

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.362:537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21



Оригинальная статья /Original article

Термоэлектрическое устройство для транспальпебральной гипотермии
переднего отрезка глазного яблока человека

О.В. Евдулов¹, И.Ю. Аминова², Г.И. Аминов², И.Г. Аминов³, Г.А. Муталипова¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

²Филиал «Университет Дубна» - Дмитровский институт непрерывного образования,

²141800, г. Дмитров, ул. Космонавтов, д. 33, Россия,

³НМИЦ колопроктологии имени А.Н. Рыжих Минздрава России,

³123423, г. Москва, ул. Саляма Адия, д. 2, Россия

Резюме. Целью исследования является разработка конструкции термоэлектрического устройства для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека. **Метод.** Описана конструкция ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока. Устройство включает воздействующий наконечник, сопрягаемый одной поверхностью с веком, а противоположной, с холодной поверхностью термоэлектрического модуля. Горячая поверхность контактирует с корпусом, заполненным рабочим веществом, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 К. Прибор снабжен регулируемым источником электроэнергии с блоком управления. **Результат.** Обеспечение требуемого режима теплового воздействия, при котором температура переднего отрезка глазного яблока находится на уровне 283-288 К, может быть осуществлено путем использования в устройстве стандартного ТЭМ типа ТВ-17-1.4-1.15 производства ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург). **Вывод.** Рабочий диапазон мощностей ТЭУ будет находиться в пределах 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К. Ток питания составляет 6-7 А при потребляемой мощности 13-14 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5. Устройство может быть использовано при лечении кератитов, кератоконъюнктивитов, дистрофических состояний роговицы, переднего увеита и необскурирующего помутнения роговицы.

Ключевые слова: тепловое и транспальпебральное воздействие, термоэлектрическое устройство, термоэлектрический модуль, плавящееся вещество

Для цитирования: О.В. Евдулов, И.Ю. Аминова, Г.И. Аминов, И.Г. Аминов, Г.А. Муталипова. Термоэлектрическое устройство для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):14-21. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21

Thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment
of the human eyeball

O.V. Evdulov¹, I.Yu. Aminova², G.I. Aminov², I.G. Aminov³, G. A. Mutalipova¹

¹Daghestan State Technical University,

¹70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Branch "University of Dubna" - Dmitrov Institute of Continuing Education,

²33 Kosmonavtov St., Dmitrov 141800, Russia,

³A. N. Ryzhikh National Medical Research Center of Coloproctology,

³2 Salama Adilya St., Moscow 123423, Russia

Abstract. Objective. The purpose of the study is to develop the design of a thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball. **Method.** The design of a TEU for thermal impact on the anterior segment of the human eyeball is described. The

device includes an impact tip mated with one surface to the human eyelid, and the opposite surface to the cold surface of the thermo-electric module. The hot surface is in contact with a housing filled with a working substance having a stable melting point ranging from 303 to 330 K. The device is equipped with an adjustable power source with a control unit. **Result.** Ensuring the required mode of thermal exposure, in which the temperature of the anterior segment of the eyeball is at the level of 283-288 K, can be achieved by using in the device a standard TEM type TV-17-1.4-1.15 produced by Kryotherm LLC (St. Petersburg). **Conclusion.** The operating power range of the TEU will be within 3-4 W with an average temperature difference between the junctions of 45 K. The supply current is 6-7 A with a power consumption of 13-14 W. The refrigeration coefficient varies from 0.1 to 0.5. The device can be used in the treatment of keratitis, keratoconjunctivitis, dystrophic conditions of the cornea, anterior uveitis and non-obscuring corneal opacities.

Keywords: Thermal and transpalpebral effects, thermoelectric device, thermoelectric module, melting substance

For citation: O.V. Evdulov, I.Yu. Aminova, G.I. Aminov, I.G. Aminov, G. A. Mutalipova. Thermoelectric device for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024;51(1):14-21. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-14-21

Введение. Физические методы являются важной составной частью комплексного лечения глазных заболеваний [1-4], поскольку отличаются высокой эффективностью, простотой, надежностью и удобством реализации процедур, а также применяются как средство профилактики, лечения и борьбы с осложнениями различных офтальмологических заболеваний, характеризуются высоким лечебным эффектом. Благодаря новейшим достижениям в области медицины, физики, техники, электроники и биофизики появились новые методы физиотерапии, которые в настоящее время все шире применяются и в офтальмологии [5]. Среди современных научно-обоснованных физических методов лечения глазных болезней выделяются электролечение, водо-, свето-, грязелечение, механический массаж, ультразвуковая терапия, инфракрасное воздействие, теплолечение, в том числе криовоздействие [6,7]. Последнее имеет широкое распространение ввиду положительных свойств, как повышение трофики тканей, тонуса нервно-мышечного аппарата, улучшения крово- и лимфообращения, ускорения рассасывания отеков и инфильтратов, понижения отечности и воспалительных процессов в тканях.

Постановка задачи. В некоторых случаях терапии глазных заболеваний требуется обеспечить тепловое воздействие на орган зрения человека через закрытое веко, т.е. транспальпально [8]. Медицинская практика показывает, что проведение локальной транспальпальной гипотермии непосредственно перед и сразу после операций эксимерлазерной хирургии роговицы повышает эффективность данной операции. Методика позволяет избежать развития роговичных помутнений, приводит к лучшим визуальным и рефракционным эффектам. Для обеспечения транспальпальной гипотермии переднего отрезка глазного яблока разработано ТЭУ [9], отличающееся компактностью, экологичностью, надежностью работы [10-15] и высоким оздоровительным эффектом при реализации физиотерапевтических тепловых методик [16-18].

Целью настоящей работы является разработка конструкции ТЭУ, анализ параметров и методики использования в медицинской практике.

Методы исследования. Структурная схема ТЭУ для транспальпальной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека изображена на рис. 1.

ТЭУ состоит из корпуса 1, заполненного рабочим веществом 2, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 K [19]. В объем рабочего вещества погружены два теплообменника 3, представляющие собой две параллельные медные пластины, соединенные между собой медными штырями, на которые насажены тонкие медные диски. Верхняя пластина каждого теплообменника 3, выступающая из корпуса 1, по двум противоположным сторонам, параллельным длинной стороне корпуса 1, имеет высту-

пы, заканчивающиеся фиксаторами 4. В тепловом контакте с этой пластиной каждого теплообменника 3 находится ТЭМ 5. К противоположным спаям ТЭМ 5 с обеспечением теплового контакта прижимается основание контактной головки 6.

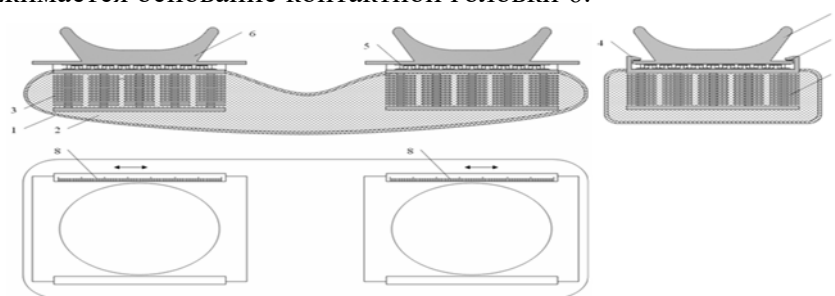


Рис. 1. Структурная схема ТЭУ для транспальпебральной гипотермии переднего отрезка глазного яблока человека

Fig. 1. Structural diagram of TEU for transpalpebral hypothermia of the anterior segment of the human eyeball

Прижим осуществляется с помощью упругой прокладки 7, проложенной между фиксаторами 4 и основанием контактной головки 6. На одном из фиксаторов 4 каждого теплообменника 3 нанесена размерная линейка 8, проградуированная в миллиметрах в масштабе 1:2. А на основании контактной головки 6 напротив линейки нанесена отметка, соответствующая центру контактной головки.

Работа устройства осуществляется в следующем режиме: врач выставляет контактные головки по линейкам в соответствии с межзрачковым расстоянием глаз пациента. Пациент принимает лежащее положение лицом вверх, после чего устройство накладывается контактными головками на закрытые веки. Врач выставляет температурный уровень воздействия с помощью программного блока контроля и регулировки температуры, а также время проведения процедуры. По окончании процедуры устройство выключается и подается звуковой сигнал. Процедура локальной транспальпебральной гипотермии осуществляется непосредственно перед и сразу после операции эксимерлазерной хирургии роговицы, а также во время реабилитационного периода.

Обсуждение результатов. Определены основные параметры ТЭУ. Его рабочие характеристики приведены на рис. 2-5. Графики представляют собой зависимости холодопроизводительности ТЭМ, холодильного коэффициента, напряжения питания от перепада температур между спаями для различных значений тока питания, а также зависимость напряжения на ТЭМ от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями.

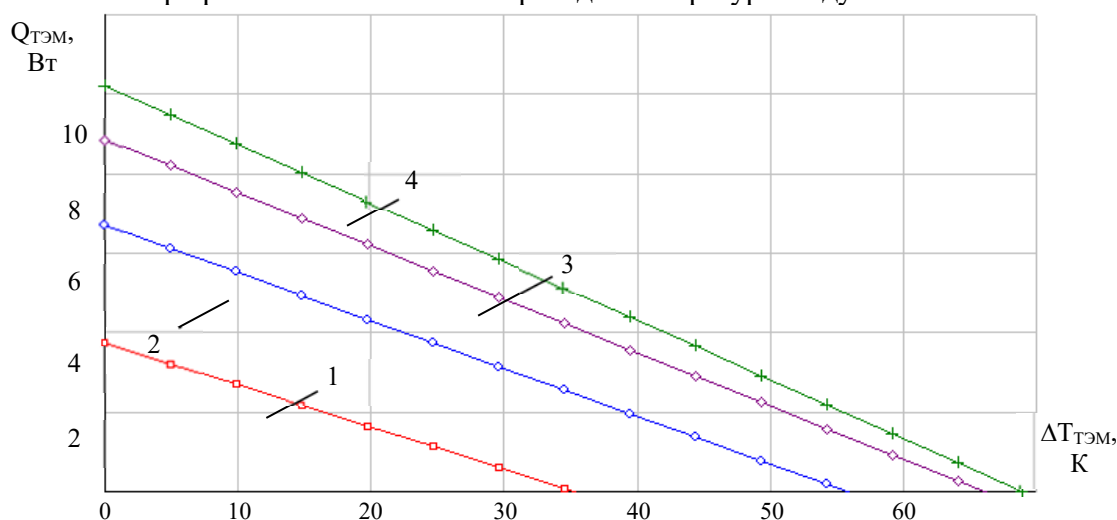


Рис. 2. Зависимость мощности ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания: 1- $I_{TEM}=2$ А, 2- $I_{TEM}=3.9$ А, 3 - $I_{TEM}=5.9$ А, 4 - $I_{TEM}=7.9$ А
Fig. 2. Dependence of the power of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current: 1- $I_{TEM}=2$ А, 2- $I_{TEM}=3.9$ А, 3 - $I_{TEM}=5.9$ А, 4 - $I_{TEM}=7.9$ А

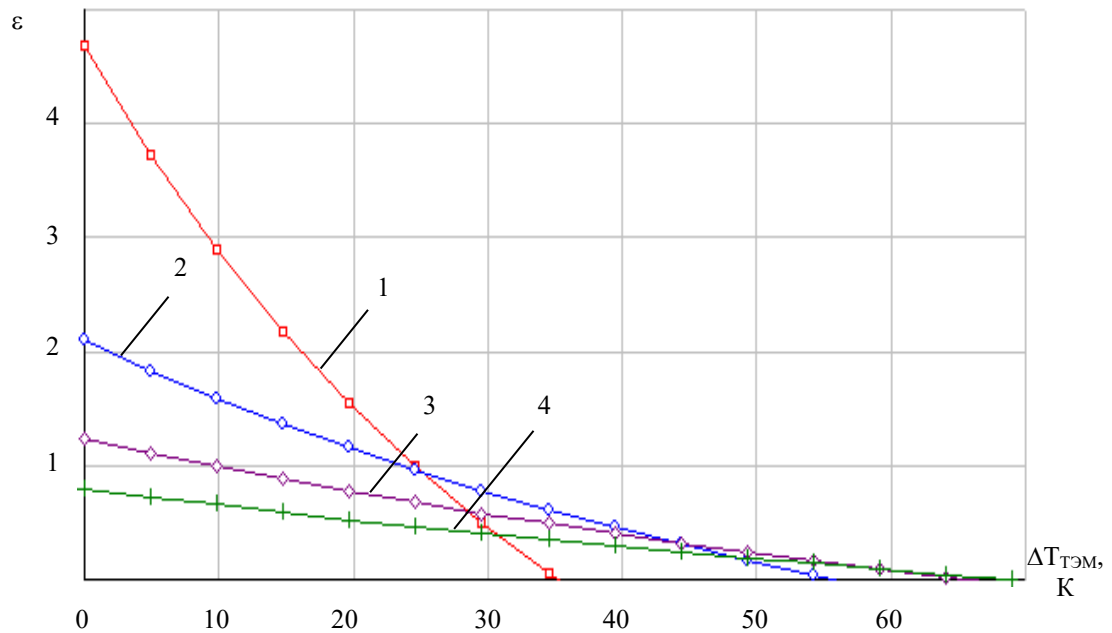


Рис. 3. Зависимость холодильного коэффициента ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания

1- $I_{\text{ТЕМ}}=2$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,9$ А, 3- $I_{\text{ТЕМ}}=5,9$ А, 4- $I_{\text{ТЕМ}}=7,9$ А

Fig. 3. Dependence of the coefficient of performance of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current

1- $I_{\text{ТЕМ}}=2$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,9$ А, 3- $I_{\text{ТЕМ}}=5,9$ А, 4- $I_{\text{ТЕМ}}=7,9$ А

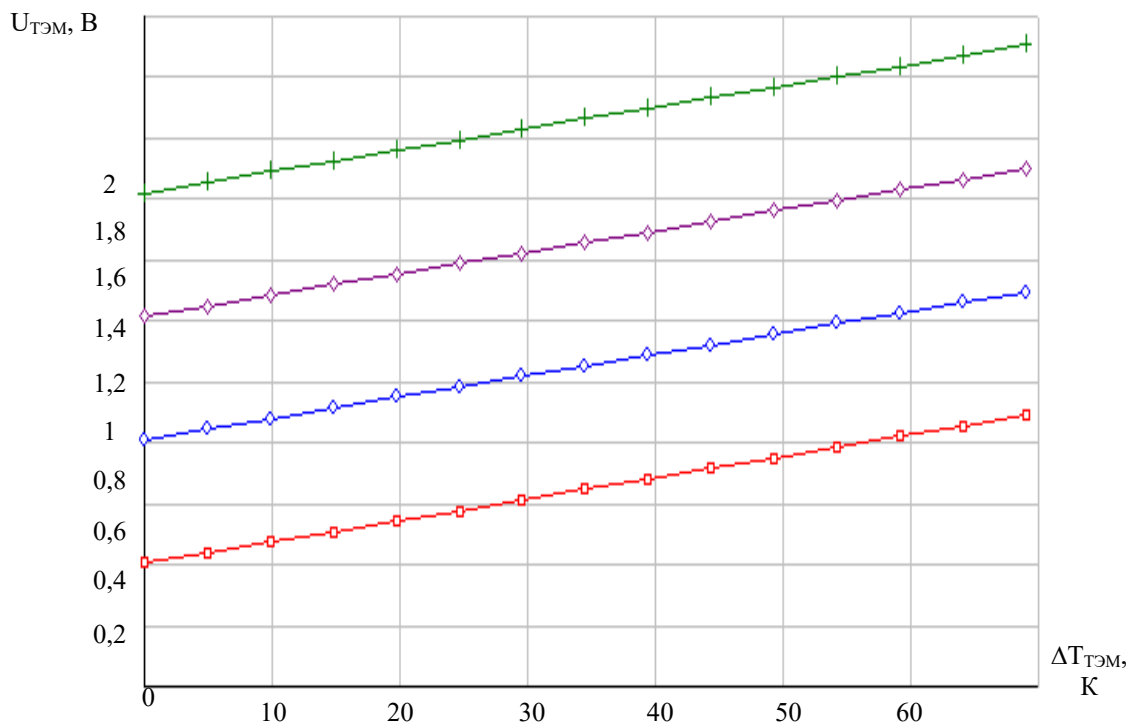


Рис. 4. Зависимость напряжения питания ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от перепада температур между спаями при различных значениях тока питания

1- $I_{\text{ТЕМ}}=2$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,9$ А, 3- $I_{\text{ТЕМ}}=5,9$ А, 4- $I_{\text{ТЕМ}}=7,9$ А

Fig. 4. Dependence of the supply voltage of TEM TV-17-1.4-1.15 on the temperature difference between the junctions at different values of the supply current

1- $I_{\text{ТЕМ}}=2$ А, 2- $I_{\text{ТЕМ}}=3,9$ А, 3- $I_{\text{ТЕМ}}=5,9$ А, 4- $I_{\text{ТЕМ}}=7,9$ А

Графики представлены при температуре горячих спаев термоэлементов, входящих в ТЭМ, 300 К. Согласно полученным данным, обеспечение требуемого режима теплового воздействия, при котором температура переднего отрезка глазного яблока находится на уровне 283-288 К, осуществляется путем использования в устройстве стандартного ТЭМ

типа ТВ-17-1.4-1.15 производства ООО «Криотерм» (г. Санкт-Петербург) [20].

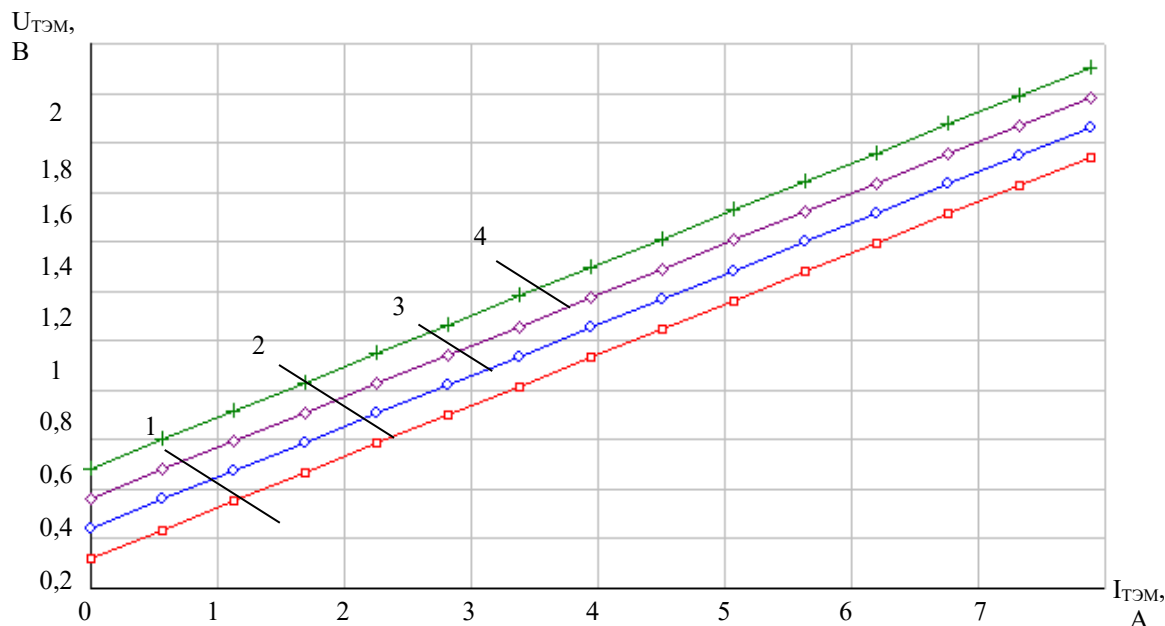


Рис. 5. Зависимость напряжения ТЭМ ТВ-17-1.4-1.15 от величины тока питания при различных значениях перепада температур между спаями

1- $\Delta T_{TEM} = 17$ K, 2- $\Delta T_{TEM} = 35$ K, 3 - $\Delta T_{TEM} = 52$ K, 4 - $\Delta T_{TEM} = 69$ K

Fig. 5. Dependence of the voltage of TEM TV-17-1.4-1.15 on the value of the supply current at different values of the temperature difference between the junctions

1- $\Delta T_{TEM} = 17$ K, 2- $\Delta T_{TEM} = 35$ K, 3 - $\Delta T_{TEM} = 52$ K, 4 - $\Delta T_{TEM} = 69$ K

В соответствии с представленными данными рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-17-1.4-1.15 будет находиться в пределах 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 K. При этом ток питания будет составлять 6-7 А при потребляемой мощности 13-14 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5.

Разработана методика проведения тепловых физиотерапевтических процедур на передний отрезок глазного яблока человека с помощью рассмотренного прибора.

Методика состоит в следующем. Процедура теплового воздействия контактная. Перед началом сеанса воздействия необходима местная поверхностная анестезия. Для удобства выполнения процедуры, а также с целью исключения возможности смещения головки прибора с глазного яблока во время процедуры, на веки пациента накладывают блефаростат. Перед проведением процедуры воздействия контактная головка прибора стерилизуется. При задании параметров воздействия врач может выбрать стандартный режим работы или ввести новый. При выборе стандартного режима работы система автоматически предлагает выбрать один из имеющихся режимов работы с уже введенными параметрами – пределы температур, время воздействия в каждом из пределов и общее время всего сеанса. При вводе нового режима на панели микропроцессорного блока контроля и регулировки врачом-офтальмологом задаются следующие параметры и режимы теплового воздействия: значение минимальной температуры воздействия; значение максимальной температуры воздействия (в градусах по Цельсию); длительность фазы нагревания и поддержания высокой температуры; длительность фазы охлаждения и поддержания низкой температуры; количество данных фаз. Для исключения излишнего давления на глазное яблоко пациента ТЭУ закрепляют в медицинском штативе. Далее, предварительно подготовленное устройство (охлажденное до определенной температуры), перпендикулярно устанавливают на роговицу пациента и с помощью управляемого источника электроэнергии начинают процедуру. При необходимости возможно дополнительное использование местного анестетика. Лечащий врач ведет наблюдение за процессом проведения процедуры. В случае выхода температуры воздействия за границы установленного диапазона, блок контроля и регулировки, входящий в состав электропитающего агрегата, подает звуковой сигнал и отключает устройство от сети питания.

По завершению процедуры и снятию с поверхности роговицы контактной головки прибора, врач-офтальмолог оценивает состояние переднего отрезка глаза (покраснение, помутнение, отделяемое из конъюнктивальной полости). После осмотра в конъюнктивальную полость закапывают раствор антибиотика. Количество сеансов, а также параметры теплового воздействия задаются индивидуально с учетом патологии и состояния переднего отрезка глаза. Повторение процедур допускается через день. Авторами разработаны несколько стандартных методик воздействия для лечения наиболее распространенных заболеваний органа зрения.

Основные показания к применению ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока:

1. Кератиты различной этиологии, в том числе вирусные. При лечении этих заболеваний надо максимально использовать холодное воздействие. Здесь применяется минимальная температура 283-288 К с экспозицией до 3 минут, далее в цикле максимальная температура 310 К с экспозицией 1 минута. Общее время процедуры - 12 минут.

2. Кератоконъюнктивиты не в стадии обострения. Используются те же режимы, что и при лечении кератитов.

3. Послеоперационные воспаленные реакции. В этом случае тепловое воздействие должно преобладать над холодным. Передний отрезок нагревается до температуры 312 К в течении 2 минут, затем, кратковременно (до 1 минуты), охлаждается до 293 К. Общее время процедуры - 15 минут.

4. Дистрофические состояния роговицы (буллезная кератопатия и т.п.). При лечении заболеваний данного типа важен температурный массаж для усиления микроциркуляции. Здесь используется одинаковое время экспозиции при воздействии теплом и холодом (по одной минуте), при этом нижнее значение температуры воздействия составляет 288 К, верхнее – 311 К. Общее время процедуры – 12 минут.

5. Передний увеит не в стадии обострения. Используется тот же режим воздействия, что и при послеоперационных воспаленных реакциях, только общее время процедуры составляет 12 минут.

6. Необскурирующие помутнения роговицы после различных хирургических вмешательств, в том числе лазерных. В этих случаях применяется минимальная температура 283-285 К с экспозицией до 3 минут, далее в цикле максимальная температура 311 К с экспозицией 1 минута. Общее время процедуры – 16 минут (4 цикла).

Противопоказанием к применению прибора являются заболевания органа зрения в стадии обострения, а также новообразования. Других противопоказаний нет.

ТЭУ теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека было апробировано в ГУ НПО «Дагестанский центр микрохирургии глаза» (г. Каспийск), а так же в поликлинике ВМФ № 89 (Московская область, Дмитровский район, Горки 25). Проведено 54 процедуры девяти пациентам с различными заболеваниями органа зрения. Из них, три пациента с необскурирующими помутнениями роговицы после лазерной хирургии, два пациента с послеоперационными воспаленными реакциями, один – с вирусным кератитом, два пациента с кератоконъюнктивитами не в стадии обострения и один - с передним увеитом не в стадии обострения. В ходе апробации данного устройства осложнений не наблюдалось и были выявлены следующие положительные факты:

- помутнения роговицы, возникающие как последствия лазерных хирургических вмешательств, рассасываются быстрее в 1,5 раза по сравнению с пациентами, при лечении которых не использовалась ТЭС теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока;
- температура воздействия на передний отрезок регулируется в широких пределах 283 К - 320 К) с точностью $\pm 0,5\text{К}$;
- послеоперационные воспаленные реакции снимаются практически после третьей процедуры.

Вывод. Разработана конструкция ТЭУ для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека. Устройство включает воздействующий наконечник, сопрягаемый одной поверхностью с веком человека, а противоположной с холодной поверхностью ТЭМ, горячая поверхность контактирует с корпусом, заполненным рабочим веществом, имеющим стабильную температуру плавления, лежащую в пределах от 303 до 330 К. Прибор снабжен регулируемым источником электроэнергии с блоком управления. В качестве ТЭМ, используемого в ТЭУ, применяется термомодуль типа ТВ-17-1.4-1.15, имеющий следующие рабочие характеристики: мощность - 3-4 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К, сила тока питания - 6-7 А, потребляемая мощность - 13-14 Вт, холодильный коэффициент 0,1-0,5.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-29-00130, <https://rscf.ru/project/23-29-00130/>

Библиографический список:

1. Зубкова С.М. Роль тепловой компоненты в лечебном действии физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. №6. С.3-10.
2. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. ООО «Медицинское информационное агентство», 2009. 612 с.
3. Боголюбов В.М. [и др.] Техника и методики физиотерапевтических процедур. М.: Бином, 2017. 464 с.
4. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 4. С.33-36.
5. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. 2022. т. 4, № 1. С.8-20.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. New York: Springer, 2015. 441 p.
7. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2011. 304 с.
8. Гуляев А.А. Оформление аппаратно/физиотерапевтических процедур согласно требованиям Минздрава РФ // Аппаратная косметология. 2017. № 1. С.14-20.
9. Евдулов О.В., Аминова И.Ю., Аминов Г.И., Аминов И.Г., Гасанова С.Г. Термоэлектрическая система для теплового воздействия на передний отрезок глазного яблока человека // Медицинская техника. 2023. № 3 (339). С. 8-10.
10. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives // Chemical engineering journal. - 2022. - Vol. 437. - P.135268.
11. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical application: design, optimization and advancement. Nano energy. 202; 90:106572.
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, New York: Springer, 2013. - 240 p.
13. Абоуеллаиль А.А., Чан Ц., Солдатов А.И., Солдатов А.А., Костина М.А., Борталевич С.И., Солдатов Д.А. Лабораторное обоснование термоэлектрического метода контроля переходного сопротивления контактов // Дефектоскопия. 2022. № 12. С. 70-78.
14. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Рагимова Т.А. Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения // Медицинская техника. 2019. № 2. С. 12-14.
15. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. - P. 86-94.
16. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Юсуфов Ш.А., Аминов Г.И. Приборы для локального температурного воздействия на человеческий организм // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2003. №2. С.3-6.
17. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Набиев Н.А., Магомедова С.Г. Модель термоэлектрического устройства для теплового воздействия на рефлексогенные зоны // Медицинская техника. 2020. №1. С. 40-43.
18. Евдулов О.В., Магомедова С.Г., Миспахов И.Ш., Набиев Н.А., Насрулаев А.М. Термоэлектрическая система для извлечения инородных объектов из тела человека // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. т. 46. № 1. С. 32-41.
19. Исмаилов Т.А., Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Системы отвода теплоты от элементов РЭА на базе плавящихся тепловых аккумуляторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. № 1 (36). С. 38-44.
20. <http://www.kryotherm.ru> (дата доступа 02.02.2024).

References

1. Zubkova S.M. The role of the thermal component in the therapeutic effect of physical factors. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 6:3-10.
2. Ushakov A.A. Practical physiotherapy. LLC Medical Information Agency, 2009; 612.

3. Bogolyubov V.M.[and.etc] Techniques and methods of physiotherapeutic procedures. M.:Binom, 2017; 464.
4. Ezhov V.V. Physiotherapy and physiotherapy as methods and means of preserving and restoring health. *Physiotherapy, balneology and rehabilitation*. 2011; 4:33-36.
5. Ponomarenko G.N. Rehabilitation medicine: fundamental principles and development prospects. *Physical and rehabilitation medicine*. 2022; 4(1):8-20.
6. Pasquali P. Cryosurgery: a practical manual. *New York: Springer*, 2015; RUR 441.
7. Tsyganov D.I. Cryomedicine: processes and devices. *M.: Science press*, 2011; 304.
8. Gulyaev A.A. Registration of hardware/physiotherapeutic procedures in accordance with the requirements of the Ministry of Health of the Russian Federation. *Hardware cosmetology*. 2017; 1:14-20.
9. Evdulov O.V., Aminova I.Yu., Aminov G.I., Aminov I.G., Gasanova S.G. Thermoelectric system for thermal influence on the anterior segment of the human eyeball. *Medical technology*. 2023; 3 (339):8-10.
10. Hu B., Shi X.-L., Chen Z.-G., Zou J. Thermoelectrics for medical applications: progress, challenges and perspectives. *Chemical engineering journal*. 2022; 437:135268.
11. Zaferani S.H., Ghomashchi R., Sams M.W., Chen Z.-G. Thermoelectric coolers as thermal management systems for medical applications: design, optimization and advancement. *Nano energy*. 2021;90:106572.
12. Goldsmid H.J. Thermoelectric refrigeration, *New York: Springer*, 2013; 240.
13. Abouellail A.A., Chan Ts., Soldatov A.I., Soldatov A.A., Kostina M.A., Bortalevich S.I., Soldatov D.A. Laboratory substantiation of the thermoelectric method for monitoring the contact resistance. *Defectoscopy*. 2022; 12: 70-78.
14. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Nabiev N.A., Ragimova T.A. Thermoelectric device for stopping bleeding. *Medical technology*. 2019; 2:12-14.
15. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx. *Journal of Thermoelectricity*. 2015; 2: 86-94.
16. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Yusufov Sh.A., Aminov G.I. Devices for local temperature effects on the human body. *News of universities. North Caucasus region. Technical Sciences*, 2003;2:3-6.
17. Ismailov T.A. Evdulov O.V., Nabiev N.A., Magomedova S.G. Model of a thermoelectric device for thermal influence on reflexogenic zones. *Medical technology*. 2020; 1: 40-43.
18. Evdulov O.V., Magomedova S.G., Mispakhov I.Sh., Nabiev N.A., Nasrulaev A.M. Thermoelectric system for removing foreign objects from the human body. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019; 46(1): 32-41.
19. Ismailov T.A., Evdulov D.V., Evdulov O.V. Systems for removing heat from electronic elements based on melting heat accumulators. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015; 1 (36): 38-44.
20. <http://www.kryotherm.ru> (access date 02/02/2024).

Сведения об авторах:

Евдулов Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники; ole-ole-ole@rambler.ru

Аминов Гарун Ильясович, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела развития компетенций; g.aminov@yandex.ru.

Аминова Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цифровой трансформации; irzarema@yandex.ru.

Аминов Ильяс Гарунович, ординатор; aminov.i.g@yandex.ru.

Муталипова Гюльжаган Абдулгамидовна, ассистент кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; m.gulya3028@bk.ru.

Information about authors:

Oleg V.Evdulov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General Electrical Engineering; ole-ole-ole@rambler.ru

Garun I. Aminov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of Competence Development Department; g.aminov@yandex.ru.

Irina Yu. Aminova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Digital Transformation Technology; irzarema@yandex.ru.

Ilyas G. Aminov, Resident; aminov.i.g@yandex.ru.

Gyulzhagan A. Motalipova, Assistant, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; m.gulya3028@bk.ru.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 19.12.2023.

Одобрена после/рецензирования Reviced 09.01.2024.

Принята в печать/ Accepted for publication 09.01.2024.