

Нейромережевий аналіз термограм молочної залози з використанням оцінки фрактальної розмірності розподілу поля температур

Ю. Є. Лях¹, В. Г. Гур'янов², В. О. Білошенко³, М. В. Лях¹, В. О. Мельничук⁴

¹Національний університет «Острозька академія», Україна

²Київський національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, Україна

³Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України, Київ, Україна

⁴Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки, Луцьк, Україна

Резюме

Вступ. Перспективним методом обстеження молочних залоз жіночого населення є термомамографія. Неінвазивність та безпечність і ефективність визначення патологічних змін в МЗ дозволяють вважати цей метод доцільним для широкого застосування.

Методи оцінки та аналізу термограм. Для аналізу термограм використано 68 показників, до яких включені: вік, мінімальна температура і розмір поля температур МЗ; 32 параметри відносної площі підвищення температур і 33 за алгоритмом оцінки показника Херста для фракталів високої розмірності. Для проведення аналізу були використані регресійні моделі та криві операційних характеристик (ROC).

Кількісний аналіз результатів термографії молочних залоз. Побудовано лінійну модель прогнозування ризику патології МЗ, $AUC=0,85$ (95% CI 0,82–0,87) та нелінійну модель прогнозування ризику патології, $AUC=0,89$ (95% CI 0,87–0,92).

Висновки. Побудована нейромережева MLP модель прогнозування ризику патології МЗ, а її чутливість складає 90,2% (95% CI 86,7%–93,0%) і специфічність — 85,1% (95% CI 80,6–88,9).

Ключові слова: термограми молочних залоз; фрактальна розмірність; температура МЗ; однофакторний аналіз; MLP модель.

ISSN 1812-7231 Клін. інформат. і Телемед. 2020, т. 15, вип. 16, сс. 28–34. <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.01>

Вступ

Проблема раннього виявлення патології молочних залоз (МЗ), насамперед раку молочної залози (РМЗ), є однією з найбільш актуальних, оскільки РМЗ за даними канцер-реєстру України вже багато років впевнено посідає перше місце серед онкозахворювань жінок в Україні. На його долю випадає п'ята частина як за захворюваністю, так і за смертністю. Це обумовлює актуальність ранньої діагностики РМЗ. Одним із перспективних додаткових стандартних методів регулярного обстеження численного контингенту населення є термомамографія [3, 8, 9].

Відомо, що структурним змінам в організмі людини передують зміни термопатофізіологічні — зростання температури як наслідок підвищеного метаболізму в тому місці, де пізніше може з'явитись пухлина [4, 5]. Такі термофункціональні зміни часто випереджають структурні на декілька років. Саме ця обставина, яка принципово відрізняє термографію від інших розповсюджених діагностичних засобів, робить її корисною для раннього виявлення як пухлин, так і передумов до їх з'явлення, доповнює традиційні методи рентгенографії та ультразвукової діагностики. Неінвазивність та простота використання термографії, безпечність для здоров'я пацієнтів, ефективність визначення патологічних змін в МЗ з наступним встановленням кінцевого діагнозу за результатами клінічних обстежень дозволяють вважати цей метод доцільним для широкого застосування [1, 2, 6, 7].

Методи оцінки та аналізу термограм

Аналіз розподілу поля температур на термограмах з нормальними (Нм) процесами та патологічними (Пт) процесами свідчить про наявність відмінності відображення поля температур для варіантів Нм та Пт. Важливою характеристикою поля температур МЗ є площа області підвищених температур та асиметрія розподілу температури між правою і лівою МЗ ($\Delta T = T_{\text{ліва}} - T_{\text{права}}$, де $T_{\text{ліва}}$ та $T_{\text{права}}$ — значення температури лівої та правої МЗ пацієнтки у симетричних точках вимірювання) [19, 20].

Одними із показників, що описують структуру розподілу величини (в нашому випадку температури) у двовимірному полі є показники фрактальної розмірності двовимірного зображення [10, 18], які можуть бути використані як прогностичні змінні у розпізнаванні Нм та Пт процесів [11, 12, 13]. У роботі [12] автори аналізують термограми молочної залози, отримані за допомогою інфрачервоної камери, для виявлення відмінностей між доброякісною і злоякісною пухлиною. Дослідники виділяють ділянки поверхні молочної залози з найбільшою температурою і аналізують контури виділених ділянок, розраховуючи їх фрактальну розмірність. В роботі показано, що в разі доброякісної пухлини її фрактальна розмірність складає ($\text{mean} \pm \text{standarddeviation}$) $1,0429 \pm 0,0676$, для злоякісної пухлини значення фрактальної розмірності $1,3284 \pm 0,0430$.

Це вказує на те, що контури злоякісної пухлини більш іррегулярні, ніж доброякісної. В роботі [13] наголошується, що злоякісне новоутворення часто характеризується як хаотичне, слабо регульоване, що погано описується евклідовою геометрією. Для характеристики нерегулярності новоутворень з успіхом застосовується фрактальна геометрія [13]. Автори [14] для аналізу мамограм використовують Multifractalspectrum для класифікації мамографічних зображень доброякісної і злоякісної пухлини. Ними було показано, що мамограми молочної залози з доброякісною пухлиною мають показник Херста (H) менше 0,5, відповідно мамограми молочної залози зі злоякісною пухлиною мають показник Херста більше 0,5.

В роботі [11] для оцінки структури поля температур було використано алгоритм оцінки показника Херста для фракталів високої розмірності, запропонований AnnaCarbone [10]. Виявлена відмінність ($p < 0,05$) фрактальної розмірності розподілу двовимірного поля температур в Нм та Пт, що дозволяє запропонувати використання цього методу для прогнозування патологічних процесів за аналізом термограм [11].

Узагальнена дисперсія розподілу поля температур згідно [10, 11] розраховується за формулою:

$$\sigma_{DMA}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i_1=n_1-m_1}^{N_1-m_1} \sum_{i_2=n_2-m_2}^{N_2-m_2} \dots \sum_{i_d=n_d-m_d}^{N_d-m_d} [f(i_1, i_2, \dots, i_d) - \tilde{f}_{n_1, n_2, \dots, n_d}(i_1, i_2, \dots, i_d)]^2, \quad (1)$$

де σ_{DMA}^2 – показник узагальненої дисперсії, розрахований методом Detrending Moving Average analysis (DMA), $f(i_1, i_2, \dots, i_d) = f(I)$ – фрактальна Броунівська функція, визначена на дис-

кретному d -вимірному домені, із максимальним розміром N_1, N_2, \dots, N_d ; $i_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $i_2 = 1, 2, \dots, N_2, \dots, i_d = 1, 2, \dots, N_d$, $n = (n_1, n_2, \dots, n_d)$.

Функція усереднення $\tilde{f}_{n_1, n_2, \dots, n_d}(i_1, i_2, \dots, i_d) = \tilde{f}$ задається формулою:

$$\tilde{f}_{n_1, n_2, \dots, n_d} = \frac{1}{n_1 n_2 \dots n_d} \sum_{k_1=-m_1}^{n_1-1-m_1} \sum_{k_2=-m_2}^{n_2-1-m_2} \dots \sum_{k_d=-m_d}^{n_d-1-m_d} f(i_1 - k_1, i_2 - k_2, \dots, i_d - k_d), \quad (2)$$

Узагальнена дисперсія σ_{DMA}^2 змінюється пропорційно $(\sqrt{n_1^2 + n_2^2 + \dots + n_d^2})^{2H}$, де H – показник Херста [10].

Для випадку двовимірного поля МЗ ($d = 2$), узагальнена дисперсія температури розраховується за формулою [11]:

$$\sigma_{DMA}^2 = \frac{1}{(N_1 - n_{1max}) \times (N_2 - n_{2max})} \sum_{i_1=n_1-m_1}^{N_1-m_1} \sum_{i_2=n_2-m_2}^{N_2-m_2} [f(i_1, i_2) - \tilde{f}_{n_1, n_2}(i_1, i_2)]^2, \quad (3)$$

де середнє значення для $\tilde{f}_{n_1, n_2}(i_1, i_2)$ кожного кластеру розміром $(n_1 \times n_2)$ розраховується за формулою:

$$\tilde{f}_{n_1, n_2}(i_1, i_2) = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{k_1=-m_1}^{n_1-1-m_1} \sum_{k_2=-m_2}^{n_2-1-m_2} f(i_1 - k_1, i_2 - k_2). \quad (4)$$

Середнє значення \tilde{f} розраховується для кожного кластеру. На наступному кроці розраховується $f(i_1, i_2) - \tilde{f}_{n_1, n_2}(i_1, i_2)$ – для кожного кластеру $n_1 \times n_2$.

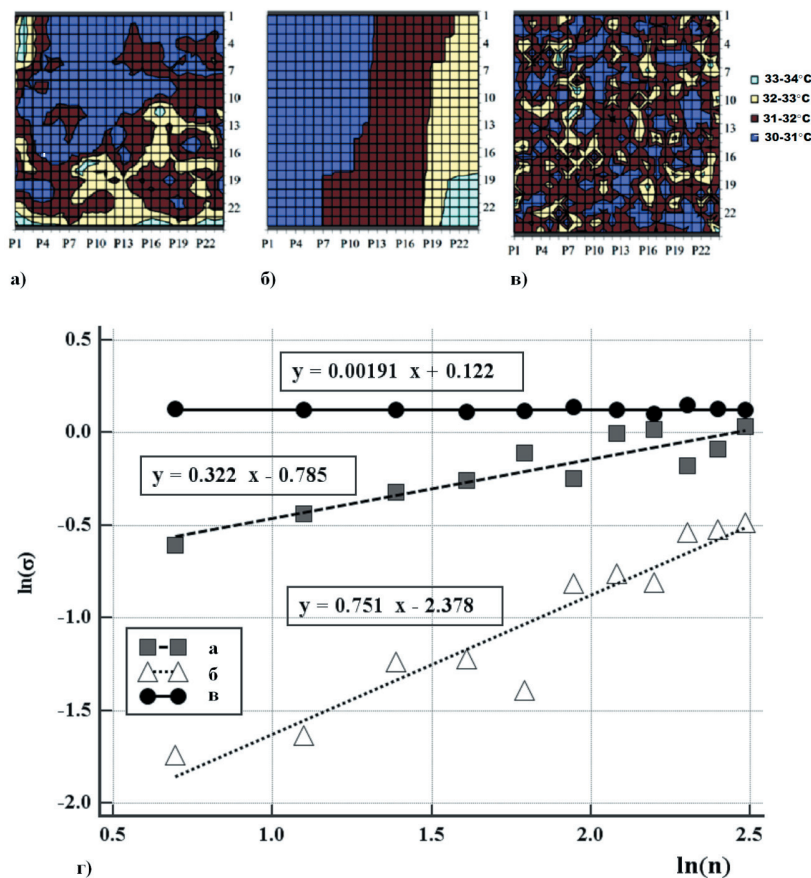


Рис. 1. Варіант розподілу одного й того ж поля температур для різної організації його структури: «реальна» термограма (а); «плавний перехід» температур (б); «мозаїчна структура» поля температур (в); аналіз термограм за алгоритмом оцінки показника Херста для фракталів високої розмірності (г).

Узагальнена дисперсія σ_{DMA}^2 для двовимірного простору змінюється як

$$\sigma_{DMA}^2 \sim \left[\sqrt{n_1^2 + n_2^2} \right]^{2H}. \quad (5)$$

У випадку аналізу поля термограм розрахунки проводилися для квадратів ($n_1 = n_2 = n$), у якості характеристики поля температур були використані логарифми показника узагальненої дисперсії для квадратів, розміром від 2×2 до 12×12 .

Для ілюстрації ефективності фрактального аналізу на рис. 1 наведено поля термограм МЗ, які мають однакову площу областей підвищеної температури, однак організація структури цього поля різна, тому мамолог буде сприймати та інтерпретувати ці термограми по різному.

Для «реальної» термограми (рис. 1а) показник Херста, розрахований за аналізом узагальненої дисперсії дорівнює 0,32 (організація поля температур може характеризуватися, як близька до випадкового процесу $H=0,5$). Для «плавного переходу» (рис. 1б) показник Херста виявився рівним 0,75 (організація поля температур може характеризуватися, як близька до персистентного процесу $H=1$). Розрахунки показника Херста для «мозаїчної структури» (рис. 1в) дають значення 0,002 (організація поля температур може характеризуватися, як антиперсистентна $H=0$).

Для аналізу термограм з метою виявлення ризику патології МЗ у якості ознак, що оцінюють термограму, було використано 68 показників, до яких включені три показники загальної характеристики: вік пацієнтки (Age), мінімальна температура поля МЗ (використана 0,5% перцентиль значень поля температур – Тrecс005), розмір поля температур МЗ (N , см²); 32 показники відносної площі підвищення температур; 33 показники характеристики термограм МЗ за алгоритмом оцінки показника Херста для фракталів високої розмірності.

Кількісний аналіз результатів термографії молочних залоз

Матеріалом аналізу показників оцінки термограм МЗ служили записи розподілу поля температур для жінок, яким за результатом комплексного обстеження, що включало огляд мамолога, УЗД, а у разі необхідності, рентгеномаммографічне обстеження, дослідження матеріалів біопсії, – було виставлено кінцевий діагноз.

Аналіз проводився для 685 термограм, отриманих на протязі 2004–2018 рр. Середній вік жінок, для яких отримані записи, становив $51,1 \pm 14,7$ року (від 18 років до 86 років). Серед проаналізованих термограм було 309 (45,1%) записів норми та 376 (54,9%) записів термограм при різних патологічних процесах: 16 записів термограм жінок з діагнозом кіста (К), 19 записів термограм жінок з діагнозом фіброаденома (ФА), 143 термограми жінок з діагнозом фіброзно-кістозна мастопатія (ФКМ) та 198 термограм жінок з діагнозом рак молочної залози (РМЗ).

Для проведення аналізу розподілу поля температур МЗ та виявлення ознак термограм, пов'язаних з ризиком патології були використані методи побудови однофакторних та багатфакторних моделей регресії і побудови та аналізу кривих операційних характеристик (ROC). Статистичний аналіз проводився в пакетах MedCalc.18.10 (MedCalcSoftwarebvba, 1993–2018) та EZRv.1.36 (SaitamaMedicalCenter, JichiMedicalUniversity, Saitama, Japan), який є графічним інтерфейсом користувача для R (TheRFoundationforStatisticalComputing, Vienna, Austria) [15, 16, 17].

Для аналізу організації розподілу поля температур було також використано метод аналізу фрактальної розмірності для

багатовимірних фрактальних структур [10]. Аналіз проводився за алгоритмом та з використанням програмного забезпечення, розробленого для аналізу двовимірних фракталів [11].

Для виділення ознак, що описують термограму молочної залози, пов'язаних з ризиком патології, побудови моделей прогнозування ризику наявності патологічного процесу за виділеними значимими ознаками, було використано метод побудови та аналізу штучних нейронмережових моделей (у тому числі генетичні алгоритми відбору).

Для аналізу факторних ознак, які можуть бути використані в якості предикторів моделі прогнозування ризику патології молочної залози вибрано 68 факторних ознак. Далі проводився ROC аналіз кожної факторної ознаки для розділення термограм в дві групи: Норма чи Патологія (РМЗ, ФКМ, ФА, К).

При проведенні однофакторного аналізу встановлено, що найбільшу роздільну здатність (Норма/Патологія) мають показники: відносна площа підвищеної $> 3,0$ °C відносно реперної температури МЗ, відносна площа поля асиметрії температур, що не перевищує 0,2 °C, відносна площа поля асиметрії температур, у діапазоні 1,8°C–2,0°C, показники узагальненого стандартного відхилення поля асиметрії температур. Результати аналізу наведені в табл. 1.

Таким чином, ROC аналіз свідчить, що при виборі оптимального порогу розділення чутливість та специфічність прогнозування ризику патології за окремим показником досягає 70%–80%, однак це недостатньо для практичного використання у розділенні Нм та Пт процесів, а для побудови системи прогнозування ризику повинна бути використана багатфакторна модель.

На другому етапі аналізу спочатку було побудовано лінійну модель класифікації у два класи на всіх 68 факторних ознаках. Отримана 68-факторна лінійна модель прогнозування адекватна, площа під кривою операційних характеристик $AUC=0,84$ (95% CI 0,82–0,87), статистично значимо відрізняється від 0,5 ($p < 0,001$). Це свідчить про можливість використання показників для прогнозування ризику Пт процесу.

З використанням методу «генетичний алгоритм» відбору (ГА) було відібрано мінімальний набір значимих для прогнозування ризику Пт процесу. Набір вхідних факторних ознак було скорочено до 16 для моделі прогнозування ризику патології за термограмами пацієнток до 40 років та до 18 ознак для моделі прогнозування ризику патології за термограмами пацієнток 40 років і більше.

На виділених факторних ознаках було побудовано лінійну модель прогнозування ризику патології МЗ – $AUC=0,85$ (95% CI 0,82–0,87); та нелінійну модель прогнозування (використано багатшаровий перцептрон – MLP, з одним прихованим шаром із сигмоїдними функціями активації) ризику патології $AUC=0,89$ (95% CI 0,87–0,92). Нелінійна нейронмережева модель на скороченому наборі ознак має кращі ($p < 0,05$) прогностичні характеристики (AUC), ніж лінійна модель на всіх 68 ознаках чи лінійна модель на значимих факторних ознаках. Прогностичні характеристики MLPмоделі дозволяють використовувати її для прогнозування ризику Пт процесу.

При виборі оптимального порогу тесту для MLP моделі за значимими ознаками, отримаємо: чутливість тесту = 90,2% (95% CI 86,7%–93,0%), специфічність тесту = 85,1% (95% CI 80,6%–88,9%).

Для верифікації прогностичних якостей MLP моделі в умовах мобільного скринінгу було проведено обстеження 143 жінок (2018 р.–2019 р.). За результатами прогнозування MLP моделі виставлено 57 (39,9%) прогнозів Нм та 86 (60,1%) прогнозів Пт. При обстеженні іншими методами пацієнткам виставлено діагноз Нм у 42 (29,4%) випадках, Пт – у 101 (70,6%) випадках. Площа під кривою операційних характеристик MLP моделі на підтверджуючій множині не відрізняється ($p > 0,05$)

Табл. 1. Результати однофакторного аналізу показників термограм.

Факторна ознака	Площа під ROC-кривою, AUC (95% CI)	Рівень значимості відмінності AUC > 0,5, p	Чутливість (95% CI)	Специфічність (95% CI)
Відносна площа підвищеної >3,0 °C відносно реперної температури МЗ	0,71 (0,68–0,75)	< 0,001	68,6 (63,7–73,3)	–
Відносна площа поля асиметрії температур, що не перевищує 0,2 C,	0,78 (0,75–0,81)	< 0,001	58,0 (52,8–63,0)	85,1 (80,6–88,9)
Відносна площа поля асиметрії температур, у діапазоні 1,8°C –2,0°C	0,81 (0,77–0,84)	< 0,001	68,4 (63,4–73,0)	81,6 (76,8–85,7)
Показник узагальненого стандартного відхилення поля асиметрії температур для квадратів розміром 2×2	0,80 (0,76–0,83)	< 0,001	74,7 (70,0–79,0)	71,2 (65,8–76,2)
Показник узагальненого стандартного відхилення поля асиметрії температур для квадратів розміром 5×5	0,80 (0,77–0,83)	< 0,001	61,7 (56,6–66,6)	85,1 (80,6–88,9)
Показник узагальненого стандартного відхилення поля асиметрії температур для квадратів розміром 12×12	0,80 (0,77–0,83)	< 0,001	77,4 (72,8–81,5)	69,6 (64,1–74,7)

Примітки: чутливість та специфічність розраховані при оптимальному за YoudenIndex порозі.

від заявлених характеристик, отриманих для системи на навчальній множині даних AUC = 0,85 (95% CI 0,78 – 0,90), що підтверджує можливість її використання на нових даних. При вибраному на навчальній множині порозі прийняття рішення чутливість АЕС в умовах мобільного скринінгу склала 79,2% (95% CI 70,7%–86,6%), специфічність АЕС – 85,7% (95% CI 73,3%–94,7%).

Висновки

Таким чином, при проведенні аналізу термограм молочної залози з використанням оцінки фрактальної розмірності розподілу поля температур в нормі і при патологічних процесах:

1) виявлено показники поля термограм (16 показників для термограм пацієнток до 40 років та 18 показників для термограм пацієнток 40 років і старше), значимих в багатфакторній моделі для розділення процесів Нм та Пт;

2) встановлено наявність нелінійності зв'язку ризику патології МЗ із параметрами оцінки термограм;

3) побудовано нейромережеву MLP модель прогнозування ризику патології МЗ. При цьому чутливість запропонованої моделі складає 90,2% (95% CI 86,7%–93,0%), специфічність – 85,1% (95% CI 80,6%–88,9);

4) доведено ефективність використання нейромережевого аналізу термограм молочної залози з використанням оцінки фрактальної розмірності розподілу поля температур для виявлення патологічних процесів.

Дослідження проводилося з дотриманням національних норм біоетики та положень Гельсінської декларації (у редакції 2013 р.). Автори статті – Ю. Є. Лях, В. Г. Гур'янов, В. О. Білошенко, М. В. Лях, В. О. Мельничук – підтверджують, що у них відсутній конфлікт інтересів.

Література

- Ng E. Y. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *Int. J. Therm. Sci.*, 2009, vol. 48, no 5, pp. 849–859.
- Ковальчук І. С., Дунаевський В. І., Венгер Е. Ф., Котовський В. І., Назарчук С. С. Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез (доброкачественные изменения). *Укр. мед. часопис.* 2013, №3(95), сс. 165–169.
- Приходченко В. В., Приходченко О. В., Белошенко В. А., Дорошев В. Д., Карначев А. С. Повышение эффективности отборочного этапа селективного скрининга заболеваний молочной железы. *Медико-соціальні проблеми сім'ї*, 2009, т. 14, № 4, сс. 20–25.
- Розенфельд Л. Г., Колотилов Н. Н. Дистанционная инфракрасная термография в онкологии. *Онкология*, 2001, т. 3, № 2–3, сс. 103–106.
- Маркель А. Л., Вайнер Б. Г. Инфракрасная термография в диагностике рака молочной железы (обзор зарубежной литературы). *Терапевт. архив*, 2005, т. 776, № 10, сс. 57–61.
- Приходченко В. В., Приходченко О. В. Диагностика заболеваний молочной железы с помощью цифрового контактного термографа. *Медико-соціальні проблеми сім'ї*, 2005, т. 10, № 3–4, сс. 61–64.
- Приходченко В. В., Приходченко О. В., Білошенко В. О., Карначев О. С., Дорошев В. Д., Калініна О. І. Возможности контактной цифровой термографии у ранней доклинической диагностики рака молочной залози. *Онкология*, 2009, т. 13, № 2, сс. 125–129.
- Белошенко В. А., Дорошев В. Д., Карначев А. С., Приходченко В. В. Комплекс аппаратуры для ранней диагностики онкологических заболеваний методом контактной цифровой термографии. *Наука та інновації*, 2007, т. 3, № 5, сс. 11–25.
- Приходченко В. В., Думанский Ю. В., Приходченко О. В., Белошенко В. А., Дорошев В. Д., Карначев А. С. Применение контактного цифрового термографа ТКЦ-1 в диагностике заболеваний молочных желез. *Донецк*, 2012, 189 с.
- Carbone Anna. Algorithm to estimate the Hurst exponent of highdimensional fractals. *PhysRev E*, 2007; no. 76:056703.

11. Dumansky Y. V., Lyakh Y. E., Gorshkov O. G., Gurianov V. G., Prihodchenko V. V. Fractal dimensionality analysis of normal and cancerous mammary gland thermograms. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2012, vol. 45, pp. 1494–1500.
12. Etehad Tavakol Mahnaz, Lucas Caro, Sadri Saeed, Ng Eyk. Analysis of breast thermography using fractal dimension to establish possible difference between malignant and benign patterns. *J Healthcare Eng.*, 2010, vol. 1, no. 43.
13. Baish J. W., Jain R. K. Fractals and cancer, American Association for Cancer Research. *Cancer Res.*, 2000, vol. 60, pp. 3683–3688.
14. Ramirez-Cobo P., Vidakovic B. A 2D wavelet-based multiscale approach with applications to the analysis of digital mammograms. *Computational Statistics and Data Analysis*, 2013, vol. 58, no. 2, pp. 71–81.
15. Гур'янов В. Г., Лях Ю. Є., Парій В. Д. и др. Посібник з біостатистики. Аналіз результатів медичних досліджень у пакеті EZR (R–statistics). *Навчальний посібник*. Київ, Вістка, 2018, 208 с.
16. Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.*, 2013, no. 48, pp. 452–458.
17. Лях Ю. Е., Гурьянов В. Г. Математическое моделирование при решении задач классификации в биомедицине. *Український журнал телемедицини та медичної телематики*, 2012, № 2, т. 10, сс. 69–76.
18. Лях Ю. Е., Гурьянов В. Г., Якобсон Е. А. Анализ фрактальной структуры термограмм молочных желез. *Медична інформатика та інженерія*, 2016, № 1, сс. 88–90.
19. Білошенко В. О., Гур'янов В. Г., Приходченко В. В., Лях Ю. Є. Автоматизована експертна система оцінки результатів обстеження молочних залоз для контактної цифрової термографії. *Медична інформатика та інженерія*, 2019, № 2, сс. 25–37.
20. Лях Ю. Є., Думанский Ю. В., Гурьянов В. Г., Приходченко В. В. Разработка автоматизированной экспертной системы для предварительной скрининговой оценки данных контактной цифровой термографии. *Университетская клиника*, 2011, № 1. т. 7, сс. 109–112.

Нейросетевой анализ термограмм молочной железы с использованием оценки фрактальной размерности распределения поля температур

Ю. Е. Лях¹, В. Г. Гурьянов², В. А. Белошенко³, М. В. Лях¹, В. О. Мельничук⁴

¹Национальный Университет Острожская Академия, Украина

²Киевский национальный медицинский университет им. А. А. Богомольца, Украина

³Донецкий физико-технический институт им. Галкина НАН Украины, Киев, Украина

⁴Восточноевропейский национальный университет Леси Украинки, Луцк, Украина

Резюме

Введение. Перспективным методом обследования молочных желез женского населения является термомаммография. Неинвазивность, безопасность и эффективность определения патологических изменений в МЖ позволяют считать этот метод целесообразным для широкого применения.

Методы оценки и анализа термограмм. Для анализа термограмм включены: возраст, минимальная температура и размер поля температур МЖ; 32 показателя относительной площади повышения температур и 33 параметра по алгоритму оценки показателя Херста для фракталов высокой размерности. При проведении анализа распределения поля температур МЖ и выявления признаков термограмм, связанных с риском патологии использованы регрессионные модели и кривые операционных характеристик (ROC).

Количественный анализ результатов термографии молочных желез. Построена линейная модель прогнозирования риска патологии МЖ, AUC = 0,85 (95% CI 0,82–0,87) и нелинейная модель прогнозирования риска патологии, AUC = 0,89 (95% CI 0,87–0,92). Нелинейная нейросетевая модель на сокращенном наборе признаков имеет лучшие ($p < 0,05$) прогностические характеристики (AUC), чем линейная модель на всех 68 признаках или линейная модель на значимых факторных признаках.

Выводы. Построена нейросетевая MLP модель прогнозирования риска патологии МЖ. Чувствительность модели составляет 90,2% (95% CI 86,7%–93,0%), специфичность — 85,1% (95% CI 80,6%–88,9).

Ключевые слова: термограммы молочных желез; фрактальная размерность; температура МЖ; однофакторный анализ; MLP модель.

Neural network analysis of mammary gland thermograms using the estimate of fractal dimension in field temperature distribution

Y. E. Liakh, V. G. Hurianov, V. O. Biloshenko, M. V. Liakh, V. O. Melnichuk

¹National University Ostroh Akademy, Ostroh, Ukraine

²Bogomolets National Medical University Kyiv, Ukraine

³Donetsk institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin, Kyiv, Ukraine

⁴Lesia Ukrainka East European National University Lutsk, Ukraine

e-mail: lyakh.yuriy@gmail.com

Abstract

Introduction. Thermography is one of the promising additional standard methods of mammary glands screening in a large group of population. This method is considered to be suitable for widespread use due to its non-invasiveness, lack of radiation exposure and thus safety for the health of patients, accessibility to patients and high detection effectiveness of pathological changes of the mammary gland.

Methods of thermograms evaluation and analysis. To identify the risk of mammary gland pathology we analyzed thermograms using 68 features, among which three indicators of general characteristics: age of the patient, minimal temperature of the MG field, size of the MG temperature field; 32 features of the relative area of temperature rise; and 33 features of thermograms characteristics according to Hurst exponent of high dimensional fractals. To analyze distribution of MG field temperature and to identify signs of thermograms associated with the risk of pathology, methods of constructing one-factor and multifactor regression models were used, as well as method of operating characteristic curves (ROC).

Quantitative analysis of the thermography results. On the basis of the selected factor signs, a linear model for predicting the risk of MG pathology was built — AUC = 0,85 (95% CI 0,82–0,87) and a nonlinear model (was used a multilayer perceptron — MLP, with one hidden layer with sigmoid activation functions) for predicting the risk of MG pathology AUC = 0,89 (95% CI 0,87–0,92). A nonlinear neural network model on a reduced set of traits had better ($p < 0,05$) prognostic characteristics (AUC) than a linear model on all 68 features or a linear model on significant factor features. The prognostic characteristics of the MLP model allow to use it in order to predict the risk of a pathological process.

Conclusions. To analyze mammary gland thermograms with assessment of the fractal dimension of the field temperature distribution in norm and in pathology was constructed a neural network MLP model for predicting the risk of MG pathology. Sensitivity of the proposed model is 90,2% (95% CI 86,7%–93,0%), specificity — 85,1% (95% CI 80,6%–88,9).

Key words: Thermograms; Mammary gland; Fractal dimension; MG temperature; One-way analysis of variance; MLP model.

©2020 Institute Medical Informatics and Telemedicine Ltd, ©2020 Ukrainian Association for Computer Medicine, ©2020 Kharkiv medical Academy of Postgraduate Education. Published by Institute of Medical Informatics and Telemedicine Ltd. All rights reserved.

ISSN 1812-7231 *Klin. inform. telemed.*, 2020, vol. 15, iss. 16, pp. 28–34. <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.01>
http://kit-journal.com.ua/en/index_en.html

References (20)

Reference

- Ng E. Y. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *Int. J. Therm. Sci.*, 2009, vol. 48, no 5, pp. 849–859.
- Kovalchuk Y. S., Dunaevskiy V. Y., Venher E. F., Kotovskiy V. Y., Nazarchuk S. S. The possibility of remote-sensing infrared thermography in the diagnosis of breast diseases (benign changes). *Ukrainskyi medychnyi chasopys* [Ukrainian medical journal], 2013, vol. 95, no. 3, pp. 165–169. (In Russ.).
- Prykhodchenko V. V., Prykhodchenko O. V., Beloshenko V. A., Doroshev V. D., Karnachev A. S. Improving the efficiency of the screening stage for selective screening of breast diseases. *Medyko-sotsialni problemy simi* [Medical and social problems of family], 2009, vol. 14, no. 4, pp. 20–25. (In Russ.).
- Rozenfeld L. H., Kolotylov N. N. The remote infra-red thermography in the oncology. *Onkologiya* [Oncology], 2001, vol. 3, no. 2–3, pp. 103–106. (In Russ.).
- Markel A. L., Vainer B. H. Infra-red thermography in the diagnosis of breast cancer (review of foreign literature). *Terapevtycheskyi arkhiv* [Therapeutic archive], 2005, vol. 776, no. 10, pp. 57–61. (In Russ.).
- Prykhodchenko V. V., Prykhodchenko O. V. Diagnosis of breast diseases using a digital contact thermograph. *Medyko-sotsialni problemy simi* [Medical and social problems of family], 2005, vol. 10, no. 3–4, pp. 61–64. (In Russ.).
- Prykhodchenko V. V., Prykhodchenko O. V., Biloshenko V. O., Karnachov O. S., Doroshev V. D., Kalinina O. I. Potentialities of contact digital thermography in early preclinical diagnostics of breast tumor. *Onkologiya* [Oncology], 2009, vol. 13, no. 2, pp. 125–129. (In Ukr.).
- Beloshenko V. A., Doroshev V. D., Karnachev A. S., Prykhodchenko V. V. A system for early detection of cancer diseases by means of contact digital thermography. *Nauka ta innovatsii* [Science and innovation], 2007, vol. 3, no. 5, pp. 11–25. (In Russ.).
- Prykhodchenko V. V., Dumanskyi Yu. V., Prykhodchenko O. V., Beloshenko V. A., Doroshev V. D., Karnachev A. S. Employment of the contact digital thermograph TKTS-1 in the diagnosis of breast diseases. *Donetsk*, 2012, 189 p. (in Russ.).

10. Carbone A. Algorithm to estimate the Hurst exponent to fhighdimensional fractals. *PhysRevE*, 2007; no. 76:056703.
11. Dumansky Y. V., Lyakh Y. E., Gorshkov O. G., Gurianov V. G., Prihodchenko V. V. Fractal dimensionality analysis of normal and cancerous mammary gland thermograms. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2012, vol. 45, pp. 1494–1500.
12. Etehad Tavakol Mahnaz, Lucas Caro, Sadri Saeed, Ng Eyk. Analysis of breast thermography using fractal dimension to establish possible difference between malignant and benign patterns. *J Healthcare Eng.*, 2010, vol. 1, no. 43.
13. Baish J. W., Jain R. K. Fractals and cancer, American Association for Cancer Research. *Cancer Res.*, 2000, vol. 60, pp. 3683–3688.
14. Ramirez-Cobo P., Vidakovic B. A 2D wavelet-based multiscale approach with applications to the analysis of digital mammograms. *Computational Statistics and Data Analysis*, 2013, vol. 58, no. 2, pp. 71–81.
15. Hurianov V. H., Liakh Yu. Ye., Parii V. D., et. al. *Posibnyk z biostatystyky. Analiz rezul'tativ medychnykh doslidzhen' u paketi EZR (R-statistics)*. [Handbook of Biostatistics. Analysis of the results of medical research in the EZR package (R-statistics)], Kyiv, Vistka, 2018, 208 p. (In Ukr.).
16. Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.*, 2013, no. 48, pp. 452–458.
17. Liakh Yu. E., Hurianov V. H. Mathematic modeling for classification problems in biomedicine. *Ukrainskyi zhurnal teledytsyny ta medychnoi telematyky* [Ukrainian Journal of telemedicine and medical telematics], 2012, vol. 10, no. 2, pp.69–76. (In Russ.).
18. Liakh Yu. E, Hurianov V. H., Yakobson E. A. Fractal dimencionality analysis of mammary gland thermograms. *Medychna informatyka ta inzheneriia* [Medical informatics and engineering], 2016, no. 1, pp. 88–90. (In Russ.).
19. Liakh Yu. Ye., Biloshenko V. O., Hurianov V. H., Prykhodchenko V. V. Automated system for evaluation of the mammary glands examination results for contact digital thermography. *Medychna informatyka ta inzheneriia* [Medical informatics and engineering], 2019, no. 2, pp. 25–37. (In Ukr.).
20. Liakh Yu. Ye., Dumanskyi Yu. V., Hurianov V. H., Prykhodchenko V. V. Development of automatized expert system for the preliminary screening estimation of data of contact digital thermography. *Unyversytetskaia klynyka* [University clinic], 2011, vol. 7, no. 1, pp.109–112. (In Russ.).

Листування

д.біол.н., професор **Ю. Є. Лях**
кафедра «Громадського здоров'я»
науково-дослідний центр інноваційних і неінвазивних
технологій в охороні здоров'я
Національний університет «Острозька академія»
вул. Семінарська, 2, Острог, Рівненська обл., 35800, Україна
тел.: +380 (50) 545 31 42
ел. пошта: lyakh.yuriy@gmail.com