

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.9.7>

УДК: 612.563

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОГО ТЕРМОМЕТРА НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КИСТИ

Р.Е. Марченков¹, И.И. Терехов¹, Е.А. Йоник¹, А.А. Аносов^{1,2}, А.В. Ерофеев^{1,2}

¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет)

119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

² ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая, 11/7

Статья поступила в редакцию 8 июня 2023 г.

Аннотация. В статье исследовалась температура ладонной и тыльной стороны кисти с помощью метода медицинской термографии. Для этого использовались инфракрасный термометр (UNI-T, Китай) и портативный компьютерный термограф ИРТИС-2000 (ООО "Иртис", Москва, Россия). Исследование проводилось на группе испытуемых, состоящей из 50 человек, 17 мужчин и 33 женщин, возрастом от 18 до 23 лет. Среднее значение разности температур между ладонью и тыльной стороной кисти составило 0.21 ± 0.16 °С. Также было выявлено, что не у всех испытуемых температура ладони была выше температуры тыла кисти. Отдельно проводилось десятидневное исследование на одном испытуемом для определения, как менялась разность температур левой и правой рук утром, днем и вечером. У него изначально температура тыльной стороны кисти была выше температуры ладони. При анализе данных для всей выборки подтвердилось выдвинутое предположение, что поверхностная температура ладони больше температуры тыльной стороны кисти ($p < 0.05$).

Однако при отдельном рассмотрении групп мужчин и женщин различие оказалось незначимым ($p > 0.05$). В части обсуждения приводятся работы, в которых изучается температура кисти при ожирении и вибрационной болезни.

Ключевые слова: медицинская термография, температура, кисть.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (№ государственной регистрации АААА-А19-119041590070-01).

Автор для переписки: Аносов Андрей Анатольевич,
anosov_a_a@staff.sechenov.ru

Введение

Медицинская термография (тепловидение) – метод регистрации естественного теплового излучения поверхности тела человека в инфракрасной области электромагнитного спектра. В настоящее время данный метод становится всё более востребованным [1, 2]. Данный метод исследования обладает рядом преимуществ, таких как: отсутствие лучевой нагрузки, возможность неинвазивного использования и обследования всего организма сразу в рамках одного визита пациента. Однако наряду с положительными качествами данная методика обладает и рядом недостатков: в первую очередь ее неспецифичность, поскольку изменение температуры может зависеть от множества причин. Температура тела человека и высших животных поддерживается на относительно постоянном уровне, несмотря на колебания температуры внешней среды. Температура поверхностных тканей («оболочки») как правило ниже температуры глубинных тканей («ядра»). Также температура поверхности тела неравномерна и зависит от интенсивности переноса к ней тепла кровью из глубинных частей тела, а также от охлаждающего или согревающего действия температуры внешней среды [3].

Рассмотрим поверхностную температуру кисти. В соответствии с анатомическим строением кисти: лучевая и локтевая артерии и их ветви соединяются между собой и образуют поверхностную и глубокую ладонные

артериальные дуги, которые обеспечивают постоянный равномерный приток крови к кисти и к её пальцам [4], и физиологией кровообращения: «теплая» кровь по артериальному руслу несет тепло от центра организма на периферию его, а «холодная» кровь по венозному руслу, оттекая от кожи, имея обратное направление, охлаждает ядро организма [5], можно предположить, что поверхностная температура ладони кисти будет больше её тыльной стороны. Данная работа будет посвящена экспериментальной проверке выдвинутого предположения.

При анализе литературы, посвящённой вопросам измерения температуры кисти, нами не были найдены работы, в которых исследовалась бы температура обеих поверхностей кисти. Так в работах [6-10] описывались либо температурный диапазон, в котором проводилось исследование (24,0-28,0; 26-36; 28-34; 29,8-32,7 °С), либо исходная температура самой кисти – $30,4 \pm 0,5$ °С.

Отметим образовательный аспект данного исследования. В настоящее время число учебных часов, посвященных физике и математике, в медицинских вузах снижается. Например, в Первом московском государственном медицинском университете им. И.М. Сеченова для студентов, обучающихся по специальности «Лечебное дело», курс «Физика, математика» занимает один семестр, а именно 36 часов аудиторных занятий. В этих условиях востребованы лабораторные работы «медицинской» направленности, не требующие сложного оборудования. При этом важно, чтобы каждый студент имел возможность провести измерения самостоятельно. На наш взгляд, измерение поверхностной температуры с помощью инфракрасного термометра удовлетворяет всем указанным требованиям. Кроме этого, по результатам измерений можно обсудить использование статистических методов.

1. Материалы и методы

Измерение температуры поверхности тела проводилось с помощью инфракрасного термометра (UNI-T, Китай), у которого, согласно описанию,

погрешность измерения ± 2 °С. Эта погрешность складывается из систематической и случайной ошибок. Мы предполагаем измерять разность температур, поэтому систематическая ошибка нивелируется. Для оценки стабильности измерений и для вычисления случайной ошибки определяли температуру поверхности черной ткани. Провели 10 измерений при комнатной температуре за 1 мин. Дрейф показаний составил 0.5 градус/мин, стандартное отклонение – 0.2 градуса. Длительность измерений ладони и тыльной стороны кисти не превышает 10 с, поэтому инфракрасный термометр (UNI-T, Китай) можно использовать для определения разности температур ладони и тыльной стороны кисти.

Также для измерения распределения поверхностной температуры использовался портативный компьютерный термограф ИРТИС-2000 (ООО "Иртис", Москва, Россия) с чувствительностью к перепаду температур (на уровне 30 °С) 0.05 К, регистрировавший тепловое электромагнитное излучение в ИК-диапазоне 3-5 мкм [11]. Для определения значимости в различии температур между ладонью и тылом кисти применялся критерий Уилкоксона.

Группа испытуемых состояла из 50 человек, 17 мужчин и 33 женщин возрастом от 18 до 23 лет.

2. Результаты

С помощью термографа ИРТИС-2000 нами были получены термограммы ладони (рис. 1) и тыльной стороны кисти (рис. 2) и построены профили температур вдоль выделенных на рис. 1 и 2 линий (рис. 3). Длина линий, изображённых на термограммах, составляет около 30 мм. Профиль температур наглядно показывает величину температуры в каждой точке.

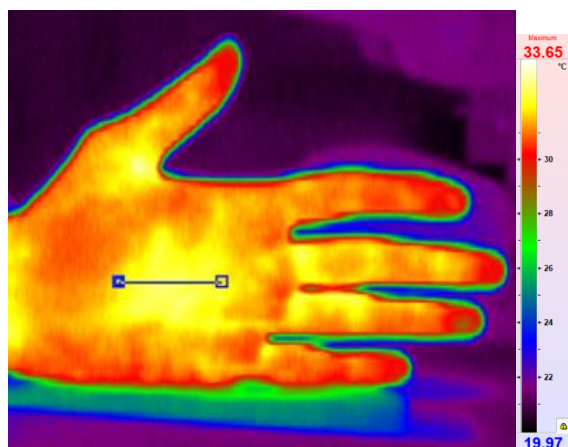


Рис. 1. Термограмма ладони

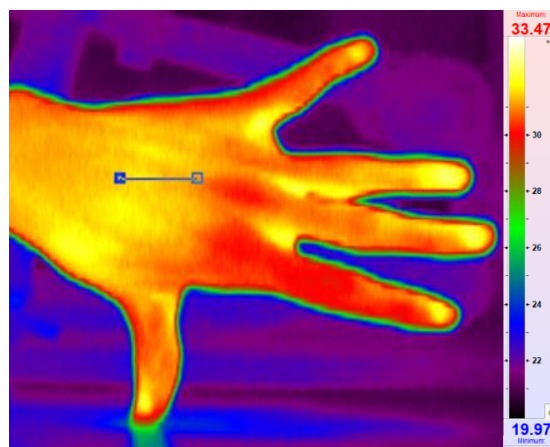


Рис. 2. Термограмма тыльной стороны кисти

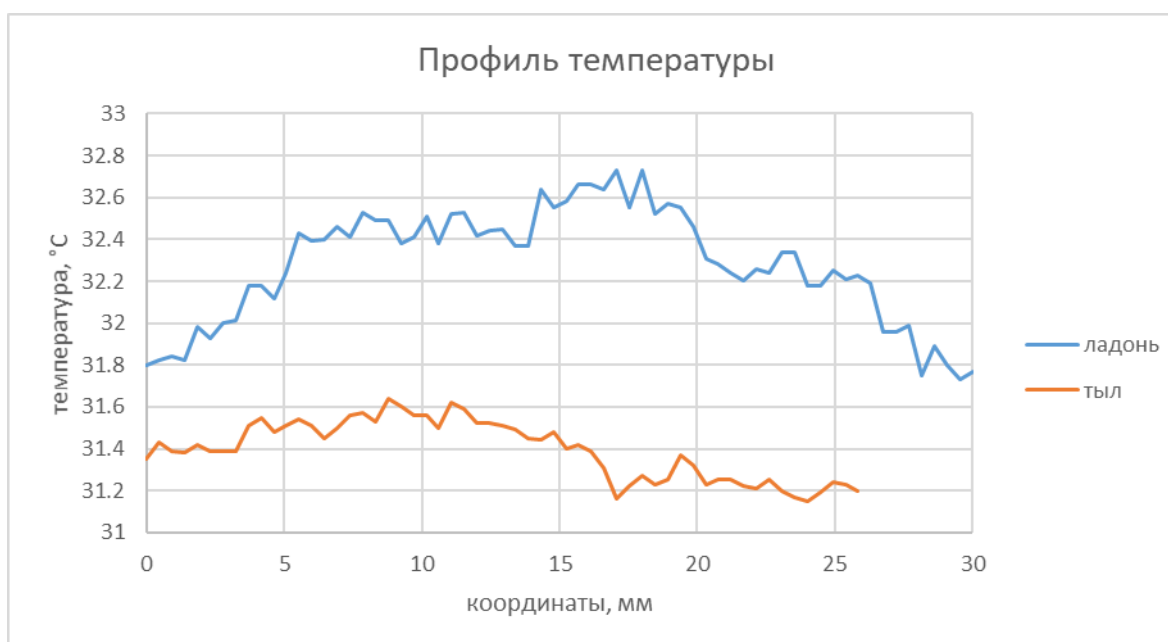


Рис. 3. График распределения температуры для обеих сторон кисти

Термометр UNI-T оснащен лазером, что облегчает задачу по неоднократному (для уменьшения ошибки) измерению температуры в одной и той же точке. Однако даже это не всегда помогает проводить измерения в строго выбранном месте, что может привести к дополнительной погрешности при измерении температуры. Измерения проводились естественным образом, без дополнительной фиксации руки и термометра. Можно считать, что мы измеряли температуру в области размером около 5 мм. Профили температур для ладонной и тыльной стороны кисти, представленные на рис. 3, показывают, что в области размером 5 мм температура может меняться до 0.4 градуса на ладони и до 0.3 градуса на тыльной стороне. Это вносит дополнительный

разброс в результаты измерений, причем этот разброс связан не с измерительной аппаратурой, а со спецификой исследуемого объекта.

Распределение разности температур ладони и тыльной стороны кисти левой руки представлено на рис. 4. Среднее значение разности температур между ладонью и тыльной стороной кисти составило $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$, стандартное отклонение 1.21 градуса. На графике представлен гауссиан, аппроксимирующий экспериментальные данные. Видно, что экспериментальное распределение уже нормального, то есть характеризуется положительным эксцессом. Это означает, что выбросы в данных интенсивнее, чем для нормального распределения.

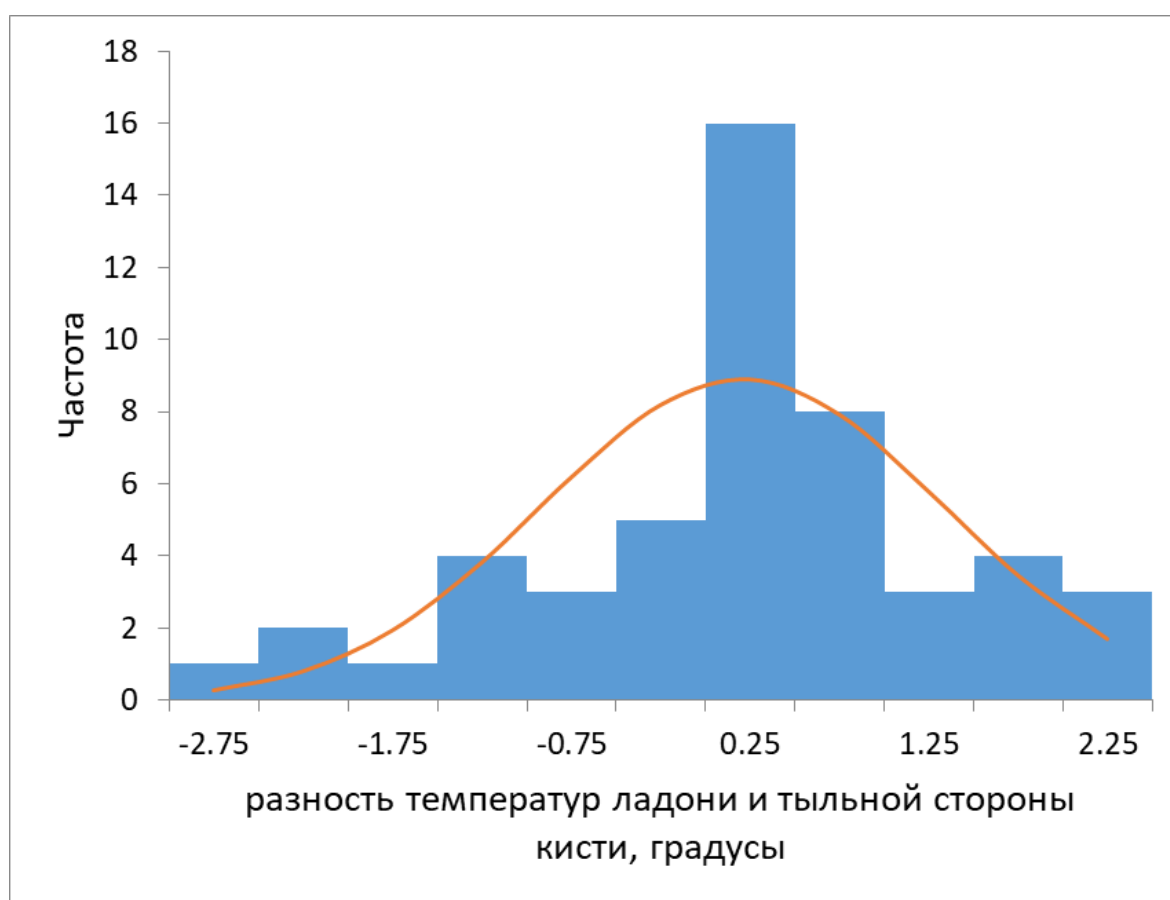


Рис. 4. Разность температур между ладонной и тыльной поверхностями кисти левой руки: экспериментальные данные и приближение гауссианом со средним значением 0.21 градуса и стандартным отклонением 1.21 градуса

Температура ладони была выше температуры тыльной стороны кисти у 34 испытуемых из 50: у 12 мужчин из 17 и у 22 женщин из 33. Согласно непараметрическому критерию Уилкоксона различие в температурах значимо

($0.05 > p > 0.01$). Отметим, что отдельно для мужчин и отдельно для женщин различие незначимо ($p > 0.05$).

Отдельно проводилось исследование, как меняется разность температур левой и правой рук у одного испытуемого во времени, утром, днем и вечером в течение 10 дней. Измерения проводились испытуемым, у которого изначально температура тыльной стороны кисти была выше температуры ладони. Графики изменения разности температур для левой и правой кисти представлены на рис. 5 и 6, соответственно. На рис. 7 представлены результаты утром, днем и вечером по отдельности. Разности температур для левой руки 0.6 ± 0.2 градуса, для правой руки 0.2 ± 0.2 градуса. Если объединить показания для левой и правой рук, то разность температур составит 0.4 ± 0.2 градуса. Здесь и далее после знака \pm представлена стандартная ошибка. Распределение разностей температур испытуемого представлено на рис. 8. Отметим, что при изначальном измерении (когда одновременно измеряли температуры рук нескольких испытуемых) у данного испытуемого тыльная сторона кисти была теплее ладони.



Рис. 5. Колебания разности температур ладонной и тыльной стороны левой кисти на протяжении 10 дней наблюдения

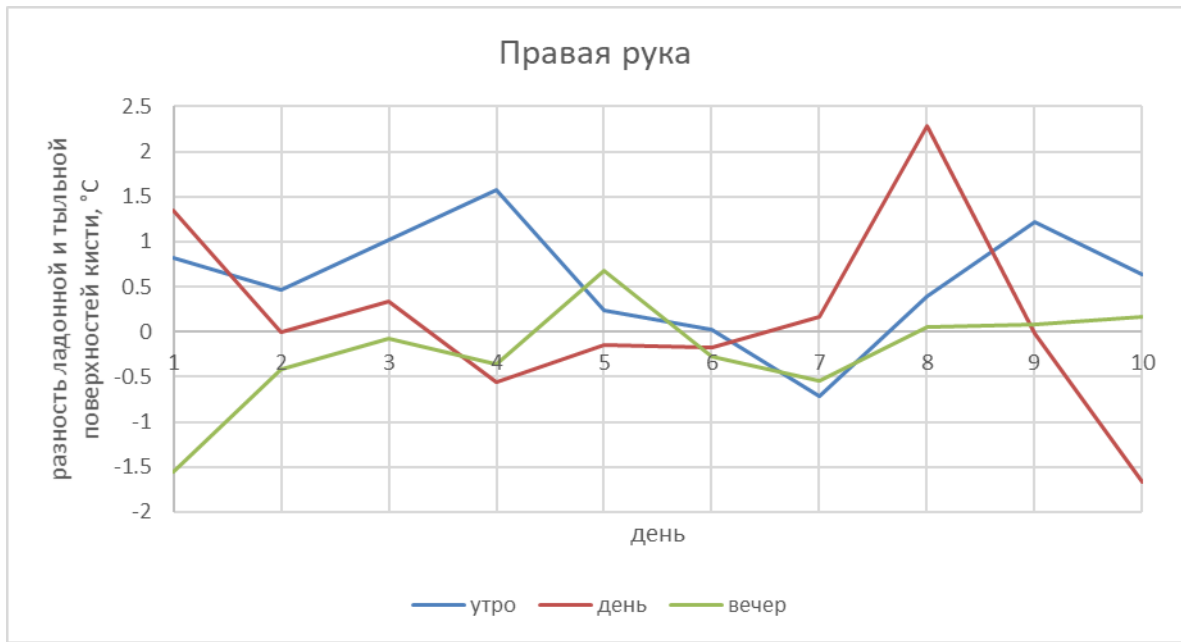


Рис. 6. Колебания разности температур ладонной и тыльной стороны правой кисти на протяжении 10 дней наблюдения

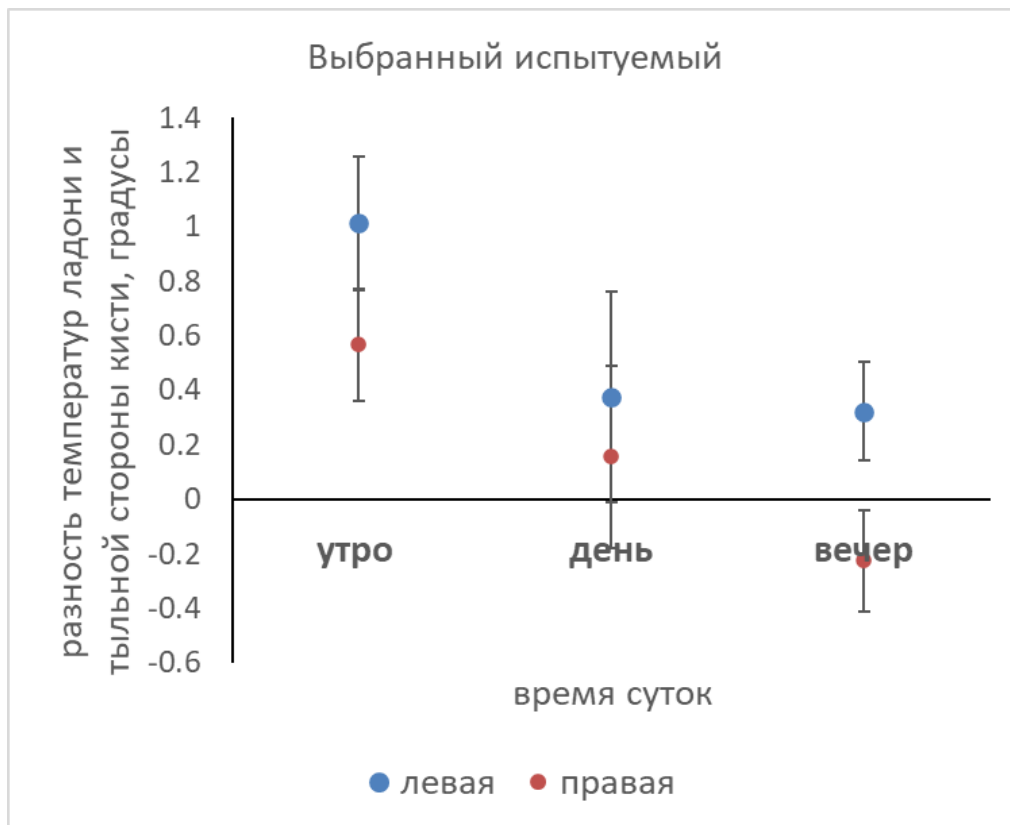


Рис. 7. Разность температур между ладонью и тыльной стороной кисти для левой и правой руки утром, днем и вечером

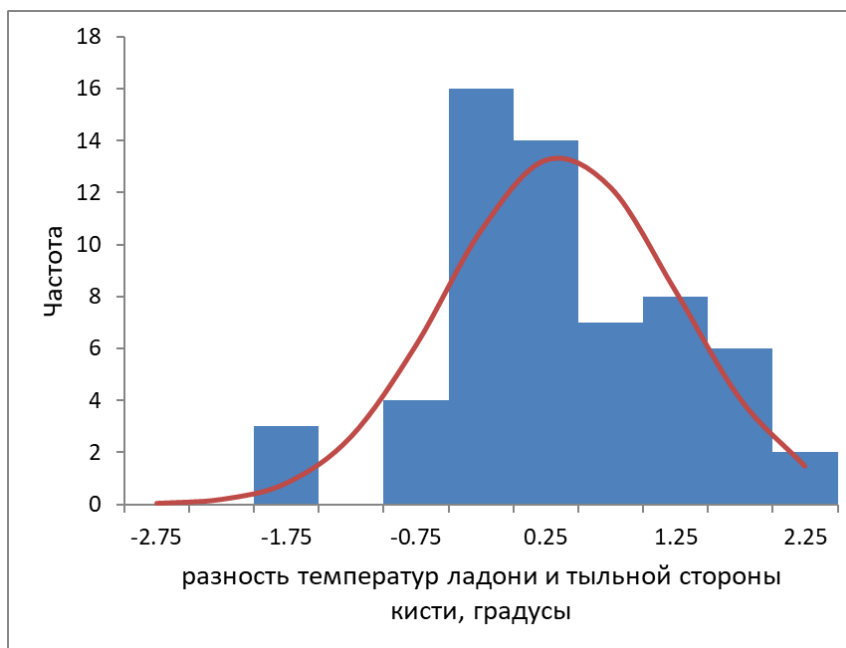


Рис. 8. Разность температур между ладонью и тыльной стороной правой и левой кисти испытуемого, усредненные за 10 дней: экспериментальные данные и приближение гауссианом со средним значением 0.37 градуса и стандартным отклонением 0.90 градуса

Помимо этого, исследовалась зависимость между разностью температур ладони и тыльной стороны кисти от температуры окружающей среды. Результаты представлены на рис. 9. Разность температур не коррелирует с температурой окружающей среды, которая менялась в диапазоне от 21 до 28 °С: коэффициент корреляции для левой кисти составил 0.02, для правой – 0.08.

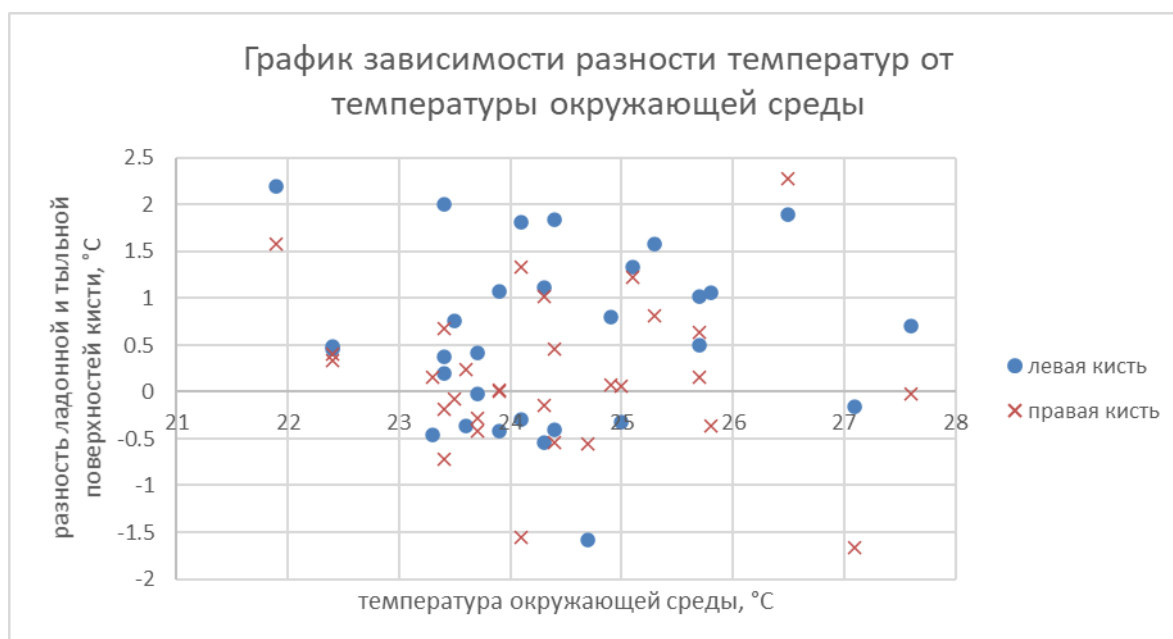


Рис. 9. График зависимости разности температур между ладонной и тыльной поверхностью левой и правой кисти от температуры окружающей среды

3. Обсуждение

Проведенное исследование в целом подтвердило предположение, сделанное в соответствии с расположением поверхностной и глубокой ладонных артериальных дуг, что поверхностная температура ладони больше температуры тыльной стороны кисти ($p < 0.05$). Однако, это утверждение, верное для всей группы испытуемых (50 человек), статистически не подтвердилось для отдельных подгрупп: ни для 33 женщин, ни для 17 мужчин ($p > 0.05$). По-видимому, это связано с малым объемом выборки. Этот недостаток может быть исправлен в дальнейших исследованиях, тем более, если удастся провести лабораторные работы со студентами-медиками. В этом случае число испытуемых составит несколько сотен молодых людей.

При этом исследование показало, что есть люди, у которых тыльная сторона кисти теплее, чем ладонь. Для выяснения причин этого явления также необходимы дальнейшие исследования. Возможно, в этом случае следует увеличить число испытуемых, которые производят измерения в течение нескольких дней. Наше исследование показало, что разность температур ладони и тыльной стороны кисти у одного испытуемого может меняться. По полученным данным можно предположить, что утром разность температур максимальна и снижается к вечеру. Однако, делать окончательные выводы по результатам, полученным одним испытуемым, преждевременно.

Отметим работу [12], посвященную изучению взаимосвязи поверхностной температуры с индексом массы тела у женщин, страдающих ожирением. Там были получены схожие результаты. Температура ладонной и тыльной поверхностей кисти составила 31.9 и 31.7°C, соответственно. Однако в указанной работе различие в полученных значениях было незначимым (согласно критерию Стьюдента $p = 0.43$). Также авторы пишут, что с повышением количества абдоминального жира уменьшается среднее значение поверхностной температуры организма. При этом обратная связь наблюдается для ладонной части кисти. Однако в работе представлены следующие значения температур кисти: для женщин с ожирением (ладонь: 31.7 °C и тыльная сторона: 31.5 °C)

и с нормальным весом (ладонь: 31.9 °С и тыльная сторона: 31.7 °С). С нашей точки зрения одно утверждение не соответствует другому. Мы задали вопрос авторам [12], но на момент написания статьи уважаемые авторы не дали разъяснений по этому поводу.

Также интересна работа [13], посвященная терапии вибрационной болезни. В ней были обследованы 74 больных в возрасте от 40 до 60 лет с клинически выраженными формами вибрационной болезни, соответствующими 1-2 и 2 стадиям заболевания. После применения препарата тиоктовой кислоты отмечено повышение кожной температуры кистей рук у больных основной группы с $22,4 \pm 0,15$ до $23,9 \pm 0,21$ °С ($p < 0,01$). Из этой работы можно сделать вывод, что медицинская термография может использоваться в качестве метода контроля, например эффективности лекарственной терапии, а также как диагностический метод в исследовании вибрационной болезни, относящейся к группе профессиональных заболеваний, поскольку температура кисти у испытуемых много ниже, отмеченной в изученных источниках и в нашем исследовании.

Заключение

Таким образом, исследование с участием 50 испытуемых в возрасте от 18 до 23 лет показало, что согласно непараметрическому критерию Уилкоксона поверхностная температура ладони больше температуры тыльной стороны кисти ($p < 0.05$).

На испытуемых, у которых температура тыльной стороны кисти оказалась выше температуры ладони, следует обратить дополнительное внимание для выявления причин, лежащих в основе данного эффекта.

Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам институционального комитета по исследовательской этике и Хельсинской декларации 1964 года и ее последующим изменениям.

От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (№ государственной регистрации АААА-А19–119041590070-01).

Литература

1. Морозов А. М. и др. Медицинская термография: возможности и перспективы. *Казанский медицинский журнал*. 2018. Т. 99. №. 2. С. 264-270. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-264>
2. Ачкасов Е. Е. и др. Медицинское тепловидение. *Научно-издательский центр ИНФРА-М* 2019. https://doi.org/10.12737/textbook_5ce64de5707d59.18786697
3. Солодков, А. С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник / А. С. Солодков, Е. Б. Сологуб. 7-е издание. Москва: Спорт, 2017. 624 с. EDN ZSINCN.
4. Сапин М.Р. «Анатомия. Учебник. В 2-х томах» (2001).
5. Лучаков Ю. И., Камышев Н. Г., Шабанов П. Д. Перенос тепла кровью: сопоставление расчетных и экспериментальных данных. *Обзоры по клинич. фармакол. и лек. терапии*. 2009. №4.
6. Анисимова Н. В. Термометрия как метод функциональной диагностики. *Известия ПГУ им. В.Г. Белинского*. 2007. №9. С.36-38.
7. Ураков А. Л., Уракова Н. А., Уракова Т. В., Касаткин А. А., Козлова Т. С. Влияние кратковременной гипоксии и ишемии на температуру кистей рук и цветовую гамму их изображения на экране тепловизора. *Медицинский альманах*. 2010. №2.
8. Подтаев С. Ю., Мизева И. А., Смирнова Е. Н. Диагностика функционального состояния микроциркуляции на основе термометрии высокого разрешения. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2012. №3-4.
9. А.И. Еремягин, М.Н. Евлампиева. Терморегуляторные сосудистые реакции у человека в термонейтральной зоне и при тепловом воздействии. *Гигиена и санитария*. 1972. №11.

10. Федосова А.А., Герасимова-Мейгал Л.И. Терморегуляционная вазомоторная активность у людей с различной восприимчивостью к холоду. *Журнал медико-биологических исследований*. 2016. №2.
11. Аносов А.А., Беляев Р.В., Вилков В.А., Казанский А.С., Курятникова Н.А., Мансфельд А.Д. Акустотермометрические данные о кровотоке и теплопродукции в предплечье при физической нагрузке. *Акустический журнал*. 2013. Т. 59. № 4. С. 539-544.
12. Chudecka M., Lubkowska A., Kempieńska-Podhorodecka A. Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women. *Journal of thermal biology*. 2014.Т.43.С.1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.03.001>
13. Сухова Анна Владимировна, Кирьяков Вячеслав Афанасьевич, Богатырева Инесса Александровна. Эффективность системной терапии вибрационной болезни. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018. №9.

Для цитирования:

Марченков Р.Е., Терехов И.И., Йоник Е.А., Аносов А.А., Ерофеев А.В. Исследование неравномерного распределения поверхностной температуры организма человека с помощью инфракрасного термометра на примере измерения температуры кисти. // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – №. 9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.9.7>