

Возможности тепловизионной диагностики острого риносинусита программными средствами в режиме автоматического анализа термограмм

И. М. Долгов¹, Ю. В. Карамышев², И. С. Железняк², А. А. Карамышева⁵, А. И. Махновский^{3,4}, Д. Н. Хрипковский¹

¹ ООО «Дигносис», Россия

² ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Россия

³ ГБУ «Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. И. И. Джанелидзе», Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Минздрава России

⁵ Спб ГБУЗ «Женская консультация № 44» Пушкинского района, Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

Современные тенденции развития методов медицинской визуализации, (в т.ч., медицинского тепловидения) заключаются в разработке таких способов обработки медицинских изображений, на основании которых было бы возможно создать «цифровой портрет» нозологии и использовать эти способы в автоматическом режиме для создания систем помощи принятия клинических решений.

Цель исследования: определить количественные значения тепловизионных критериев острых риносинуситов (ОРС), внедрить эти критерии в протоколы автоматического анализа в целях создания диагностического комплекса, пригодного к использованию специалистами любого профиля.

Материалы, методы: с использованием медицинского тепловизора «ТВС300-мед» (388х288 пиксел, чувствительность 0,03 °С) (ООО «СТК СИЛАР» (г. Санкт-Петербург), после соответствующей адаптации, обследовано 100 здоровых волонтеров и 305 пациентов, направленных в стационар с подозрением на наличие ОРС (диагноз ОРС подтвержден у 173 пациентов). Термограммы (в проекции «голова фронт») обработаны в «облачном» автоматическом программном комплексе TVision (ООО «Дигносис») с автоматической разметкой и формированием областей интереса (ОИ) в проекциях верхнечелюстных пазух (ВЧП) и точки, расположенной посередине межбровной линии (Тср). Определялись следующие показатели: разница температуры между Тср и средней температурой в проекции правой (ΔТпр) и левой (ΔТлев) ВЧП.; разница средних температур в проекции пазух (ΔТпаз).

Результаты. Наилучшими дифференцирующими качествами обладает комплекс показателей «ΔТпаз ≥ 0,5 °С; ΔТпр и/или ΔТлев ≤ 0» в формате «оба показателя или хотя бы один»: чувствительность 82%, и специфичность 74%, диагностическую эффективность теста 78%. Посредством введения данных критериев в алгоритмы программной обработки термограмм создан автоматический комплекс диагностики ОРС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медицинское тепловидение, острый риносинусит, диагностика.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов относительно материала, обсуждаемого в данной статье.

Advance Thermography diagnostics: automatic algorithm to find out acute sinusitis

I. M. Dolgov¹, Y. V. Karamyshev², I. S. Zheleznyak², A. A. Karamysheva⁵, A. I. Makhnovsky^{3,4}, D. N. Khriupkovskiy¹

¹ LLC "Dignosys" Russia

² Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation named after S. M. Kirov, Russia

³ State Budgetary Institution "I. I. Dzhanelidze Saint Petersburg Research Institute of Emergency Medicine" Russia

⁴ North-Western State Medical University named after I. Mechnikov Ministry of Health of the Russian Federation

⁵ St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution "Women's Consultation clinic No. 44" of the Pushkin district of St. Petersburg

⁶ Privolzhsky Research Medical University

SUMMARY

Development of medical imaging techniques (including medical thermography) provided an opportunity to mine data that can be explored for the development of clinical decision support systems.

Aim. Find out quantitative thermography criteria for acute rhinosinusitis and implement these criteria into automated analysis protocols to create a diagnostic complex suitable for use by professionals of any medical speciality.

Material, methods. After necessary adaptation, facial thermography by mean of thermography camera TVC300-med LLC "СТК СИЛАР" Russia, (384x288 pixel, 30 mK) was performed in 100 healthy volunteers and 305 patients with suspected acute rhinosinusitis (in 173 of them diagnosis was supported). Resulted thermograms were processed in "cloud service" TVision (LLC "Dignosys", Russia). Point and regions of interest (ROI), namely, point in the middle of the line, connected inner edge of eyebrows (Tcp) and ROI, covered the projections of maxillary sinuses were marked automatically. Difference between temperature in Tcp point and mean temperature in each ROI (ΔTr/ΔTI), as well as mean temperature between ROI were calculated (ΔТпаз).

Result. The best results (sensitivity 82%, specificity 74%, accuracy 78%) were received when complex of ΔTr/ΔTI ≤ 0 and module |ΔТпаз| ≥ 0,5 °C (both or at least one criterion) was applied. Based on these data, automatic algorithm of thermography acute rhinosinusitis diagnostics was created to use in primary medical care routine as clinical decision support systems.

KEYWORDS: medical thermal imaging, acute rhinosinusitis, diagnostics.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время анализ изображений, полученных в результате любого лучевого исследования, проводится конкретным специалистом (или группой специалистов) на основе их личного прецедентного опыта. Вместе с тем, развитие компьютерных технологий и «искусственного интеллекта» открывает перспективы машинной обработки результатов и создания «индивидуального портрета» конкретной нозологии. Практическая реализация этих тенденций выразилась в радиомике — быстро прогрессирующей области исследований, касающейся извлечения, оцифровки и количественного анализа особенностей полученного изображения и выявления признаков (паттернов), характеризующих ту или иную патологию [1].

В отличие от иных лучевых методов диагностики, медицинское тепловидение (МТ) уже само по себе является цифровым количественным методом исследования и, в тренде передовых аналитических технологий, при использовании надлежащих программных продуктов, абсолютно готово к реализации не требующих участия специально обученного персонала автоматических алгоритмов выявления конкретной нозологии,

На сегодняшний день разработаны алгоритмы автоматического анализа заболевания щитовидной железы, органов дыхания, дорсопатий и ряда других состояний.

Эти результаты, а также совокупность качеств МТ как метода (безвредность, соответственно, отсутствие противопоказаний, возможность использования врачом любой специальности, в т. ч., непосредственно на рабочем месте, простота и удобство применения, отсутствие расходных материалов), доказывают необходимость исследования возможности применения МТ для диагностики острого риносинусита (ОРС), одной из самых распространенных нозологий нашего времени, с которым встречаются врачи практически любой специализации, оказывающие первичную медицинскую помощь взрослым и детям.

Известны публикации, авторы которых использовали для выявления заболевания различные количественные критерии и методы их извлечения и обработки, достигая при этом хороших показателей чувствительности и специфичности [2–5]. Необходимо, однако, отметить, что ни один из этих подходов не реализован как готовый к использованию в рутинной практике метод автоматической диагностики ОРС.

Цель исследования:

Определить количественные значения тепловизионных критериев ОРС, внедрить эти критерии в протоколы автоматического анализа в целях создания диагностического комплекса, пригодного к использованию специалистами любого профиля.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ

В период с октября 2021 года по март 2023 года было обследовано 405 человек, разделенных на две группы: контрольную (первая группа) и исследуемую (вторая группа).

Первая — контрольная группа.

Модель исследуемого:

- аксиллярная температура тела не выше 36,8 °С;
- отсутствие жалоб, характерных для заболеваний органов дыхания (затруднение носового дыхания, насморк, головные боли, кашель, одышку, боли в грудной клетке, общая слабость).

Данную группу составили 100 волонтеров, согласившихся на участие в исследовании.

Вторая (исследуемая) группа

Модель пациента:

- мужчины;
- аксиллярная температура тела — гипертермия (37,1–38,5 °С);
- наличие жалоб, характерных для заболеваний органов дыхания (затруднение носового дыхания, насморк, головные боли, кашель, одышку, боли в грудной клетке, общая слабость).

Данную группу составили 305 пациентов, направленных в стационар с подозрением на воспалительные заболевания органов дыхания (ОРЗ, ОРС).

В исследование не включены пациенты, имеющие повреждения лицевого скелета или перенесшие операции на околоносовых пазухах (ОНП), со значимой деформацией носовой перегородки, с отягощенным аллергоанамнезом, явными признаками одонтогенной патологии.

Всеми участниками исследования было подписано информированное добровольное согласие.

Пациенты обследованы в соответствии с существующими отечественными стандартами [6].

Все тепловизионные исследования (ТВИ) были выполнены в стандартных условиях в соответствии с общепринятым Протоколом European Association of Thermology (EAT) [7].

Адаптация пациентов перед ТВИ проводилась в течение 12–15 минут в помещении с постоянной температурой воздуха 20–22 градусов при отсутствии потоков горячего и холодного воздуха и прямого солнечного света

Область интереса при ТВИ — проекция «голова фронтально». Дистанция съемки (0,8–1,2 м) была выбрана таким образом, чтобы изображение занимало не менее 70–75% площади термограммы (рис. 1).

ТВИ проводились с использованием российского цифрового тепловизора «ТВС300-мед» производства компании «СТК СИЛАР» (г. Санкт-Петербург), имеющего матричный детектор с разрешением 384 × 288 пикселей и температурной чувствительностью лучше 0,03 °С (рис. 2).

Накопление и обработка термограмм проводилась в базе данных облачного программного комплекса «TVision» компании «Дигносис», Россия (Медицинское изделие «Комплекс медицинский

Рисунок 1. Схема проекции съемки: «голова фронтально»

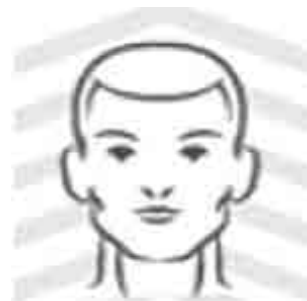




Рисунок 2. Тепловизор «ТВС300-мед» производства ООО «СТК СИЛАР» (г. Санкт-Петербург): а) транспортировочное состояние, б) комплектация, в) тепловизор; г) рабочее состояние для проведения исследований

программной обработки и анализа термограмм «TVision» по ТУ 58.29.40–001–02498151–2019» Регистрационное удостоверение Росздравнадзора № РЗН 2021/15932), который позволяет представлять результаты обследования в режиме реального времени, сохранять полученные обработанные изображения в архиве для последующего анализа (рис. 3).

Термограммы ОНП размечались в автоматическом режиме с формированием следующих областей интереса (ОИ):

- точка на середине расстояния между медиальными краями линий разметки в проекции бровей (точка средней температуры тела (Тст);

- проекции верхнечелюстных пазух (ВЧП) (рис. 4).

Определялись следующие показатели:

- разница температуры между Тст и средней температурой в проекции каждой ВЧП, правой ($\Delta T_{\text{Пр}}$) и левой ($\Delta T_{\text{Лев}}$);

- разница средних температур в проекции пазух ($\Delta T_{\text{Паз}}$).

Для статистического анализа, вычисления мер количественного описания диагностических методов использован пакет SPSS Statistics 26 (IBM).

Рассчитывали критерий согласия Пирсона χ^2 , который позволяет оценить статистическую значимость различий двух относительных показателей, угловой критерий Фишера (ϕ), который предназначен для сопоставления двух выборок по частоте встречаемости интересующего эффекта.

Также, рассчитывали показатели предикторной значимости теста: чувствительность (Se), специфичность (Sp), предсказательную ценность положительного результата (PPV), предсказательную ценность отрицательного результата (NPV), отношение правдоподобия положитель-

ного результата теста (PLR), отношение правдоподобия отрицательного результата теста (NLR), диагностическую эффективность теста (точность) (Acc), диагностическое отношение шансов (DOR), индекс Юдена (J); число пациентов, необходимое для диагностики (NND).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ распределения показателей в контрольной и исследуемой группах.

В контрольной и исследуемой группах изучено распределение значений показателей $\Delta T_{\text{Пр}}$, $\Delta T_{\text{Лев}}$ (разница температуры между Тст и средней температурой в проекции каждой ВЧП) и модуля $\Delta T_{\text{Паз}}$ (разница средних температур в проекциях верхнечелюстных пазух) и определены значения показателей, значительно отличающихся в контрольной и исследуемой группе.

Хотя бы одно значение $\Delta T_{\text{Пр}}$ и $\Delta T_{\text{Лев}}$ меньше, либо равное 0 выявлено у 11 членов контрольной группы и 150 пациентов исследуемой группы. Определен угловой критерий Фишера: $\phi = 4,9$, что свидетельствует о достоверной разнице в частоте встречаемости данного показателя.

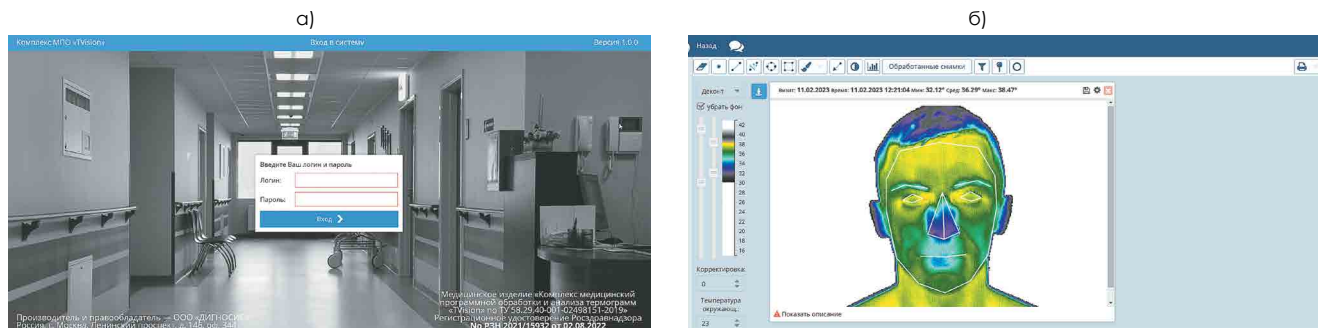
В части показателя «модуль $\Delta T_{\text{Паз}}$ », достоверная разница в частоте встречаемости в группах данного показателя по угловому критерию Фишера выявлена для значений 0,4 °C, 0,5 °C и 0,6 °C, т.е. их можно использовать в качестве дифференциальных диагностических критериев (табл. 1).

Анализ исследуемой группы

Общая группа разделена на две подгруппы:

- подгруппу 2а — 173 пациента, у которых выявлены клинические и рентгенологические признаки синусита (отек слизистой, субтотальное и тотальное

Рисунок 3. Комплекс «TVision»: а) Интерфейс входа в программу; б) Интерфейс окна контроля и обработки результатов



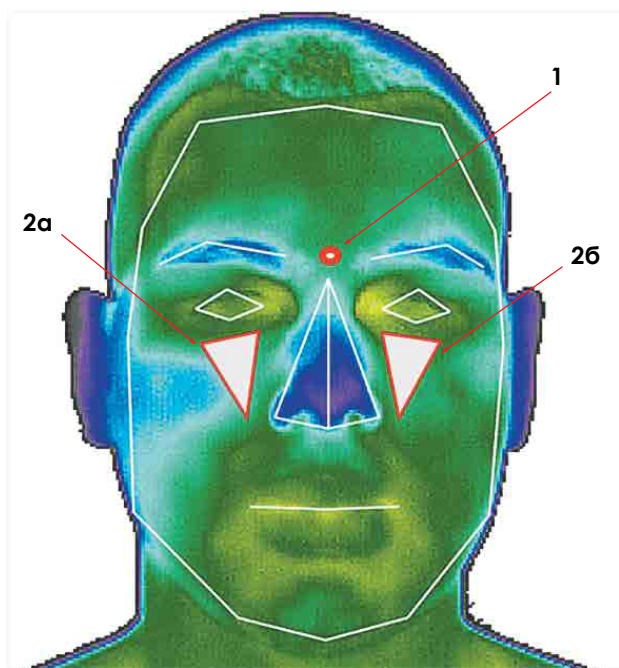


Рисунок 4. Разметка термограммы лица с выделением ОИ: 1 — точка средней температуры тела (Тст); 2 — проекции ВЧП правой (а) и левой (б)

затенение, уровень жидкости хотя бы в одной ВЧП), и подгруппу 2б, где диагноз острого синусита отвергнут — 132 пациента.

Сроки обращения за медицинской помощью варьировали от 1 до 21 суток (средн. 5,9 дня), при этом на 1–3 сутки обратились 110 пациентов, на 4–6 суток — 79, на 7-е сутки и позже — 116 пациентов.

Исследованы возможности использования в качестве дифференцирующего признака в исследуемой группе индивидуальных показателей: « $|\Delta T_{\text{Паз}}|$ » и « $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}}$ ».

Полученные результаты — лучшее значение площади под ROC-кривой 0,62 — свидетельствуют о плохом качестве модели, в связи с чем проанализированы диагностические перспективы совместного использования двух показателей — « $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}}$ и $|\Delta T_{\text{Паз}}|$ » — в формате «выявлены оба или хотя бы один из двух».

С целью оптимального выбора, в обеих подгруппах изучено распределение комплекса показателей « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ », « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » и « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ ».

1. Комплекс « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

В группе 2а только показатель $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$ — обнаружен у 30, $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ у 73, ($\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ \text{C} + \Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$) — у 39 пациентов, т.е., хотя бы один из показателей выявлен у 142 пациентов. Таким образом, тепловизионное исследование по заявленным количественным диагностическим критериям позволило выявить подтвержденное заболевание «острый риносинусит» (истинно положительный результат) у 142 из 173 пациентов.

Тепловизионные критерии заболевания отсутствовали у 31 пациента с установленным диагнозом ОРС.

У пациентов группы 2б хотя бы один из исследуемых

тепловизионных критериев выявлены у 44 пациентов, у 88 пациентов тепловизионные критерии не обнаружены.

Для анализа полученных результатов по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » создана таблица сопряжения 2x2 (табл. 2).

Рассчитаны:

- критерий согласия Пирсона $\chi^2 = 74,7$ (для степени свободы = 1 значение χ^2 для отклонения нулевой гипотезы об отсутствии разницы выборок равно 3,8)
- показатели предикторной значимости тепловизионного исследования по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » (табл. 3).

2. Комплекс « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

Так, в группе 2а только показатель $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$ — обнаружен у 30, $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ — у 29 пациентов, т.е., хотя бы один из показателей выявлен у 142 пациентов. Т.о., тепловизионное исследование по заявленным количественным диагностическим критериям позволило выявить подтвержденное рентгеном заболевание «острый риносинусит» (истинно положительный результат) у 142 из 173 пациентов.

Тепловизионные критерии заболевания отсутствовали у 31 пациента с установленным диагнозом ОРС.

У пациентов группы 2б хотя бы один из исследуемых тепловизионных критериев выявлены у 34 пациентов, у 98 пациентов тепловизионные критерии не обнаружены.

Для анализа полученных результатов по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » создана таблица сопряжения (табл. 4).

Рассчитаны:

- критерий согласия Пирсона $\chi^2 = 95,8$ (для степени свободы = 1 значение χ^2 для отклонения нулевой гипотезы об отсутствии разницы выборок равно 3, 8);
- показатели предикторной значимости тепловизионного исследования по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » (табл. 5).

Таблица 1
Значения углового критерия Фишера (Ф)
для показателей разности температуры

	Контроль (n=100)	Исследование (n=305)	Ф
$\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$	11	150	4,9
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,1^\circ \text{C}$	85	272	0,8
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,2^\circ \text{C}$	61	214	1,6
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,3^\circ \text{C}$	32	159	2,02
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ \text{C}$	9	97	3,3
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ \text{C}$	5	73	4,2
$ \Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ \text{C}$	4	43	3,1

Таблица 2
Таблица сопряжения сравниваемых признаков
по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}}/\Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

		Диагноз «острый риносинусит» подтвержден	
		да	нет
Тепловизионные критерии патологии	есть	142	44
	нет	31	88
Всего		173	132

Таблица 3
Показатели предикторной значимости тепловизионного исследования
по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,4^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

Показатель	Значение	95% доверительный интервал	
Чувствительность (Se)	0,82	0,77	0,86
Специфичность (Sp)	0,66	0,6	0,72
Предсказательная ценность положительного результата (PPV)	0,76	0,71	0,8
Предсказательная ценность отрицательного результата (NPV)	0,73	0,67	0,8
Отношение правдоподобия положительного результата теста (PLR)	2,46	1,95	3,09
Отношение правдоподобия отрицательного результата теста (NLR)	0,27	0,19	0,37
Диагностическая эффективность теста (точность) (Acc)	0,75	0,7	0,8
Диагностическое отношение шансов (DOR)	9,16	5,2	16,1
Индекс Юдена (J)	0,48	0,45	0,65
Число пациентов, необходимое для диагностики (NND)	2,05	1,53	2,19

3. Комплекс « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

Так, в группе 2а только показатель $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$ — обнаружен у 10, $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ у 94 человек, ($\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ \text{C}$ и/или $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$) — у 19 пациентов, т.е., хотя бы один из показателей выявлен у 123 пациентов. Т.о., тепловизионное исследование по заявленным количественным диагностическим критериям позволило выявить подтвержденное рентгеном заболевание «острый

риносинусит» (истинно положительный результат) у 123 из 173 пациентов.

Тепловизионные критерии заболевания отсутствовали у 50 пациентов с установленным диагнозом ОРС.

У пациентов группы 2б хотя бы один из исследуемых тепловизионных критериев выявлены у 34 пациентов, у 98 пациентов тепловизионные критерии не обнаружены.

Для анализа полученных результатов по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » создана таблица сопряжения 2х2 (табл. 6).

Рассчитаны:

— критерий согласия Пирсона $\chi^2 = 61,6$ (для степени свободы = 1 значение χ^2 для отклонения нулевой гипотезы об отсутствии разницы выборок равно 3,8);

— показатели предикторной значимости тепловизионного исследования по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ » (табл. 7).

Как видно из представленных результатов, оптимальными значениями тепловизионных критериев для выявления признаков острого синусита будет комплекс « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ \text{C}$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ », обеспечивающие чувствительность 82% и специфичность 74% и диагностическую эффективность теста 78%.

Реализация системы автоматического выявления параназальных синуситов на комплексе медицинский программной обработки и анализа термограмм “TVision”

Полученные значения — $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ \text{C}$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ — введены в алгоритм автоматического выявления тепловизионных признаков параназальных синуситов медицинского комплекса программной обработки и анализа термограмм “TVision”.

Таблица 6
Таблица сопряжения сравниваемых признаков
по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

		Диагноз «острый риносинусит» подтвержден	
		да	нет
Тепловизионные критерии патологии	есть	123	34
	нет	50	98
Всего		173	132

Таблица 4
Таблица сопряжения сравниваемых признаков
по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

		Диагноз «острый риносинусит» подтвержден	
		да	нет
Тепловизионные критерии патологии	есть	142	34
	нет	31	98
Всего		173	132

Таблица 5
Показатели предикторной значимости
тепловизионного исследования
по критериям « $\Delta T_{\text{Паз}} \geq 0,5^\circ$; $\Delta T_{\text{Пр}} / \Delta T_{\text{Лев}} \leq 0$ »

Показатель	Значение	95% доверительный интервал	
Чувствительность (Se)	0,82	0,77	0,86
Специфичность (Sp)	0,74	0,68	0,79
Предсказательная ценность положительного результата (PPV)	0,81	0,76	0,84
Предсказательная ценность отрицательного результата (NPV)	0,76	0,69	0,81
Отношение правдоподобия положительного результата теста (PLR)	3,18	2,43	4,18
Отношение правдоподобия отрицательного результата теста (NLR)	0,24	0,17	0,33
Диагностическая эффективность теста (точность) (Acc)	0,78	0,73	0,83
Диагностическое отношение шансов (DOR)	13,2	7,6	22,8
Индекс Юдена (J)	0,56	0,45	0,65
Число пациентов, необходимое для диагностики (NND)	1,77	1,53	2,19

Работа комплекса по выявлению заболевания происходит следующим образом (время от момента регистрации пациента до получения обработанных результатов исследования не превышает 5–7 мин):

- регистрация пациента (рис. 5);
- съемка проекции «голова фронт»;
- запуск автоматической генерации протокола исследования;
- контроль полученных результатов в программе (рис. 6).
- печать и сохранение протокола исследования (рис. 7).

Этот же пациент представлен с результатами рентгенографии околоносовых пазух в качестве клинического примера (рис. 8).

Клинический пример пациента с отвергнутым диагнозом «острый синусит» и результатом автоматического анализа, свидетельствующим об отсутствии тепловизионных признаков патологии (рис. 9).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Острый синусит — одна из наиболее частых причин обращений за медицинской помощью. По оценкам экспертов инцидентность ОС в популяции достигает 6–15%. Во многом это обусловлено масштабами распространенности острой респираторной вирусной инфекции (ОРВИ), играющей важную роль в возникновении ОС. Однако точные данные о частоте встречаемости ОС отсутствуют, поскольку речь идет только о зарегистрированных случаях заболевания — часть пациентов с легкой формой синусита не обращаются за медицинской помощью и, естественно, не учитываются в статистических отчетах [8].

Анализируя данные современной научной литературы по диагностике синуситов, необходимо отметить, что в настоящее время не существует единственного достоверного метода, который бы полностью характеризовал состояние ОНП, поэтому схема обследования пациентов

Таблица 7
Показатели предикторной значимости
тепловизионного исследования
по критериям « $\Delta T_{\text{паз}} \geq 0,6^\circ$; $\Delta T_{\text{пр}} / \Delta T_{\text{лев}} \leq 0$ »

Показатель	Значение	95% доверительный интервал	
Чувствительность (Se)	0,71	0,66	0,75
Специфичность (Sp)	0,74	0,68	0,8
Предсказательная ценность положительного результата (PPV)	0,78	0,72	0,82
Предсказательная ценность отрицательного результата (NPV)	0,66	0,58	0,69
Отношение правдоподобия положительного результата теста (PLR)	2,76	2,43	4,18
Отношение правдоподобия отрицательного результата теста (NLR)	0,38	0,3	0,49
Диагностическая эффективность теста (точность) (Acc)	0,72	0,66	0,77
Диагностическое отношение шансов (DOR)	7,1	4,1	12,2
Индекс Юдена (J)	0,45	0,31	0,52
Число пациентов, необходимое для диагностики (NND)	2,2	1,8	2,9

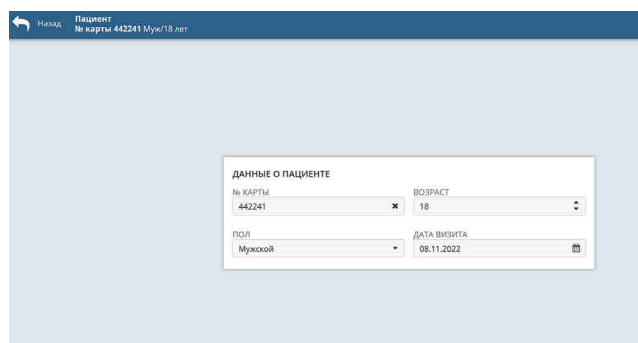
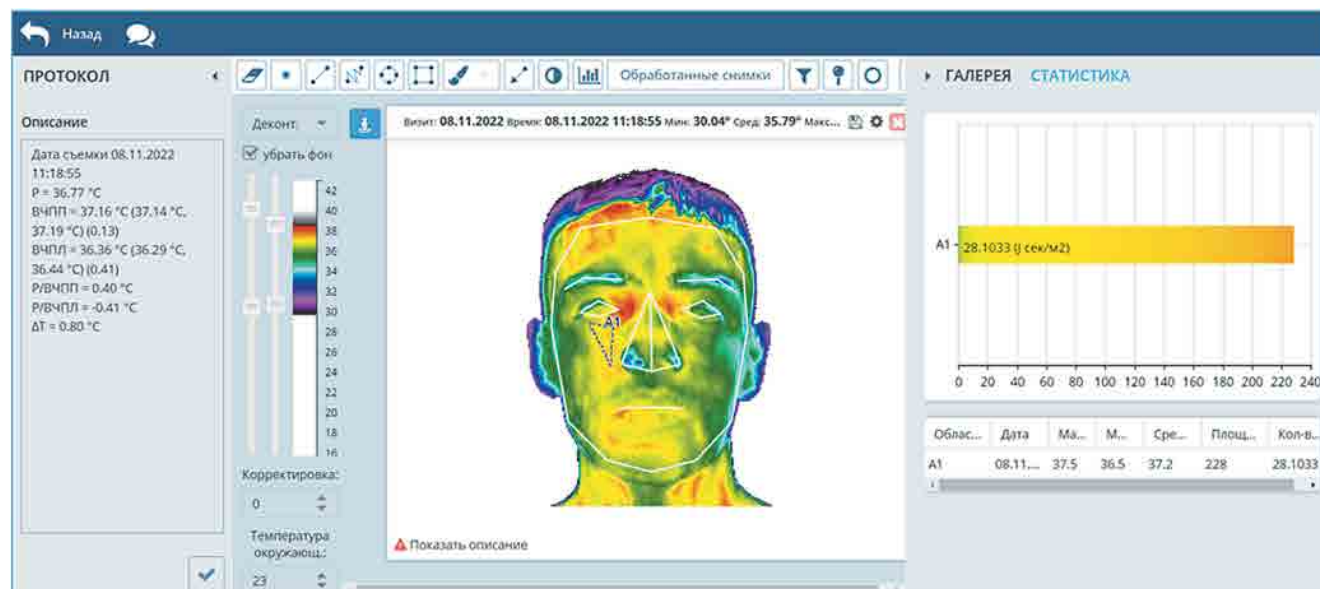


Рисунок 5. Интерфейс «окно регистрации»

Рисунок 6. Интерфейс «окно контроля и обработки результатов»



Медицинский комплекс программной обработки и анализа термограмм TVision
Регистрационное удостоверение № РЗН 2021/15932 от 02.08.2022

Протокол термографического обследования

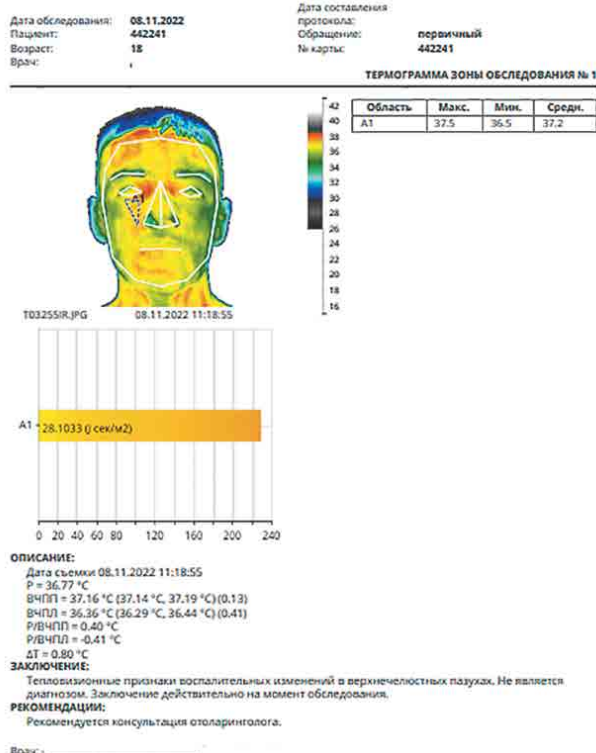
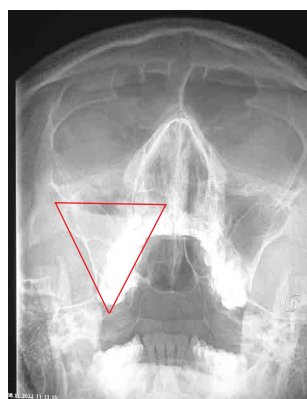


Рисунок 7. Автоматически сформированный протокол исследования

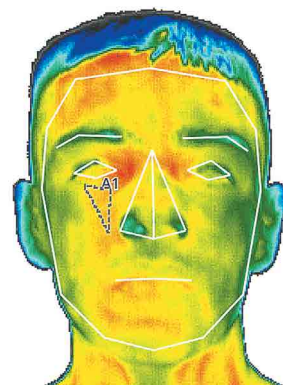
с ОРС должна включать обязательное проведение нескольких взаимодополняющих исследований, на основании результатов которых и будет базироваться постановка клинического диагноза [9].

И, даже при таком анализе, при наличии известных клинических критериев, в первичном звене правильный диагноз «острый риносинусит» выставляется чуть более, чем половине обратившихся пациентов [10], лишь около 30% больных направляется в специализированные учреждения в течение первых суток после появления признаков внутриорбитальных/внутричерепных осложнений [11].

Рисунок 8. Сопоставление результатов автоматического тепловизионного исследования и данных рентгенографии у пациента с ОРС. Пациент карта № 442241. 18 лет. Диагноз: острый риносинусит. Длительность заболевания (со слов пациента) — 3 дня



На цифровой рентгенограмме околоносовых пазух определяется: лобные пазухи развиты удовлетворительно, прозрачны. В правой верхнечелюстной пазухе определяется горизонтальный уровень жидкости, занимающий половину объема пазухи. В левой верхнечелюстной пазухе прозрачность сохранена. Красный треугольник — область патологии.



Tcp = 36.77 °C
ВЧП правая = 37.16 °C
ВЧП левая = 36.36 °C
Tcp/ВЧП правая = 0.40 °C
Tcp/ВЧП левая = -0.41 °C
|ΔTпаз| = 0.80 °C
Тепловизионные критерии острого синусита по показателям ΔT-паз ≥ 0,5 °C; ΔTпр/ ΔTлев ≤ 0
A1 — автоматически выделенная область патологии.

В связи с широкой распространенностью заболевания, с ОРС могут встретиться врачи любых специальностей, оказывающих первичную помощь, что, на фоне маловыраженной симптоматики, нередко наблюдаемой у обратившихся пациентов, особенно, взрослых [12], также может быть причиной трудностей с постановкой правильного диагноза [13].

Очевидно, что наличие инструментального метода, доступного в условиях оказания первичной помощи и не требующего длительного обучения и особых условий применения, могло бы оказать позитивное влияние на качество и своевременность диагностики [14].

Таким инструментальным методом вполне может быть медицинское тепловидение, поскольку создан и готов к практическому применению цифровой аналитический программный комплекс:

— как показано в настоящем исследовании, существуют количественные температурные показатели, использование которых позволяет эффективно (чувствительность — 82%, специфичность — 74%, диагностическая эффективность — 78%) выявлять тепловизионные признаки ОРС;

— критерии диагностики внедрены в алгоритмы автоматического анализа термограмм, что минимизирует влияние «человеческого фактора» при исследовании результатов при выявлении тепловизионных признаков заболевания;

— результаты оформляются протоколом, являющимся самостоятельным медицинским документом;

— тепловизионное исследование входит в номенклатуру медицинских услуг: «А24.08.001 Тепловизионная диагностика заболеваний носа и придаточных пазух» [15];

— поскольку тепловидение — метод пассивной локализации, у него принципиально нет противопоказаний и специальных требований к помещению для обследования;

— проводить исследования и анализировать результаты (в отсутствие специалиста по функциональной диагностике) могут врачи любой специальности [16].

Необходимо иметь в виду, что исследованные в работе тепловизионные признаки следует рассматривать в определенных контекстах, т.е., при наличии клиниче-



На цифровой рентгенограмме околоносовых пазух определяется: лобные пазухи развиты удовлетворительно, прозрачны. В правой верхнечелюстной пазухе определяется горизонтальный уровень жидкости, занимающий половину объема пазухи. В обеих верхнечелюстных пазухах прозрачность сохранена.



$T_{cp} = 34.73^{\circ}\text{C}$
 $ВЧП\text{ правая} = 33.83^{\circ}\text{C}$
 $ВЧП\text{ левая} = 34.01^{\circ}\text{C}$
 $T_{cp}/ВЧП\text{ правая} = 0.90^{\circ}\text{C}$
 $T_{cp}/ВЧП\text{ левая} = 0.72^{\circ}\text{C}$
 $|\Delta T_{паз}| = 0.18^{\circ}\text{C}$
 Тепловизионных критериев острого синусита по показателям $\Delta T_{паз} \geq 0,5^{\circ}\text{C}$; $\Delta T_{пр}/\Delta T_{лев} \leq 0$ не выявлено.

Рисунок 9. Сопоставление результатов автоматического тепловизионного исследования и данных рентгенографии у пациента с отвернутым диагнозом ОРС. Пациент карта № 442153. 20 лет. Диагноз: ОРВИ. Длительность заболевания (со слов пациента) — 5 дней

ских признаков заболевания, поскольку тепловизионные критерии не являются патогномичными и схожие показатели могут присутствовать у пациентов с другой нозологией (одонтогенный синусит, воспаления нервов, последствия травм и операций и т.д.).

Для клинической валидации метода требуется его тестирование специалистами первичного звена в реальной практике, а также дальнейшее наполнение базы данных в различных контингентах пациентов для уточнения показателей эффективности. Независимо от результатов, медицинское тепловидение не следует рассматривать как замену апробированным методам диагностики острых риносинуситов, но как систему помощи принятия решений для врачей первичного медицинского звена.

Заключение

Технический прогресс в области медицинской тепловизионной техники вкупе с разработками в области программного обеспечения и искусственного интеллекта позволили создать автоматический программный комплекс тепловизионной диагностики острого риносинусита, работающий в «облачном» пространстве и полностью соответствующий современным тенденциям телемедицины.

Список литературы / References

1. Ibrahim A, Primakov S, Beuque M, Woodruff HC, Halilaj I, Wu G, Refaee T, Granzier R, Widaatalla Y, Hustinx R, Mottaghy FM, Lambin P. Radiomics for precision medicine: Current challenges, future prospects, and the proposal of a new framework. *Methods*. 2021 Apr;188:20–29. doi: 10.1016/j.ymeth.2020.05.022. Epub 2020 Jun 3. PMID: 32504782.
2. Розенфельд Л. Г., Ковалева Л. В. Козлова Е. Е., Колотило Н. Н., Лихошерст Е. К. СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ПЕРЕДНИХ СИНУИТОВ // Патент России № 2033087, 1995 Method for diagnosis of frontal sinusitis. // Rosenfeld L. G., Kovaleva L. V., Kozlova E. E., Kolotilov N. N.
3. Ishimaru T, Ishimaru H. Thermography for the Diagnosis of Acute Inflammation in the Paranasal Sinus. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2020 Apr;24(2): e215–e220. doi: 10.1055/s-0039–1698778. Epub 2020 Jan 28. PMID: 32256844; PMCID: PMC6986953.
4. Kalaiarasi R, Vijayakumar C, Archana R, et al. (March 10, 2018) Role of Thermography in the Diagnosis of Chronic Sinusitis. *Cureus* 10(3): e2298. doi:10.7759/cureus.2298
5. Niedzielska I, Pawelec S, Puszczewicz Z. The employment of thermographic examinations in the diagnostics of diseases of the paranasal sinuses. *Dentomaxillofac Radiol*. 2017 Aug;46(6):20160367. doi: 10.1259/dmfr.20160367. Epub 2017 Aug 3. PMID: 28613936; PMCID: PMC5606276.
6. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 8 июля 2022 года N 481н «Об утверждении стандарта первичной медико-санитарной помощи взрослым при остром синусите (диагностика и лечение) [Электронный источник] / <https://docs.cntd.ru/document/351504213> (дата обращения 05.05.2023)
7. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology international* 2008, 18: 125–144
8. Крюков А. И. Острый синусит: методические рекомендации / А. И. Крюков, Е. В. Носуля, Н. Л. Кунельская и др. Науч. исслед. клин. ин-т оториноларингологии им. Л. И. Свержевского — Москва, 2020—16 с. Kryukov A. I. Acute sinusitis: recommendations for diagnosis and treatment / A. I. Kryukov, E. V. Nosulya, N. L. Kunelskaya et al. *Scientific inst of otorhinolaryngology.-Moscow, Russia — 2020*
9. Шадыев Т. Х., Изотова Г. Н., Сединкин А. А. Острый синусит. *РМЖ*. 2013;11:567. Shadiev T. H., Isotova G. N., Sedinkin A. A. Acute sinusitis. *RMJ*, 2013;11:567.
10. Van Duijn NP, Brouwer HJ, Lamberts H. Use of symptoms and signs to diagnose maxillary sinusitis in general practice: comparison with ultrasonography. *BMJ* 1992;305: 684–7.
11. Дерюгина О. В., Чумаков Ф. И. Орбитальные и внутричерепные осложнения воспалительных заболеваний носа и околоносовых пазух у взрослых и детей. М.: МОНИКИ; 2001. Deryugina OV, Chumakov FI. Orbital and intracranial complications of inflammatory diseases of the nose and paranasal sinuses in adults and children. M.: MONIKI; 2001. (In Russ.).
12. Туrowsкий А. Б., Кондрашкина В. В. Острый бактериальный синусит. Проблемы и их решения. *РМЖ*. 2013;11:549. Turovskiy A. B., Kondrashkina V. V. Acute bacterial sinusitis. Problem and solutions. *RMJ*. 2013;11:549
13. Hawthorne, M. R., & Ahmad, N. (2010). Acute sinusitis: pitfalls in diagnosis and management. *Clinical Risk*, 16(6), 209–212. doi:10.1258/cr.2010.010052
14. Долгов И. М., Воловик М. Г., Железняк И. С., Ю. В. Карамышев, Карамышева А. А., Малаховский В. Н., Махновский А. И. Возможности медицинского тепловидения в организации первичной медико-санитарной помощи. *Медицинский алфавит*. 2023;(7):42–50. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-42-50>
15. Долгов И. М., Воловик М. Г., Железняк И. С., Карамышев Ю. В., Карамышева А. А., Малаховский В. Н., Махновский А. И. Possibilities of medical thermal imaging in the organization of primary health care. *Medical alphabet*. 2023;(7):42–50. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-7-42-50>
16. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 13 октября 2017 года № 804н «Об утверждении номенклатуры медицинских услуг» [Электронный источник] / <https://docs.cntd.ru/document/542609980> (дата обращения 05.05.2023)
17. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 26 декабря 2016 г № 997н «Об утверждении правил проведения функциональных исследований» [Электронный источник] / <https://docs.cntd.ru/document/420391931>

Сведения об авторах

Долгов Игорь Маратович, д.м.н., зам. Генерального директора¹, <https://orcid.org/0000-0002-5511-5679>

Карамышев Юрий Владимирович, адъюнкт, кафедра рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики²

Железняк Игорь Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор, начальник кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики², <https://orcid.org/0000-0001-7383-512X>

Карамышева Ангелина Александровна, заместитель главного врача по медицинской части⁵

Махновский Андрей Иванович, к.м.н., заместитель главного врача по организации скорой медицинской помощи³; ассистент, кафедре скорой медицинской помощи⁴

Хрипковский Дмитрий Николаевич, технический директор¹

¹ ООО «Дигнозис», Россия, г. Москва

² ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Санкт-Петербург

³ ГБУ «Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург

⁵ Спб ГБУЗ «Женская консультация № 44» Пушкинского района, Санкт-Петербург

Автор для переписки: Долгов Игорь Маратович

E-mail: dolgov@dignosys.com

About authors

Igor Maratovich Dolgov, MD, PhD, deputy director¹, <https://orcid.org/0000-0002-5511-5679>

Yuri Vladimirovich Karamyshev, Associate Professor Department of Radiology and Radiology with a Course in Ultrasound Diagnostics²

Igor Sergeevich Zheleznyak, M.D., PhD, Professor, Head of the Department of Radiology and Radiology with a Course in Ultrasound Diagnostics²

Angelina Aleksandrovna Karamysheva, Deputy Chief Physician for medical part⁵

Andrey Ivanovich Makhnovsky, M.D. Deputy Chief Physician of the for the organization of emergency medical care³, Assistant, Department of Emergency Medical Care⁴. <http://orcid.org/0000-0002-3164-1092>

Dmitrii Nikolaevich Khriupkovskiy, Technical director¹

¹ LLC 'Dignosys' Russia

² Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation named after S.M. Kirov, Russia

³ State Budgetary Institution 'I.I. Dzhanelidze Saint Petersburg Research Institute of Emergency Medicine' Russia

⁴ North-Western State Medical University named after I. Mechnikov Ministry of Health of the Russian Federation

⁵ St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution «Women's Consultation clinic No. 44» of the Pushkin district of St. Petersburg

Corresponding author: Dolgov Igor Maratovich

E-mail: dolgov@dignosys.com

Статья поступила / Received 09.05.2023

Получена после рецензирования / Revised 11.05.2023

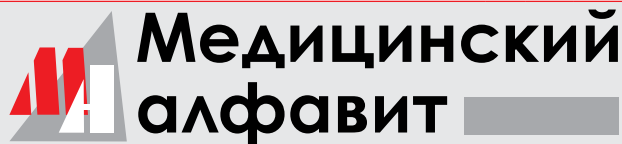
Принята в печать / Accepted 11.05.2023

Для цитирования: Долгов И.М., Ю.В. Карамышев, Железняк И.С., Карамышева А.А., Махновский А.И. Хрипковский Д.Н. Возможности тепловизионной диагностики острого риносинусита программными средствами в режиме автоматического анализа термограмм. Медицинский алфавит. 2023;(15):49–58. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-49-58>

For citation: Dolgov I. M., Zheleznyak I. S., Karamyshev Y. V., Karamysheva A. A., Makhnovsky A. I. Khriupkovskiy D. N. Advance Thermography diagnostics: automatic algorithm to find out acute sinusitis. Medical alphabet. 2023;(15):49–58. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-49-58>



БЛАНК-ЗАКАЗ на подписку на журнал 2023 год



Название организации (или Ф.И.О.) _____

Адрес (с почтовым индексом) _____

Телефон: _____ E-mail: _____ Контактное лицо: _____

«Медицинский алфавит». Серия «Современная функциональная диагностика»

Печатная версия 700 руб. за номер, электронная версия любого журнала — 500 руб. за номер.

Присылайте, пожалуйста, запрос на адрес medalfavit@mail.ru.

ООО «Альфмед»

ИНН 7716213348

Р/с № 40702810738090108773

ПАО «СБЕРБАНК РОССИИ» г. МОСКВА К/с 30101810400000000225 БИК 044525225

Годовая подписка на журнал «Медицинский алфавит». Серия «Современная функциональная диагностика» — 4 выпуска в год 2023. Цена 2800 руб. в год (печатная версия) или 2000 руб. (электронная версия).

Как подписаться

1. Оплатить квитанцию в любом отделении Сбербанка у кассира с получением кассового чека. Журналы высылаются, только если Вы прислали адрес доставки на электронную почту издательства. Отправить скан квитанции с кассовым чеком, выданным кассиром банка, на e-mail: medalfavit_pr@bk.ru или podpiska.ma@mail.ru.

2. Оплата через онлайн-банки издательством принимается только на сайте <https://medalfavit.ru/podpiska-na-zhurnaly/> в разделе «Издательство медицинской литературы».

