

УДК 681.3

К.М. СтаворовскийНациональный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
каб. 423, ул. Политехническая, 16, Киев, 03056, Украина.

Автоматическая диагностика и анализ термограмм в медицинской практике

В статье изложен обзор основных подходов и применений медицинской термографии и методов анализа термограмм. Описаны области применения данных методов, приведены их достоинства и недостатки. Приведены примеры термограмм с описанием патологий и указанием особенностей в изменении термографической картины по сравнению с отсутствием патологий. В статье так же были изложены методы автоматической обработки и анализа термограмм в медицинском применении. Так же уделяется внимание термографической технике (медицинским термографам) с указанием основных составляющих и технических возможностей данной аппаратуры. Данная статья является обзорной и представляет основные выдержки из материалов посвященных термографии. Библ. 21, рис. 8.

Ключевые слова: медицинская термография, термограмма, анализ изображений, ранняя диагностика, биоткань.

Введение

Медицинская термография – метод обследования пациентов с помощью специального прибора – тепловизора (термографа), позволяющего улавливать инфракрасное излучение и преобразовывать его в изображение – термограмму, которая регистрирует распределение тепла на поверхности тела [21]. Так как метод основан на регистрации собственных излучений объекта исследования, он является совершенно безвредным.

Термограф представляет собой фотоприемную камеру основными элементами, которой является фоточувствительная матрица и германиевый объектив. Современные термографы работают с подключением и передачей данных на компьютер (рис. 1). Температурная чувствительность (минимальная различимая разница температур) при 30 °С может достигать 0,02 °С [18].



Рис. 1. Пример медицинского термографа (термограф ИРТИС-200МЕ [2])

По тепловой картине поверхности тела и отклонения ее от нормы можно судить о патологических изменениях организма. В частности, термография применяется для диагностики онкологических заболеваний, травм, многих воспалительных процессов.

При диагностике по термограммам проводят анализ карт распределения температуры по поверхности тела, и на основе них судят об патологических отклонениях.

В связи трудоемкостью и субъективностью анализа карт распределения температуры, применение термографии, как метода диагностики не имеет в настоящее время системный характер. Для применения в клинической практике необходимо внедрение методов автоматического анализа результатов исследования. На данный момент методы обработки и анализа термограмм носят частный характер, подходы к анализу чаще всего зависят от исследуемого органа, а большинство диагнозов ставятся по визуальному анализу.

Задачей данной работы является исследование и критическая оценка текущего состояния методов автоматического анализа термограмм, их классификация, а также определение наиболее перспективных направлений их развития.

1. Применение анализа термограмм в медицинской практике

1.1. Диагностика онкологических заболеваний

Известно [17], что опухолевая ткань как зона выраженной пролиферативной активности благодаря интенсивному метаболизму имеет более высокую температуру, чем окружающие ткани, что и лежит в основе методов регистрации инфракрасного излучения, в частности диагностической инфракрасной термографии в клинической онкологии.

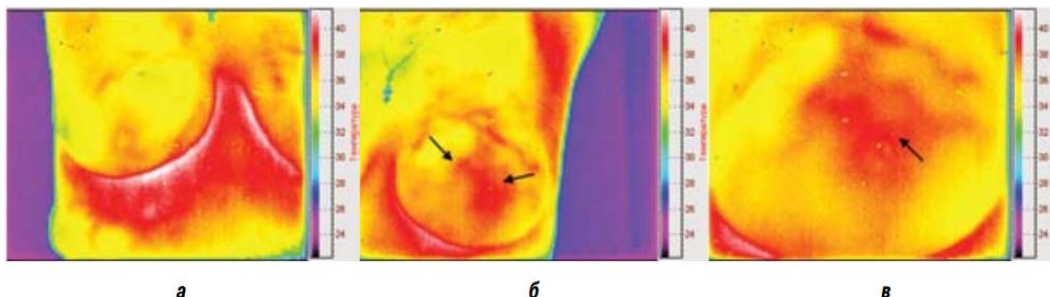


Рис. 2. Термограмма а) правой и б) левой молочных желез с злокачественным образованием; в) левая молочная железа при увеличении

Термография широко применяется при обнаружении опухолей молочной железы, щитовидной железы, лимфатических узлов, костей и т. д. [1, 20, 21].

Основной проблемой в выявлении диагноза и определении типа патологии, что касается опухолей молочной железы, заключается в том, что нормальное строение молочной железы характеризуется большой вариабельностью в зависимости от возраста и состояния репродуктивной системы и периода менструального цикла.

Анализ термограмм используется в настоящее время и для диагностики других видов рака. Так, главным тепловизионным признаком опухоли толстого кишечника является обнаружение зоны высокой гипертермии над областью локализации опухолевого узла.

При доброкачественных опухолях матки в проекции очага обнаруживается очень холодная область, которая располагается по средней линии в низу живота. Если опухоль злокачественная, то в проекции матки видны участки сильно-го разогрева [20].

Для распознавания опухолей молочной железы используют метод сравнения симметричных участков изображения (молочная железа – симметричный орган), основанный на матема-

Температура над злокачественной опухолью, как правило, выше на 1,5 - 3 °С, а температура над доброкачественной опухолью – на 1,4 - 2,5 °С ниже по сравнению с окружающими тканями. Изменение структуры тканей влияет на кровоснабжение участка тела, что в свою очередь влечет изменение температуры поверхности кожи. Термографическая диагностика помимо своей безвредности, в отличие от рентгеновского обследования (самого распространенного метода в выявлении раковых заболеваний), так же дает информацию об изменении структуры ткани, которые еще не заметны при рентгеновских методах [14].

тической морфологии, которая заключается в поиске на изображении шаблонных форм. При таком подходе предлагается измерять “двусторонний коэффициент” (bilateral ratio), который включает в себя такие статистические параметры термограммы как крутизна изменения температуры, вариативность значений и перекося значений [13].

На основе статистических параметров предложенных для подсчета при поиске опухолей молочной железы [8], таких как среднее значение, медиана, стандартное отклонение, асимметрия, минимальная и максимальная температура для каждой груди, был предложен метод [6] с выделением областей интереса. Сначала рассчитывается средняя температура для обеих молочных желез, если она отличается больше чем на 0,5 °С, ситуация обозначается как отклонение от нормы. Далее исследуемая область разбивается на 4 квадранта и создается накопительный индекс. Для каждого квадранта сравнивается средняя температура с симметричным квадрантом для второй молочной железы. Если средняя температура отличается в диапазоне 0,5 - 1 °С, то к индексу добавляется значение 0,5. Если температура отличается больше, чем на 1 °С, то к индексу добавляется значение 1. Процедура проводится поочередно

для всех 4 квадрантов. Таким образом, индекс может принимать значения от 0 до 4. Предлагается считать значения больше 1 отклонением от нормы. Такой подход дает правдоподобность диагноза в пределах 70 %. Возможна неравномерная сегментация участков изображения [7] с подсчетом среднего значения, стандартного отклонения и диапазоном температур. Этот метод позволяет отличать злокачественные образования от схожих патологий. Возможная проблема при диагностике может возникнуть из-за более высокого уровня температур.

Анализ статистических параметров изображения входит во все методы автоматической диагностики на основе термограмм. В различных классификаторах рассчитываются средние и максимальные значения, стандартные отклонения, абсолютная разница температур между регионами интереса (левая и правая молочные железы). Следующим этапом выступает обработка и анализ гистограмм для зон интереса, составление матрицы смежности и расчет ее параметров (однородность, симметрия, энергия, контрастность), а так же расчет взаимной информации. Завершающим этапом стоит построение классификатора на основе нечеткой логики [11] или анализа чувствительности к затратам и генетического алгоритма [9].

Спектральный анализ так же может быть использован в качестве одного из этапов алгоритмов классификации. Для рассчитанного спектра по Фурье сравнивают разницу между максимумами и расстояние этих максимумов от центра [11].

Существует подход оценки внутренней температуры (Inside Thermal Estimation, ITE) для нахождения очага (в данном случае злокачественной опухоли) [3, 4] на основе уравнения Пеннеса, которое описывает модель распространения тепла в биологическом теле, опираясь на теплопередачу с помощью кровотока.

Модель Пеннеса использовалась так же в экспериментах по обнаружению подкожных опухолей [5]. Для более эффективного исследования в рассматриваемой работе предлагается контрастирование температур с помощью нанесения на кожу раствора этилового спирта. Для нахождения кожных паттернов использовался метод Монте Карло.

1.2. Диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы

Кровеносная система так же поддается диагностике с использованием термографии, так как является источником терморегуляции организма.

По пониженной температуре верхних и нижних конечностей можно говорить о недостаточном кровоснабжении. Термография показала себя как действенный метод ранней диагностики при выявлении варикозного расширения вен нижних конечностей (рис. 3). В норме температура в области проекции вен на поверхность кожи не превышает средние значения температур по соответствующей области нижних конечностей. При варикозном расширении вен температура в области проекции пораженных сосудов превышает средние значения температур по соответствующей области на 1 - 2 °С в зависимости от стадии заболевания [19]. Существуют методы анализа, на основе динамической термографии, васкулярной реактивности для прогнозирования развития ишемии конечностей [12].

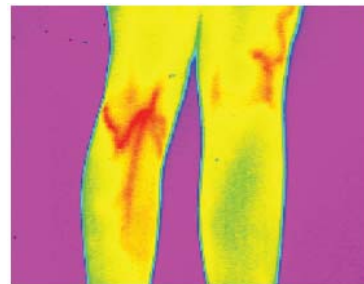


Рис. 3. Термограмма нижних конечностей с варикозным расширением вен в начальной стадии (визуально не определяется) [19]

При атеросклеротическом поражении крупных сосудов шеи и головы результат на изображении отражается в четких гипотермических линиях по ходу расположения артерии [20].

При болезни Рейно диагностируются сильные перепады температур (рис. 4). Градиент температуры от пальцев к запястью составляет при таком заболевании 5,8 - 6,3 °С; для перехода пальцы ног – стопа – в пределах 4,07 - 6,52 °С; кончик носа – щека в пределах 5,03 - 6,86 °С [19].

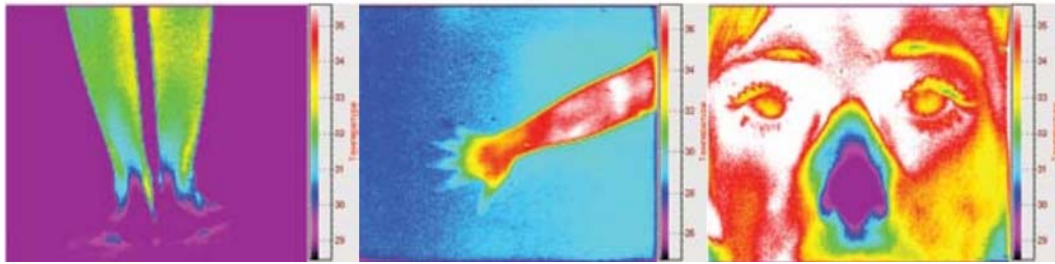


Рис. 4. Термограммы при болезни Рейно в стадии декомпенсации [19]

При хирургических вмешательствах, операциях на открытом сердце термография позволяет следить за коронарными сосудами [10].

Для прогнозирования кардиоваскулярных отклонений разработан тест на васкулярную реактивность. Также был разработан метод обработки изображения на основе математической морфологии для обнаружения кончиков пальцев на изображении. Для подавления шумов фона использовалась процедура морфологического размыкания с помощью дискового структурного элемента (размер выбирался больше предполагаемых шумов (1 - 3 пикселя), но меньше размера кончика пальца (25 - 30 пикселей)). Так же с помощью процедуры замыкания подавлялся шум на ладонях [12].

1.3. Диагностика опорно-двигательной системы и позвоночника

Клинические исследования показали наличие отклонений от температурных норм и термотопологии при нарушениях связанных с позвоночником таких, как остеопороз и остеоартроз, метастазы тел позвонков, функциональные вертеброгенные расстройства и др.

При такого рода патологиях наблюдается градиент температур в проблемных областях 0,8 - 3 °С в зависимости от индивидуальных особенностей организма и вида патологии.

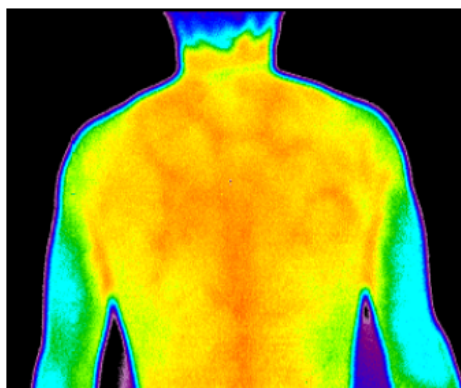


Рис. 5. Термограмма при остеохондрозе грудного отдела позвоночника

В норме перепады температуры по всей поверхности спины не превышает 0,2 °С (рис. 6). Такие данные свидетельствуют о возможности применения термографии, как вспомогательного метода для исследования спинных болей, наряду с традиционными методами [15].

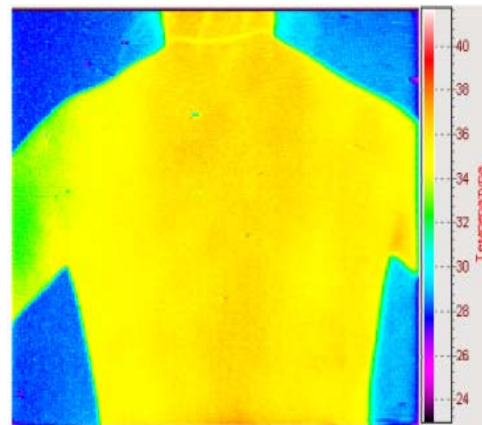


Рис. 6. Термограмма спины в норме

Так же были проведены измерения [16] показателей температуры поясничного отдела позвоночника и стоп в процессе проведения курса физической реабилитации при лечении остеохондроза и плоскостопия. В случае с остеохондрозом температура поясничного отдела у контрольной группы снижалась на 2 - 3 °С после прохождения курса упражнений. У больных плоскостопием в следствие лечения температура стоп повышалась так же на 2 - 4 °С, что может свидетельствовать о нормализации кровообращения нижних конечностей.

При переломах костей термографическое обследование сталкивается с трудностью в трактовке результатов, по причине многогранности и вариативности изменений в структуре костной и прилежащих тканях. Повреждения мышечной ткани (растяжения, гематомы и т.п.) тоже дают индивидуальные отклики на термограмме, но при этом также наблюдается тенденция к изменению профиля распределения температур.

1.4. Диагностика заболеваний щитовидной железы

Щитовидная железа, как орган, активно участвующий в обмене веществ и располагающий обширным кровоснабжением, остро реагирует на различные патологические изменения в виде сильных изменений температурных значений. Благодаря этому, термография может быть полезной в диагностике патологий щитовидной железы и заслуживает особого внимания среди возможностей тепловизионной диагностики.

При отсутствии функциональных отклонений щитовидной железы поверхность над ней имеет изотермический характер и поэтому сложно определить ее границы (рис. 7). У лиц старше 40 лет постепенно нарастает инволюция щитовидной железы, поэтому часто наблюдается умеренная мягкая гипотермия в ее проекции.

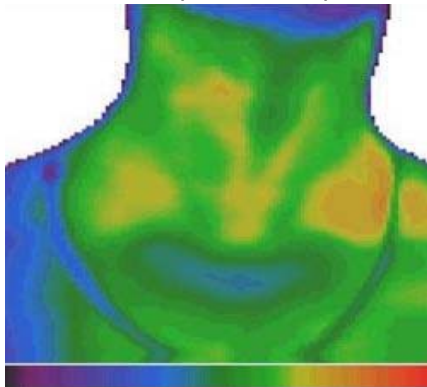


Рис. 7. Термограмма шеи худой женщины в норме

Гиперплазия щитовидной железы с повышением ее функциональной активности на термограммах проявляется как гипертермия в проекции органа. При диффузном токсическом зобе эта гипертермия гомогенная и часто повторяет форму органа. При узловой гиперплазии щитовидной железы гипертермия над областью расположения органа становится негомогенной. При токсической аденоме и раке щитовидной железы на термограммах в проекции патологического очага обнаруживается область с очень высоким повышением температуры (рис. 8). Тепловизионным проявлением снижения функциональной активности щитовидной железы является обнаружение снижения температуры в проекции органа. Чаще всего эта зона видна в проекции перешейка щитовидной железы [20].

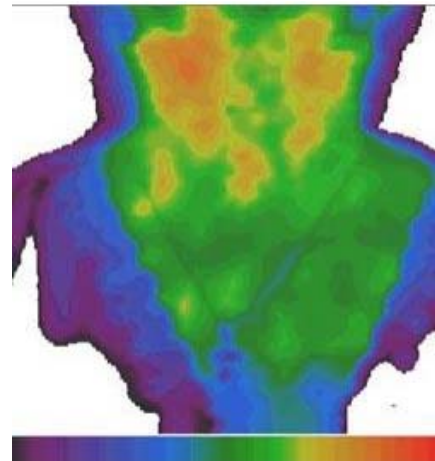


Рис. 8. Термограмма при раке верхней части правой доли щитовидной железы

Термография, кроме вышеизложенных применений, также может быть использована для диагностики заболеваний дыхательной системы (пневмония, бронхит, бронхиальная астма), пищеварительной системы (аппендицит, гепатит, панкреатит, дисбактериоз кишечника и т. д.), мочеполовой системы, нервной системы [19, 20]. Применение термографии при диагностике этих заболеваний в настоящее время не носит систематический характер.

Обсуждение

Термография, как метод медицинской диагностики, обладает потенциалом к обширному спектру применений. Практически любые патологии связаны с изменением температуры или же очертаний изотерм на термограмме. Кроме изменений связанных с нарушением кровотока, во всех его видах, так же резкие повышения температур наблюдаются и при различных воспалительных процессах.

При всех положительных качествах (безвредность, универсальность, простота процедуры) термография имеет недостаток в объективности анализа данных – автоматические методы анализа представлены не в достаточном объеме, а в клинической практике применяется визуальный анализ, что является субъективной оценкой и может вносить погрешности при вынесении диагноза без должного опыта. Только в небольшом количестве работ представлены результаты применения математических методов

анализа термограмм в клинической практике. Данные работы описывают в основном лабораторные исследования, и обсуждаемые методы не нашли пока что широкого клинического применения.

Необходимо расширять практику применения автоматического анализа термограмм в клинической практике. Предлагается выделить такие перспективные направления развития:

1. Методы повышения качества изображений на основе пространственной, частотной и вейвлет-фильтрации, гистограммной и пороговой обработки пикселей с целью уменьшения вклада шумов.

2. Нормализация изображений с целью унификации алгоритмов обработки, анализа и сегментации и возможности сравнения результатов анализа термограмм для различных групп пациентов.

3. Выделение зон интереса на термограммах на основе применения методов сегментации изображений и выделения границ на изображении. Это позволит выделять зоны с аномальными значениями температуры, определять симметричность теплового поля для различных частей органа или тела человека.

4. Автоматическое вычисление количественных показателей термограммы на основе анализа теплового поля линейными и нелинейными методами. Для получения таких параметров можно использовать спектральный анализ, вейвлет-анализ, энтропийный анализ, анализ фрактальности и хаотичности и др.

5. Классификация термограмм на основе современных методов, таких как машины опорных векторов, нейронные сети, марковские модели и т.п. Также перспективным является создание систем автоматической и автоматизированной диагностики заболеваний, на основе термограмм. С учетом нозологической неспецифичности, которая присуща термографии в настоящее время, для построения эффективных систем классификации необходимо выбрать признаки термограмм, которые будут соответствовать конкретному заболеванию или группе заболеваний.

Выводы

При своей универсальности в медицинской диагностике термография в большинстве своем имеет рекомендательный характер и является поводом для прохождения дальнейшего обследования традиционными методами. В большей степени данное отношение к термографии, как к методу обнаружения заболеваний, возникает по

причине того, что анализ термограмм часто носит только качественный субъективный характер и во многом зависит от личной оценки врача. Большинство сложностей при этом связано с физиологическими особенностями каждого человека, как следствие, и тепловой картины поверхности кожи.

Использование количественных показателей, и систем обработки и анализа термограмм являются больше исключением. В данной работе предложены направления развития использования термографии на основе более широкого применения методов анализа термограмм.

Список использованных источников

1. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/30939/#sel=4:190,4:263
2. http://www.ultramed.ru/irtis_200.htm
3. *Chen Zhihong* Analysis of breast thermography based on inside thermal estimation. / Zhihong Chen, Guojun Ma, Bing Sun, - International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT 2011) IPCSIT vol. 51 (2012). – pp. 163 – 165.
4. *Dai Houde* The attempt of breast thermography processing applying with ITE. / Houde Dai, Ashgan M. Omer, Guotai Jiang, - Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine, in conjunction with The 2nd International Symposium & Summer School on Biomedical and Health Engineering Shenzhen, China, May 30-31, 2008. – pp. 160 – 163.
5. *Deng Zhong-Shan* Enhancement of thermal diagnostics on tumors underneath the skin by induced evaporation. / Zhong-Shan Deng, Jing Liu, - Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005. – pp. 7525 – 7528.
6. *Frize M.* Processing of thermal images to detect breast cancer: comparison with previous work. / Monique Frize, Christophe Herry, Roger Roberge, - Proceedings of the Second Joint EMBSBMES Conference Houston. TX USA, October 23-26, 2002. - pp. 1159 – 1160.
7. *Frize M.* Processing thermal images to detect breast cancer and assess pain. / Monique Frize, Christophe Herry, Nathan Scales, - Proc of the 4th Annual IEEE Conf. on Information Technology Applications in Biomedicine, UK - pp. 234 – 237.
8. *Head J.F.* Image Analysis of Digitized Infrared Images of the Breasts from a First Generation Infrared Imaging System. / J.F. Head, C.A.

- Lipari, F. Wang, R.L. Elliott, - Proc. 19th IEEEEMES, Chicago, 1997. - pp. 681 – 684.
9. *Krawczyk B. Breast Thermogram analysis using a cost-sensitive multiple classifier system.* / Bartosz Krawczyk, Gerald Schaefer, Michal Wozniak, - Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2012) Hong Kong and Shenzhen, China, 2-7 Jan 2012. – pp. 507 – 510.
 10. *Nowakowski A. Thermographic and electrical measurements for cardiac surgery inspection.* / A. Nowakowski, M. Kaczmarek, J. Wtorek, J. Siebert, D. Jagielak, K. Roszak, J. Topolewicz, W. Stojek, - Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Istanbul, Turkey, October 25-28, 2001. – pp. 2874 – 2877.
 11. *Schaefer G. Breast cancer classification using statistical features and fuzzy classification of thermograms.* / Gerald Schaefer, Tomoharu Nakashima, Michal Zavissek, Yasuyuki Yokota, Ales Drastich, Hisao Ishibuchi, - Fuzzy Systems Conference, 2007. FUZZ-IEEE 2007. – pp. 1 - 5.
 12. *Wang Xue Experimental study of vascular reactivity in the fingertip: an infrared thermography method.* / Xue Wang, Ying He, - 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI 2010). – pp. 1180 – 1184.
 13. *Xianwu Tang Asymmetry Analysis of Breast Thermograms with Morphological Image Segmentation.* / Xianwu Tang, Haishu Ding, - Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005. – pp. 1681 – 1683.
 14. *Булынский Д.Н., Васильев Ю.С., Современные технологии диагностики и лечения рака молочной железы: Учебное пособие / Под ред. проф. С.В. Яйцева. – Челябинск: Изд-во «Челябинская государственная медицинская академия», 2009. – 84 с.*
 15. *Дехтярев Ю. П. Инфракрасная дистанционная термография как вспомогательный метод в диагностике и лечении вертеброгенных болей у спортсменов.* / Ю. П. Дехтярев, В.И. Нечипорук, С.А. Мироненко, Е.Ф. Венгер, В.И. Дунаевский, В. И. Котовский, Е.А. Соловьев, - Электроника и связь 3' Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», 2010. – с. 122 – 125.
 16. *Жарова И.А. Показатели термографии у больных остеохондрозом и плоскостопием до и после курса физической реабилитации.* / И.А. Жарова, - Сб. научн.тр. под ред. Ермакова С.С. - Харьков: ХГАДИ (ХХПИ), 2005. - №2. – с. 66 – 72.
 17. *Ковальчук И.С. Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез (доброкачественные изменения).* / И.С. Ковальчук, В.И. Дунаевский, Е.Ф. Венгер, В.И. Котовский, С.С. Назарчук, - Український медичний часопис, 3 (95) – VI/VI 2013. – с. 165 – 169.
 18. *Мельников Г.С. Современные медицинские тепловизоры.* / Г.С. Мельников, В.М. Самков, Ю.И. Солдатов, В.В. Коротаев, - Сборник материалов: Международная конференция Прикладная оптика-2010., - СПб: СПбФ ИИЕТ РАН, 2010. – с. 11 – 17.
 19. *Розенфельд Л.Г. Дистанционная инфракрасная термография как современный неинвазивный метод диагностики заболеваний.* / Л.Г. Розенфельд, А.В. Самохин, Е.Ф. Венгер, Т.В. Лобода, Н.Н. Колотилова, А.Г. Коллюх, В.И. Дунаевский, - УКР. МЕД. ЧАСОПИС, 6 (68) – XI/XII 2008. – с. 92 – 97.
 20. *Ткаченко Ю.А. Клиническая термография (обзор основных возможностей).* / Ю.А.Ткаченко, М.В.Голованова, А.М.Овечкин, - Закрытое Акционерное Общество Союз Восточной и Западной Медицины. - Нижний Новгород, 1998. – 96 с.
 21. *Шушарин А.Г. Медицинское тепловидение – современные возможности метода.* / А.Г. Шушарин, В.В. Морозов, М.П. Половинка, - Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования» №4 2011. – с. 1 - 18.

Поступила в редакцию 10 декабря 2013 г.

УДК 681.3

К. М. Ставоровський

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
каб. 423, ул. Політехнічна, 16, Київ, 03056, Україна.

Автоматична діагностика та аналіз термограмм в медичній практиці

У статті викладено огляд основних підходів і застосувань медичної термографії та методів аналізу термограм. Описані області застосування даних методів, приведені їхні переваги та недоліки. Приведені приклади термограм з описом патологій та вказанням особливостей в зміні термографічної картини по відношенню до відсутності патології. У статті також білі викладені методи автоматичної обробки та аналізу термограм у медичному застосуванні. Також приділяється увага термографічній техніці (медичним термографам) з зазначенням основних компонентів та технічних можливостей даної апаратури. Ця стаття є оглядовою та представляє основні витяги з матеріалів пресвячених термографії. Бібл. 21, рис. 8.

Ключові слова: медична термографія, термограма, аналіз зображень, рання діагностика, біотканина.

UDC 681.3

K. M. Stavorovsky

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,
off.423, Politekhnichna Str., 16, Kyiv, 03056, Ukraine.

Automatic diagnostic and analysis of thermal images in medical practice

This paper describes an overview of the main approaches and applications of medical thermography and methods of analysis of thermograms. Describes the application of thermography and given advantages and disadvantages of these methods. The examples of thermograms describing pathologies and features indicating a change in the thermal pattern as compared with the absence of pathologies. The article also presents methods of automated processing and analysis of thermal images in medical applications. Also thermal technology (medical thermographs), the main components and the technical capabilities of the equipment are shown. This article is a review and presents key excerpts of literature that related to thermography. References 21, figures 8.

Keywords: medical thermography, thermogram, image processing, early diagnosis, biological tissue.

References

1. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/30939/#sel=4:190,4:263
2. http://www.ultramed.ru/irtis_200.htm
3. *Zhihong Chen, Guojun Ma, Bing Sun.* (2012), "Analysis of breast thermography based on inside thermal estimation". International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT 2011) IPCSIT Vol. 51, pp. 163 – 165.
4. *Houde Dai, Ashgan M. Omer, Guotai Jiang.* (2008), "The attempt of breast thermography processing applying with ITE". Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine, in conjunction with The 2nd International Symposium & Summer School on Biomedical and Health Engineering Shenzhen, China, pp. 160 – 163.
5. *Zhong-Shan Deng, Jing Liu.* (2005), "Enhancement of thermal diagnostics on tumors underneath the skin by induced evaporation". Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, pp. 7525 – 7528.

6. *Frize M., Herry C., Roberge R.* (2002), "Processing of thermal images to detect breast cancer: comparison with previous work". Proceedings of the Second Joint EMBSBMES Conference Houston. TX USA, pp. 1159 – 1160.
7. *Frize M., Herry C., Scales N.* (2003), "Processing thermal images to detect breast cancer and assess pain". Proc of the 4th Annual IEEE Conf. on Information Technology Applications in Biomedicine, UK, pp. 234 – 237.
8. *Head J.F., Lipari C.A., Wang F., Elliott R.L.* (1997), "Image Analysis of Digitized Infrared Images of the Breasts from a First Generation Infrared Imaging System". Proc. 19th IEEEEMES, Chicago, pp. 681 – 684.
9. *Krawczyk B., Schaefer G., Wozniak M.* (2012), *Breast* "Thermogram analysis using a cost-sensitive multiple classifier system". Proceedings of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics, Hong Kong and Shenzhen, Chin, pp. 507 – 510.
10. *Nowakowski A., Kaczmarek M., Wtorek J., Siebert J., Jagielak D., Roszak K., Topolewicz J., Stojek W.* (2001), "Thermographic and electrical measurements for cardiac surgery inspection". Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference, Istanbul, Turkey, pp. 2874 – 2877.
11. *Schaefer G., Nakashima T., Zavissek M., Yokota Y., A. Drastich, Ishibuchi H.* (2007), "Breast cancer classification using statistical features and fuzzy classification of thermograms". Fuzzy Systems Conference, FUZZ-IEEE 2007, pp. 1 - 5.
12. *Xue Wang, Ying He.* (2010), "Experimental study of vascular reactivity in the fingertip: an infrared thermography method". 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, pp. 1180 – 1184.
13. *Xianwu Tang, Haishu Ding.* (2005), "Asymmetry Analysis of Breast Thermograms with Morphological Image Segmentation". Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, pp. 1681 – 1683.
14. *Bulynskij D.N., Vasil'ev Ju.S.* (2009), "Modern technologies of diagnostics and treatment of breast cancer" edited by prof. S.V. Jajceva, Cheljabinsk: Izd-vo «Cheljabinskaja gosudarstvennaja medicinskaja akademija», p. 84. (Rus)
15. *Dehtjarev Ju. P., Nechiporuk V.I., Mironenko S.A., Venger E.F., Dunaevskij V.I., Kotovskij V. J., Solov'ev E.A.* (2010), "Remote infrared thermography as an auxiliary method in diagnostics and treatment of vertebral pain of athletes". «Electronics and Nanotechnologies», pp. 122 – 125. (Rus)
16. *Zharova I.A.* (2005), "Indicators of thermography in patients with osteochondrosis and flat feet before and after the physical rehabilitation". Proceedings edited by Ermakova S.S., Har'kov: HGADI (HHPI), №2., pp. 66 – 72. (Rus)
17. *Koval'chuk I.S., Dunaevskij V.I., Venger E.F., Kotovskij V.I., Nazarchuk S.S.* (2013), "Possibilities of remote infrared thermography in the diagnosis of breast disease (benign changes)". Ukrainian Medical Journal, 3 (95) – V/VI, pp. 165 – 169. (Rus)
18. *Mel'nikov G.S., Samkov V.M., Soldatov Ju.I., Korotaev V.V.* (2010) "Modern medical thermographs". Proceedings of International Conference on Applied Optics -2010, SPb: SPbF IJET RAN, pp. 11 – 17. (Rus)
19. *Rozenfel'd L.G., Samohin A.V., Venger E.F., Loboda T.V., Kolotilov N.N., Kolljuh A.G., Dunaevskij V.I.* (2008), "Remote infrared thermography as a modern non-invasive method of diagnosis of diseases". Ukrainian Medical Journal, 6 (68), XI/XII, pp. 92 – 97. (Rus)
20. *Tkachenko Ju.A., Golovanova M.V., Ovechkin A.M.* (1998), "Clinical Thermography (features overview)". Closed Joint Union of Eastern and Western Medicine. - Nizhnij Novgorod, p. 96. (Rus)
21. *Shusharin A.G., Morozov V.V., Polovinka M.P.* (2011), "Medical thermography - modern possibilities of the method". Electronic scientific journal "Modern problems of science and education", №4, pp. 1 - 18. (Rus)