

УДК 616-073.753

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-83-98>

© Камышанская И.Г., Черемисин В.М., 2021 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЦВЕТОВОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОГРАММ

<sup>1,2,3</sup>И. Г. Камышанская\*, <sup>1,2</sup>В. М. Черемисин<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup>Родильный дом № 6 имени профессора В. Ф. Снегирева, Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Цветная обработка рентгеновских изображений имеет давнюю историю и изначально предназначалась для облегчения анализа лучевых изображений.

**Цель исследования:** оценить результаты клинического применения метода цветового контрастирования цифровых рентгенограмм.

**Материал и методы.** Исследование проводили в рентгеновском отделении городской Мариинской больницы и родильного дома № 6 Санкт-Петербурга, установив на рабочие станции рентгенологов компьютерную программу для проведения цветового контрастирования цифровых рентгенограмм (ЦКЦР). Программа ЦКЦР позволяла рентгенологу выбрать одну из 63 траекторий 8 цветов. Подбирая варианты раскраски, остановились на теплой, холодной, полной гамме, а также на 4 сочетаниях по одному цвету из холодной и теплой гамм насыщенностью от 0 до 100%. Выполнили ЦКЦР 100 цифровых рентгенограмм различных анатомических областей. Проанализировали разнообразные цветовые гаммы и их процент насыщенности в плане оптимальной передачи патологических признаков анатомических областей. Дали оценку возможностям ЦКЦР в рентгенодиагностике 27 врачей-рентгенологов.

**Результаты.** Клиническое применение ЦКЦР показало, что благодаря этому методу на рентгеновском изображении детальнее выделялись ткани разной плотности, так как выразительнее подчеркивались их контуры. Патологические симптомы, нечетко выраженные на черно-белой рентгенограмме, убедительно отражались на раскрашенном снимке, что повышало чувствительность и специфичность диагностики. Благодаря цветовой постобработке удалось оптимизировать слабо-заметные рентгенологические признаки структурных костных изменений, травматических повреждений ребер, нарушения пневматизации легких (инфильтрация, гиповентиляция), пневмо-, гидроторакс и другие. Из врачей-рентгенологов 77% посчитали важным использование ЦКЦР в рентгенодиагностике.

**Заключение.** Цифровая рентгенограмма, контрастированная цветом оптимальной насыщенности, имеет отчетливые преимущества перед традиционным черно-белым рентгеновским снимком, так как раскрывает диагностическую информацию, скрытую либо малозаметную. Диагностическая эффективность метода ЦКЦР выше анализа черно-белых снимков до 13%. Для повышения диагностических возможностей рентгенодиагностики в пакет компьютерной постобработки изображений целесообразно включить метод цветового контрастирования, используя в стандарте как минимум три гаммы оптимальной насыщенности. Раскрашенное изображение не заменяет черно-белое, а дополняет его, разрешая диагностические сомнения врача-рентгенолога.

**Ключевые слова:** цветовое контрастирование, цифровые рентгенограммы, постобработка

\*Контакт: Камышанская Ирина Григорьевна, [irinaka@mail.ru](mailto:irinaka@mail.ru)

© Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., 2021

## RESULTS OF CLINICAL APPLICATION OF THE COLOR CONTRASTING METHOD OF DIGITAL X-RAYS

<sup>1,2,3</sup>Irina G. Kamyshanskaya\*, <sup>1,2</sup>Vladimir M. Cheremisin<sup>1</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>Mariinsky City Hospital, St. Petersburg, Russia<sup>3</sup>Maternity hospital № 6 named after professor V. F. Snegirev, St. Petersburg, Russia

**Introduction.** Color processing of X-ray images has a long history and initially was directed for improvement of analysis of medical diagnostic images. Purpose — to evaluate the results of clinical application of the method for color contrast enhancement of digital radiographs.

**Material and methods.** The study was carried out in the X-ray department of the city Mariinsky hospital in St. Petersburg, having installed a computer program on the workstations of the radiologists for carrying out color contrasting of digital radiographs (CCDR). The CCDR program allowed the radiologist to select one of 63 trajectories in 8 colors. Choosing options for coloring, we settled on a warm, cold, full scale, as well as 4 combinations of one color from cold and warm scales with a saturation from 0 to 100%. The CCDR performed 100 digital radiographs of various anatomical areas. We analyzed a variety of colors and their percentage of saturation in terms of optimal transmission of pathological signs of anatomical areas. 27 radiologists assessed the possibilities of CCDR in X-ray diagnostics.

**Results.** Clinical application of CCDD showed that thanks to this method, tissues of different densities were distinguished in more detail on the X-ray image, since their contours were more expressively emphasized. Pathological symptoms, indistinctly expressed on a black-and-white radiograph, were convincingly reflected in the colorized image, which increased the sensitivity and specificity of the diagnosis. Thanks to color post-processing, it was possible to optimize subtle radiological signs of structural bone changes, traumatic injuries of the ribs, impaired pneumatization of the lungs (infiltration, hypoventilation), pneumo-, hydrothorax, and others. Of the radiologists, 77% considered it important to use CCDD in X-ray diagnostics.

**Conclusion.** A digital radiograph, contrasted with a color of optimal saturation, has distinct advantages over a traditional black-and-white X-ray image, since it reveals hidden or subtle diagnostic information. The diagnostic efficiency of the method of color contrasting of radiographs is higher than the analysis of black-and-white images up to 13%. To increase the diagnostic capabilities of X-ray diagnostics, it is advisable to include the method of color contrasting in the package of computer post-processing of images, using at least three gamuts in the standard, the saturation of which is 25–50%. The colorized image does not replace black and white, but complements it, resolving the diagnostic doubts of the radiologist.

**Key words:** color contrasting, digital radiographs, post-processing

\*Contact: *Kamyshanskaya Irina Grigorievna, irinaka@mail.ru*

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Камышанская И.Г., Черемисин В.М. Результаты клинического использования метода цветового контрастирования цифровых рентгенограмм // *Лучевая диагностика и терапия*. 2021. Т. 12, № 4. С. 83–98, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-83-98>.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interest.

**Financing:** the study was not sponsored.

**For citation:** Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M. Results of clinical application of the color contrasting method of digital x-rays // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021. Vol. 12, No. 4. P. 83–98, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-4-83-98>.

**Введение.** В 50-х годах XX века научились переводить аналоговое рентгеновское изображение в цветное, кодируя цветом яркостной контраст рентгенограмм, что представлено в немногочисленных работах тех лет [1, с. 347; 2, с. 8; 3, с. 13]. Это преобразование рентгенограмм называли иконикой, метод которой описан М. М. Мирошниковым и соавт. в отечественной монографии [3, с. 13]. В последующих исследованиях метод перевода черно-белого изображения в цветное стали называть псевдоцветовой обработкой, цветокодированием, цветовым контрастированием, чему посвящены научные статьи и книги в России и за рубежом [4, с. 519; 5, с. 645; 6, с. 55; 7, с. 34; 8, с. 60; 9, с. 21; 10, с. 761; 11, с. 2805]. В эпоху аналоговых технологий метод цветокодирования не нашел применения в рентгенодиагностике, несмотря на появление метода иконики. В настоящее время раскраска изображений используется достаточно широко в ядерной медицине, УЗИ, МРТ, и КТ.

В рентгенологии для раскраски рентгенограмм были опробованы шкалы — абсолютно черного тела, радужная, пурпурная и целый ряд других шкал цветов [10, с. 761; 11, с. 2800]. В результате использования цветовых шкал в пределах объема цветового куба RGB колориметрической системы монитора тем не менее не было получено ощутимого улучшения в рентгенодиагностике. В ряде случаев рентгенограммы, закодированные цветом, имели диагностическое качество, близкое к исходной рентгенограмме, не давая выигрыша при постановке диагноза, поэтому практическое применение не получили. Анализ этих цветовых шкал [10, с. 767; 11, с. 2805]

показал, что они не обеспечивают психологическую точность [12, с. 229] раскрашенных рентгенограмм с исходными, а их дешифрование не дает дополнительной информации для постановки диагноза.

Принципиально новый подход цветового кодирования рентгенограмм был предложен в 2018 г. А. И. Мазуровым и А. К. Денисовым [13, с. 176], основанный на квантовой гипотезе цветового зрения [12, с. 229; 14, с. 36; 15, с. 119]. Этот метод обеспечивает психологическую совместимость раскрашенной рентгенограммы с исходной. В соответствии с квантовой гипотезой цветового зрения [12, с. 229; 14, с. 39; 15, с. 120] цвет в низшей метрике определяется тремя параметрами:  $F$  — числом эффективно поглощенных зрительной системой фотонов (т. е. яркостью), их суммарной энергией и дисперсией этой энергии, где — средняя энергия фотонов, — квадрат средней энергии фотонов. Согласно методики цветового контрастирования цифровых рентгенограмм [13, с. 177] для обеспечения психологической совместимости, раскрашенной рентгенограммы с исходной, необходимо выполнить следующие условия: 1) должен быть сохранен яркостной образ исходной рентгенограммы; 2) траектория цветовой шкалы должна быть непрерывной и монотонной по всем трем параметрам  $F$ ,  $E$ ,  $D(E)$ .

Вышеизложенную идею метода цветового контрастирования цифровых рентгенограмм [14, с. 39], необходимо было проверить на практике в клинической работе. Исследование начато с середины 2018 г., результаты которого были частично представлены на конференциях производителей рентгеновской техники, на радиологических форумах

в России и за рубежом, а в 2020 г. был получен патент на изобретение<sup>1,2,3</sup>.

Благодаря внедрению цифрового рентгеновского оборудования, компьютерных программ для просмотра и обработки изображений, а также систем обнаружения патологии в виде компьютерной помощи в диагностике (Systems of computer aided diagnosis — CAD), цветное контрастирование способно найти свое достойное место в постобработке рентгенограмм, что нуждается в изучении.

**Цель исследования:** оценить результаты клинического применения метода цветного контрастирования цифровых рентгенограмм.

**Материал и методы.** Исследование проводили в рентгеновском отделении городской Мариинской больницы и в родильном доме № 6 им. проф. В. Ф. Снегирева Санкт-Петербурга. В нескольких рентгеновских кабинетах Мариинской больницы на рабочие станции врача-рентгенолога была установлена компьютерная программа для проведения цветного контрастирования цифровых рентгенограмм (ЦКЦР) [13, с. 177].

Данная компьютерная программа явилась вторым, улучшенным вариантом, учитывающим пожелания рентгенологов, и подготовленная в августе 2019 г. аспирантом ИТМО А. К. Денисовым. В родильном доме цветовой постобработке подвергались цифровые рентгенограммы органов грудной клетки недоношенных новорожденных и женщин послеродового периода.

Исследование проходило в несколько этапов. Первые этап включал использование методики ЦКЦР на практике с последующим анализом возможностей метода. На втором этапе оценивалась и сопоставлялась диагностическая эффективность нового метода цифровой постобработки.

**Первый этап.** Выполнили цветное контрастирование 100 цифровых рентгенограмм различных анатомических областей с заболеваниями и без. Из них было: 20 рентгенограмм костей и суставов, 8 — позвоночника, 5 — черепа, 10 — брюшной полости и малого таза, 51 — органов грудной клетки (ОГК), 14 — томограммы ОГК, 2 рентгенограммы наборов тест-объектов. Рентгенологами были проанализированы разнообразные цветовые гаммы и их цветовая насыщенность в процентах для выяснения, какие из них оптимально передают патологические признаки при заболеваниях различных анатомических областей и имеют наибольшее предпочтение у диагностов. Для объективного анализа была раз-

работана анкета, на вопросы которой ответили 27 врачей. Вопросы включали: 1. Стаж работы рентгенолога. 2. Нужно ли применять методику цветного контрастирования рентгенограмм? 3. Поможет ли этот метод в рентгенодиагностике? 4. Часто ли пользуетесь постпроцессорной обработкой рентгенограмм? 5. В каком проценте случаев оптимизируете снимки? 6. В какой шкале, холодной, теплой либо в полной, цветное контрастирование изображений дает больше диагностической информации? 7. Должна ли быть ограничена цветовая насыщенность? 8. Какая насыщенность цветом оптимальна? 9. Какие симптомы можно усилить при использовании цветного контрастирования? 10. При диагностике какой патологии может помочь цветное контрастирование рентгенограмм? 11. Позитив или негатив чаще используете при анализе рентгенограмм? 12. Лучше дифференцируются патологические симптомы в позитиве, в негативе рентгеновского изображения или в обоих случаях?

Для лучшего сопоставления рентгенограмм на мониторе черно-белое изображение располагали рядом с раскрашенным. Интерфейс программы (рис. 1) позволял открыть в двух окнах файл черно-белой рентгенограммы (рис. 2), ранее записанный в графическом формате (jpeg, bmp и др.). Далее выби-

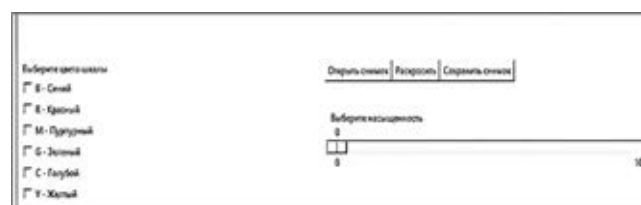


Рис. 1. Интерфейс программы цветного контрастирования

Fig. 1. The interface of the CCR program

рали цвет или набор цветов, после чего нажимали опцию «Раскрасить». Изменяя параметры от 0 до 100%, подбирали оптимальную насыщенность цвета. В результате из двух черно-белых раскрашивалось правое изображение, что давало возможность сопоставить его с исходным снимком, расположенным слева (рис. 3). В этой программе можно было сохранить файл с раскрашенным изображением и затем продолжить раскраску в других вариантах цветовых траекторий и насыщенностей для получения изображения, где по мнению рентгенолога наиболее выразительно отражались патологические признаки (рис. 4).

Компьютерная программа для ЦКЦР позволяла рентгенологу выбрать одну из 63 траекторий восьми

<sup>1</sup> Mazurov A.I., Kamyshanskaya I.G., Denisov A.K. Color Contrasting of Radiographs. Cite as: AIP Conference Proceedings 2140, 020045-1-020045-5 (2019). doi: 10.1063/1.5121970.

<sup>2</sup> Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Мазуров А.И., Денисов А.К., Ковин Р.А. Возможности цветного кодирования рентгенограмм в постпроцессорной обработке изображений // VI Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Санкт-Петербург, 28–29 ноября 2019. СПб., 2019. С. 28–33.

<sup>3</sup> Мазуров А.И., Денисов А.К., Камышанская И.Г. Способ контрастирования рентгенограмм цветом. Патент на изобретение № 2718481. Приоритет изобретения 29.06.2019, дата государственной регистрации в Гос. реестре изобретений РФ 8.04.2020.



**Рис. 2.** Пример открытия в двух окнах графического файла черно-белой рентгенограммы органов грудной клетки. На рентгенограмме имеются признаки очагового туберкулеза верхней доли левого легкого

**Fig. 2.** An example of opening in 2 windows of a graphic file a black-and-white chest radiograph. On the radiograph there are signs of focal tuberculosis of the upper lobe of the left lung



**Рис. 3.** Пример раскраски рентгенограммы органов грудной клетки в полной гамме насыщенностью 25%.

Цветом детально выделяются плотные очаги туберкулеза

**Fig. 3.** An example of a chest x-ray coloring in a full gamut with a saturation of 25%. The foci of tuberculosis stand out better in color

максимально насыщенных цветов: черного К, синего В, красного R, пурпурного М, зеленого G, голубого С, желтого Y и белого W. Черный и белый цвет всегда присутствовали на концах всех траекторий, остальные цвета выбирались произвольно от 1 до 6 (см. рис. 1). Насыщенность выбранных цветовых траекторий можно было плавно изменять от 0 до 100%. Правильный выбор траектории цветов (шкал либо гамм) позволял увеличить количество извлекаемой из рентгенограммы информации.

Кодирование цветом хоть и имело 63 варианта траекторий, мы чаще всего использовали теплую (К-Р-М-Y-W); холодную (К-В-G-C-W); полную гамму (К-В-R-M-G-C-Y-W). Также применяли 4 комбинации цветов по одному из холодной и теплой

гаммы: синий и желтый (В-Y); красный и голубой (R-C); пурпурный и зеленый (М-G); пурпурный и голубой (М-С). Небольшую часть рентгенограмм раскрасили одним цветом разной насыщенности.

Экспериментировали с насыщенностью, меняя ее от 5% до 100% с шагом 5–25%, но использовали 25, 50, 75 и 100%. Также раскрашивали негатив и позитив черно-белого рентгеновского изображения, сравнивая их по качеству визуализации патологических симптомов.

Таким образом, программа цветовой постобработки позволила рентгенологу произвести цветокодирование, подбирая цветовые гаммы определенной насыщенности, исходя из собственных предпочте-





**Рис. 4.** Пример раскраски рентгенограммы органов грудной клетки в холодной гамме насыщенностью 50%.

Патологические очаги туберкулеза выделяются цветом

**Fig. 4.** An example of a chest x-ray coloring in a cold gamut with a saturation of 50%. Pathological foci of tuberculosis are highlighted in color

ний и психологической совместимости раскрашенного изображения с исходным.

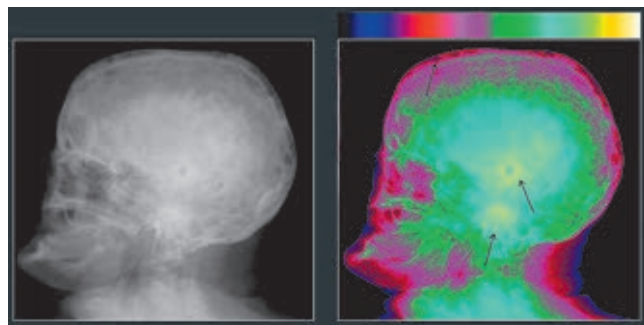
**Второй этап.** Для оценки диагностической эффективности нового метода цветового контрастирования цифровых рентгенограмм были подготовлены наборы рентгенограмм органов грудной клетки здоровых лиц — всего 50 шт., и в таком же количестве снимки со слабозаметными патологическими симптомами. Это были симптомы: малый пневмоторакс, интерстициальная и альвеолярная инфильтрации при ковид-пневмонии, очаговые тени, переломы ребер, проявления РДС у недоношенных детей. Всего использовали для оценки 100 цифровых рентгенограмм, полученных из радиологического архива Мариинской больницы и родильного дома. Снимки были обезличены и не имели какой-либо информации о пациенте. Каждый патологический симптом из пяти взятых был представлен в равных количествах — по 10 шт. Все рентгенограммы были разделены на два набора (кейса) — 50 черно-белых и 50 цветных. В наборах снимки были разные и не повторялись. Снимки рентгенологу давались для анализа вперемешку норма и патология. В каждом кейсе из 50 рентгенограмм каждая патология была представлена в равных долях. В оценке диагностической эффективности ЦКЦР участвовало 10 рентгенологов, стаж работы которых доходил до 40 лет, в среднем составляя 15 лет. Каждый доктор должен был проанализировать сначала 50 черно-белых рентгенограмм, а на следующий день — 50 раскрашенных снимков, дав по каждому снимку заключение.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе использования метода ЦКЦР были обнаружены наиболее диагностически эффективные и психологически совместимые траектории цветов для негативного изображения. Это оказались полная, холодная

и сине-желтая гаммы. Для многих вариантов траекторий раскраски психологически совместимая цветовая насыщенность была в пределах от 25 до 50%. При использовании полной гаммы насыщенность 25% была эффективнее, чем 50%. Теплая гамма (К, R, M, Y, W) недостаточно оптимизировала негативное изображение, но лучше передавала детали позитивного рентгеновского изображения, в особенности при исследовании костно-суставной системы. Насыщенность цвета более 50% при любой траектории раскраски приводила к потере деталей изображения.

В ходе сопоставления черно-белой рентгенограммы с раскрашенной ее копией были выявлены преимущества цветового контрастирования. Так на цветных рентгенограммах не только сохранялась, но и оптимизировалась исходная информация. Цвет изменялся на границе тканей разной плотности, что улучшало дифференцировку нормальных анатомических и патологических структур, например костных (рис. 5). По цвету можно было выделить участки костной ткани относительно низкой (деструкция, остеопороз) и высокой (остеосклероз) плотности (рис. 5 и 6).

Траектории раскрашивания (B-Y), (R-C), (M-G), (M-C), состоящие из двух цветов, взятых по одному из теплой и холодной гаммы, хорошо выделяли ткани высокой плотности, например кости. Эти траектории цветов при рентгенографии ОГК хорошо контурировали ребра на фоне воздушных легких; спавшийся участок легкого при пневмотораксе; зоны инфильтрации. Цветовая постобработка вместе с опцией увеличения, позволяла диагностировать слабозаметные рентгенологические признаки легочной инфильтрации, переломов ребер без смещения отломков, признаки малого пневмо- и гидроторакса.



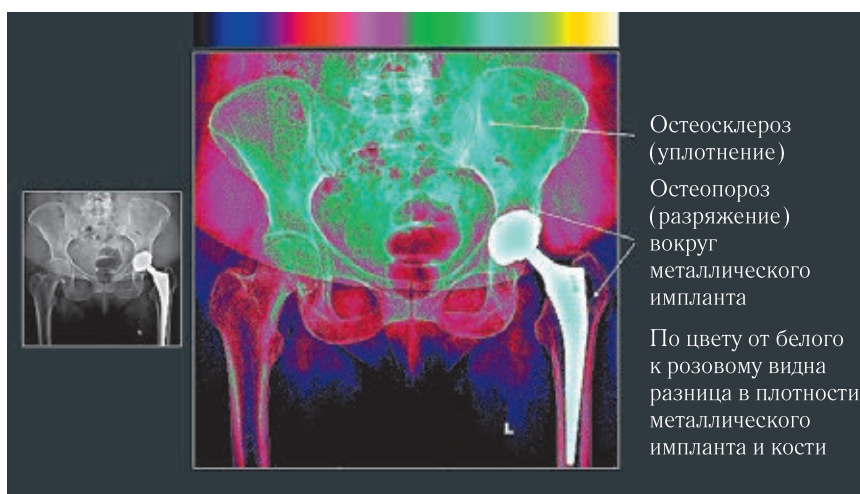
**Рис. 5.** Пример цветовой дифференцировки тканей разной суммационной плотности и придания изображению объемного вида. Пациентка Ч., 78 лет. Рентгенограмма черепа в боковой проекции и цветная ее копия в полной гамме насыщенности 45%. Миеломная болезнь, проявляющаяся очагами деструкции в виде темных пятен на красном фоне костей свода черепа (верхняя стрелка). Остеосклероз сосцевидных отростков и ячеек пирамиды височной кости выделяется желтым цветом (нижние стрелки)

**Fig. 5.** An example of color differentiation of tissues of different summation density and giving the image a three-dimensional appearance. Patient C., 78 years old. X-ray of the skull in lateral projection and its color copy in full gamut with a saturation of 45%. Myeloma manifested by foci of destruction in the form of dark spots on a red background of the bones of the cranial vault (upper arrow). Osteosclerosis of the mastoid processes and cells of the temporal bone pyramid is highlighted in yellow (lower arrows)

вить и соотнести воздушность симметричных участков легких по их рентгеновскому изображению, как на момент рентгеновского исследования, так и в динамике. По цвету можно было определить степень пневматизации разных участков легочной ткани. На раскрашенном негативном изображении ОГК максимально воздушные участки легкого представлялись черным либо синим цветом. Плотные воспалительные и опухолевые элементы, инфильтрат, гиповентиляция и ателектаз легочной ткани выделялись розовым либо зеленым цветом (рис. 8, 9).

Раскрашенные рентгенограммы органов грудной клетки, выполненные в процессе лечения пациента, позволяли оценить динамику изменений пневматизации в начале и в конце заболевания, к примеру при аспирации, пневмонической инфильтрации, гиповентиляции, ателектазе (см. рис. 8, 9). Если в начале заболевания безвоздушный участок пораженного легкого окрашивался на цифровой рентгенограмме в красно-розовый либо зеленый цвет, то в результате лечения и положительной клинической динамики мы наблюдали ослабление плотности пораженного участка легкого с заменой на сиреневый либо синий цвет.

Слабо дифференцируемые на черно-белой рентгенограмме патологические симптомы (контуры перелома, очаги костной деструкции, мелкие очаги в легких, малый гидро- и пневмоторакс, мелкие конкременты мочевыводительных путей) становились



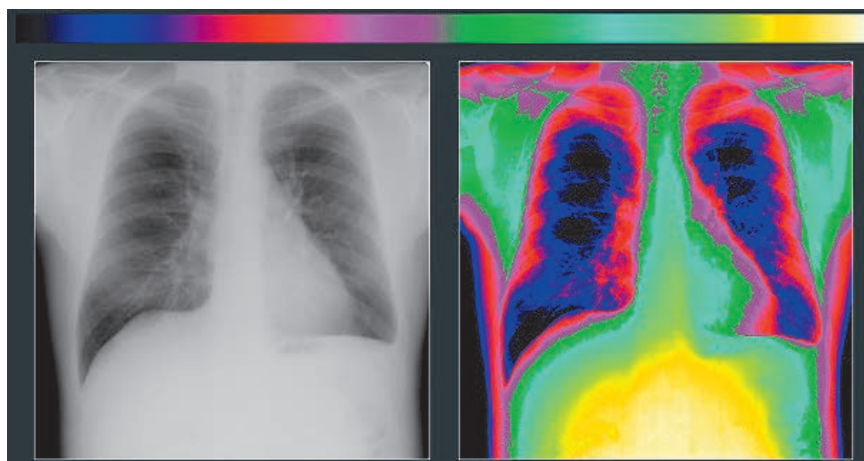
**Рис. 6.** Пример улучшения визуализации изменений костной структуры. Пациентка М., 70 лет. Рентгенограмма таза в прямой проекции и цветная ее копия в полной гамме насыщенности 45%. Скрытый перелом левой вертлужной впадины в области эндопротеза тазобедренного сустава, признаки остеопороза и остеосклероза (стрелки)

**Fig. 6.** An example of improving visualization of changes in bone structure. Patient M., 70 years old. X-ray of the pelvis in direct projection and its color copy in full gamut with a saturation of 45%. Hidden fracture of the left acetabulum in the hip joint prosthesis, signs of osteoporosis and osteosclerosis (arrows)

Увеличивалась дифференциация суммарной плотности тканей по полю изображения, поэтому исходно плоское изображение визуально представлялось объемным (рис. 5, 7).

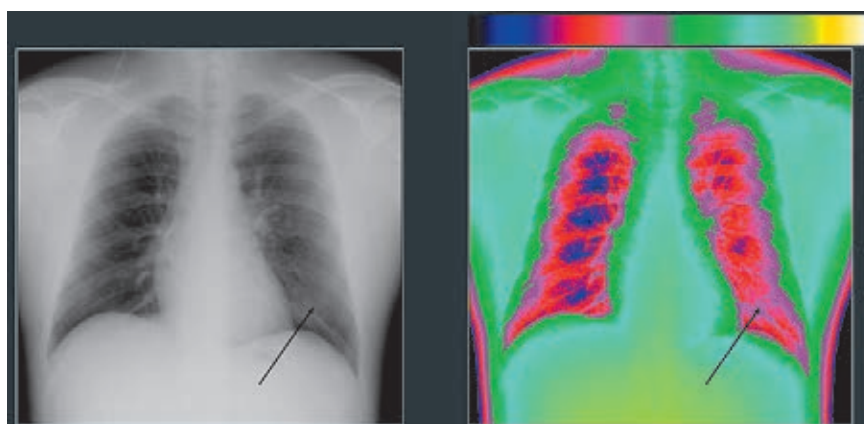
Так как цвет передает суммационную плотность в каждом участке изображения, то можно сопоста-

более четкими и выразительными на раскрашенной рентгенограмме (рис. 10, 11). К примеру, незаметная на черно-белой рентгенограмме ОГК очаговая тень малого размера, расположенная над диафрагмой слева, после раскраски изображения и подбора оптимального цветонасыщения, в данном случае



**Рис. 7.** Цветное изображение органов грудной клетки приобретает некий объемный вид и наглядно отражает вентиляцию легких. Пациент К., 35 лет. Рентгенограмма органов грудной клетки и цветная ее копия в полной гамме насыщенности 100%. Адгезивный плеврит слева и относительно сниженная пневматизация нижнего отдела левого легкого. При насыщенности 100% очаговая тень над диафрагмой слева не видна

**Fig. 7.** The color image of the chest acquires a certain three-dimensional appearance and visually reflects the ventilation of the lungs. Patient K., 35 years old. X-ray diffraction pattern of chest and its color copy in full gamut with 100% saturation. Adhesive pleurisy on the left and relatively reduced pneumatization of the lower part of the left lung. At 100% saturation, the focal shadow above the diaphragm on the left is not visible



**Рис. 8.** Пример тотального снижения пневматизации левого легкого у спасенного после утопления пациента за счет аспирации, гиповентиляции с присоединением пневмонии сегментов левой нижней доли (стрелка). Пациент Д., 42 года. Рентгенограмма органов грудной клетки и цветная ее копия в полной гамме насыщенности 100%

**Fig. 8.** An example of a total decrease in pneumatization of the left lung in a patient saved after drowning due to aspiration, hypoventilation with the addition of pneumonia of segments of the left lower lobe (arrow). Patient D., 42 years old. X-ray diffraction pattern of chest and its color copy in full gamut with 100% saturation

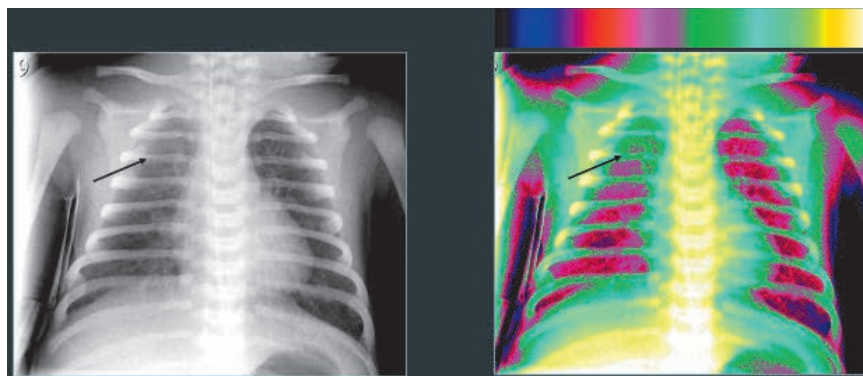
45%, стала видна выразительно и отчетливо (рис. 11). При избыточной насыщенности, к примеру 100% (рис. 7), эта же очаговая тень стала незаметной. Таким образом, цветовая насыщенность (яркость и контрастность) должна подбираться рентгенологом, чтобы быть оптимальной для конкретного рентгенологического симптома.

Возможности цветового контрастирования демонстрируются на примере цифровой рентгенограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника. На цветных изображениях с разной гаммой и насыщенностью цветов были замечены дополнительные признаки, не указанные в протоколе описания традиционного рентгеновского снимка: натечник с костными секвестрами в паравerteбральных мягких тканях зоны спондилита Th<sub>12</sub>–L<sub>1</sub>; грыжа

диска в сегменте L<sub>3</sub>–L<sub>4</sub>, выступающая в полость позвоночного канала (рис. 12). В описании рентгенолога был указан лишь компрессионный перелом тела L<sub>1</sub> неизвестной давности. Этот пациент после рентгенографии был обследован на МРТ, где подтвердились предположения о спондилите и патологический перелом тела L<sub>1</sub>, а также грыжа межпозвонкового диска L<sub>3</sub>–L<sub>4</sub>.

В результате цветового контрастирования исходного рентгеновского изображения патологические симптомы лучше дифференцировались путем подбора для них оптимальной цветовой насыщенности. Изменения цветовой насыщенности были возможны до определенного предела, после которого появлялись артефакты либо терялись детали изображения. Эта опция постобработки, так же как

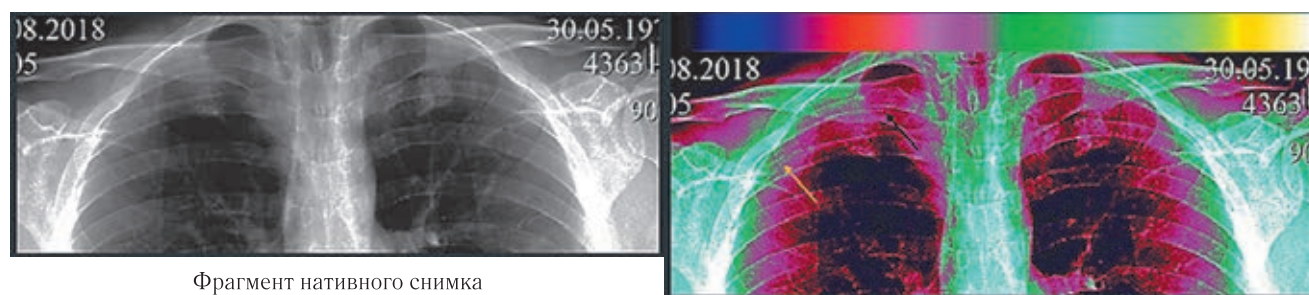




Полная гамма, 50% насыщенность

**Рис. 9.** Пример выделения цветом безвоздушного участка инфильтрации легкого. Ребенок Д., первого дня жизни, аспирационная пневмония верхней доли правого легкого в результате аспирации новорожденного инфицированными околоплодными водами. На цветной рентгенограмме уплотненный участок правого легкого (зеленый, выделен стрелкой) отличается цветом от симметричного, воздушного участка (сиреневый)

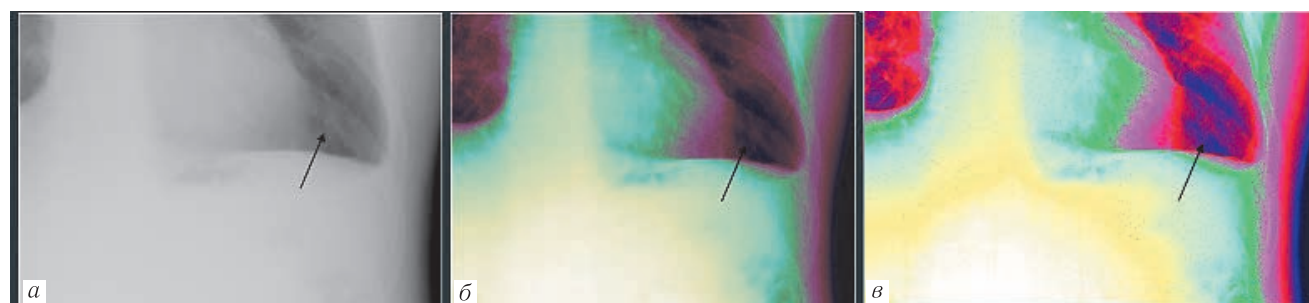
**Fig. 9.** An example of highlighting the color of an airless section of lung infiltration. Child D, one day old, aspiration pneumonia of the upper lobe of the right lung as a result of aspiration of the newborn with infected amniotic fluid. On the color X-ray, the densified portion of the right lung (green, marked by an arrow) is clearly different in color from the symmetrical, airy portion (lilac)



Фрагмент нативного снимка

**Рис. 10.** Оптимизация цветом незаметных симптомов травматических повреждений органов грудной клетки. Пациент Г., 39 лет. На цветной копии рентгенограммы органов грудной клетки насыщенностью 45% отчетливо выделяется край спавшегося легкого (желтая стрелка) за счет пневмоторакса и перелом заднего отрезка III ребра справа (черная стрелка)

**Fig. 10.** Color optimization of invisible symptoms of traumatic injuries of the chest. Patient G., 39 years old. On the color copy of the x-ray of a chest with a saturation of 45%, the edge of a collapsed lung (yellow arrow) is clearly distinguished due to pneumothorax and a fracture of the posterior segment 3 ribs on the right (black arrow)



Фрагмент нативного снимка

Цветной снимок насыщенностью 15%

Цветной снимок насыщенностью 45%

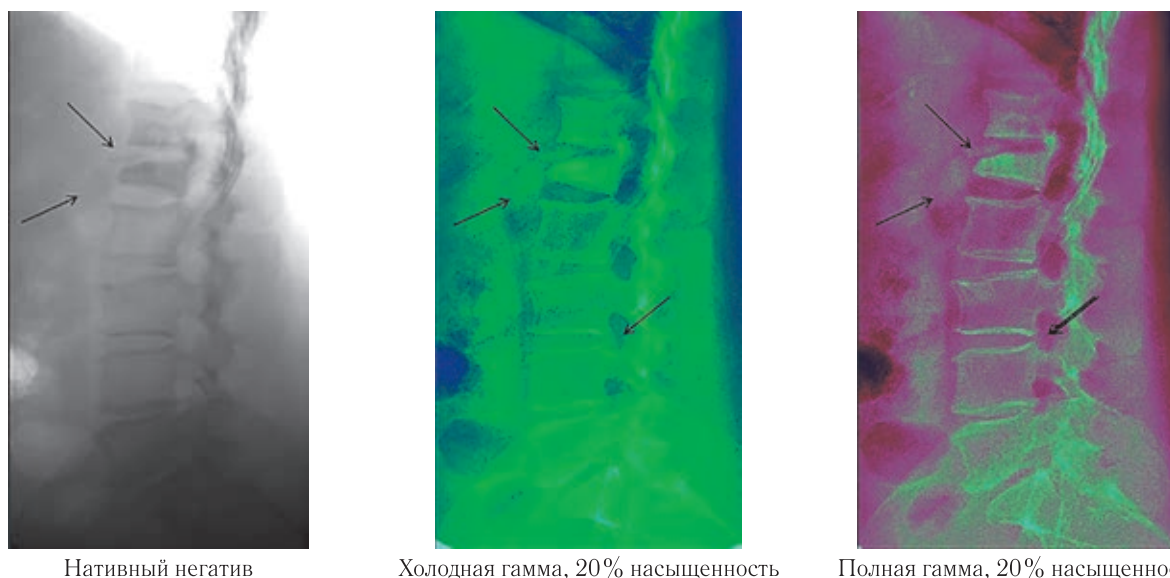
**Рис. 11.** Пример улучшения визуализации очаговой тени в легком при цветовой обработке рентгенограммы, благодаря подбора насыщенности цвета от 15 до 45%. Пациент К., 35 лет, на фрагментах рентгенограмм (а) и (б) над левым куполом диафрагмы очаговая тень слабо заметна, в то время как на снимке (в) патологический очаг с лучистым контуром четко выделяется на фоне ребер

**Fig. 11.** An example of improving the visualization of focal shadow in the lung during the color processing of the x-ray, due to the selection of color saturation from 15 to 45%. Patient K., 35 years old, in the fragments of radiographs (a) and (b) above the left dome of the diaphragm, the focal shadow is weakly visible, while in the picture (v) the pathological focus with a radiant contour is clearly distinguished from the edges

яркость и контрастность, должна была меняться постепенно и регулироваться рентгенологом. При изменении цветовой насыщенности элементы изоб-

ражения с разной суммационной плотностью по-своему проявлялись, одни структуры выделялись, а другие исчезали (рис. 13). Психологически совме-





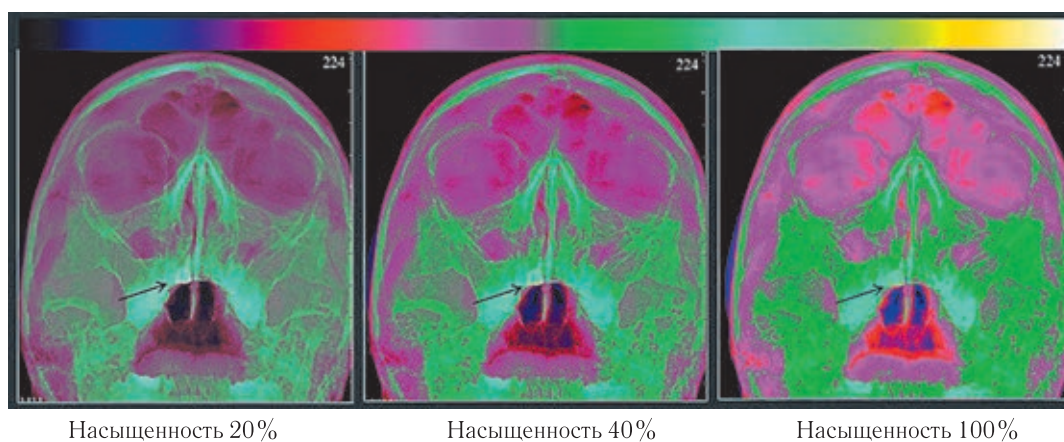
Нативный негатив

Холодная гамма, 20% насыщенность

Полная гамма, 20% насыщенность

**Рис. 12.** Пример улучшения визуализации патологических симптомов спондилита в сегменте Th<sub>12</sub>–L<sub>1</sub> и грыжи диска L<sub>3–4</sub> на раскрашенных рентгенограммах (б, в). Пациентка П., 71 год, рентгенограмма пояснично-крестцового отдела позвоночника в боковой проекции и цветные ее копии. На цветных снимках четко виден натечник с костными секвестрами в области диска Th<sub>12</sub>–L<sub>1</sub> и по передней поверхности тел (стрелки). По цвету отличается компрессионный перелом тела L<sub>1</sub> и контурируется тень грыжи диска L<sub>3–4</sub>

**Fig. 12.** An example of improving the visualization of pathological symptoms of spondylitis in the Th<sub>12</sub>–L<sub>1</sub> segment and herniation of the L<sub>3–4</sub> disc in colored radiographs (б, в). Patient P., 71 years old, radiograph of the lumbosacral spine in lateral projection and color copies of it. In color photographs, the lenticular with bone sequesters is clearly visible in the region of the Th<sub>12</sub>–L<sub>1</sub> disc and on the front surface of the bodies (arrows). The compression fracture of the body L<sub>1</sub> differs in color and the shadow of a hernia of the disc L<sub>3–4</sub> is contoured



Насыщенность 20%

Насыщенность 40%

Насыщенность 100%

**Рис. 13.** Пример влияния насыщенности на визуализацию деталей цветного изображения. Рентгенограмма черепа в носо-подбородочной проекции, раскрашенная полной гаммой цветов различной насыщенности. Металлическая коронка и корневой штифт первого верхнего резца заметны при насыщенности до 50% и слабо различимы при 100% (стрелка)

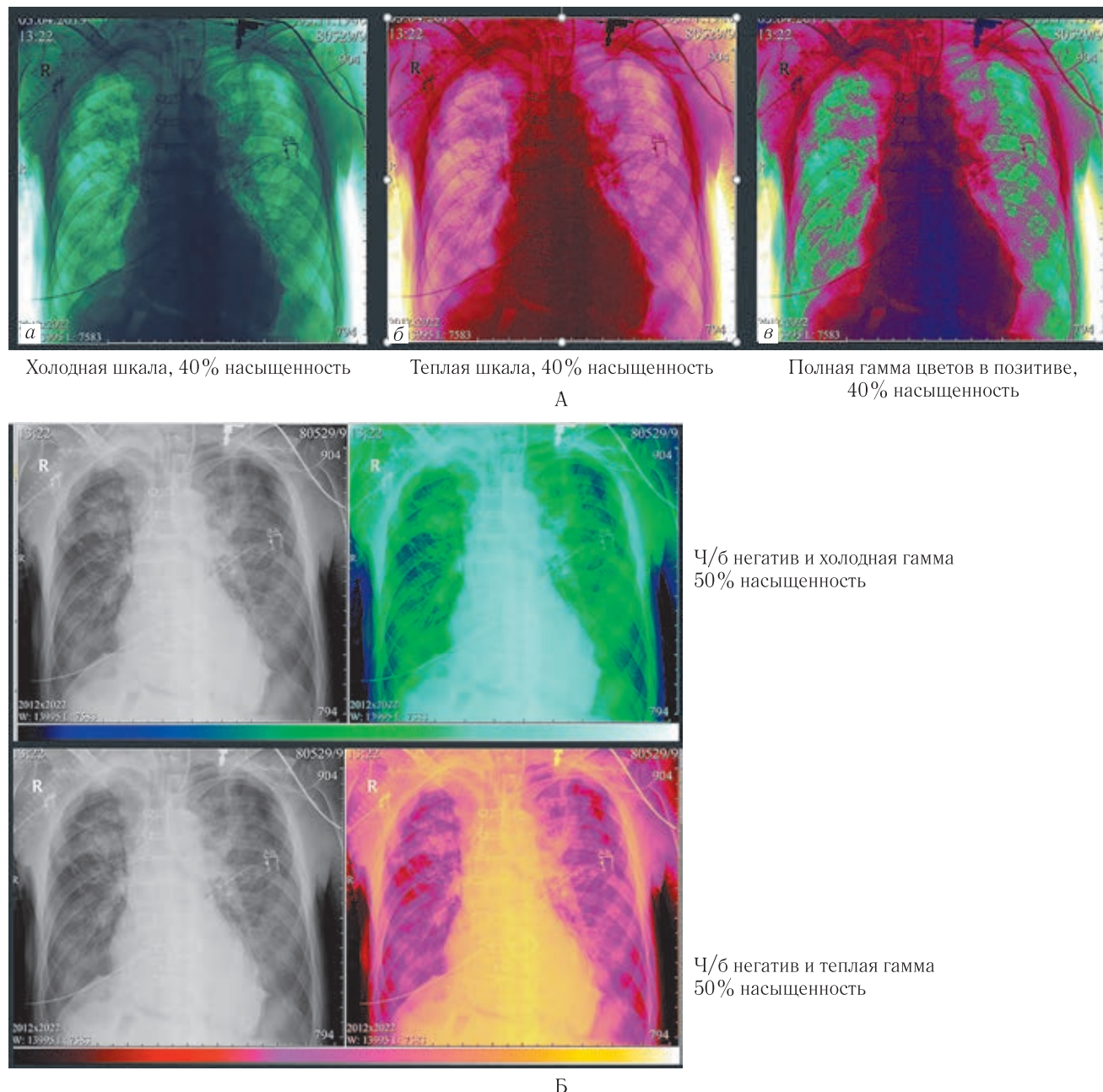
**Fig. 13.** An example of the effect of saturation on the visualization of details of a color image. X-ray of the skull in the nasal-chin projection, painted with a full gamut of colors of various saturations. The metal crown and root pin of the first upper incisor are noticeable at a saturation of up to 50% and are hardly distinguishable at 100% (arrow)

стимулы были раскрашенные рентгенограммы с насыщенностью цветом 25% при полной гамме, доводя до 50% при холодной и некоторых других траекториях раскрашивания. Избыточно насыщенное цветом изображение становилось нечитаемым либо смотрелось карикатурно (см. рис. 7, 13).

По ощущению исследователей полная и холодная гаммы лучше отражали патологические симптомы, чем теплая шкала, особенно в диагностике заболеваний легких (рис. 14). В диагностике заболеваний

костно-суставной системы, наоборот, теплая шкала лучше выделяла патологические симптомы, чем холодная (рис. 15).

Исследование показало, что раскрашивать необходимо, как позитивное, так и негативное изображение. Это связано с тем, что одни симптомы лучше дифференцируются в позитиве, другие в негативе рентгеновского изображения (рис. 14, 16). По результатам анкетирования, почти половина рентгенологов (48%) в постобработке рентгенограмм



**Рис. 14.** Пример цветокодирования позитивного (А) и негативного (Б) рентгеновского изображения грудной клетки, полученного в условиях реанимации. Улучшение визуализации теней инфильтрации (верхние отделы обоих легких) и пневмоторакса (слева) на раскрашенных снимках в холодной шкале (а) в сравнении с теплой (б)

**Fig. 14.** An example of color coding of a positive (A) and negative (B) X-ray image of the chest obtained under intensive care. Improving the visualization of the shadows of infiltration (the upper parts of both lungs) and pneumothorax (left) on the painted pictures in the cold scale (a) in comparison with the warm one (b)

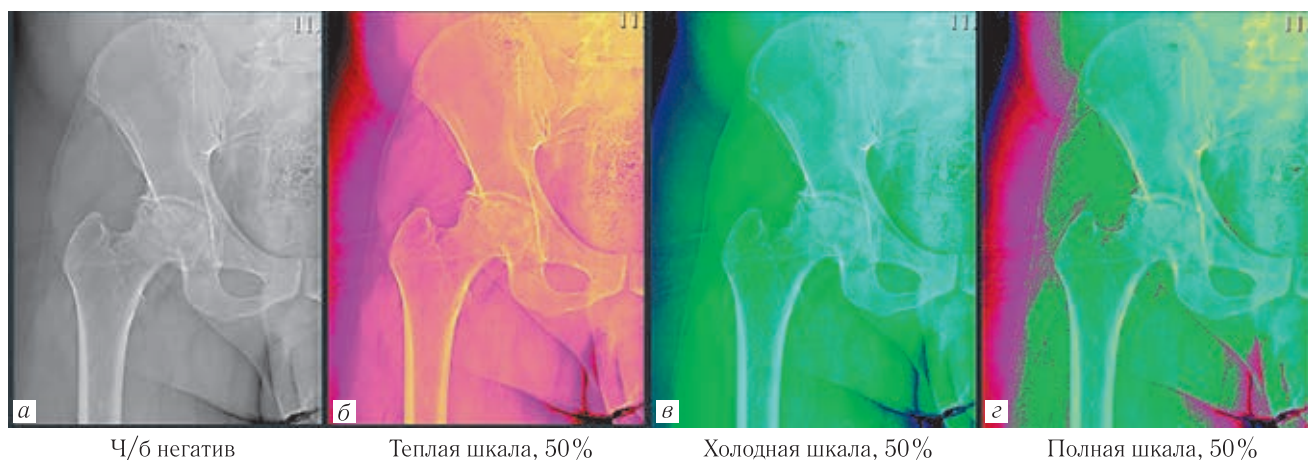
используют инверсию, рассматривая патологический симптом, как в негативе, так и в позитиве. ЦКЦР инвертированных изображений поможет врачу рентгенологу разобраться в наличии или отсутствии патологического субстрата.

Было замечено, что детали изображения лучше дифференцируются на раскрашенных рентгенограммах, прошедших предварительную постобработку (рис. 17). Если раскрасить цифровую рентгенограмму не обработанную и тот же снимок после оптимизации, то лучшего качества будет цветная копия, которая прошла постобработку. Если не проводить оптимизацию исходного снимка, то и после

проведения ЦКЦР, изображение будет в меньшей степени передавать рентгенологические признаки заболеваний. Таким образом, для повышения качества диагностики при постобработке цифровых рентгенограмм необходимо использовать оптимизацию динамического диапазона (фильтрацию) и псевдорельеф с последующим цветовым контрастированием черно-белого снимка. Для рассмотрения мелких деталей структурных изменений следует использовать опцию увеличения изображения (рис. 18).

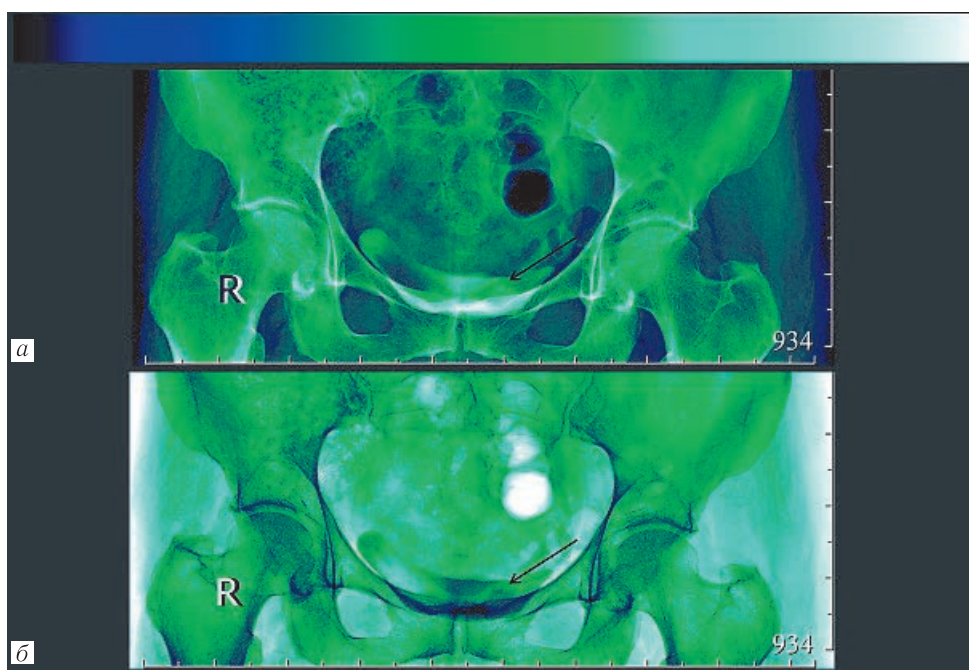
Для объективизации полученных результатов нами было проведено анкетирование врачей рентгенологов и ординаторов Мариинской больницы





**Рис. 15.** Пример лучшей визуализации костных структурных изменений на изображении в теплой гамме при асептическом некрозе головки бедра в стадии фрагментации. Пациент Э., 36 лет, рентгенограмма правого тазобедренного сустава и ее цветные копии. Изменения костной структуры и формы головки правой бедренной кости видны детальнее и отчетливее в теплой гамме (б), чем в холодной (в)

**Fig. 15.** An example of better visualization of bone structural changes in the image in a warm gamut with aseptic necrosis of the femoral head in the fragmentation stage. Patient E., 36 years, x-ray of the right hip joint and its color copies. Changes in the bone structure and shape of the head of the right femur are seen in more detail and more distinctly in the warm gamut (б) than in the cold (в)



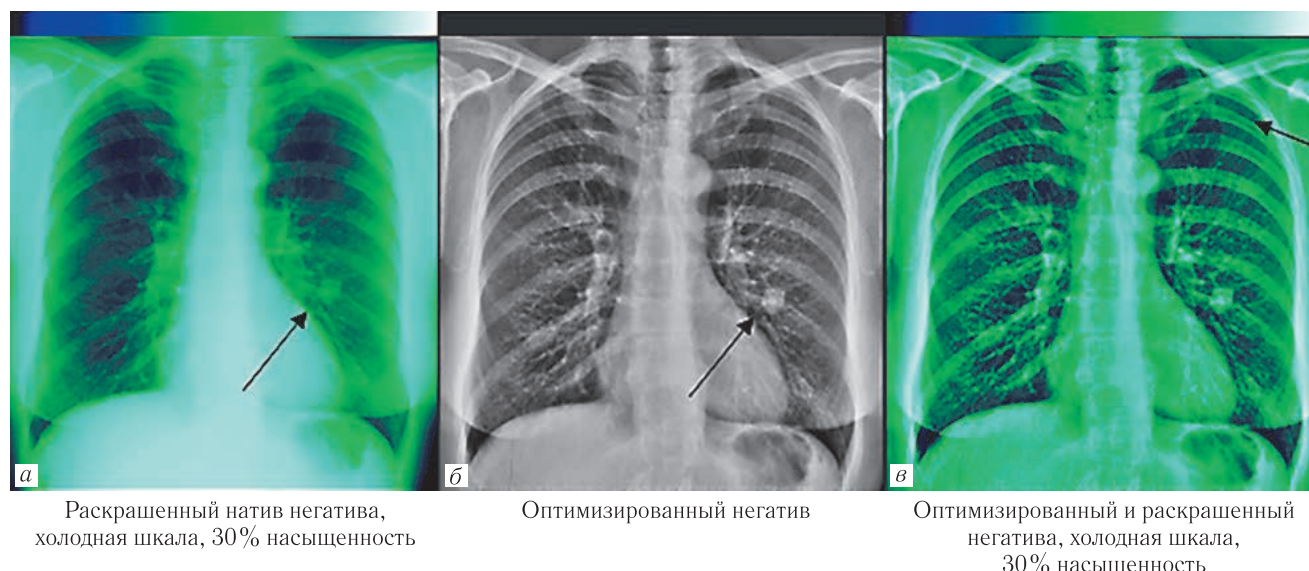
**Рис. 16.** Пример раскраски рентгенограммы области таза в поисках улучшения визуализации камня в устье левого мочеточника. Пациентка М., 61 год, фрагмент обзорной рентгенограммы мочевых путей, кодированный цветом в холодной гамме негативного (а) и позитивного (б) изображения области таза. Мелкий конкремент в устье левого мочеточника отчетливее выделяется на позитивном изображении, чем негативном (стрелки).

**Fig. 16.** An example of a radiograph of the pelvic region in search of improved visualization of the stone at the mouth of the left ureter. Patient M., 61 years old, fragment of a survey radiograph of the urinary tract, color coded in a cold gamut of negative (a) and positive (б) image of the pelvic area. A small calculus at the mouth of the left ureter is more clearly distinguished in a positive image than a negative one (arrows)

по вопросам, касающимся возможностей использования и преимуществ цветового контрастирования рентгенограмм в рентгенодиагностическом процессе. Стаж работы врачей в среднем составил 8,5 лет. Результаты анкетирования наглядно представлены на диаграммах (рис. 19).

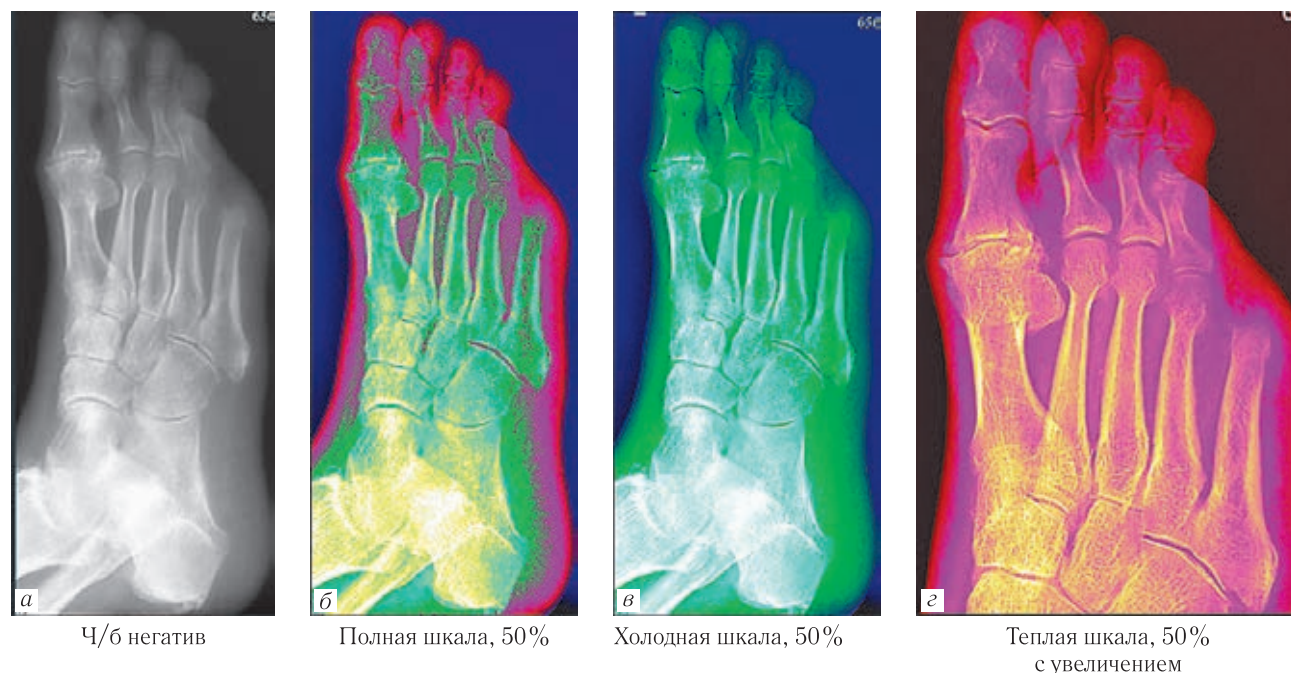
Как видно из анкетирования, необходимость применения данной методики в практической работе отметили 70% рентгенологов, за возможную помощь цветового контрастирования в диагностическом процессе высказалось 77%. Постпроцессорную обработку использовали в своей работе 93% анкетированных. Из





**Рис. 17.** Пример улучшения визуализации патологии в левом легочном поле в результате постобработки исходного снимка (а) в виде оптимизации динамического диапазона и усиления контуров (б) с последующим контрастированием цветом (в). Пациентка М., 45 лет, слева обызвествленная очаговая в легком, вздутие и остеопороз переднего отрезка II ребра четко видны на снимке после постобработки (в), чем до нее (а)

**Fig. 17.** An example of improving the visualization of pathology in the left pulmonary field as a result of post-processing of the initial image (a) in the form of optimization of the dynamic range with contouring (б) and subsequent contrasting with color (в). Patient M., 45 years old., Calcified focal in the lung on the left, swelling and osteoporosis of the anterior segment II ribs are clearly visible in the picture after post-treatment (в) than before (a)



**Рис. 18.** Пример использования стандартных траекторий цветового контрастирования с использованием опции увеличения для лучшей визуализации мелких деталей изображения. Пациент У., 76 лет, давно страдает сахарным диабетом. Благодаря цвету на раскрашенных изображениях четко визуализируются изменения костной структуры: остеопороз фаланг, краевая деструкция головки 5 плюсневой кости и воспаление прилежащих мягких тканей. Детально эти симптомы видны при увеличении изображения (з)

**Fig. 18.** An example of using standard paths of color contrast using the zoom option for better visualization of small image details. Patient U., 76 years old, has long been suffering from diabetes. Due to the color on the painted images, changes in the bone structure are clearly visualized: osteoporosis of the phalanges, regional destruction of the head of the 5 metatarsal bone and inflammation of the adjacent soft tissues. Details of these symptoms are visible when the image is enlarged (з)

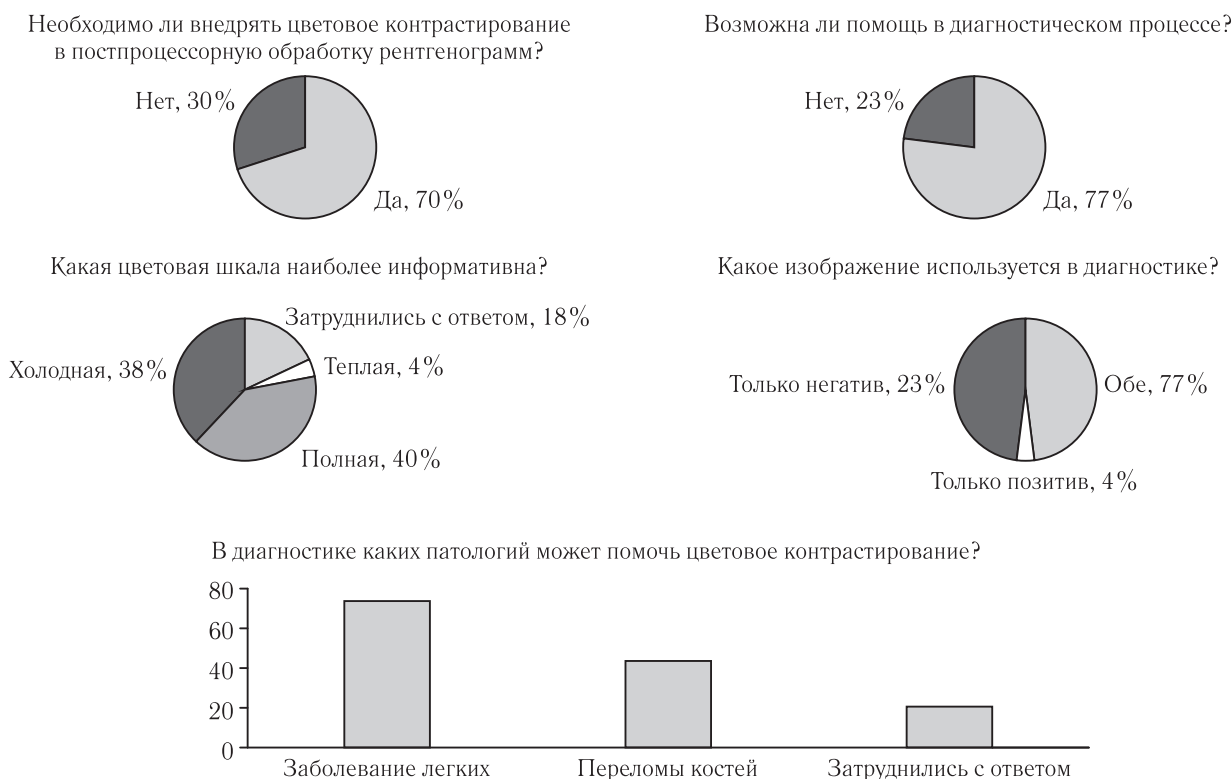


Рис. 19. Результаты анкетирования врачей и ординаторов рентгенологов

Fig. 19. The results of a survey of doctors and residents of radiologists

цветовых гамм предпочтение отдали полной шкале — 40%, холодной — 38%, теплой — 4%, не знали, что ответить — 18%. За ограничение цветовой насыщенности было 56%. Практически все врачи (93%) назвали оптимальной насыщенность, ограниченную до 50%. Позитивное рентгеновское изображение реже всего использовали в диагностике (4%), тогда как негатив и просмотр снимков в том и другом виде применяли одинаково часто (48%). По мнению 86% врачей-рентгенологов патологические симптомы были более заметны в случае использования инверсии (позитив/негатив). Следовательно, цветовому контрастированию необходимо подвергать как негативное, так и позитивное изображение, так как патологические симптомы убедительно могут проявиться либо в том, либо в другом случае.

Из анкетированных 75% рентгенологов считали, что цветовое контрастирование может улучшить визуализацию заболеваний легких в виде нарушения вентиляции, очаговых поражений (туберкулез, опухоли), малого пневмо- и гидроторакса. Почти половина рентгенологов (45%) полагали, что данный метод поможет достоверно определить переломы костей, особенно на фоне нарушения структуры костной ткани (остеопорозе, деструкции). Вместе с тем 22% анкетированных затруднились высказаться о возможностях цветового контрастирования в рентгенодиагностике в связи с отсутствием практического опыта.

В процессе исследования были обнаружены наиболее диагностически эффективные и психологически совместимые траектории раскраски для негатив-

ного изображения. Ими оказались полная, холодная и сине-желтая гамма цветов, а другие гаммы были мало информативными. Психологически совместимая цветовая насыщенность для многих вариантов траекторий раскраски составляла 25–50%. Насыщенность цвета более 50% при любой траектории раскраски приводила к потере деталей изображения и должна быть признана неэффективной. Для полной гаммы негативного либо позитивного изображения насыщенность 25% была более оптимальной, чем 50%. Позитивное рентгеновское изображение, раскрашенное по тому же принципу, более четко передавало детали изображения не только в полной и холодной гамме, но и в теплой гамме насыщенностью 25%. Однако сейчас, уже в последней версии программы ЦКЦР, установленной в интерфейсе программного обеспечения постобработки на рентгеновских аппаратах производителя, используется специально разработанная адаптивная цветовая насыщенность. В этой программе рекомендуется применять 100% насыщенность, которая на практике показала свою высокую диагностическую эффективность относительно низких процентов насыщенности цветов. Для негативного рентгеновского изображения теплая гамма (K, R, M, Y, W) была эффективной для визуализации заболеваний костно-суставной системы и психологически несовместимой при заболеваниях ОГК. Траектории раскрашивания, состоящие из двух цветов, взятых по одному из теплой и холодной гаммы (B-Y), (R-C), (M-G), (M-C), четко выделяли ткани высокой плотности, например кости. Эти траектории цветов,

используемые для рентгенограмм органов грудной клетки хорошо контурировали ребра на фоне воздушных легких; спавшийся участок легкого при пневмотораксе; зоны инфильтрации.

На раскрашенном изображении в сравнении с черно-белым, отчетливо выделялись контуры тканей разной плотности, нечетко выраженные симптомы получали диагностически адекватное отображение. Однако диагностически эффективнее проводить ЦКЦР после предварительной постобработки (оптимизации динамического диапазона, фильтрации). Раскрасив плохое нативное рентгеновское изображение, получаем некачественное цветное, но немного лучше оригинала. По мнению анкетированных рентгенологов необходимость применения методики ЦКЦР отметило 70% врачей, за возможную помощь в рентгенодиагностическом процессе высказалось 77%.

Для оценки диагностической эффективности рассчитали чувствительность, специфичность и точность методов, использующих черно-белую и цветовую гамму. По нашим расчетам оказалось, что не было достоверной разницы в оценке рентгенограмм рентгенологами с разным опытом работы. Их стаж особо не отразился на результате. Чувствительность для черно-белых снимков была 60%, для цветных — 72%. Специфичность составила 90% для черно-белых снимков, 97% для цветных. Диагностическая точность черно-белых рентгенограмм оказалась равной 75%, а цветных — 88%.

Таким образом, исследование показало, что диагностическая точность метода ЦКЦР выше метода анализа черно-белых снимков на 13%, чувствительность — на 12%, а специфичность — на 7%.

Мы не встретили отечественных научных исследований по применению цветовой постобработки в традиционной цифровой рентгенографии. Имеется лишь несколько публикаций зарубежных авторов. Так ShiXie-Qi и соавт. [8, с. 318; 10, с. 761] провели ряд исследований по оценке цветовой шкалы в сравнении с привычной черно-белой шкалой. Предварительные результаты с помощью теста кривой восприятия указывали на то, что с цветовой кодировкой контрольные рентгенограммы могут снизить порог восприятия до какой-то степени. В любом случае ценность таких изображений, как минимум, не меньше оригинальных черно-белых рентгенограмм. Применение цветовой шкалы в диагностике аппроксимального кариеса в исследовании *in vitro* не показало статистически значимой разницы в диагностической точности между оригинальной и цветной рентгенограммой. Ссылаясь к результатам, полученным с помощью теста кривой восприятия, определенную разницу следовало ожидать. Авторы исследования предполагают, что диагностики были незнакомы с интерпретацией рентгено-

грамм в цветовой кодировке, где радиографическая информация представлена по-другому. Обучение врачей рассматривать цветные изображения должно со временем повысить точность диагностики. Поскольку серая шкала хорошо показала себя в рентгенографии в течение длительного периода времени, совсем не значит, что предложенная цветовая шкала полностью заменит серую шкалу в обычной рентгенографической практике. Цветовая шкала может быть использована в качестве запасного приема для получения дополнительной рентгенографической информации с определенной диагностической целью [8, с. 322; 10, с. 767]. В исследовании LiGang и соавт. [16, с. 258] внутриротовые цифровые рентгенограммы с цветовой кодировкой не обеспечили более благоприятную точность при оценке уровней маргинальной альвеолярной кости, чем черно-белые рентгенограммы. В работе MoonSuh Park и соавт. [17, с. 212] метод цветового контрастирования был использован в рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) для улучшения визуализации патологии височной кости. Авторам удалось с помощью цветовой постобработки РКТ повысить выявление рентген-признаков отосклероза и чувствительность дифференцировки мелких структур внутреннего уха. По мнению Elliot Varney and Andrew Smith (2019)<sup>1</sup>, цветовая постобработка РКТ грудной клетки, живота, позвоночника может в перспективе быть использована для определения остеопении и остеопороза, что авторы демонстрируют в своей работе.

В исследовании, проведенном Obioma Pelka и соавт. (2018) [18, с. 443], цветовая постобработка применялась для улучшения машинного обучения нейронных сетей. Их исследование показало, что рентгеновские изображения, обработанные цветом, повышают точность прогнозирования нейронных сетей. Следует отметить, что физика, заложенная в методах цветового контрастирования вышеуказанных работ, была у каждого автора своя — оригинальная, поэтому точного сопоставления результатов исследований провести невозможно. Цветовое кодирование осуществляется по разным параметрам, например, по определенным уровням яркости, по длине электромагнитных волн, по удельной плотности объемного элемента (вокселя) и т. д. [19, с. 2].

В нашем исследовании использовался метод ЦКЦР, который основан на квантовой гипотезе цветового зрения, описанной в ряде работ отечественных производителей рентгеновской техники Н. Н. Блинова и А. И. Мазурова [13, с. 176; 14, с. 36–37; 15, с. 120; 19, с. 2–3; 20, с. 329]. Для визуализации цветных медицинских изображений важно цветовое ощущение и психологическое восприятие цвета. Проблема психологии зрения при раскраске

<sup>1</sup> Varney E., Smith A. A New Opportunistic Bone Density Screening Method Based on Colored CT Images of the Spine // Radiology and Medical Diagnostic Imaging. 2019. May. P. 1–3.



черно-белого изображения рассмотрена в монографии Н. Н. Блинова [20, с. 329]. Цветовые ощущения определяются тремя основными характеристиками: цветовым тоном, насыщенностью и яркостью (светлотой), которые существенно расширяют ощущения человека. Цветоощущение во много раз расширяет возможности глаза в разделении объемов, деталей, предметов, облегчает выделение контуров и линий, увеличивает градационную разрешающую способность, облегчает восприятие объемных 3D-изображений. В ближайшей перспективе параметрическое цветовое кодирование вероятно будет реализовано. Невидимое изображение в различных физических полях (рентгеновском, инфракрасном, ультрафиолетовом и др.) на входе системы визуализации «цветное», т.е. каждый пиксел изображения имеет свой спектр (разброс по энергиям), который определяется в рентгенологии структурами просвеченных органов. Если при визуализации информацию о спектрах пикселей трансформировать в цвет, подобно тому, как это делает зрительная система человека в видимом участке спектра, то мы получили цветное компьютерное зрение [15, с. 119]. Рентгеновские аппараты подобного типа будут выдавать сразу цветные изображения. Приемник рентгеновского излучения такого аппарата будет регистрировать число фотоны  $F$  в каждом пикселе изображения и их суммарную энергию  $E$  за время кадра. В видеопроцессоре данного

регистратора будут вычисляться средние значения числа фотонов  $F$ , энергии  $E$  и дисперсии этой энергии  $D(E)$ , которые в матрице цветного монитора будут трансформироваться в три сигнала (красный, зеленый, синий) в соответствии с системой уравнений [19, с. 3]. Пока подобные аппараты не изобретены приходится разными методами трансформировать черно-белое рентгеновское изображение в расцветенный снимок. Для подготовки врачей-рентгенологов к цветной рентгенографии в будущем, следует уже сейчас привыкать к интерпретации раскрашенных изображений, используя цветовую постобработку.

### Заключение.

1. Цифровая рентгенограмма, контрастированная цветом оптимальной насыщенности, имеет отчетливые преимущества перед традиционным черно-белым рентгеновским снимком, так как раскрывает диагностическую информацию, скрытую либо малозаметную.

2. Диагностическая эффективность метода ЦКЦР выше анализа черно-белых снимков на 13%.

3. Для повышения диагностических возможностей рентгенодиагностики в пакет компьютерной постобработки изображений целесообразно включить метод цветового контрастирования.

4. Раскрашенное изображение не заменяет черно-белое, а дополняет его, разрешая диагностические сомнения врача-рентгенолога.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Roentgenograms // *Amer. J. Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine*. 1958. Vol. 79, No. 2. P. 342–347. PMID: 13498226.
2. Быков Р.Е., Коркунов Ю.Ф. *Телевидение в медицине и биологии*. Л.: Энергия, 1968. 224 с. [Bykov R.E., Korkunov Yu.F. *Television in medicine and biology*. Leningrad: Publishing house Energy, 1968, 224 p. (In Russ.).]
3. Мирошников М.М., Лисовский В.А., Филиппов Е.В. и др. *Иконика в физиологии и медицине* / под ред. А.М.Угалева. АН СССР, отделение физиологии. Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1987. 391 с. [Miroshnikov M.M., Lisovskii V.A., Filippov E.V. et al. *Iconics in physiology and medicine* / ed. by A.M.Ugaleva; USSR Academy of Sciences, Department of Physiology. Leningrad, Science, Leningrad Branch, 1987, 391 p. (In Russ.).]
4. *Технические средства медицинской интроскопии* / под ред. Б.И.Леонова. М.: Медицина, 1989. 304 с. [Technical means of medical Introscope. Edited by B.I.Leonova; Moscow: Publishing house Medicine, 1989, 304 p. (In Russ.).]
5. Иванов С.А., Козяк Н.И., Мазуров А.И. *Рентгенотелевизионные методы исследования микроструктур*. Л.: Машиностроение, 1983. 131 с. [Ivanov S.A., Komiak N.I., Mazurov A.I. *X-ray television methods for the study of microstructures*. Leningrad: Publishing house Mechanical Engineering, 1983, 131 p. (In Russ.).]
6. Shi Xie-Qi., Sällström P., Welander U. A color-coding method for radiographic images // *Image and Vision Computing*. 2002. Vol. 20, pp. 762–767. doi: 10.1016/S0262-8856(02)00045-8.
7. Sanavullah M.Y., Ravindran S. Pseudocolour Image Processing in Digital Mammography // *Proceedings of the International Conference on Cognition and Recognition*. 2004. P. 752–758.
8. Shi Xie-Qi., Yoshiura G., Li K., Welander U. Perceptibility curve test for conventional and color-coded radiographs // *Dentomaxillofacial Radiology*. 2004. Vol. 33, pp. 318–322. https://doi.org/10.1259/dmfr/27372105.
9. Khan M.A.U., Khan R.B., Bilal Sh., Jamil A., Shah M.A. Enhancement of Angiogram Images Using Pseudo Color Processing // *Information Technology Journal*. 2008. Vol. 7, No. 1. P. 210–214. doi: 10.3923/itj.2008.210.214.
10. Shi Xie-Qi., Sallstrom P., Welander U. A colorcoding method for radiographic images // *Image and Vision Computing*. 2002. Vol. 20, No. 11, pp. 761–767. doi: 10.1016/S0262-8856(02)00045-8.
11. Рагхуванши Р.С., Датар А. Схема составной псевдоокраски с использованием метода спирали при обеспечении одинаковой яркости // *Международный журнал тенденций и технологий в инженерии*. 2013. Т. 4, № 7. С. 2800–2805. [Raghuvanshi R.S., Datar A. Composite Pseudocoloring Scheme Using Spiral Method with Ensuring Same Brightness. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2013, Vol. 4, No. 7, pp. 2800–2805 (In Russ.).]
12. Нюберг Н.Д. *Теоретические основы цветной репродукции*. М.: Советская наука, 1947. 176 с. [Niuberg N.D. *Theoretical foundations of color reproduction*. Moscow: Publishing house Soviet science, 1947, 176 p. (In Russ.).]
13. Мазуров А.И., Денисов А.К. Эффективный метод кодирования рентгенограмм цветом // *Лучевая диагностика и терапия*. 2018. Т. 9, № 1. С. 176–177. [Mazurov A.I., Denisov A.K. An effective method of coding radiographs with color. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2018, Vol. 9, No. 1, pp. 176–177 (In Russ.).]
14. Мазуров А. И., Раевская К. А. *Квантовая модель низшей метрики цвета. «Увидеть невидимое»* Сборник научных трудов. Вып. 3 / под ред. А.И.Мазурова, Ю.Ю.Михайловой. Санкт-Петербург: ООО «СПб. СРП „Павел“ ВОГ», 2017. С. 36–39. [Mazurov A.I., Raevskaya K.A. *Lowest colorimetric quantum model. See the invisible* Collection of scientific papers Issue 3<sup>ed</sup>. by A.I. Mazurova, Yu.Yu. Mikhailova. St. Petersburg, ООО «St. Petersburg: SRP. „Pavel“ VOG», 2017. pp. 36–39 (In Russ.).]
15. Мазуров А.И. Параметрическая колориметрическая система FED(E) // *Увидеть невидимое: сб. науч. тр. Вып. 3 / под ред. А.И.Мазурова, Ю.Ю. Михайловой*. СПб.: ООО «СПб. СРП „Павел“ ВОГ», 2017. С. 119–120. [Mazurov A.I. Parametric colorimetric system FED (E). *See the invisible*. Collection of scientific papers Issue 3 edited by A.I.Mazurova, Yu.Yu. Mikhailova. St. Petersburg: ООО «SPb. SRP. „Pavel“ VOG», 2017, pp. 119–120 (In Russ.).]
16. Li G., Engström P.E., Welander U. Measurement accuracy of marginal bone level in digital radiographs with and without color coding // *Acta Odontol Scand*. 2007. Oct. Vol. 65, No. 5, pp. 254–258. doi: 10.1080/00016350701452089. PMID: 18092199.
17. Moon Suh Park, Jae Yong Byun, Seung Geun Yeo, Ho Yun Lee. Use of Pseudocolor for Detecting Otologic Structures in CT // *Theory and Applications of CT Imaging and Analysis*. 2011. P. 205–212. doi: 10.5772/14670.
18. Pelka O, Nensa F, Friedrich C.M. Annotation of enhanced radiographs for medical image retrieval with deep convolutional neural networks // *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13, No. 11. e0206229. doi: 10.1371/journal.pone.0206229.
19. Блинов Н.Н., Мазуров А.И. Визуализация медицинских изображений в цвете // *Медицинская техника*. 2013. Т. 281, № 5. С. 1–3. [Blinov N.N.,

Mazurov A.I. Visualization of medical images in color. *Medical equipment*, 2013, Vol. 281, No. 5, pp. 1–3 (In Russ.).

20. Блинов Н.Н. *Глаз и изображение*. М.: Медицина, 2004. 320 с. [Blinov N.N. *Eye and image*. Moscow, Medicine, 2004, 320 p. (In Russ.).]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 30.10.2021 г.

#### Вклад авторов:

Вклад в концепцию и план исследования — И.Г.Камышанская, В.М.Черемисин. Вклад в сбор данных — И.Г.Камышанская. Вклад в анализ данных и выводы — И.Г.Камышанская, В.М.Черемисин. Вклад в подготовку рукописи — И.Г.Камышанская, В.М.Черемисин.

#### Сведения об авторах:

**Камышанская Ирина Григорьевна** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56; врач-рентгенолог Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Родильный дом № 6 имени профессора В.Ф. Снегирева»; 191014 Санкт-Петербург, ул. Маяковского д. 5; e-mail: irinaka@mail.ru; ORCID 0000–0002–8351–9216; SPIN: 2422–5191;

**Черемисин Владимир Максимович** — доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии медицинского факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9; заведующий отделом лучевой диагностики Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская Мариинская больница»; 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 56; e-mail: vm\_cher@mail.ru; ORCID 0000–0003–1402–2844.



### Курс послепломного обучения профессора Т. Н. Трофимовой кафедры рентгенологии и радиационной медицины ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова приглашает

на программы обучения, посвященные актуальным вопросам лучевой диагностики.

**Подробная информация по телефону:** 7 (981) 744-72-46, e-mail: [luchevayadiagnostical@mail.ru](mailto:luchevayadiagnostical@mail.ru)

**Регистрация для участия в программах повышения квалификации:** Отдел дополнительного профессионального образования ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова. Телефон: +7 (812) 338-60-48, e-mail: [edudogovor@spb-gmu.ru](mailto:edudogovor@spb-gmu.ru)

Название программы	Вид обучения/ часы	Сроки проведения
Современные стандарты анализа лучевых изображений в системе обязательного медицинского страхования	НМО/18	По мере комплектования групп
Современные стратегии лучевой диагностики онкологических заболеваний в системе ОМС	НМО/18	По мере комплектования групп
Онкология в системе ОМС: Стандарты и принципы анализа лучевых изображений	НМО/18	По мере комплектования групп
Лучевая диагностика в нейрорепедиатрии	НМО/18	По мере комплектования групп
Менеджмент в радиологии	ТУ/16	По мере комплектования групп
Современные стандарты лучевой диагностики в системе ОМС	ТУ/16	По мере комплектования групп
МРТ плода	ТУ/16	06.06. – 10.06.2022
Рентгенодиагностика, КТ и МРТ	ТУ /144	По мере комплектования групп
Лучевая диагностика в нейроонкологии	ТУ/16	По мере комплектования групп
Лучевая диагностика опухолей мочевого пузыря	ТУ/16	10.10. – 14.10.2022
Ранний пренатальный ультразвуковой скрининг	НМО/18	14.11. – 24.11.2022
Ультразвуковая диагностика в маммологии	НМО/18	По мере комплектования групп
Ультразвуковая диагностика	ПП/504	01.03. – 10.06.2022
Ультразвуковая диагностика в клинической практике	ТУ/144	11.01 – 11.02.2022