

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

Верификация метода термовизуализации гемодинамики на
поверхности кожи методом фотоплетизмографической визуализации

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента (ки) 2 курса 2221 группы

направления 03.03.02 «Физика»

институт физики

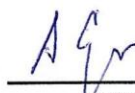
Сапожникова Валерия Дмитриевна

Научный руководитель:
Доцент, к.ф.-м.н.

 18.06.25
подпись, дата

А.А. Сагайдачный

Зав. кафедрой медицинской
физики,
Профессор, д.ф.-м.н.

 18.06.25
подпись, дата

А.В. Скрипаль

Саратов 2025

Содержание:

1.Введение.....	3
2.Описание практической части	5
3.Заключение.....	9
4.Список используемой литературы.....	10

1. Введение

В настоящее время продолжается активное исследование микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) человека. Это обусловлено тем, что они играют ключевую роль в развитии различных заболеваний. МТС - это сложная и динамичная сеть, которая обеспечивает доставку кислорода и питательных веществ к клеткам, а также удаление продуктов метаболизма.

Изучение МТС помогает выявлять изменения в микроциркуляции, а это, в свою очередь, может быть ранними признаками различных заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, онкология и аутоиммунные заболевания. Исследование МТС позволяет контролировать эффективность лечения, оценивая восстановление нормального кровотока и метаболизма в тканях. Понимание механизмов микроциркуляции помогает разработать эффективные профилактические мероприятия для предотвращения развития заболеваний.

В связи с важностью микроциркуляции, непрерывно разрабатываются новые методы ее исследования. Особое внимание уделяется неинвазивным методам, которые не требуют проникновения в организм и не вызывают дискомфорта у пациента.

Применение неинвазивных методов исследования МТС позволяет получить важную информацию о здоровье человека, ранней диагностике и мониторинге течения заболевания.

В данной работе в качестве методов исследования кровотока используются динамическая инфракрасная термография и фотоплетизмография. С помощью термографии есть возможность рассмотреть разнообразие температур на поверхности кожи, что обусловлено внутренними процессами кровотока. Благодаря этому на ранней диагностике можно выявлять патологии сосудов. Фотоплетизмография позволяет оценить как работу самого сердца, так и сосудов, что поможет контролировать лечение и состояние пациентов.

Целью данной работы является верификация метода термовизуализации гемодинамики на поверхности кожи методом фотоплетизмографической визуализации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Ознакомиться с оптическими методами визуализации гемодинамики кровотока.
2. Провести подробный анализ методов ФПГ и термографии.
3. Изучить имеющуюся литературу объединения двух методов.
4. Получить одновременную (синхронизированную) фотоплетизмографическую и термографическую запись гемодинамики в области кисти.
5. Рассчитать корреляцию спектральных составляющих ФПГВ и преобразованного ТВ сигнала в эндотелиальном, нейрогенном и миогенном диапазонах.
6. Составить распределенную в пространстве карту корреляций гемодинамики, регистрируемой с помощью двух различных методов.

Теоретическая база состоит из нескольких глав: в первой главе описаны оптические методы визуализации гемодинамики на поверхности тела человека. Подробный анализ используемых в работе методов, а именно термографии и фотоплетизмографии, представлен во второй и третьей главах. В четвертой главе представлен критический анализ литературы, в которой используется объединение двух методов фотоплетизмографии и термографии.

2. Описание практической части

Пятая глава посвящена практической части. В начале описаны средства реализации данного исследования. Затем изложен алгоритм проведения исследования:

1. Проведение эксперимента с целью получения термографической и фотоплетизмографической записей.
2. Выбор зон на поверхности кожи для анализа полученных сигналов.
3. Разделение сигнала с определенной области на 3 частотных диапазона.
4. Расчет корреляции в программе MathCAD.

Были получены следующие результаты:

Табл. 1. Корреляция фотоплетизмографического и термографического сигналов в эндотелиальном диапазоне

Зоны	Коэффициент корреляции
1	0,70
2	0,60
3	0,53
4	0,48
5	0,39
6	0,59
7	0,54
8	0,50
9	0,35
10	0,29
11	0,60
12	0,68
13	0,49
14	0,39
15	0,34

Табл. 2 Корреляция фотоплетизмографического и термографического сигналов в нейрогенном диапазоне

Зоны	Коэффициент корреляции
1	0,71
2	0,69

3	0,48
4	0,49
5	0,20
6	0,78
7	0,60
8	0,30
9	0,39
10	0,44
11	0,69
12	0,69
13	0,48
14	0,33
15	0,12

Табл. 3 Корреляция фотоплетизмографического и термографического сигналов в миогенном диапазоне

Зоны	Коэффициент корреляции
1	0,73
2	0,52
3	0,46
4	0,39
5	0,40
6	0,79
7	0,66
8	0,53
9	0,44
10	0,43
11	0,68
12	0,57
13	0,50
14	0,43
15	0,34

Была выбрана цветовая шкала, проградуированная от 0 до 1 с шагом 0,2.

Цвет каждой квадратной зоны характеризует значение корреляции в диапазоне (0;1).

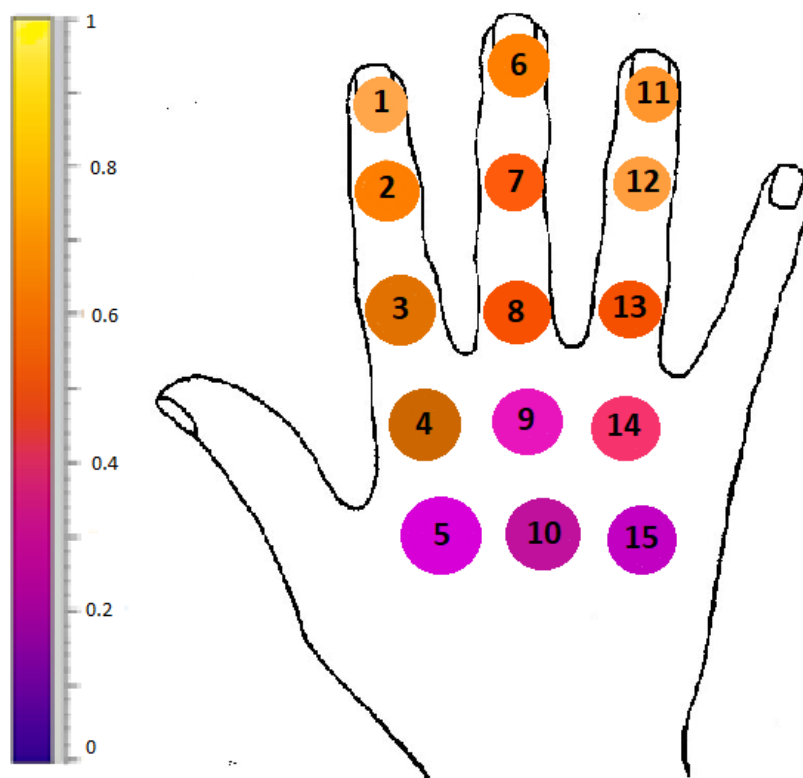


Рис. 1 Карта корреляций в эндотелиальном диапазоне

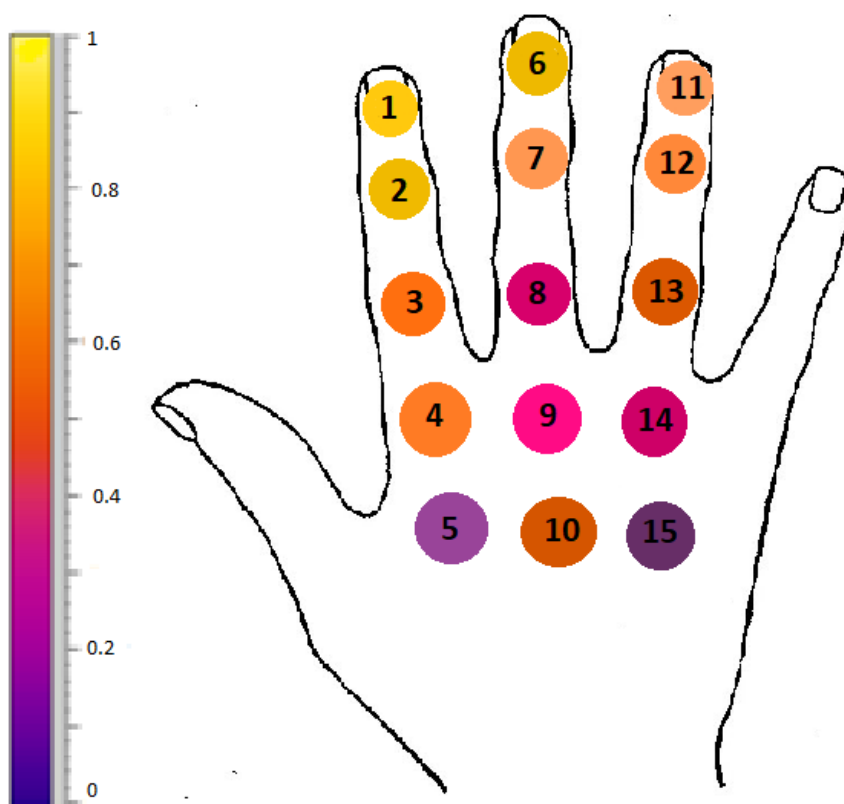


Рис. 2 Карта корреляций в нейрогенном диапазоне

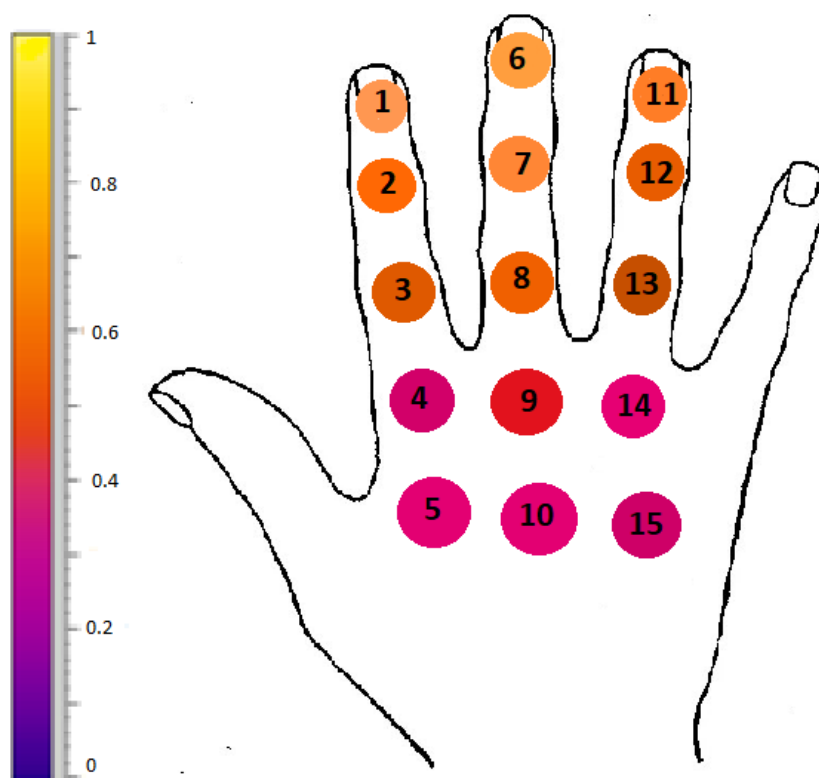


Рис. 3 Карта корреляций в миогенном диапазоне

3. Заключение

Таким образом, в работе достигнута поставленная цель, а именно верификация метода термовизуализации гемодинамики на поверхности кожи методом фотоплетизмографической визуализации. В ходе выполнения дипломной работы были выполнены следующие задачи:

1. Проведен анализ оптических методов визуализации гемодинамики кровотока, особое внимание получили методы ФПГ и термографии.
2. Подробно изучена литература, в которой рассматривалось объединение двух методов ФПГ и термографии.
3. Получена одновременная фотоплетизмографическая и термографическая запись гемодинамики в области кисти.
4. Рассчитана корреляция спектральных составляющих ФПГВ и преобразованного ТВ сигнала в эндотелиальном, нейрогенном и миогенном диапазонах.
5. Составлена распределенная в пространстве карта корреляций гемодинамики, регистрируемая с помощью двух различных методов.

Несмотря на то, что фотоплетизмография и термография используются независимо друг от друга, мы установили взаимосвязь между двумя модальностями (термографическим и фотоплетизмографическим сигналами). Эти методы являются перспективными в диагностике и исследовании колебаний кровенаполнения в коже. Сравнение этих методов может помочь выявить нормальные значения коэффициента корреляции, отклонение от них может быть причиной патологических изменений кровотока. Наибольшая перспектива использования метода термовизуализации открывается в области выявления дисфункции эндотелия, бесконтактного контроля приживленных пересаженных участков кожи и мониторинга осложнений сахарного диабета, таких как периферическая нейропатия.

3. Список используемой литературы

4. Крупаткин А.И., Сидоров В.В., «Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность», Изд. 2-е, - Москва: URSS, сор.2016. – 489 с.
5. Сагайдачный А. А., Скрипаль А. В., Усанов Д. А. Тепловизионная биомедицинская диагностика. – 2019.
6. Michael Paul, Sabrina Caprice Behr , Christoph Weiss , Konrad Heimann , Thorsten Orlikowsky and Stefen Leonhardt, «Spatio-temporal and -spectral feature maps in photoplethysmography imaging and infrared thermography», Paul et al. BioMed Eng OnLine (2021)20:8,<https://doi.org/10.1186/s12938-020-00841-9>
7. Inna Stepanova, Larisa Zhorina, Grigoriy Zmievskoy, «Hand Skin Temperature after Local Cold Test: Thermal Imaging Observation and Mathematical Computation», 2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT)
8. L. Gerasimova-Meigal, A. Fedosova, and A. Meigal, "Hand skin temperature: A usability for health care services," 18th Conference of Open Innovations Association (FRUCT-ISPIT), St. Petersburg, 2016, pp. 60-65, doi: 10.1109/FRUCT-ISPIT.2016.7561509.
9. A. V. Datsenko “Determining the relationship of changes in infrared thermography data and morphometric parameters of the microvasculature of laboratory rats’ skin,” Saratov Journal of Medical Scientific Research, Iss. 15 (4), pp. 976–982, 2019.
10. M. G. Volovik, “Dynamic infrared mapping of thermoregulatory processes in biological tissues.” Abstract of thesis. ... doctors of biological sciences: 03.03.01. Pushchino, 2016.
11. A.A. Sagaidachnyi, I.Y. Volkov, A.V. Fomin, and A.V. Skripal, Investigation of thermal wave propagation within the model of biological tissue and the

- possibility of thermal imaging of vasomotor activity of peripheral vessels,” Russian Journal of Biomechanics, Iss. 23(2), pp. 209–217, 2019.
- 12.A. A. Sagaidachnyi, A. V. and Fomin, “Analysis of time derivative of the temperature response of fingers on the brachial occlusion and its relationship with hemodynamic parameters,” Regional hemodynamics and microcirculation, Iss. 16(3), pp. 31–40, 2017. doi: 10.24884/1682- 6655-2017-16-3-31-40.
 13. Fallet S, Moser V, Braun F, Vesin JM. Imaging photoplethysmography: what are the best locations on the face to estimate heart rate? In: 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC), pp. 341–344 (2016). 10.23919/CIC.2016.7868749.
 - 14.Kossack B, Wisotzky EL, Hilsmann A, Eisert P. Local remote photoplethysmography signal analysis for application in presentation attack detection. Vision. 2019. <https://doi.org/10.2312/vmv.20191327>.
 - 15.McDuf D, Blackford E. iPhys: an open non-contact imaging-based physiological measurement toolbox. arXiv :1901.04366. 2019. Accessed 28 Mar 2020.
 - 16.A A Sagaidachnyi, A V Fomin, D A Usanov, and A V Skripal, “Thermography-based blood flow imaging in human skin of the hands and feet: a spectral filtering approach,” Physiol Meas., Iss. 38(2), pp. 272-288, 2017. doi: 10.1088/1361-6579/aa4eaf.
 - 17.V. Shusterman, K. P. Anderson, and O. Barnea, “Spontaneous skin temperature oscillations in normal human subjects,” American Journal of Physiology. Regulatory Integrative and Comparative Physiology, vol. 273 (3 42-3), pp. R1173-R1181, 1997.
 - 18.Tiago L. M. P. et al. Assessment of neuropathic pain in leprosy patients with relapse or treatment failure by infrared thermography: A cross-sectional study //PLoS Neglected Tropical Diseases. – 2021. – T. 15. – №. 9. – C. e0009794.

19. Burton A. C., Taylor R. M. A study of the adjustment of peripheral vascular tone to the requirements of the regulation of body temperature // *American Journal of Physiology-Legacy Content*. – 1940. – Т. 129. – №. 3. – С. 565-577.
20. Lim M. J. et al. Digital thermography of the fingers and toes in Raynaud's phenomenon // *Journal of Korean medical science*. – 2014. – Т. 29. – №. 4. – С. 502-506.
21. Дунаев А. В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. – 2022.
22. 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 с.
23. A.M. Gorbach, H. Wang, B. Wiedenbeck, W. Liu, P. D. Smith и E. Elster Functional assessment of hand vasculature using infrared and laser speckle imaging// *Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic Systems VII*, 2009; 16 с.
24. Ali A.-N., Khalid G. A. Non-Contact SpO2 Prediction System Based on a Digital Camera. *Appl. Sci.*, 2021, vol. 11, no. 9, e4255. <https://www.doi.org/10.3390/app11094255>
25. Tuchin V. V. *Tissue Optics, Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis*. Society of Photo Optical, 2015. 988 p. (Russ. ed. : Tuchin V. V. *Optika biologicheskikh tkanei : Metody rasseyaniya sveta v meditsinskoj diagnostike*. Moscow : ООО Izdatel'skaya firma "Fiziko-matematicheskaya literatura", 2013. 812 p.)
26. Guazzi A. R., Villarroel M. Non-contact measurement of oxygen saturation with an RGB camera. *Biomedical Optics Express*, 2015, vol. 6, no. 9, pp. 3320–3338. <https://www.doi.org/10.1364/BOE.6.003320>

27. Addison P. S. Modular continuous wavelet processing of biosignals : Extracting heart rate and oxygen saturation from a video signal. *Healthcare Technology Letters*, 2016, vol. 3, no. 2, pp. 1–6. <https://www.doi.org/10.1049/htl.2015.0052>
28. Mathew J., Tian X., Wu M. *Remote Blood Oxygen Estimation From Videos Using Neural Networks*. 2021. arXiv:2107.05087.
29. Singel D J and Stamler J S 2005 Chemical physiology of blood flow regulation by red blood cells: the role of nitric oxide and S-nitrosohemoglobin *Annu. Rev. Physiol.* **67** 99–145
30. Stewart C J, Frank R, Forrester K R, Tulip J, Lindsay R and Bray R C 2005 A comparison of two laser-based methods for determination of burn scar perfusion: laser Doppler versus laser speckle imaging *Burns* **31** 744–52
31. Wu D, Hamann H, Salerno A and Busse G 1996 Lockin thermography for imaging of modulated flow in blood vessels *Proc. Int. Conf. on Quantitative InfraRed Thermography (QIRT 1996) (Stuttgart, Germany)* pp 343–7
32. Sheppard L W, Vuksanovic V, McClintock P V E and Stefanovska A 2011 Oscillatory dynamics of vasoconstriction and vasodilation identified by time-localized phase coherence *Phys. Med. Biol.* **56** 3583–601
33. Love T J 1980 Thermography as an indicator of blood perfusion *Ann. New York Acad. Sci.* **335** 429–37
34. Merla A, Di Donato L, Romani G L, Proietti M and Salsano F 2008 Comparison of thermal infrared and laser doppler imaging in the assessment of cutaneous tissue perfusion in scleroderma patients and healthy controls *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* **21** 679–86
35. Frick P, Mizeva I and Podtaev S 2015 Skin temperature variations as a tracer of microvessel tone *Biomed. Signal Process. Control* **21** 1–7
36. Fujimasa I, Chinzei T and Saito I 2000 Converting far infrared image information to other physiological data *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* **19** 71–6