

УДК 621.397.3:616-072.7:616-08-07

МЕДИЦИНСКОЕ ТЕПЛОВИДЕНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНДОВАЗАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

¹Морозов В.В., ²Вайнер Б.Г., ¹Новикова Я.В.

¹ФГБУН «Институт химической биологии и фундаментальной медицины» СО РАН,
Новосибирск, e-mail: doctor.morozov@mail.ru;

²ФГБУН «Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова» СО РАН,
Новосибирск, e-mail: BGV@isp.nsc.ru

Приведен обзорный материал по применению медицинской инфракрасной термографии (ИКТ) в клинической и амбулаторной медицине. Изучен отечественный и зарубежный опыт использования тепловидения в диагностике сосудистых нарушений. Указаны преимущества компьютерных матричных тепловизионных систем высокого разрешения. Приведен собственный опыт применения матричной ИКТ высокого разрешения в эндовазальной хирургии. ИКТ использовали для контроля за ходом оперативного лечения пациентов с варикозной болезнью нижних конечностей (ВБНК) методом эндовазальной лазерной облитерации подкожных вен. Оценивали информативность ИКТ при выполнении операции минивенэктомии. Показано, что применение ИКТ в эндовазальных операциях у пациентов с ВБНК позволяет снизить риск развития интраоперационных осложнений за счет своевременного выявления ранних изменений в паравазальных тканях. При выполнении минивенэктомии даже минимальное подкожное кровоизлияние с образованием гематомы возможно верифицировать *in situ* при помощи ИКТ. Простота, доступность тепловизионного метода, а также возможность использования аппаратуры непосредственно в операционной делают этот метод привлекательным для широкого круга практических врачей флебологов.

Ключевые слова: сосудистая хирургия, эндовазальная лазерная облитерация, минивенэктомия, матричное тепловидение

MEDICAL INFRARED THERMOGRAPHY: MODERN CAPABILITIES AND APPLICATION TO ENDOVASAL SURGERY

¹Morozov V.V., ²Vainer B.G., ¹Novikova Y.V.

¹Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk,
e-mail: doctor.morozov@mail.ru;

²A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS, Novosibirsk, e-mail: BGV@isp.nsc.ru

The paper presents a review of medical use of infrared thermography (IRT) in clinical and outpatient medicine. Domestic and international experience of using thermal imaging in the diagnosis of vascular disorders is studied. The advantages of computerized focal-plane array based high resolution IRT is discussed. The use of IRT in the endovasal surgery is presented at first hand. IRT was applied to monitor the progress of surgical treatment of patients with varicose veins of the lower extremities by endovasal laser obliteration of saphenous veins. New information obtained with the use of IRT during operation minivenectomy is described. It is shown that the IRT may be successfully used during endovasal operations in patients with varicose veins of the lower extremities to reduce the risk of intraoperative complications due to early detection of early changes in paravasal tissues. With the use of IRT, even minimal subcutaneous hemorrhage with hematoma formation may be verified *in situ* during minivenectomy. Simplicity, availability of thermal imaging, and the possibility to use the equipment in operating room makes this method attractive for a wide range of practitioners in phlebology and other surgical applications.

Keywords: vascular surgery, endovasal laser obliteration, minivenectomy, focal-plane array (FPA) based infrared thermography

Медицинская инфракрасная термография (ИКТ) – широко известный метод обследования пациентов с помощью специального оптического прибора – тепловизора, позволяющего регистрировать собственное тепловое излучение живых объектов и преобразовывать его в видимые двумерные термограммы, качественно и количественно отображающие распределение температуры на поверхности тела [1–3]. Температура кожи и характер ее неоднородности служат интегральным показателем состояния живого организма [2–4]. В формировании поверхностной гетерогенной температурной картины принимает участие несколько анатомо-физиологических и физических факторов: сосудистая сеть артери-

альной, венозной и лимфатической систем, уровень метаболизма в органах, теплопроводность кожи и прилегающих к ней глубоких тканей. Существенное влияние оказывают также работа нейрофизиологических механизмов терморегуляции (к примеру, потоотделение) и условия теплообмена с окружающей средой. При анализе медицинских термограмм должны учитываться все эти факторы.

Нарушение гемодинамики в виде венозного стаза, ухудшения артериального притока, патологических изменений на уровне микроциркуляторного русла приводит к изменению температуры тканей. Современная ИКТ с точностью до 0,01 °С оценивает неоднородность распределения температу-

ры на поверхности тела, отражающую состояние внутренних структур организма, обладая способностью указывать на анатомическую область патологических изменений еще до появления клинической симптоматики, определять активность и характер протекающих процессов.

С середины 90-х годов 20 века парк медицинского тепловизионного оборудования стал интенсивно пополняться приборами нового поколения – компьютерными матричными тепловизионными системами высокого разрешения. Они на 1–2 порядка улучшили технические и связанные с ними потребительские характеристики тепловизионного метода в медицине и существенно увеличили популярность данного вида диагностики у врачей [5–7]. Сегодня применение тепловизоров матричного типа в медико-биологических научных исследованиях служит маркером, указывающим на современность подхода к решению задач, в которые вовлечено тепловидение [3], и наоборот.

ИКТ занимает особое место среди известных способов бесконтактной диагностики, оперирующих в разных спектральных диапазонах. Данный метод помогает следить за динамикой патологического процесса и, тем самым, объективно сопровождать наблюдаемую у пациента совокупность клинических проявлений. Использование портативных приборов нового поколения в кабинете врача, в больничной палате, в операционной и даже в домашних или полевых условиях позволяет осуществлять динамическое термокартирование и анализ полученных термограмм в виде динамического тепловизионного фильма.

Целью настоящей работы является изучение возможности применения матричной ИКТ высокого разрешения в эндоваскулярной хирургии.

Применение тепловидения в диагностике сосудистых нарушений

Возможности использования ИКТ для дифференциальной диагностики сосудистых заболеваний и оценки эффекта проводимого лечения рассмотрены во многих отечественных и зарубежных публикациях. Так, ИКТ позволила выявить изменения, происходящие на фоне применения перфторана для лечения пациентов с облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей [8], путем измерения разности температур между пальцами и стопой, которая уменьшалась в случае успешного проведения терапевтических методов лечения. В работе [9] ИКТ применялась для оценки состояния пациентов с высоким риском заболеваний периферических артерий ниж-

них конечностей. Было обследовано более 50 пациентов, подверженных также стандартным диагностическим тестам (определение лодыжечно-плечевого индекса с физической нагрузкой и без нее, измерение сегментарного давления в конечностях). Было зарегистрировано расхождение результатов, полученных разными методами обследования: по данным ИКТ нарушение кровообращения в периферических артериях нижних конечностей наблюдалось у 28 пациентов, в то время как отклонения по стандартным тестам имели только 20.

В работе [10] изучалась диагностическая ценность различных термографических методов для диагностики варикозной болезни нижних конечностей (ВБНК) – ИКТ и радиотермография (РТ), контрольным методом служило ультразвуковое ангиосканирование (УЗАС). Первую группу принявших участие в исследовании составили 30 пациентов с варикозной болезнью С1–С2 клинических классов по классификации CEAP, вторую – 25 пациентов с ВБНК С3–С6 клинического класса (CEAP), также было обследовано 29 здоровых лиц. Путем комбинаций использования методов был определен процент совпадения диагнозов. Сделан вывод, что применение ИКТ и РТ на ранних стадиях процесса варикозной трансформации вентрикожных и малых подкожных вен (С1–С2 клинический класс) не является информативным. Комбинированная термометрия дает наиболее высокую чувствительность (63,3 и 89%) и специфичность (76,4 и 91,5%) для пациентов первой и второй групп исследования соответственно. Частота совпадений диагноза с результатами УЗАС была также выше во второй группе (91%) против 71,5% в первой группе.

В другой группе пациентов для верификации возможностей ИКТ при различных видах патологии вен нижних конечностей был проведен «двойной слепой» анализ полученных термограмм. Было обследовано 57 пациентов, у которых в 35 случаях выявили ВБНК, посттромбофлебитическую болезнь – в 32, а острый венозный тромбоз – в 16 случаях. Патологии вен не обнаружили в 31 наблюдении. Специфичность и чувствительность метода комбинированной термографии в этой части исследования составила 86,7 и 87,9% соответственно. Авторы сделали вывод, что применение термографии у пациентов с варикозной болезнью не может полностью заменить ультразвуковое ангиосканирование, однако является информативным дополнительным методом диагностики заболевания.

В работе [11] была поставлена задача определить на базе обширного кли-

нического материала чувствительность, специфичность и диагностическую точность УЗАС, компьютерной томографии, магниторезонансной томографии и ИКТ в диагностике хронической венозной недостаточности. В исследование были включены 1690 (83,2%) пациентов с ВБНК, 238 (11,7%) пациентов с посттромбофлебической болезнью, а также 103 (5,1%) случая врожденной ангиодисплазии нижних конечностей. Полученные результаты показали высокую чувствительность (94–98%) и специфичность (90–95%) всех использованных методов. Диагностическая точность 92–96% также позволяла применять эти методы для верификации диагноза. Наиболее высокие показатели зарегистрированы у УЗАС, однако, включение ИКТ в схему обследования позволяет повысить информативность исследования, дополнить объем недостающих данных о состоянии пациента.

Помимо изучения нарушений гемодинамики на уровне нижних конечностей диагностическая ценность ИКТ была исследована при диагностике нарушений кровообращения при краниовертебральной патологии у подростков [12]. В когорту пациентов были включены подростки в возрасте от 14 до 18 лет с вертеброгенными головными болями. Помимо ИКТ, методами диагностики служили клинико-неврологический, рентгенологический, ультразвуковая доплерография (УЗДГ), реоэнцефалография, электроэнцефалография. 79 пациентам (43,9%) с признаками вертебро-базиллярной недостаточности и наличием дегенеративно-дистрофических нарушений в шейном отделе позвоночника была выполнена ИКТ. У 34 (43%) подростков была выявлена температурная асимметрия в заинтересованных участках, в то время, как по данным УЗДГ, процент совпадений обнаруженных нарушений с патологией составил 94,4%. Еще выше по данным УЗДГ этот показатель был при выявлении одностороннего синдрома позвоночной артерии – 100%. С применением ИКТ этот диагноз был выставлен лишь у 53,2% пациентов. Результаты показали, что применение ИКТ у пациентов с патологией шейного отдела позвоночника позволяет не только объективизировать причину болевого синдрома, но и получить информацию о компенсаторных возможностях мозгового кровотока.

Возможности ИКТ были изучены и при микрососудистых нарушениях. Так, у пациентов с синдромом Рейно и системным склерозом эффективность методов капилляроскопии, ИКТ и лазерной доплеровской флоуметрии при их изолированном применении составила 89; 74 и 72%, соответ-

ственно, однако комбинация этих методов позволила значительно повысить точность установленного диагноза [13].

Тепловизионный мониторинг *in-situ* в ходе хирургической операции на сосудах

В ЦНМТ ИХБФМ СО РАН проведено исследование, целью которого было изучение возможности применения ИКТ для контроля за ходом оперативного лечения пациентов с ВБНК методом эндовазальной лазерной облитерации подкожных вен. Широкое внедрение в последние годы эндовазальных методов хирургического лечения ВБНК в России [14] обуславливает необходимость поиска новых путей контроля за эффективностью и безопасностью проведения облитерации вен с использованием лазерной или радиочастотного излучений. Общепризнанным диагностическим методом контроля сегодня является ультразвуковое сканирование вены и паравазальных тканей во время проведения тумесценции, то есть введения буферного раствора или раствора анестетика в мягкие ткани в области заинтересованной вены, а также непосредственно во время выполнения облитерации сосуда. Однако, несмотря на очевидную информативность этого метода, он не дает представления о температурном режиме во время эндовазального воздействия, хотя последний играет не последнюю роль в снижении риска развития интраоперационных осложнений, таких, как ожог кожи и мягких тканей, повреждение стенки сосуда и прилегающих анатомических образований.

Для решения проблемы было предложено использовать возможности ИКТ, вполне адекватно применимой в подобных случаях [15]. В исследование были включены 123 плановых пациента с ВБНК С2-С5 клинического класса (СЕАР). Всем было выполнено эндовазальное вмешательство, при этом по показаниям 93-м (75,6%) проведена лазерная облитерация магистральных варикозно измененных вен, у 30 (24,4%) выполнена радиочастотная облитерация. В большинстве случаев – в ходе 112 (91%) операций – вмешательство производилось на большой подкожной вене, у остальных пациентов варикозная трансформация затрагивала малую подкожную вену.

Термографическое исследование проводилось непосредственно в операционной одновременно с ультразвуковым контрольным сканированием (рис. 1). Процедура термографирования осуществлялась дистанционно, поэтому не влияла ни на ход, ни на исход операции. Интраоперационно, на этапах паравазального введения буферного рас-

твора и эндовазальной облитерации вены, выполнялся мониторинг температурной реакции. По изменению характера термограмм можно было сделать заключение об адекватности и эффективности тумесценции и безопасности лазерного или радиочастотного воздействия. На фоне введения раствора наблюдалось снижение температуры кожи и подкожной клетчатки в среднем на $2,7^{\circ}$ с появлением на термограмме характерного синего окрашивания заинтересованного участка (рис. 2) Такие изменения интерпретировались как эффективное (адекватное) выполнение тумесценции.

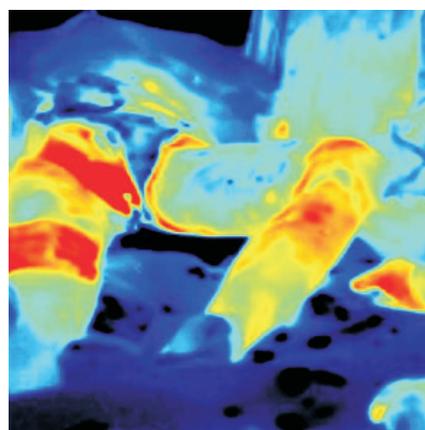
На следующем этапе, во время выполнения облитерации измененной вены, осуществлялся мониторинг тепловых показателей в паравазальных тканях с целью предупреждения развития осложнений высокотемпературного воздействия. В норме температура в инфильтрированных тканях должна оставаться неизменной, пример чего продемонстрирован на рис. 3. При появлении признаков превышения допустимого уровня теплового воздействия в виде увеличения цифровых показателей и цвета термограммы (приобретение красного оттенка локальными участками кожных покровов в зоне воздействия) ситуация расценивалась как потенциально опасная, что предписывало изменение режима эндовазального воздействия или прекращение манипуляции.



Рис. 1. Проведение тепловизионного исследования в ходе хирургической операции в Центре новых медицинских технологий СО РАН. На переднем плане – компьютерный матричный тепловизор ТКВр-ИФП/СВИТ



а



б

Рис. 2. а – этап выполнения тумесценции; б – тепловое изображение зоны воздействия в области левого бедра после выполнения тумесценции

Мониторинг изменения температуры был проведен и при выполнении открытого хирургического лечения в объеме мини-венэктомии по методике Muller. Выявлено, что минимальная хирургическая агрессия приводит к повышению температуры кожи и подкожной клетчатки в области вен. При этом даже минимальное подкожное кровоизлияние с образованием гематомы воз-

можно верифицировать *in situ* при помощи ИКТ (рис. 4).

Приведенные результаты показывают, что применение ИКТ в качестве метода контроля за эффективностью и безопасностью выполнения эндовазальных операций у пациентов с ВБНК позволяет снизить риск развития интраоперационных осложнений за счет своевременного выявления ранних изменений в паравазальных тканях.



Рис. 3. а – этап лазерной облитерации большой подкожной вены; б – тепловое изображение зоны воздействия в области левого бедра на этапе облитерации

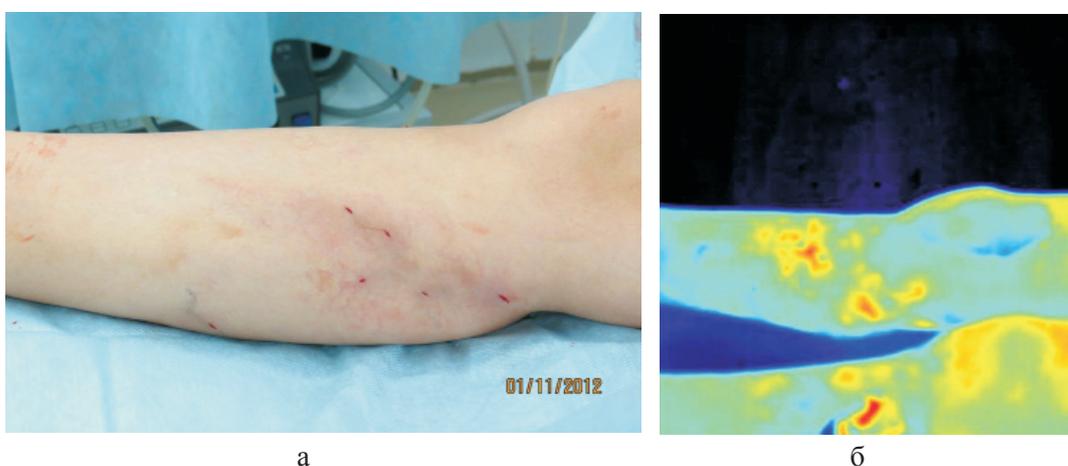


Рис. 4. Внешний вид (а) и тепловое изображение (б) правой нижней конечности после выполнения минивенэктомии

Заключение

За последнее десятилетие в мире опубликовано большое число научных работ, описывающих применение ИКТ в различных областях медицины. Они однозначно подтверждают целесообразность использования данного метода для диагностического контроля широкого спектра заболеваний. Одним из преимуществ ИКТ является то, что в ряде случаев она позволяет выявлять патологические изменения еще до развития клинических проявлений. Кроме того, побочные явления, которыми обладают рентгенографическое исследование, магнитно-резонансная и компьютерная томография, отсутствуют у ИКТ, делая ее привлекательной как для врачей, так и для пациентов. Неинвазивность, дистанционность и полная безопасность дают возможность повторять диагностические мероприятия с необходимой кратностью, контролировать эффективность лечения, проводить обширные физиологические исследования человека.

Следует сказать, что термографические методы диагностики и контроля пригодны для динамического наблюдения за проводимыми инвазивными и неинвазивными процедурами в режиме on line в системе телемедицины, что было предложено и обосновано в работе [8]. Дистанционность метода позволяет применять тепловизоры в условиях операционной с соблюдением требуемой стерильности. ИКТ подходит для использования в комплексе с другими диагностическими методами, при необходимости – одновременно с ними, при этом отмечается повышение информативности приобретаемых диагностических данных.

Плюсом в использовании методики ИКТ для российских врачей является также тот факт, что на настоящий момент разработаны и успешно внедряются качественные российские приборы. Они имеют технические характеристики, соответствующие мировым стандартам, при этом стоимость российских приборов значительно ниже зарубежных аналогов.

Анализ литературы показывает [3], что результаты применения ИКТ в медицине не всегда однозначны. Это бывает связанным как с недостаточной выборкой пациентов, так и с погрешностями в проведении исследований, неточностями при составлении протокола научной работы. Таким образом, представляется целесообразным и необходимым продолжать научные изыскания по данной проблеме.

Применение ИКТ в качестве метода интраоперационного контроля за точностью и безопасностью выполнения основных этапов эндоваскулярных вмешательств убедительно продемонстрировало эффективность и высокую информативность термографии. Возможность дополнительно к ультразвуковой визуализации объекта воздействия получать объективные данные об изменении температурного режима позволит снизить количество интраоперационных осложнений и повысить эффективность проведения манипуляции. Простота, доступность тепловидения и возможность его использования непосредственно в операционной делают этот метод привлекательным для широкого круга практических врачей, применяющих в своей практике лазерную и радиочастотную коррекцию ВБНК.

Работа поддержана Программой президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (проект ФНМ-40, 2012 г.) и Сибирским отделением РАН (междисциплинарный интеграционный проект фундаментальных исследований СО РАН 2012-2014 гг. № 40).

Список литературы

1. Ring E.F. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine // J. Med. Eng. Technol. – 2006. – Vol. 30, № 4. – P. 192–198.
2. Вайнер Б.Г. Матричное тепловидение в физиологии: Исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 96 с.
3. Vainer B.G. Applications of infrared thermography to medicine. – Chapter 3 in: Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends / Carosena Meola, Ed. – Bentham Science Publishers Ltd. – Bentham e-Books, 2012. – 241 pp. – P. 61–84.
4. Иваницкий Г.Р., Хижняк Е.П., Деев А. А. Биофизические основы медицинского тепловидения // Биофизика. – 2012. – Т. 57, № 1. – С. 130–139.
5. Head J.F., Lipari C.A., Wang F., Elliot R.L. Cancer risk assessment with a second generation infrared imaging system // Proc. SPIE. – 1997. – Vol. 3061. – P. 300–307.
6. Вайнер Б. Матричные тепловизионные системы в медицине // Врач. – 1999. – № 10. – С. 30–31.
7. Вайнер Б.Г. Коротковолновые матричные тепловизоры – оптимальное средство медицинской диагностики и контроля // Больничный лист. – 2002. – № 9. – С. 14–21.
8. Хижняк Л.Н. Диагностика и контроль эффективности лечения заболеваний сосудов нижних конечностей с использованием матричных термовизионных систем: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Пушино, 2006.
9. The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease / C.L. Huang, Y.W. Wu, C.L. Hwang, Y.S. Jong, C.L. Chao, W.J. Chen, Y.T. Wu, W.S. Yang // J. Vasc. Surg. – 2011. – Vol. 54, № 4. – P. 1074–1080.
10. Замечник Т.В., Ларин С.И. Возможности термографии в диагностике варикозной болезни нижних конечностей // Флебология. – 2009. – Т. 3. – С. 10–14.
11. Стандарты диагностики хронической венозной недостаточности (ХВН) / С.П. Буторин, В.А. Попов, С.Г. Крыжановский, К.В. Агаджанян // Probl. klin. med. – 2007. – С. 20.

12. Мамонова Е. Ю., Калинина М. Ю. Нарушения гемодинамики при краниовертебральной патологии у подростков // Сибирский мед. ж. – 2008. – № 3, Вып. 2. – С. 17–19.

13. Murray A.K., Moore T.L., Manning J.B., Taylor C., Griffiths C.E., Herrick A.L. Noninvasive imaging techniques in the assessment of scleroderma spectrum disorders // Arthritis Rheum. – 2009. – Vol. 61, № 8. – P. 1103–1111.

14. Шайдаков Е.В., Илюхин Е.А., Петухов А.В. Эндоваскулярная лазерная облитерация магистральных подкожных вен – механизм действия // Ангиол. сос. хир. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 148–56.

15. Soracco J.E., D'Ambola J.O. New wavelength for the endovascular treatment of lower limb venous insufficiency // Int. Angiol. – 2009. – Vol. 28. – P. 281–288.

References

1. Ring E.F. The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine // J. Med. Eng. Technol. 2006. Vol. 30, no. 4. pp. 192–198.
2. Vainer B.G. Matrichnoe teplovidenie v fiziologii: Issledovanie sosudistykh reakcii, perspiracii i termoregulacii u cheloveka. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. 96 p.
3. Vainer B.G. Applications of infrared thermography to medicine. – Chapter 3 in: Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends / Carosena Meola, Ed. – Bentham Science Publishers Ltd., Bentham e-Books, 2012. 241 p. pp. 61–84.
4. Ivanitskii G.R., Khizhniak E.P., Deev A.A. Biofizicheskie osnovy meditsinskogo teplovideniia // Biofizika. 2012. T. 57, no. 1. pp. 130–139.
5. Head J.F., Lipari C.A., Wang F., Elliot R.L. Cancer risk assessment with a second generation infrared imaging system // Proc. SPIE. 1997. Vol. 3061. pp. 300–307.
6. Vainer B. Matrichnye teplovizionnyye sistemy v meditsine // Vrach. 1999. no. 10. pp. 30–31.
7. Vainer B.G. Korotkovolnovyye matrichnye teplovizory – optimalnoe sredstvo meditsinskoi diagnostiki i kontrolya // Bol'nichnyi list. 2002. no. 9. pp. 14–21.
8. Khizhniak L.N. Diagnostika i kontrol' effektivnosti lecheniia zabolevaniy sosudov nizhnikh konechnostei s ispol'zovaniem matrichnykh termovizionnykh sistem: Avtoref. dis. kand. med. n. Puschino, 2006.
9. Huang C.L., Wu Y.W., Hwang C.L., Jong Y.S., Chao C.L., Chen W.J., Wu Y.T., Yang W.S. The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease // J. Vasc. Surg. 2011. Vol. 54, no. 4. pp. 1074–1080.
10. Zamechnik T.V., Larin S.I. Vozmozhnosti termografii v diagnostike varikoznoi bolezni nizhnikh konechnostei // Flebologiya. 2009. T. 3. pp. 10–14.
11. Butorin S.P., Popov V.A., Kryzhanovskii S., Agadzhanian K.V. Standarty diagnostiki khronicheskoi vnoznoi nedostatocnosti (KHN) // Probl. clin. med. 2007. C. 20.
12. Mamonova E.Yu., Kalinina M.Yu. Narusheniia gemodinamiki pri kraniovertebral'noi patologii u podrostkov // Sibirskii med. zh. 2008. no. 3, Vip. 2. pp. 17–19.
13. Murray A.K., Moore T.L., Manning J.B., Taylor C., Griffiths C.E., Herrick A.L. Noninvasive imaging techniques in the assessment of scleroderma spectrum disorders // Arthritis Rheum. – 2009. Vol. 61, no. 8. pp. 1103–1111.
14. Shaidakov E.V., Iliuhin E.A., Petuhov A.V. Endovazal'naia lazernaia obliteratsiia magistral'nykh podkozhnykh ven – mehanizm deistviia // Angiol. sos. hir. 2012. T. 18, no. 1. pp. 148–56.
15. Soracco J.E., D'Ambola J.O. New wavelength for the endovascular treatment of lower limb venous insufficiency // Int. Angiol. 2009. Vol. 28. pp. 281–288.

Рецензенты:

Смагин А.А., д.м.н., профессор, руководитель лаборатории лимфодетоксикации Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной лимфологии Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск;

Куперштох А.Л., д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУН Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 12.12.2012.