

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

**Метод тепловой и холодовой пробы при диагностике  
кровотока с помощью лазерного допплеровского флюметра**

студента 4 курса 4021 группы

направления 03.03.02 «Физика»

код и наименование направления

института физики

наименование факультета, института

Еремеевой Виктории Алексеевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
д.ф.-м.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

А.Г. 9.06.23  
подпись, дата

Ан.В. Скрипаль  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:  
д.ф.-м.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

А.Г. 9.06.23  
подпись, дата

Ан.В. Скрипаль  
инициалы, фамилия

Саратов 2023 г.

## **Введение**

В последние годы проблема изучения микроциркуляторного русла при различных патологических состояниях выдвинулась в разряд перспективных направлений медицинской науки. Система микроциркуляции присутствует во всех органах человеческого тела, поэтому нарушение ее нормального функционирования влечет за собой различные патологии, а как следствие значительное снижение качества жизни. В настоящее время в экспериментальной практике широко используется метод исследования – лазерная допплеровская флюметрия, позволяющая не только оценить общий уровень периферической перфузии, но и выявить механизмы модуляции микрогемодинамики. Несмотря на то, что ЛДФ пока не вошел в клиническую практику, из-за малоинформативности и чувствительности для проведения персонализированной оценки, он является перспективным из-за неинвазивности, простоты использования и получения результатов в реальном времени.

Поэтому **актуальным** является поиск подходов к усовершенствованию этого метода, в частности, с помощью внедрения дополнительных функциональных тестов, для применения этого способа и в рутинную диагностику.

В связи с актуальностью **целью работы является определение применимости ЛДФ для персонализированного анализа состояния микрососудов в условиях тепловой и холодовой проб.**

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Проанализировать имеющийся материал по природе и свойствам сосудистых стенок и вазомоторной регуляции в микроциркуляторном русле
2. Выявить механизм возникновения колебаний сосудистой стенки при внешних и внутренних провокационных воздействиях

3. Изучить существующие научные исследования, связанные с использованием функционально-нагрузочных проб в качестве источника стресса для проведения более конструктивного анализа микрогемодинамики
4. Провести анализ возможностей метода ЛДФ на примере двух функциональных проб: тепловой и холодовой прессорной пробы
5. Предложить физиологически обоснованный подход к повышению информативности метода лазерной допплеровской флюметрии в персонализированной оценке микроциркуляции.

**Новизна работы:** проанализированы возможности метода ЛДФ и найден метод более точного исследования микроциркуляторного русла для дальнейшего внедрения в клиническую диагностику.

## 1. Результаты проведения комплексного нагрузочного теста

Особый интерес представляют амплитудно-частотные спектры нейрогенного и миогенного показателей кровотока. Их параметры представлены на Рис.1,2.

Испыт	Ан	Ан(тепловая)	Ан(холодовая)
1	<b>1,73</b>	1,62 ↓	1,61 ↓
2	<b>1,83</b>	1,67 ↓	0,62 ↓
3	<b>1,16</b>	0,99 ↓	0,86 ↓
4	<b>2,08</b>	1,65 ↓	1 ↓
5	<b>0,97</b>	1,45 ↑	1,1 ↓
6	<b>0,53</b>	1,1 ↑	1,03 ↓
7	<b>0,52</b>	0,88 ↑	0,87 ↓
8	<b>0,69</b>	2,02 ↑	1,15 ↓
9	<b>0,76</b>	1,45 ↑	1,4 ↓

Рис.1- Параметры амплитуды нейрогенной составляющей кровотока кожи подушечки указательного пальца руки испытуемых

Ан - амплитуда нейрогенного компонента

Ан (тепловая) – амплитуда нейрогенного компонента при тепловой пробе

Ан (холодовая) - амплитуда нейрогенного компонента при холодовой пробе



-повышение показателя



-понижение показателя

В полученных данных прослеживается закономерность в изменении амплитуд нейрогенного диапазона. У меньшей части экспериментальной группы в исходных условиях амплитуда нейрогенной составляющей была высокой, что впоследствии при нагревании вызовет ее уменьшение и сужение сосудов. У большей части испытуемых происходит адекватная реакция на тепловое воздействие – вазодилатация. В дальнейшем для выявления патологий микрососудистого русла применяется прессорная

холодовая проба, которая показала для всех испытуемых уменьшение амплитуды, то есть вазоконстрикцию.

Испыт	Ам	Ам(тепловая)	Ам(холодовая)
1	<b>1,48</b>	1,25 ↓	1,23 ↓
2	<b>1,58</b>	1,18 ↓	0,87 ↓
3	<b>0,96</b>	0,77 ↓	0,75 ↓
4	<b>1,62</b>	1,29 ↓	1,01 ↓
5	<b>0,77</b>	0,91 ↑	0,7 ↓
6	<b>0,9</b>	0,99 ↑	0,87 ↓
7	<b>1,06</b>	1,42 ↑	1,2 ↓
8	<b>0,52</b>	1,21 ↑	0,8 ↓
9	<b>0,85</b>	1,12 ↑	1,02 ↓

Рис.2- Параметры амплитуды миогенной составляющей кровотока кожи подушечки указательного пальца руки всех испытуемых

Ам- амплитуда нейрогенного компонента

Ам (тепловая) – амплитуда нейрогенного компонента при тепловой пробе

Ам (холодовая) - амплитуда нейрогенного компонента при холодовой пробе



-повышение показателя



-понижение показателя

Аналогичным образом ведет себя и миогенная составляющая для тех же испытуемых. Так как начальные условия не всегда бывают одинаковыми, адаптационные срок для каждого человека индивидуальный, трудно выявлять какие-либо патологии используя только базовые показатели, для того, чтобы более предметно оценивать состояние микроциркуляторного русла были проделаны две пробы: тепловая и холодовая. По выявленным закономерностям можно сделать вывод, что тепловой нагрев у меньшей части обследуемых выравнивает тонус сосудов, так как начальные условия, показанные на ЛДФ-грамме, не соответствовали реальному базальному

кровотоку. Впоследствии холодовая проба дает более точную оценку состоянию микросудистого русла, показывая, что у всех добровольцев произошла соответствующая условиям реакция.

При детальном рассмотрении реакции по амплитудно-частотным составляющим выяснилось, что миогенный и нейрогенный компонент ведут себя при одних и тех же условиях однотипным образом. Отметим, что 1 из 10 испытуемых был убран из рассмотрения в силу демонстрации осцилляциями более сложных реакций на пробы. У остальных 9 добровольцев прослеживается четкая закономерность в изменении поведения кровотока в ответ на тепло и холод. У меньшей части группы при нагреве контралатеральной конечности происходит уменьшение амплитуды как миогенного, так и нейрогенного компонента, то есть увеличение нейрогенного и миогенного тонуса. Можно так же предположить, что выявленные особенности реакцией микроциркуляторного русла кожи у испытуемых свидетельствуют о высоком психоэмоциональном возбуждении. Оставшаяся часть группы демонстрирует нормальную реакцию на повышение температуры. При анализе результатов выполнения холодовой пробы у всех обследуемых наблюдалось повышение амплитуд этих компонентов на фоне холодового воздействия. Это позволяет предположить, что более эффективным методом в оценке поведения микроциркуляторного русла будет являться комплексный тест, состоящий из двух проб: тепловой и холодовой, так как первоначальная реакция может быть неоднозначной в силу индивидуального строения организма и психоэмоционального состояния человека.

## **Заключение**

Подводя итоги данной дипломной работы, можно сказать, что поставленная цель, а именно – *определение применимости ЛДФ для персонализированного анализа состояния микрососудов в условиях тепловой и холодовой проб* – была достигнута, в результате решения следующих задач:

6. Был проанализирован имеющийся материал по природе и свойствам сосудистых стенок и вазомоций в микроциркуляторном русле
7. Был выявлен механизм возникновения колебаний сосудистой стенки при внешних и внутренних провокационных воздействиях
8. Были изучены существующие научные исследования, связанные с использованием функционально-нагрузочных проб в качестве источника стресса для проведения более конструктивного анализа микрогемодинамики
9. Был проведен анализ возможностей метода ЛДФ на примере двух функциональных проб: тепловой и холодовой прессорной пробы
10. Был предложен физиологически обоснованный подход к повышению информативности метода лазерной допплеровской флюметрии в персонализированной оценке микроциркуляции.

В ходе выполнения бакалаврской работы установлено, что разработанное комплексное исследование, состоящее из двух нагрузочных тестов, показывает себя более эффективным относительно проведения лишь одной из проб. За счет резкой нагрузки начальные условия для проведения анализа выровнялись (стали менее зависимыми от психоэмоционального состояния) и в дальнейшем при последующем teste появилась возможность точнее проанализировать адаптивные механизмы организма, его центральную гемодинамику и дать оценку реакциям микросудистого русла. Статистические исследования с использованием этого теста позволяют более предметно оценивать возможности разработанного метода и

применять в качестве усовершенствованного ЛДФ-анализа в условиях персонализированной оценки при клиническом исследовании.

## **Список использованной литературы**

1. Абрамович Станислав Григорьевич, Машанская Александра Валерьевна, Дробышев Виктор Анатольевич, Долбилкин Александр Юрьевич Микроциркуляция у здоровых людей и больных артериальной гипертонией // Journal of Siberian Medical Sciences. 2013.
2. Новикова И.Н., Дунаев А.В., Сидоров В.В., Крупаткин А.И. Возможности холодовой пробы для функциональной оценки микроциркуляторно-тканевых систем. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2015;14(2):47-55
3. Куликов Д.А., Глазков А.А., Ковалева Ю.А., Балашова Н.В., Куликов А.В. Перспективы использования лазерной допплеровской флюметрии в оценке кожной микроциркуляции крови при сахарном диабете. *Сахарный диабет*. 2017;20(4):279-285.
4. Мяделец, О. Д. Функциональная морфология и общая патология кожи: монография / О. Д. Мяделец, В. П. Адаскевич ; Витебский государственный медицинский иниверситет. - Витебск : [б. и.], 1997. - 269 с.
5. <https://nsau.edu.ru/images/vetfac/images/ebooks/histology/histology/r5/t18.html>
6. Анатомия человека. Атлас / Г. Л. Билич, В. А. Крыжановский. — 1-е изд. — Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2013. — 792 с.
7. Петроченко, Е. П. Механизмы регуляции микрогемоциркуляции и реологических свойств крови в норме, и при нарушениях кровообращения : специальность 03.00.13 «Физиология » : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Петроченко Елена Петровна ; Ярославский государственный педагогический университет им .К.Д. Ушинского. — Ярославль, 2009. — 134 с.

8. Физиологические функции сосудистого эндотелия / А. Х. Каде, С. А. Занин, Е. А. Губарева [и др.]. —/Фундаментальные исследования. — 2011. — № 11 (часть 3). — С. 611-617.
9. Крупаткин А.И., Сидоров В.В., Меркулов М.В. и др. Функциональная оценка периваскулярной иннервации конечностей с помощью лазерной допплеровской флюметрии. Пособие для врачей. М., 2004.- 26с.
10. Крупаткин, А. И. Лазерная допплеровская флюметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. — 3-е издание. — Москва : Медицина, 2005. — 256 с. — Текст : непосредственный.
11. Бранько В.В., Богданова Э.А., Камшилина Л.С., Маколкин В.И., Сидоров В.В. Метод лазерной допплеровской флюметрии в кардиологии, Пособие для врачей, М., 1999, 48с.
12. Крпаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркулятор-но-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. — 978-5-9710-3329-5 . — Москва : Ленанд, 2016. — 496 с.
13. Крупаткин А.И. Колебания кровотока - новый диагностический язык в исследовании микроциркуляции. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2014;13(1):83-99
14. Johnson, John M. and D L Kellogg. “Local thermal control of the human cutaneous circulation.” *Journal of applied physiology* 109 4 (2010): 1229-38
15. McGarr GW, Hodges GJ, Cheung SS. Between-day reliability of local thermal hyperemia in the forearm and index finger using single-point laser Doppler flowmetry. *Microcirculation*. 2017 Nov;24(8).
16. Maga P, Henry BM, Kmietek EK, Gregorczyk-Maga I, Kaczmarczyk P, Tomaszewski KA, Niżankowski R. Postocclusive Hyperemia Measured with Laser Doppler Flowmetry and Transcutaneous Oxygen Tension in the

- Diagnosis of Primary Raynaud's Phenomenon: A Prospective, Controlled Study. Biomed Res Int. 2016;2016:9645705.
17. Мордвинова Е.В., Ощепкова Е.В., Федорович А.А., Рогоза А.Н. Функциональное состояние сосудов микроциркуляторного русла у больных артериальной гипертонией 1-2-й степени различной степени сердечно-сосудистого риска // Системные гипертензии. - 2014. - Т. 11. - №2. - С. 29-35.
18. Функциональные изменения микроциркуляции крови в коже стопы при тепловых пробах у пациентов с сахарным диабетом / М. А. ФИЛИНА, Е. В. ПОТАПОВА, И. Н. МАКОВИК [и др.]. —Физиология человека. — 2017. — № 6. — С. 95-102.
19. . Зубарева Н.А., Подтаев С.Ю., Паршаков А.А. Диагностика нарушений вазодилатации микрососудов кожи у больных с синдромом диабетической стопы при проведении локальной тепловой пробы. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015;14(3):27
20. Новикова И.Н., Дунаев А.В., Сидоров В.В., Крупаткин А.И. Возможности холодовой пробы для функциональной оценки микроциркуляторно-тканевых систем. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2015;14(2):47-55
21. Смирнова Е.Н., Лоран Е.А., Шулькина С.Г., Подтаев С.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ЭНДОТЕЛИЯ С ПОМОЩЬЮ ХОЛОДОВОЙ ПРОБЫ У ПАЦИЕНТОВ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. ;
22. u S, Hu SC, Yu HS, Chin YY, Cheng YC, Lee CH. Early sign of microangiopathy in systemic sclerosis: The significance of cold stress test in dynamic laser Doppler flowmetry. Clin Hemorheol Microcirc. 2019;71(3):373-378

23. Мизева И.А., Голдобин Д.С., Айрих Д.В. Комплекс неинвазивных экспериментальных методик для мониторинга системы микрогемоциркуляции // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2017. №3.
24. Charkoudian N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. J Appl Physiol (1985). 2010;109(4):1221-1228. doi:10.1152/japplphysiol.00298.2010
25. Глазков, А. А. Лазерная допплеровская флюметрия в персонализированной оценке нарушений кожной микроциркуляции : специальность 03.03.01 «Физиология » : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Глазков Алексей Андреевич ; Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского. — Москва, 2020. — 156 с.

