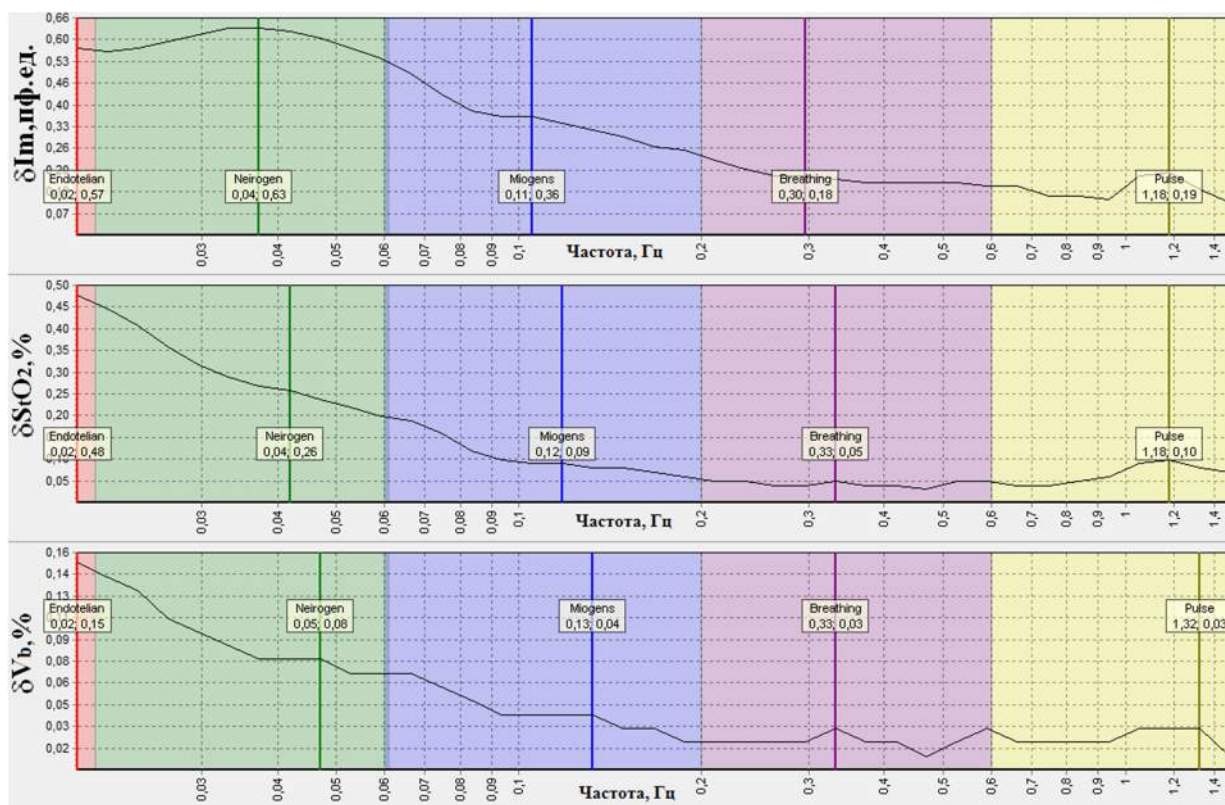
Рисунок 3 – Многофункциональный лазерный неинвазивный диагностический комплекс «ЛАКК–М»

Эксперимент заключался в регистрации базового теста ЛДФ– и ОТО–грамм длительностью 3 мин, измерение артериальной сатурации с помощью ПО и интенсивности флуоресценции биомаркеров (NADH, флавины) при помощи ФС, до и после применения ортопедического средства в двух областях биоткани правой руки: в области с артерио–венными анастомозами (АВА) – мякиш среднего пальца, которая наиболее подвержена различным регуляторным механизмам, и в области без АВА на предплечье (на срединной линии на 3–4 см выше шиловидных отростков локтевой и лучевой костей), которая является менее чувствительной и характеризует, прежде всего, нутритивный кровоток. Измерения проводились в дневное время суток, в состоянии физического и психического покоя, с предварительной адаптацией испытуемого к температуре помещения 20–23 °С и регистрацией температуры области исследования. Всего было проведено 6 экспериментов (по 3 для каждой области исследований). Длительность применения ортопедического средства (время экспозиции) составляла 15 мин, длительность одного эксперимента с учётом всех измерений в 2–х областях – около 30 мин.

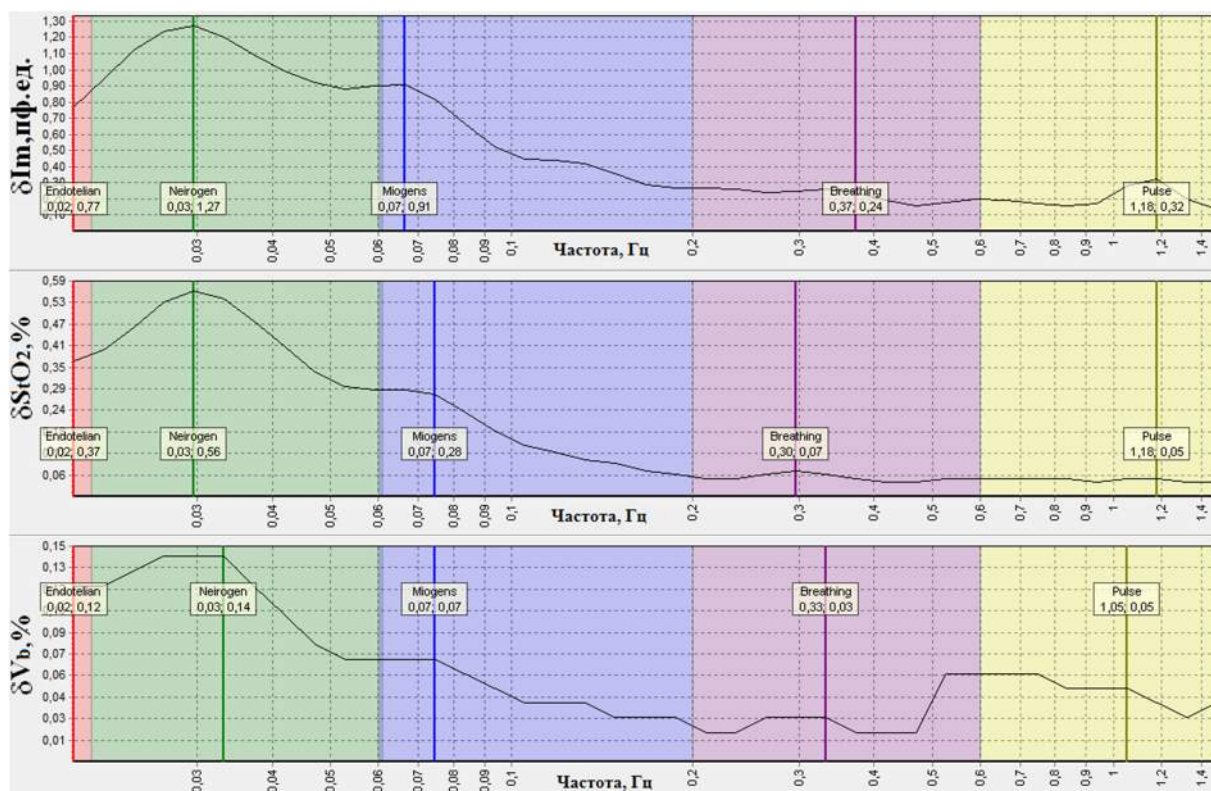
Таким образом, при проведении экспериментов производилась регистрация показателя микроциркуляции (I_m), тканевой сатурации (S_tO_2), уровня объёмного кровенаполнения (V_b), артериальной сатурации (S_aO_2) и амплитуд интенсивности флуоресценции коферментов биоткани (NADH и флавинов). С использованием встроенного программного обеспечения производился амплитудно–частотный анализ (непрерывное вейвлет–преобразование) ЛДФ– и ОТО–грамм [12]. Примеры амплитудно–частотного анализа ЛДФ– и ОТО–грамм до и после применения ортопедического средства приведены на рисунке 4.

На основании измеренных параметров производился расчет комплексных параметров МТС биотканей [13], таких, как: индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке (S_m); индексы удельного потребления кислорода в ткани (U_1 , U_2); показатель тканевого кислородного метаболизма – редокс–отношение (RR), рассчитываемый как отношение амплитуд интенсивности флуоресценции NADH (диапазон длин волн флуоресценции 450–

460 нм) к флавинам (длины волн 530–550 нм). Пример регистрации спектра флуоресценции кожи на мякише среднего пальца правой руки приведён на рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 4 – Примеры регистрации амплитудно – частотных спектров ЛДФ – и ОТО грамм до (а) и после (б) применения ортопедического средства

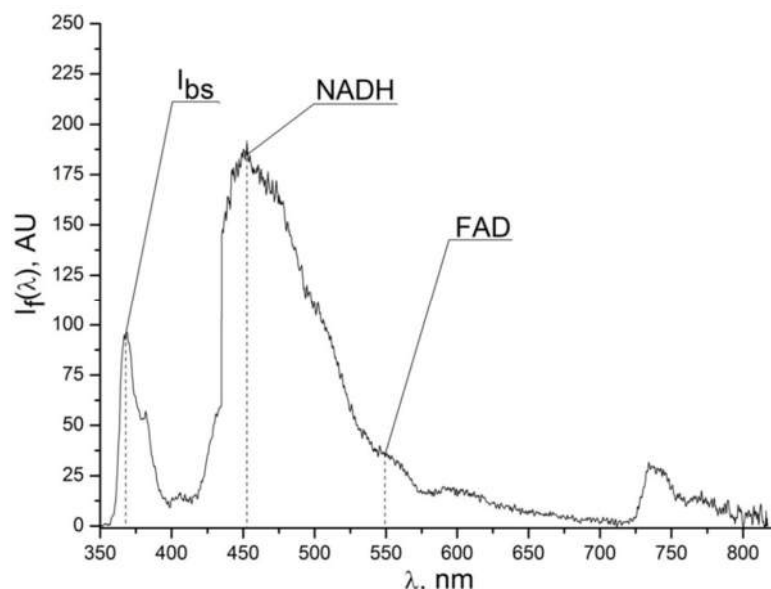


Рисунок 5 – Типовой вид регистрируемых спектров флуоресценции кожи на мякисе среднего пальца правой руки

В соответствии с методикой [14] производился расчет параметров тканевого дыхания, а именно – сатурации венозной крови (S_vO_2), показателя шунтирования (BI), величины нутритивного кровотока (I_{nutr}), показателя экстракции кислорода (OE) и скорости потребления кислорода (OC).

Для комплексной диагностики транспорта кислорода в МТС и его потребления тканями на основе всех 4-х применяемых методов (ЛДФ, ОТО, ПО, ФС) рассчитывалась эффективность кислородного обмена (ЭКО) [6]:

$$ЭКО = I_m \cdot U_1 \cdot RR, \quad (4)$$

где U_1 – индекс удельного потребления кислорода в ткани:

$$U_1 = (S_aO_2/S_vO_2). \quad (5)$$

Приведённые комплексные параметры являются более информативными характеристиками состояния МТС по сравнению с их оценкой отдельными методами, так как микроциркуляция значительно переменна и адаптируется под конкретные физиологические потребности ткани. Комплексный подход к исследованию ткани *in vivo* позволяет получать взаимодополняющие данные о микрогемодинамике, потреблении кислорода и состоянии обменных процессов для их анализа и принятия решений как по диагностике заболеваний, так и по эффективности их лечения и профилактики, например, с помощью ортопедического средства в виде варежки из микросфер.

Результаты экспериментальных исследований в виде измеренных и расчётных комплексных параметров МТС биотканей в двух областях (с АВА и без АВА) до и после применения ортопедического средства представлены в таблице 1.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что после применения ортопедического средства в области с АВА наблюдается тенденция к увеличению значения общей перфузии (6,1±2,3 пф.ед. и 11,8±4,4 пф.ед.), а также наблюдается уменьшение показателя шунтирования (5,1±1,3 отн.ед. и 3,5±0,8 отн.ед.), уровня венозной сатурации (67,2±1,8% и 66,5±4,3%) и увеличение нутритивного кровотока (1,4±0,9 пф.ед. и 3,3±0,6 пф.ед.), что может свидетельствовать о том, что большая часть кровотока движется в нутритивном русле, минуя шунтирующие сосуды.

Соответственно, увеличение кровотока в нутритивном русле приводит к увеличению скорости потребления кислорода (53,5±51,4 отн.ед. и 105,1±30,0 отн.ед.). Кроме того, из представленной таблицы видно, что применение ортопедического средства приводит к изменениям комплексных параметров МТС биотканей, а именно – снижению индекса относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке (14,0±4,2 отн.ед. и 7,7±3,3

отн.ед.) и увеличению эффективности кислородного обмена, что также свидетельствует о стимуляции процессов метаболизма в биотканях.

Таблица 1 – Результаты экспериментов с использованием ортопедического средства в виде варежки с микросферами.

№ п/п	Параметр	Область с АВА (n=3)		Область без АВА (n=3)	
		до	после	до	после
1	I_m , пф.ед.	6,1±2,3	11,8±4,4	1,6±0,2	2,7±0,4
2	S_tO_2 , %	75,7±0,2	77,0±4,1	75,7±1,9	67,0±5,7
3	V_b , %	9,5±1,0	9,6±1,1	8,2±0,3	6,0±0,2
4	S_aO_2 , %	98±0,6	98±0,6	98±0,6	98±0,6
5	BI , отн.ед.	5,1±1,3	3,5±0,8	3,3±1,4	2,1±0,9
6	S_vO_2 , %	67,2±11,8	66,5±4,3	63,6±10,6	53,1±13,2
7	I_{mnur} , пф.ед.	1,4±0,9	3,3±0,6	0,6±0,2	1,7±1,0
8	S_m , отн.ед.	14,0±4,2	7,7±3,3	49,1±6,8	25,5±6,0
9	U_1 , отн.ед.	1,3±0,003	1,3±0,1	1,3±0,03	1,5±0,1
10	U_2 , отн.ед.	2,4±0,3	2,2±0,2	2,7±0,3	5,2±0,9
11	RR , отн.ед.	5,0±0,4	5,1±0,7	4,1±0,1	4,4±0,1
12	OE , отн.ед.	0,30±0,10	0,32±0,04	0,35±0,11	0,46±0,13
13	OC , отн.ед.	53,5±51,4	105,1±30,0	19,6±11,5	83,9±60,3
14	$ЭКО$, отн.ед.	89,5±38,9	98,4±39,2	8,8±1,3	14,4±4,0

Как показывают полученные данные, тенденция к изменениям параметров МТС биотканей наблюдается и для области без АВА, которые приводят к увеличению скорости потребления кислорода (19,6±11,5 отн.ед. и 83,9±60,3 отн.ед.). Данные изменения носят более выраженный характер, чем для области с АВА, что, вероятнее всего, связано с наличием у добровольца синдрома холодных рук, из этого следует, что при проведении экспериментальных исследований следовало в этом случае увеличить длительность применения ортопедического средства.

Таким образом, исходя из проанализированных первичных данных, можно сделать вывод о том, что применение ортопедического средства на основе микросфер приводит к улучшению кровотока и тканевого дыхания в целом. Использование оптических неинвазивных методов диагностики достаточно просто и наиболее достоверно позволяет оценивать эффективность применения ортопедических средств, а также индивидуализировать оптимальное время применения средства для обеспечения положительных результатов лечения и профилактики.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ для ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК» (№310) с использованием оборудования регионального центра коллективного пользования контрольно-измерительным оборудованием ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаев, А.В. Исследование возможностей тепловидения и методов неинвазивной медицинской спектродетекции в функциональной диагностике / А.В. Дунаев, Е.А. Жеребцов, А.И. Егорова, и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2010. – № 6–2(284). – С. 96–100.
2. Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями. Том. II / Под ред. А.Н. Беловой, О.Н. Щепетовой. – М.: Антидор, 1999. – 648 с.
3. Пат. № 2393752 Российская Федерация, МПК А 47 G 9/10. Ортопедическое устройство / Шураева Е.В., Семина Е.П.; заявитель и патентообладатель Шураева Е.В., Семина Е.П. – № 2009107363/14, заявл. 03.03.2009; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 13. – 3 с.
4. Описание продукции для ортопедии фирмы «Альсария». – URL: <http://alsariya.com/svoystva/mikrosteklosfery/>.
5. Дунаев, А.В. Исследование возможностей лазерной доплеровской флоуметрии для оценки эффективности применения ортопедических средств / А.В. Дунаев, О.В. Иножарская, Е.В. Шураева // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2011. – № 5(289). – С. 114–120.

6. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно–тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.
7. Дунаев, А.В. Принципы построения тест–объекта для метрологического контроля состояния приборов лазерной доплеровской флоуметрии / А.В. Дунаев, Е.А. Жеребцов, Д.А. Рогаткин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. – № 1. – С. 8–16.
8. Рогаткин, Д.А. Физические основы оптической оксиметрии. Лекция / Д.А. Рогаткин // Медицинская физика. – 2012. – № 2. – С. 97–114.
9. Шурыгин, И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб: «Невский Диалект»; М.: «Издательство БИНОМ», 2000. – 301 с.
10. Рогаткин, Д.А. Физические основы лазерной клинической флуоресцентной спектроскопии in vivo. Лекция. // Медицинская физика. – № 4. – 2014. – С. 78–96.
11. Dunaev, A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, et al. // Proc. SPIE. – 2013. – V. 8572. – 857205.
12. Tankanag, A. Application of adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin / A. Tankanag, N. Chemeris // Phys. Med. Biol. – 2013. – V. 53. – № 21. – p.p. 5967–5976.
13. Дунаев, А.В. Анализ физиологического разброса параметров микроциркуляторно–тканевых систем / А.В. Дунаев, И.Н. Новикова, А.И. Жеребцова, и др. // Биотехносфера. – 2013. – № 5. – С. 44–53.
14. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, et al. // Physiological Measurement. – 2014. – № 35(4). – p.p. 607–621.

Белых Павел Михайлович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет–УНПК», г. Орёл,
Студент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», сотрудник студенческого конструкторского бюро биомедицинских инженерных исследований (СКБ БМИИ) научно– образовательного центра «Биомедицинская инженерия»
Тел.: (4862) 41 98 76
E–mail: Belics–ru@yandex.ru

Дунаев Андрей Валерьевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет–УНПК», г. Орёл,
Ведущий научный сотрудник научно– образовательного центра «Биомедицинская инженерия», кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел.: (4862) 41 98 76
E–mail: dunaev@bmcencenter.ru

Новикова Ирина Николаевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет–УНПК», г. Орёл, Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», инженер–исследователь научно– образовательного центра «Биомедицинская инженерия»
Тел.: (4862) 41 98 76
E–mail: i.n_novikova@mail.ru

Шураева Елена Владимировна

ООО «Альсария», г. Орёл, Россия
Генеральный директор, врач терапевт
Тел.: (4862) 48 63 20
E–mail: alsariya@mail.ru

P.M. BELYKH, I.N. NOVIKOVA, A.V. DUNAEV, E.V. SHURAEVA

THE CONTROL OF THE EFFECTIVENESS OF ORTHOPAEDIC TOOL APPLICATION THROUGH THE ANALYSIS OF MICROCIRCULATORY–TISSUE SYSTEM PARAMETER CHANGES IN BIOTISSUE

This work is devoted to the assessment efficiency of application of orthopaedic tool. The article describes the methodology of experiments, the results of studies of changes of the parameters microcirculatory–tissue systems before and after use of orthopaedic tool and analyses of obtained data.

Keywords: *laser Doppler flowmetry, tissue reflectance oximetry, pulse oximetry, fluorescence spectroscopy, microcirculatory–tissue system, orthopaedic tool.*

BIBLIOGRAPHY

1. Dunayev, A.V. Issledovaniye vozmozhnostey teplovideniya i metodov neinvazivnoy meditsinskoy spektrofotometrii v funktsionalnoy diagnostike / A.V. Dunayev, Ye.A. Zherebtsov, A.I. Yegorova, i dr. // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2010. – № 6–2(284). – P.P. 96–100.
2. Rukovodstvo po reabilitatsii bolnykh s dvigatelnyimi narusheniyami. Tom.II / Pod red. A.N. Belovoy, O.N. Shchepetovoy. – М.: Antidor, 1999. – 648 s.

3. Pat. № 2393752 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 47 G 9/10. Ortopedicheskoye ustroystvo / Shurayeva Ye.V., Semina Ye.P.; zayavitel i patentoobladatel Shurayeva Ye.V., Semina Ye.P. – № 2009107363/14, zayavl. 03.03.2009; opubl. 10.07.2010, Byul. № 13. – 3 s.

4. Opisaniye produktsii dlya ortopedii firmy «Alsariya». – URL: <http://alsariya.com/svoystva/mikrosteklosfery/>.

5. Dunayev, A.V. Issledovaniye vozmozhnostey lazernoy doplerovskoy floumetrii dlya otsenki effektivnosti primeneniya ortopedicheskikh sredstv / A.V. Dunayev, O.V. Inozharskaya, Ye.V. Shurayeva // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2011. – № 5(289). – P.P. 114–120.

6. Krupatkin, A.I. Funktsionalnaya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno–tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineynost: rukovodstvo dlya vrachey / A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov. – M.: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2013. – 496 s.

7. Dunayev, A.V. Printsipy postroyeniya test–ob»yekta dlya metrologicheskogo kontrolya sostoyaniya priborov lazernoy doplerovskoy floumetrii / A.V. Dunayev, Ye.A. Zherebtsov, D.A. Rogatkin // Biomeditsinskaya radioelektronika. – 2012. – № 1. – P.P. 8–16.

8. Rogatkin, D.A. Fizicheskiye osnovy opticheskoy oksimetrii. Lektsiya / D.A. Rogatkin // Meditsinskaya fizika. – 2012. – № 2. – P.P. 97–114.

9. Shurygin, I.A. Monitoring dykhaniya: pulsoksimetriya, kapnografiya, oksimetriya. – SPb: «Nevskiy Dialekt»; M.: «Izdatelstvo BINOM», 2000. – 301 s.

10. Rogatkin, D.A. Fizicheskiye osnovy lazernoy klinicheskoy flyuorestsentnoy spektroskopii in vivo. Lektsiya. // Meditsinskaya fizika. – № 4. – 2014. – P.P. 78–96.

11. Dunaev, A.V. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, N.A. Stewart, et al. // Proc. SPIE. – 2013. – V. 8572. – 857205.

12. Tankanag, A. Application of adaptive wavelet transform for analysis of blood flow oscillations in the human skin / A. Tankanag, N. Chemeris // Phys. Med. Biol. – 2013. – V. 53. – № 21. – p.p. 5967–5976.

13. Dunayev, A.V. Analiz fiziologicheskogo razbrosa parametrov mikrotsirkulyatorno–tkanevykh sistem / A.V. Dunayev, I.N. Novikova, A.I. Zherebtsova, i dr. // Biotekhnosfera. – 2013. – № 5. – P.P. 44–53.

14. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, et al. // Physiological Measurement. – 2014. – № 35(4). – p.p. 607–621.

Belykh Pavel Mikhailovich

State University – ESPC, Orel,

Student of the Department «Instrument making, metrology and certification», a member of the Student Design Bureau of Biomedical Engineering Research Council (CSC BMII) scientific and educational center «Biomedical Engineering»

Tel.: (4862) 41 98 76

E-mail: Belics-ru@yandex.ru

Dunayev Andrey Valerievich

State University – ESPC, Orel,

Leading Researcher Research and Education Center «Biomedical Engineering», Ph.D., associate professor of «Instrument making, metrology and certification»

Tel.: (4862) 41 98 76

E-mail: dunaev@bmcencenter.ru

Novikova Irina Nikolaevna

State University – ESPC, Orel,

Graduate student «Instrument making, metrology and certification», a research engineer scientific and educational center «Biomedical Engineering»

Tel.: (4862) 41 98 76

E-mail: i.n_novikova@mail.ru

Shuraeva Elena Vladimirovna

LLC «Alsariya» Orel, Russia

CEO, therapists

Tel.: (4862) 48 63 20

E-mail: alsariya@mail.ru