

УДК: 617.55-072.1+615.471.03:616.072.1

Ляшенко А. В.<sup>1</sup>, Баязітов М. Р.<sup>2</sup>, Годлевський Л. С.<sup>3</sup>, Баязітов Д. М.<sup>4</sup>, Бузиновський А. Б.<sup>5</sup><sup>1</sup>Асистент кафедри біофізики, інформатики та медичної апаратури<sup>2</sup>Д-р мед. наук, професор, професор кафедри хірургії № 1, Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна<sup>3</sup>Д-р мед. наук, професор, завідувач кафедри біофізики, інформатики та медичної апаратури, Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна<sup>4</sup>Аспірант кафедри хірургії №1, Одеський національний медичний університет, Одеса, Україна<sup>5</sup>Лікар-хірург ендоскопіст відділення малоінвазивної хірургії, КУ «Одеська обласна клінічна лікарня», Одеса, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЛАПАРОСКОПІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Вирішено завдання автоматизованого розпізнавання – діагностики циротичних змін та метастатичного ураження печінки за результатами аналізу лапароскопічних зображень. Об'єктом дослідження був процес побудови діагностичної системи автоматизованого розпізнавання лапароскопічних зображень. Предметом дослідження склали методи формування вихідних вибірок зображень для навчання каскадного класифікатора за ознаками Хаара. Метою роботи було створення інформаційної технології підтримки прийняття рішень при лапароскопічній діагностиці стану поверхні печінки на основі каскаду Хаара. Класифікацію зображень здійснювали з використанням методу каскадного класифікатора. При використанні для навчання 1000 зображень позитивного характеру та 500 негативних зображень показник чутливості діагностики цирозу печінки розробленої технології склав 68,8% і перевищував таку, яка мала місце при експертній діагностиці (31,0%) ( $P < 0,01$ ). При метастатичному ураженні достовірні відмінності зазначеного показника склали 80,0% та 46,7% відповідно ( $P < 0,02$ ). Крім того, при метастатичному ураженні достовірно підвищувалась специфічність діагностики – з 52,5% при експертній діагностиці до 85,0% ( $P < 0,01$ ), а також спостерігалось зростання прогностичних показників – як позитивного (з 42,4% до 80,0%,  $P < 0,01$ ), так і негативного (з 56,8% до 87,2%,  $P < 0,01$ ). Згідно показникам тестування, показник AUC ROC для каскадного класифікатора склав 0,891, в той час як для експертної оцінки дорівнював 0,723, що свідчить про більшу ефективність застосування каскадного класифікатора. Розроблена технологія може бути рекомендована в клінічній практиці при виконанні лапароскопічних хірургічних втручань.

**Ключові слова:** автоматизоване розпізнавання зображень, лапароскопічне відео зображення, ознаки Хаара.

### НОМЕНКЛАТУРА

КАД – комп'ютерна автоматизована діагностика;

RGB – адитивна кольорова модель (червоний, зелений, синій);

CIELAB – система заданих кольорів;

PAL – система аналогового кольорового телебачення;

HD – відео з високою роздільною здатністю;

.avi – мультимедійний контейнер для аудіо-відео даних;

$i(x)$  – елемент матриці  $x$ ;

$i(y)$  – елемент матриці  $y$ ;

$i(x')$  – значення пікселя в точці  $x$  початкового зображення;

$i(y')$  – значення пікселя в точці  $y$  початкового зображення;

$s$  – сума рядків матриці  $(x, y)$ ;

$X$  – область зображення для розрахунку ознак;

$f$  – набір ознак в навчальній вибірці;

$D$  – множина допустимих значень ознак  $f$ ;

$m$  – кількість негативних зображень;

$l$  – кількість позитивних зображень;

$w$  – розподіл ймовірностей виявлення;

$e$  – помилка виявлення;

$h$  – каскадний класифікатор множини  $x$ ;

$T$  – множина кількісних ознак;

$t$  – значення вихідного параметру спостереження;

OpenCV – бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору;

.xml – текстовий файл, де відбувається розмічування даних;

ІП – істинно-позитивні;

ХН – хибно-негативні;

ІН – істинно негативні;

ХП – хибно-позитивні діагнози;

ППП – позитивний прогностичний показник;

НПП – негативний прогностичний показник;

AUC – площа від кривої до діагональної лінії графіку;

ROC – графік, що дозволяє оцінити якість класифікації.

### ВСТУП

При автоматизації діагностики за ознаками лапароскопічних зображень застосовують інформаційні системи, які дозволяють провести оцінку окремих ділянок зображень, що викликають підозру наявності патологічних змін за певними ознаками, а саме: колір, контур/ форми, а також характеристики текстури [1–3].

При розробці інформаційної технології автоматизованому аналізу відео-лапароскопічних зображень, отриманих при дослідженні органів черевної порожнини, наявними є певні особливості, які необхідно приймати до уваги [4, 5]. Так, автори зазначають, що як наслідок значного зашумлення та недостатнього освітлення, відмінності елементів зображень відносно кольору є незначними, в той час як відмінності форми об'єктів є високоваріабельними, що значно ускладнює їх використання з метою автоматизованої діагностики [4]. Додатковою особливістю є те, що переважна більшість пікселів при огляді черевної порожнини, фарбовані відтінками червоного кольору, тому ознаки кольору, як такі є малоінформативним.

До факторів, які суттєвим чином можуть впливати на результати подібних досліджень, слід віднести також швидку зміну ракурсу та освітлення об'єктів, спотворення інформації за рахунок відбиття проміння від поверхні [5, 6]. Нарешті важливим є факт того, що сприйняття характеристик зображень людським оком суттєво відрізняєть-

ся від інформації, яку реєструє цифрова відеокамера, так як на рівні кодування кольору відеокамерою не реалізується закон Вебера-Фехнера [7, 8]. Через подібні відмінності є необхідним застосування зокрема гама-корекції до первинної інформації, яка дозволяє визначити співвідношення між чисельним значенням пікселя та його дійсним значенням освітлення [4]. Після цієї процедури подальше застосування логарифмічної шкали не спотворює суб'єктивну кольорову палітру людського ока.

Об'єктом дослідження є процес побудови діагностичної системи автоматизованого розпізнавання лапароскопічних зображень.

Зважаючи на здатність методу ознак Хаара ефективно здійснювати розпізнавання зображень під різними кутами та на різній відстані, його було застосовано для створення системи автоматизованої діагностики.

Предметом дослідження були методи формування вихідних вибірок зображень для навчання каскадного класифікатора за ознаками Хаара.

**Метою** дійсного дослідження було створення інформаційної технології підтримки прийняття рішень при лапароскопічній діагностиці стану поверхні печінки на основі каскаду Хаара.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Процедура виявлення патології, на основі класифікації зображень полягала в розрахунку простих функцій на основі ознак Хаара [9]. Ознаки Хаара являють собою набір прямокутників, між якими проводиться розрахунок насиченості пікселів. Наприклад, для функції ознак з двома прямокутниками приймається до уваги різниця між сумою пікселів в межах двох областей. Функція ознак щодо трьох прямокутників обчислюється, як різниця центральної області від суми двох зовнішніх областей. Нарешті функція для чотирьох прямокутників обчислює різницю між діагональними областями [9]. Слід зазначити, що розмір прямокутників складає 24x24 пікселя (рис. 1).

Функції прямокутників обчислюються як інтегральне зображення. Для інтегрального зображення формується матриця, де в її елементах ( $ii(x,y)$ ) міститься інформація про суму пікселів сусідніх елементів (1):

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y'). \quad (1)$$



а



б

Рисунок 1 – Зображення патології печінки у вигляді метастатичних уражень:

а – вхідне лапароскопічне зображення метастатичних уражень печінки; б – використання прямокутних ознак Хаара для виявлення на лапароскопічному зображенні метастатичного ураження печінки

роботі також використовується наступна пара повторень (2):

$$\begin{aligned} s(x, y) &= s(x, y-1) + i(x, y) \\ ii(x, y) &= ii(x-1, y) + s(x, y), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $s(x, y-1)=0$  та  $ii(x-1, y) = 0$  – інтегральне зображення, яке обчислюється від вхідного зображення.

Згідно [4] особливості ознак Хаара можуть представляти детальний аналіз контуру, текстури, а також виявлення патології згідно горизонтальної та вертикальної орієнтації лапароскопічної камери.

Ознаки області зображення для множини допустимих значень розраховується співвідношенням (3):

$$f : X \Rightarrow D_f. \quad (3)$$

Навчання каскадного класифікатора. З огляду на набір позитивних та негативних зображень використання каскадного класифікатора, має переваги в швидкості розпізнавання та й його якості.

Алгоритм навчання полягає в розрахунку оптимальної порогової функції класифікатора з набору ознак, які з початку обчислюються з набору позитивних зображень (наявність патології), де заздалегідь виділено область захворювання на зображенні. Розрахунок ознак и набір притивів зберігаються в базі даних (рис. 2).

Алгоритм роботи каскадного класифікатора складається з наступних кроків:

1. Отримуємо приклади зображення  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ , де  $y_i = 0,1$  – позитивні приклади з наявністю патології та негативні приклади, де патологія відсутня.

2. Проводимо визначення параметрів ознак:

$$w_{1,i} = \frac{1}{2m}, \frac{1}{2l},$$

для  $y_i = 0,1$  відповідно.

Проводимо нормалізацію параметрів ознак (4):

$$w_{t,i} = \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^n w_{t,j}}, \quad (4)$$

де  $w_t$  – розподіл ймовірностей виявлення.



Рисунок 2 – Схема роботи каскадного класифікатора

3. Для кожної функції  $j$ , проводять навчання класифікатора ( $h_j$ ), який обмежений використанням наступних функцій виявлення ознак. Це дає змогу визначити помилку ( $e_j$ ), а саме відношення ознак до розподілу ймовірностей яке оцінюється, як (5) :

$$e_j = \sum_i w_i |h_j(x_i) - y_i|. \quad (5)$$

4. Вибираємо каскад класифікатору  $h_t$  з найменшою помилкою  $e_t$ .

5. Проводиться оновлення визначених ознак на зображенні (6):

$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \beta_t^{1-e_i}, \quad (6)$$

де  $e_i = 0$ , якщо наприклад  $x_i$  класифікується, як правильно виявлений елемент, і якщо  $e_i = 1$  як «інакше»  $\beta_t = \frac{e_t}{1-e_t}$  – виявлення з помилкою.

6. Формується остаточний каскадний класифікатор (7):

$$h(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t; \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (7)$$

де  $\alpha_t = \log \frac{1}{\beta_t}$ .

Таким чином, побудований каскад має – 38 ступенів та 6000 особливих ознак. Після проведення навчання класифікатора обов'язковим було його тестування [1], яке полягало в визначенні ефективності розпізнавання норми та патологічних змін, а також характеру патологічних особливостей – відмінності цирозу від метастатичного ураження печінки.

## 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Зважаючи на складність передачі кольору, як інформативної ознаки, яка має діагностичне значення, універсальним методом автоматизованого аналізу зображень – порівняння їх до відповідної норми, є використання бінарних зображень [1, 4, 10]. Так, для норми гістроскопічних зображень характерним є більш висока медіана сірого кольору, а також більша гомогенність та менша кон-

трастність у порівнянні до ендометрію з патологічними змінами [4]. Подібний факт вказує на ефективність дослідження текстури зображення, як інформаційного діагностичного критерію, що було підтверджено при КАД зляксісних пухлин урази [2, 4, 11]. Загальна схема КАД базувалась на реалізації алгоритму, який передбачав захоплення відео- зображення, гама-корекцію, багато масштабний аналіз текстури зображення, екстракцію характерних ознак з наступною селекцією та на завершальному етапі – класифікацію зображень [1, 4, 11]. Причому, класифікація зображень відбувалась за використання бази даних відповідних зображень та технологій навчання класифікатора за каскадними ознаками.

Однак, на сьогодні немає чітких рекомендацій щодо протоколу інформаційних методів виявлення патології на лапароскопічних зображень. Тому, слід випробувати методи, які довели свою ефективність в інших наукових галузях. Одним з таких методів є визначення ефективності вейвлетів Хаара для швидкого розпізнавання образів [6, 10, 12]. Разом з тим, при ендоскопічній автоматизованій діагностиці поліпозного ураження кишковика за допомогою ендоскопів в дослідженні [1] було застосовано три різні підходи. Так, за цих умов автори поставили під сумнів ефективність застосування ознак Хаара та гістограми направлених градієнтів, що пояснюється надмірно високою вихідною різноманітністю орієнтацій патологічних утворень. Однак, використання комбінованого підсиленого класифікатора дозволило підвищити ефективність розпізнавання, яка при аналізі 20 відео-, отриманих із бази даних зображень поліпів клініки Мейо склала 93,9%. Ці результати вказують про можливість збільшення ефективності розпізнавання на основі ознак Хаара при попередньому визначенні зони підозрюваної на наявність патологічних змін.

## 3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

При проведенні дослідження дотримувались певних правил збору та аналізу відеоінформації, яка включала наступну послідовність дій:

1) калібрування цифрової камери, яка обов'язково включала баланс білого, а також конвертування кольорової палітри в цифровий код, що здійснювалась за інструкцією виробника;

2) отримання відеоінформації здійснювали при певних стандартних урахувань, а саме:

– камера повинна бути розташована фронтально до поверхні печінки по відношенню до відеокамери;

– кут огляду камери, має бути  $15 \pm 5$  градусів [9]. За цих умов відстань до поверхні складала від 3 до 5 см;

3) отримання на зображеннях в режимі формування бази позитивних та негативних зображень виділених зон, які з точки зору діагностики були інформативними;

4) здійснення гама-корекцію щодо виділеної зони;

6) проведення необхідних операцій щодо аналізу кольору, текстури та контуру;

7) проведення конверсії зображення з RGB режиму в режим CIELAB;

8) застосування ознак Хаара, для навчання каскадно-го класифікатора;

9) зберігання результатів класифікації в базі даних для подальшого розгляду відповідно показникам експертного аналізу. Генерування відповідних висновків.

До навчання за ознаками Хаара було залучено 32 відеозображення пацієнтів з цирозом печінки, а також 30 відеозображень печінки у пацієнтів із метастазами. Середній вік пацієнтів складав відповідно  $46,5 \pm 3,3$  та  $49,3 \pm 4,5$  років. Крім того, для навчання норми було використано 40 лапароскопічних відеозображень поверхні печінки, отриманих у практично здорових осіб середнім віком  $46,3 \pm 2,7$  років.

Всі відео було отримано за допомогою відео обладнання, а саме – лапароскопічної камери з апертурою оптики 5 мм Carl Storz Tricam Camera (Carl Storz, Німеччина) в період з 2011 по 2016 рр. Камера мала аналоговий вихід (PAL 475 горизонтальних ліній), який під'єднувався до плати захоплення averMedia HD capture Studio 203 (Avermedia,

China). В результаті відеосигнал проходив цифрування з щільністю пікселів 1024 x768 в форматі .avi.

Критеріями включення відео- до навчання були: задокументоване калібрування цифрової камери за параметрами передбаченими виробником, середня тяжкість стану пацієнтів та підтвердження відповідних діагнозів за результатами клінічних та лабораторно-інструментальних методів дослідження.

Ефективність розробленої технології автоматизованої діагностики стану печінки оцінювали за випадками підтверджених діагнозів. Всього при проведенні подібної оцінки було використано 32 зображень циротичних змін печінки та 30 зображень метастатичного її ураження. Крім того, в якості контролю спостерігали 79 пацієнтів, у яких лапароскопічна діагностика проводилась не з причин захворювання печінки, але у яких було отримано відео-знімки її поверхні.

На основі отриманих показників розраховували чутливість та специфічність діагностичної процедури:

Чутливість розраховували як  $П/(П+ХН) \times 100 \%$ ; специфічність –  $ІН/(ІН+ХП) \times 100 \%$ .

Крім того, розраховували показник ППП:  $П/(П+ХП) \times 100 \%$  та показник НПП –  $ІН/(ІН+ХН) \times 100 \%$ .

Результати експертної оцінки, яку проводили хірурги з досвідом виконання лапароскопічних втручань не менше від 10 років, та розробленої технології автоматизованої діагностики порівнювали з використанням критерію «z» порівняння двох пропорцій та програми «Primer Biostatistics» (США).

#### 4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Для тестування методу виявлення патології печінки на лапароскопічних зображеннях застосовували програмне забезпечення з графічним інтерфейсом (рис. 3). Про-

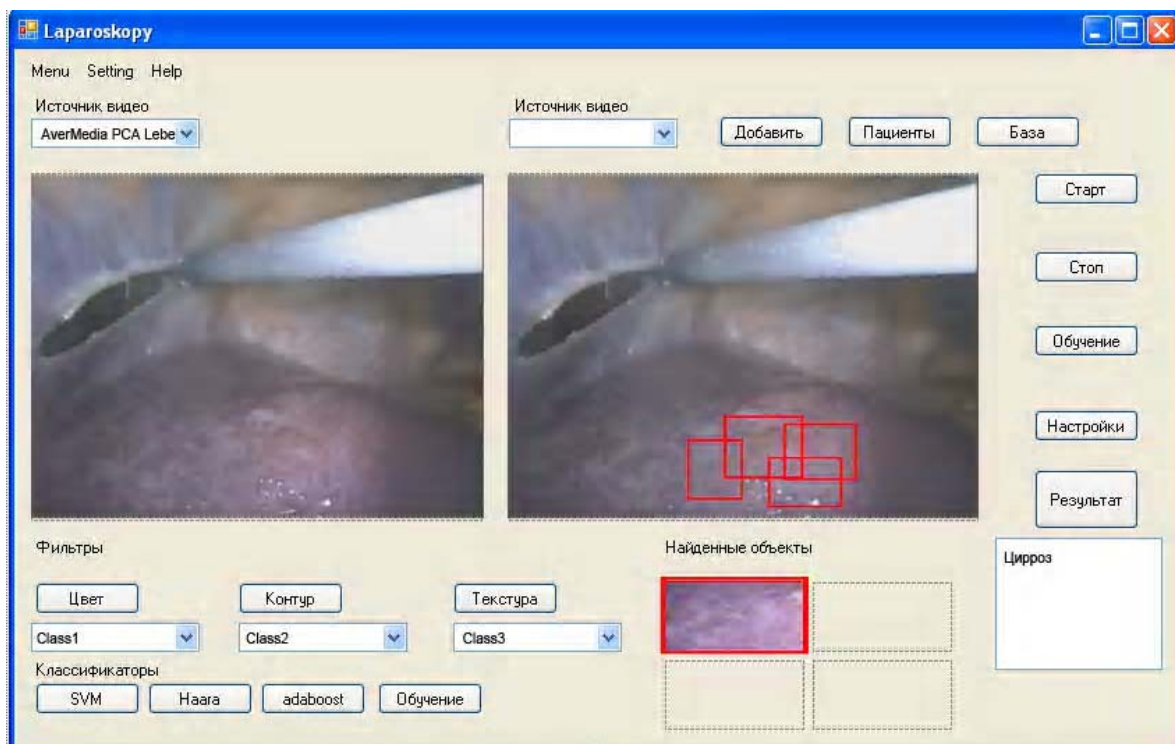


Рисунок 3 – Інтерфейс програмного забезпечення автоматизованої лапароскопічної діагностики патологічних змін поверхні печінки на предмет цирозу змін



грамне забезпечення реалізоване на мові програмування C++, з використанням бібліотеки OpenCV.

Спочатку виконували навчання класифікатора згідно двох прикладів (позитивні та негативні зображення), за допомогою підпрограми OpenCV [4] – Open\_traincascade.exe (рис. 4).

Збережені дані ознак Хаара зберігали в .xml файлі, які вміщували показники виявленої патології поверхні печінки.

Інтерфейс програми дозволяє:

- захоплювати лапароскопічне відеозображення;
- завантажувати архівні відеозображення з бази даних;
- виконувати калібрування камери та монітору;
- виконувати функцію обробки зображення для створення бази негативних та позитивних зображень;
- проводити тестування класифікаторів на предмет виявлених та невиявлених патологій.
- робити вибір поміж методів виявлення патології на інших органах черевної порожнини.

Слід зазначити, що інтерфейс програмного забезпечення побудований для розуміння технічно не підготовленим лікарям-хірургам.

## 5 РЕЗУЛЬТАТИ

Результати апробації розробленого методу засвідчили, що за показником чутливості діагностики цирозу пе-

чінки розроблена технологія складала 68,8% і перевищувала таку, яка мала місце при експертній діагностиці (31,0%) ( $P<0,01$ ) (табл. 1). При метастатичному ураженні також спостерігались достовірні відмінності зазначеного показника – 80,0% та 46,7% відповідно ( $P<0,02$ ). Крім того, при метастатичному ураженні достовірно підвищувалась специфічність діагностики – з 52,5% при експертній діагностиці до 85,0% ( $P<0,01$ ), а також спостерігалось зростання прогностичних показників – як позитивного (з 42,4% до 80,0%,  $P<0,01$ ), так і негативного (з 56,8% до 87,2%,  $P<0,01$ ).

Згідно показникам тестування, показник AUC ROC для каскадного класифікатора склав 0,891, в той час як для експертної групи дорівнював 0,723, що свідчить про більшу ефективність застосування каскадного класифікатора.

## 6 ОБГОВОРЕННЯ

Таким чином, отримані результати свідчать про вирішення важливої науково-технічної проблеми автоматизованої діагностики патологічних змін органів черевної порожнини за результатами аналізу лапароскопічних зображень. Важливо зазначити, що розроблена система дозволяє досягти більшої ефективності у порівнянні до експертної діагностики. Так побудована ROC – крива та наступне визначення площі під кривою – від кривої до діагональної лінії графіку (AUC) довела її більш високе значення при тестуванні розробленого каскадного класифікатора.

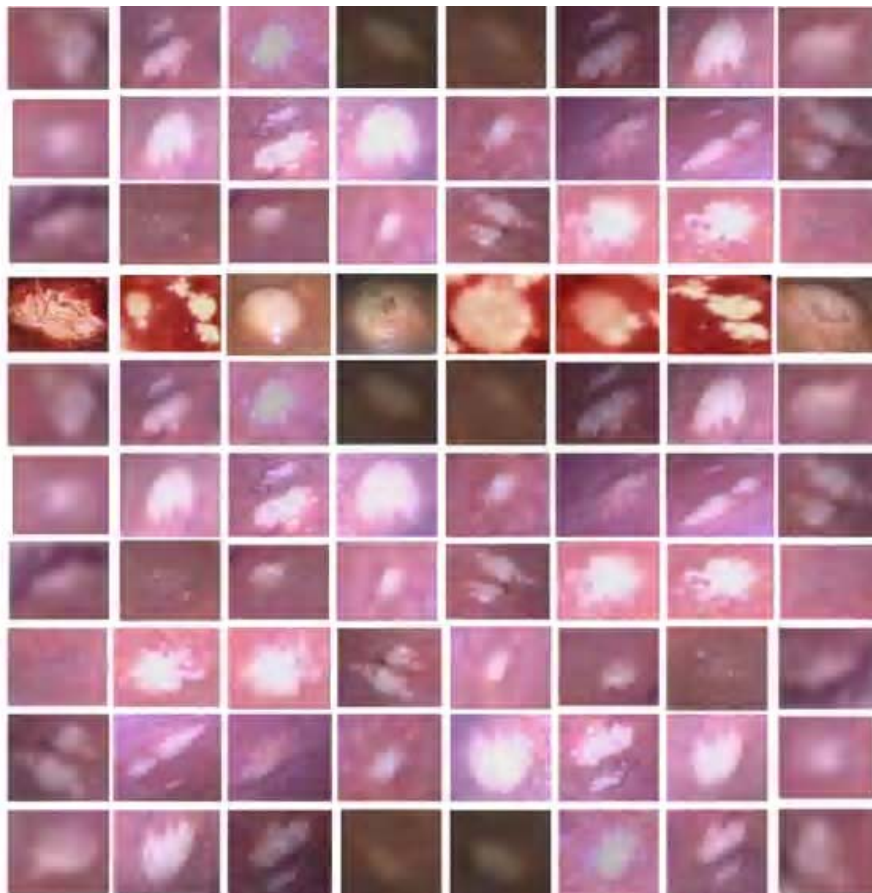


Рисунок 4 – Загальний вигляд зображень метастатичного ураження печінки, які було використано при навчанні системи автоматизованого розпізнавання зображень поверхні печінки

Таблиця 1 – Ефективність класифікації зображень за допомогою розробленої КАД (%)

	Чутливість	Специфічність	Позитивний прогностичний показник	Негативний прогностичний показник
<b>Експертна оцінка зображень</b>				
Цироз	13/32 (31,0)	26/39 (66,7)	50,0	57,8
Метастатичне ураження	14/30 (46,7)	21/40 (52,5)	42,4	56,8
<b>Розроблена автоматизована діагностика</b>				
Цироз	22/32 (68,8) ##	32/39 (82,0)	73,9	76,2
Метастатичне ураження	24/30 (80,0) #	34/40 (85,0) ##	80,0 ##	87,2 ##

Примітка: #– $P < 0,05$  та ##– $P < 0,01$  у порівнянні до відповідного показника в групі з експертною діагностикою. Використано критерій «z» порівняння двох пропорцій

Розроблена система є новою відповідно до принципів її устрою, застосування ознак Хаара та алгоритмів аналізу відповідних зображень, так як на сьогодні подібні проблеми фрагментарно представлені в науковій літературі [2, 3, 5, 6, 9, 11]. Слід підкреслити, що, зважаючи на особливості кольору лапароскопічних зображень, в дослідженні визначено ефективність використання інтенсивності в шкалі сірого, що відповідає практиці автоматизованого розпізнавання зображень за даними інших авторів [1, 4, 7, 8].

Розроблена технологія в подальшому може бути удосконалена – як за рахунок збільшення вибірки відео зображень, які було використано для навчання, так і шляхом розширення спектру захворювань органів черевної порожнини, які можливо діагностувати на основі розробленої КАД. В цілому застосування розробленої системи дозволить підвищити ефективність діагностики в лапароскопічній хірургії, зменшити ризик виникнення небажаних результатів при хірургічних втручаннях.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати свідчать про ефективність застосування КАД на основі ознак Хаара за допомогою каскадного класифікатора при автоматизованій діагностиці стану печінки при цирозі та метастатичному ураженні.

Принципи устрою та функціонування розробленої КАД можуть мати універсальне значення при автоматизованій лапароскопічній діагностиці як стану печінки, так і інших органів черевної порожнини.

Створення відео-банку лапароскопічних зображень відповідно до вимог їх застосування в навчанні розробленої КАД є перспективним для подальшого підвищення ефективності автоматизованої лапароскопічної діагностики.

## ПОДЯКИ

Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної теми Одеського національного медичного університету «Аналіз, розробка і впровадження комплексних інформаційних систем в діяльність установ охорони здоров'я» (номер державної реєстрації 0112U008306).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Albisser Z. Computer-aided screening of capsule endoscopy videos / Z. Albisser // Master's Thesis, University of Oslo. – 2015. – № 1. – P. 74–245.
- Segmentation of uterus using laparoscopic ultrasound by an image-based active contour approach for guiding gynecological diagnosis

- and surgery / X-H. Gong, J. Lu, J. Liu et al. // PLoS ONE. – 2015. – Vol. 10(10): e0141046. DOI:10.1371/journal.pone.0141046
- Shu Y. Segmentation of laparoscopic images: Integrating graph-based segmentation and multistage region merging/ Y. Shu, G. A. Bilodeau, F. Cheriet // *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05)*, May 09 – 11, 2005 : Proceeding. IEEE Computer Society Washington, 2005. – P. 429–436. DOI: 10.1109/CRV.2005.74
- Computer-aided diagnosis in hysteroscopic imaging / [M. S. Neofytou, V. Tanos, I. Constantinou et al.] // *IEEE Journal of Biomed. Health Inform.* – 2015. – Vol. 19(3). – P. 1129–1136. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2332760.
- Marcinczak J. M. Closed contour specular reflection segmentation in laparoscopic images / J. M. Marcinczak, R. R. Grigat // *J. of Biomed. Umaging.* – 2013. – Vol. 2013, Jan. 2013, Article No 18; DOI: 1155/2013/593183
- Boisvert J. Segmentation of laparoscopic images for computer assisted surgery / J. Boisvert, F. Cheriet, G. Grimard // *13th Scandinavian Conference Image Analysis*, June 29 – July 2, 2003, Halmstad, Sweden : Proceedings. Lecture Notes in Computer Sciences, 2003. – Vol. 2749. – P. 587–594.
- Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of orthodontic correction with dental brackets/ [L. S. Godlevsky, E. A. Bidnyuk, N. R. Bayazitov et al.] // *Chinese Journal of Modern Medicine.* – 2014. – No. 15. – P. 10–14.
- Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of early caries appearance in the course of orthodontic correction with dental brackets/ [L. S. Godlevsky, E. A. Bidnyuk, N. R. Bayazitov et al.] // *Applied Med. Informatics.* – 2013. – Vol. 33, No. 4. – P. 21–26.
- Diagnostic laparoscopy in the era of modern imaging – retrospective analysis from a single center / D. Amarapurkar, N. Bhatt, N. Patel et al. // *Indian Journal of Gastroenterology.* – 2013. – Vol. 32, No. 5. – P. 302–306.
- Polyp detection and radius measurement in small intestine using video capsule endoscopy/ [M. Zhou, G. Bao, Y. Geng et al.] // *7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI) IEEE*, 7th Oct. 2014. – P. 237–241.
- Tissue classification for laparoscopic image understanding based on multispectral texture analysis / [Y. Zhang, S. J. Wirkett, J. Iszatt et al.] // *Medical Imaging 2016: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling.* – March 18, 2016 : SPIE Proceedings. – 2016. – Vol. 9786; DOI:10.1117/12.2216090
- Lux M. Annotation of endoscopic videos on mobile devices: A bottom-up approach / M. Lux, M. Riegler // In: *Proceedings of the 4th ACM Multimedia Systems Conference, MMSys '13*, New York, USA. – 2013. – P. 141–145.

Стаття надійшла до редакції 02.11.2016.

Після доробки 05.12.2016.

Ляшенко А. В.<sup>1</sup>, Баязитов Н. Р.<sup>2</sup>, Годлевский Л. С.<sup>3</sup>, Баязитов Д. Н.<sup>4</sup>, Бузиновский А. В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ассистент кафедры биофизики, информатики и медицинской аппаратуры, Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина

<sup>2</sup>Д-р мед. наук, проф., профессор кафедры хирургии № 1, Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина

<sup>3</sup>Д-р мед. наук, проф., заведующий кафедры биофизики, информатики и медицинской аппаратуры, Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина

<sup>4</sup>Аспирант кафедры хирургии №1, Одесский национальный медицинский университет, Одесса, Украина

<sup>5</sup>Врач-хирург малоинвазивного отделения КП «Одесская областная клиническая больница», Одесса, Украина

## ІНФОРМАЦІОННО-ТЕХНІЧЕСЬКА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЛАПАРОСКОПІЧЕСЬКОЇ ДІАГНОСТИКИ

Решена задача автоматизированного распознавания – диагностики цирротических изменений и метастатического поражения печени по результатам анализа лапароскопических изображений. Объектом исследования был процесс построения диагностической системы автоматизированного распознавания лапароскопических изображений. Предметом исследования были методы формирования исходных выборок изображений для обучения каскадного классификатора. Целью исследования было создание информационной технологии поддержки принятия решений при лапароскопической диагностике состояния поверхности печени на основе каскада Хаара. Классификацию изображений осуществляли с применением метода каскадного классификатора. При применении для обучения 1000 изображений позитивного характера и 500 негативных изображений показатель чувствительности диагностики цирроза печени с помощью разработанной технологии составил 68,8% и превышал таковой, который регистрировался при экспертной диагностике (31,0%) ( $P < 0,01$ ). При метастатическом поражении достоверные отличия указанного показателя составили 80,0% и 46,7% соответственно ( $P < 0,02$ ). Кроме того, при метастатическом поражении достоверно возросла специфичность диагностики – с 52,5% при экспертной диагностике до 85,0% ( $P < 0,01$ ), а также отмечалось увеличение прогностических показателей – как позитивного (с 42,4% до 80,0%,  $P < 0,01$ ), так и негативного (с 56,8% до 87,2%,  $P < 0,01$ ). В соответствии с результатами тестирования, показатель AUC ROC для каскадного классификатора составил 0,891, в то время как для экспертной оценки – 0,723, что свидетельствует о большей эффективности каскадного классификатора. Разработанная технология может быть рекомендована для применения в клинической практике при выполнении лапароскопических хирургических вмешательств.

**Ключевые слова:** автоматизированное распознавание изображений, лапароскопические видеоизображения, признаки Хаара.

Lyashenko A. V.<sup>1</sup>, Bayazitov N. R.<sup>2</sup>, Godlevsky L. S.<sup>3</sup>, Bayazitov D. N.<sup>4</sup>, Buzynovskiy A. V.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Assistant of the Department of Biophysics, Informatics and medical equipment, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

<sup>2</sup>Dr. Sc. Professor of the Department of Surgery № 1, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

<sup>3</sup>Dr. Sc. Professor Chief of the Department of Biophysics, Medical Informatics and Medical Devices, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

<sup>4</sup>Postgraduate Department of Surgery №1, Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine

<sup>5</sup>Doctor-surgeon of Endoscopy, Department Odessa Regional Hospital, Odessa, Ukraine

## INFORMATIONAL-TECHNICAL SYSTEM FOR THE AUTOMATIZED LAPAROSCOPIC DIAGNOSTICS

The problem of automatic recognition – diagnostics of cirrhotic and metastatic liver damage has been solved on the basis of laparoscopic images analysis. The object of the investigation was confined to the process of diagnostic automatic system of laparoscopic images recognition building up. The subject of investigation was confined to composing of training images for the learning of cascade Haar's classificatory. The establishing of the system of decision support for laparoscopic surgeons was the aim of the investigation. The automatic diagnostic technology was developed on the basis of Haar's features usage. The classification of images was performed using cascade classifier exploration, and 1000 positive images along with 500 negative ones have been used for the learning. It was established that the sensitivity of cirrhosis of the liver diagnostics was 68,8% and exceeded that one which was determined after expert analysis (31,0%) ( $P < 0,01$ ). The sensitivity of metastatic damage was 80,0% and 46,7% after developed and expert diagnostics were performed correspondently ( $P < 0,02$ ). Besides, the specificity was also elevated – from 52,5% after expert diagnostics up to 85,0% ( $P < 0,01$ ) after developed method. The net increasing of both positive prognostic index (from 42,4% up to 80,0%,  $P < 0,01$ ), as well as negative one (from 56,8% up to 87,2%,  $P < 0,01$ ) was also observed. In accordance to results of tests, the AUC ROC for cascade classifier was 0,891, while such one for expert analysis was 0,723. That is in favor for higher effectiveness of cascade classifier. The worked out technology is recommended for laparoscopic surgery clinical exploration.

**Keywords:** automatic recognition of images, laparoscopic video-images, Haar features.

## REFERENCES

- Albisser Z. Computer-aided screening of capsule endoscopy videos, *Master's Thesis, University of Oslo*, 2015, No. 1, pp. 74–245.
- Gong X-H., Lu J., Liu J. et al. Segmentation of uterus using laparoscopic ultrasound by an image-based active contour approach for guiding gynecological diagnosis and surgery, *PLoS ONE*, 2015, Vol. 10(10): e0141046. DOI:10.1371/journal.pone.0141046
- Shu Y., Bilodeau G. A., Cheriet F. Segmentation of laparoscopic images: Integrating graph-based segmentation and multistage region merging, *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05)*, May 09–11, 2005 : Proceeding. IEEE Computer Society Washington, 2005, pp. 429–436. DOI: 10.1109/CRV.2005.74
- Neofytou M. S., Tanos V., Constantinou I. et al. Computer-aided diagnosis in hysteroscopic imaging, *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, 2015, Vol. 19(3), pp. 1129–1136. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2332760.
- Marcinczak J. M., Grigat R. R. Closed contour specular reflection segmentation in laparoscopic images, *J. of Biomed. Imaging*, 2013, Vol. 2013, Jan. 2013, Article No. 18; DOI: 1155/2013/593183
- Boisvert J., Cheriet F., Grimard G. Segmentation of laparoscopic images for computer assisted surgery, *13 th Scandinavian Conference Image Analysis, June 29 – July 2, 2003*, Halmstad, Sweden: Proceedings. Lecture Notes in Computer Sciences, 2003, Vol. 2749, pp. 587–594.
- Godlevsky L. S., Bidnyuk E. A., Bayazitov N. R. et al. Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of orthodontic correction with dental brackets, *Chinese Journal of Modern Medicine*, 2014, No. 15, pp. 10–14.
- Godlevsky L. S., Bidnyuk E. A., Bayazitov N. R. et al. Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of early caries appearance in the course of orthodontic correction with dental brackets, *Applied Med. Informatics*, 2013, Vol. 33, No. 4, pp. 21–26.
- Amarapurkar D., Bhatt N., Patel N. et al. Diagnostic laparoscopy in the era of modern imaging – retrospective analysis from a single center, *Indian Journal of Gastroenterology*, 2013, Vol. 32, No. 5, pp. 302–306.
- Zhou M., Bao G., Geng Y. et al. Polyp detection and radius measurement in small intestine using video capsule endoscopy, *7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI) IEEE, 7th Oct. 2014*, pp. 237–241.
- Zhang Y., Wirkett S. J., Iszatt J. et al. Tissue classification for laparoscopic image understanding based on multispectral texture analysis, *Medical Imaging 2016: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling*. March 18, 2016, SPIE Proceedings, 2016, Vol. 9786; DOI: 10.1117/12.2216090
- Lux M., Riegler M. Annotation of endoscopic videos on mobile devices: A bottom-up approach, *In: Proceedings of the 4th ACM Multimedia Systems Conference, MMSys '13, New York, USA*, 2013, pp. 141–145.