

УДК 004.582  
doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-9

## ПРИМЕНЕНИЕ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ КОГНИТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

М. Ю. Костенкова<sup>1</sup>, М. А. Сидорова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Областной онкологический клинический диспансер, Пенза, Россия

<sup>2</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup> marikost83@mail.ru, <sup>2</sup> sidorova\_mailbox@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Представлены результаты реализации возможностей ИТ-технологий в медицинской практике на примере работы отделений реанимации и интенсивной терапии. Авторами статьи разработана система управления медицинскими данными «MedData», в которой реализовано графическое отображение состояния пациента отделений реанимации и интенсивной терапии на основе методов когнитивной графики. *Материалы и методы.* Были реализованы такие методы когнитивной графики, как «тепловая карта», «карта-радар», «диаграмма» с разными форматами графиков, спарклайны. Приведен сравнительный анализ методов когнитивной графики. Обоснован вариант распределения показателей крови на подгруппы. *Результаты и выводы.* Авторами статьи произведено объяснение выбора наглядного графического представления состояния пациента на основе числовых значений показателей крови, сведенных в подгруппы, которые распределены по признаку их функционального значения.

**Ключевые слова:** когнитивная графика, тепловая карта, диаграмма, многомерные медицинские данные, показатели крови

**Для цитирования:** Костенкова М. Ю., Сидорова М. А. Применение ИТ-технологий когнитивной визуализации медицинских данных // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 72–80. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-9

## APPLICATION OF IT-TECHNOLOGIES FOR COGNITIVE VISUALIZATION OF MEDICAL DATA

M.Yu. Kostenkova<sup>1</sup>, M.A. Sidorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Regional Oncology Clinical Dispensary, Penza, Russia

<sup>2</sup> Penza State Technological University, Penza, Russia

<sup>1</sup> marikost83@mail.ru, <sup>2</sup> sidorova\_mailbox@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The article presents the results of the implementation of the capabilities of IT technologies in medical practice on the example of the work of the departments of intensive care and intensive care. The authors of the article developed the MedData medical data management system, which implements a graphical representation of the patient's condition in intensive care units based on cognitive graphics methods. *Materials and methods.* Such methods of cognitive graphics as "heat map," "map-radar," "diagram" with once-time graph formats, sparklines were implemented. This article provides a comparative analysis of cognitive graphics methods. The option of distributing blood parameters into subgroups is justified. *Results and conclusions.* The authors of the article explained the choice of a visual graphical representation of the patient's condition based on the numerical values of blood parameters reduced into subgroups, which are distributed according to their functional value.

**Keywords:** cognitive graphics, heat map, diagram, multidimensional medical data, blood displays

**For citation:** Kostenkova M.Yu., Sidorova M.A. Application of IT-technologies for cognitive visualization of medical data. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(4):72–80. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-9

### *Актуальность*

Стремительное развитие средств компьютерной графики и интерактивного представления больших объемов разнородных исходных данных привело человечество к реализации новых графических возможностей. Благодаря таким возможностям человек может добиваться большей наглядности изображений, управляя их содержанием, формой, размерами, цветом, искажением пропорций. Такое моделирование предусматривает использование средств и методов компьютерной когнитивной графики [1].

Когнитивные методы автоматизируют часть функциональных познавательных процессов, что позволяет применять их во всех областях, в которых требуется постижение знаний.

Отдельное направление когнитивная графика образует в медицине. Индивидуальный подход и пристальное внимание требуют такие разделы здравоохранения, как реаниматология и медицина критических состояний (МКС) [2]. Врачам приходится в ограниченный интервал времени принимать решение для проведения терапевтических процедур по восстановлению жизнеспособности организма человека. Особенно методы когнитивной графики востребованы в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) при постановке окончательного диагноза пациенту и прогнозировании исхода заболевания. Примером являются ОРИТ лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) Пензенской области, где можно увидеть, как врачи ведут непрерывное наблюдение за состоянием пациента, мониторинг.

Мониторинг (в медицине) – способ сбора информации о больном в процессе определения величины одних и тех же параметров организма, осуществляемый в фиксируемые промежутки времени. Отслеживание состояния пациента и проведение анализа об оказании терапии – это и есть основные задачи мониторинга. Особое место среди медицинского оборудования для мониторинга состояния пациентов занимают прикроватные мониторы. Большинство прикроватных мониторов, продаваемых сегодня, могут включать и данные клинических лабораторий. Но не всегда больше значит информативнее. Как показывает опыт, врачу МКС тяжелее принять тактическое решение, если информации о пациенте слишком много.

В отделениях анестезиологии и реанимации ЛПУ Пензенской области врачи ОРИТ для отслеживания динамики жизненно важных физиологических показателей используют унифицированные «протоколы», заполняемые вручную, хотя в настоящее время многие информационные процессы автоматизированы. Поэтому применение когнитивного подхода к графическому отображению информации о состоянии пациента, которая даст возможность быстро воспринимать и анализировать ситуацию, авторы статьи считают актуальным.

### *Цели исследования*

Настоящая работа посвящена анализу возможности применения на практике графического способа отображения информации о состоянии пациента для повышения эффективности последующей интерпретации результатов. В статье исследуются основные параметры крови и анализируется их распределение в группы по функциональному назначению. Оценивается графическая информация, которая интуитивно понятно представляет изменения состояния пациента.

### *Материалы и методы исследования*

Материалом для образного анализа медицинских многомерных данных служит комплексный анализ крови, который включает 35 показателей крови, имеющих разные размерности [3–6]. Методом объединения по функциональному значению показатели крови были сгруппированы на подгруппы (общий анализ крови, обмен веществ (диабет), концентрация электролитов и оценка функции почек, «костный профиль», сердечные маркеры, функциональные печеночные пробы, диагностика острой боли в животе, бактериальная инфекция и сепсис, свойства крови).

Материалом для когнитивного представления состояния пациента являются подгруппы параметров крови, которые сформированы на основе данных результатов открытых экспериментов, полученных из специализированных источников. В качестве примера когнитивной визуализации применены спарклайны, тепловая карта, диаграммы с областями и точечные графики. Диаграммы областей определяют границы «нормы» и «патологии» каждого показателя крови. Цветовая палитра позволяет оценить информативный диапазон значений. Точечные графики показывают динамику параметров крови относительно даты и времени его получения. Тепловая карта наглядно демонстрирует состояние пациента по всем параметрам крови [6–8].

На основании изученных материалов и проведенных исследований авторами статьи создана концептуальная модель системы управления медицинскими данными (СУМД) «MedData», состоящая из следующих элементов: входных параметров (например, показатели крови пациента), «черного ящика» (программной части системы, реализованной на базе алгоритма взаимосвязи и взаимодействия параметров, оценки их значений согласно стандартным шкалам, распределения значений в интервалы «норма» и «патология») и выходных параметров (цветовых градиентов с соответствующими значениями исследуемых параметров). В системе реализовано графическое отображение состояния пациента ОРИТ на основе методов когнитивной графики («тепловая карта» и «карта-радар»). Указанные методы когнитивной графики выбраны для наглядности представления данных о состоянии пациента. Графическое отображение информации визуально подскажет врачу степень отклонения рассматриваемых физиологических данных от нормы, а также ускорит процесс восприятия информации специалистом-медиком [9].

### Результаты исследования и их обсуждение

В созданной системе примером когнитивной визуализации состояния пациента служит разработанная «Тепловая карта», которая цветовым градиентом отображает границы «нормы» и «патологии» показателей крови. Также система воспроизводит текущее значение показателя крови (рис. 1).

Наименование	Норма	01.07.23 00:00	07.07.23 00:00	09.07.23 00:00	22.07.23 00:00	Исследование	Патология	Норма	Патология
Гемоглобин	120 - 150	120	150	85	45	Гемоглобин	45		
Гематокрит	35 - 47	35	47	15	32	Гематокрит		32	
Эритроциты	3.8 - 5.3	3.8	5.3	1.6	3	Эритроциты	3		
Лейкоциты	3.9 - 10.4	3.9	10.4	1	3.1	Лейкоциты	3.2		
Тромбоциты	150 - 400	150	400	10	12	Тромбоциты		123	
Общий белок	64 - 85	64	85	29	42	Общий белок	42		
Альбумин	33 - 52	33	52	24	31	Альбумин		31	
$\alpha$ -амилаза крови	28 - 100	28	100	10	28	$\alpha$ -амилаза крови		28	
Глюкоза	3.3 - 5.5	3.3	5.5	0.5	3	Глюкоза		3.1	
Билирубин общий	0 - 21		21		14	Билирубин общий			14
Билирубин прямой	0 - 5		5		2	Билирубин прямой			2
Билирубин непрямой	6.6 - 20	6.6	20	0.5	4	Билирубин непрямой	4.3		
Мочевина	2.4 - 8.3	2.4	8.3	2	2	Мочевина		2.4	
Креатинин	53 - 97	53	97	30	50	Креатинин			50

Рис. 1. Фрагмент рабочей области и «Тепловой карты» СУМД

На рис. 1 градиент зеленого цвета указывает на границы «нормы» каждого показателя крови. Градиент красно-желтого цвета указывает на нижнюю границу «патологии». Градиент желто-красного цвета указывает на верхнюю границу «патологии». Чем ближе значение параметра крови к красному цвету, тем опаснее состояние пациента.

В программную реализацию СУМД «MedData» включена специально подготовленная «Карта-радар» (рис. 2). Эта карта разрабатывалась авторами статьи для более полного и наглядного представления информации с целью последующей интерпретации специалистами. Например, по материалам рис. 2 видно, что в диапазон «патология» попадает значение параметра «тромбоциты».

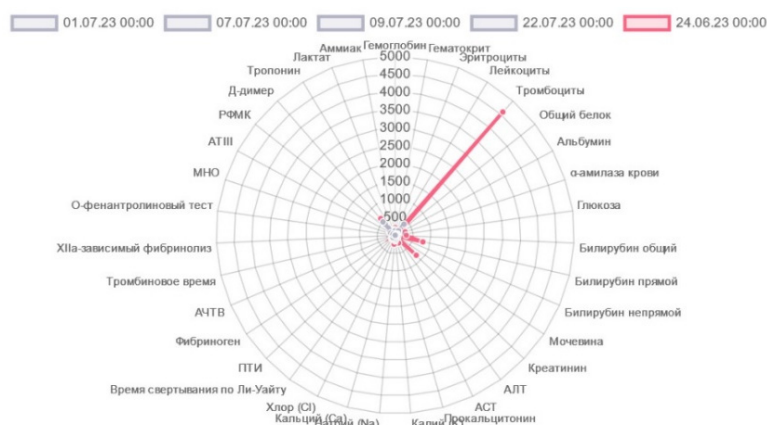


Рис. 2. Карта-радар в СУМД



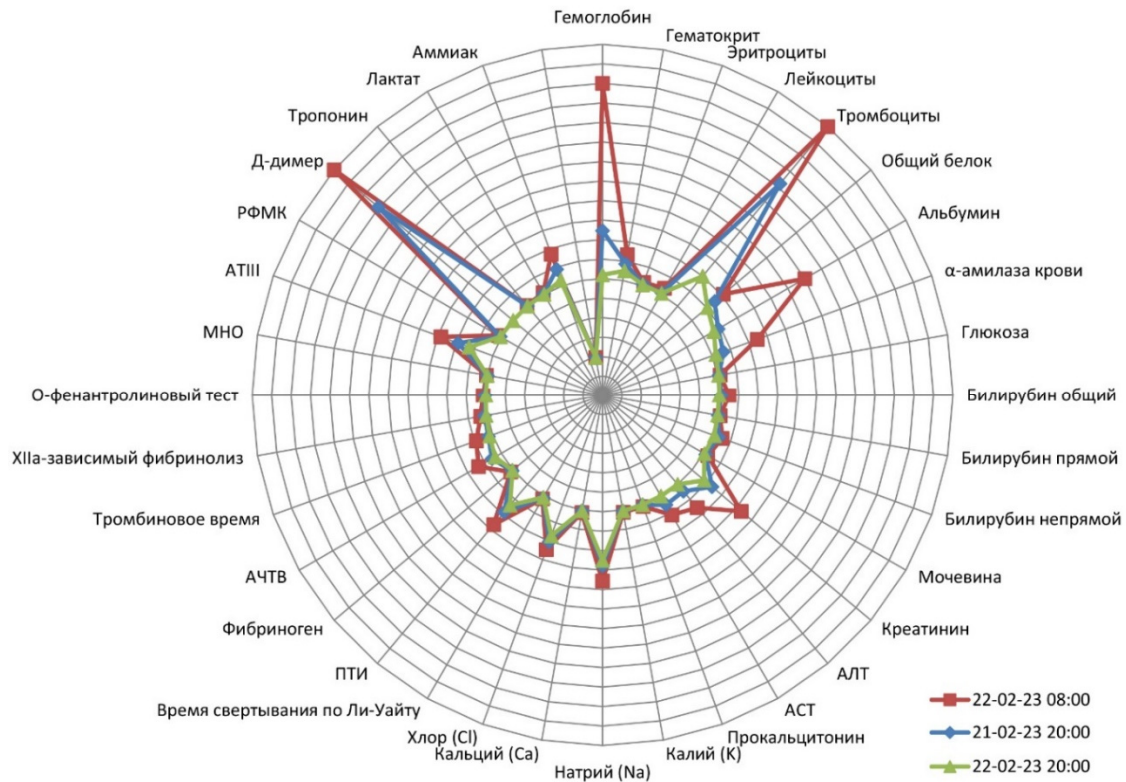


Рис. 4. Карта-радар динамики исследования крови

На «Карте-радар» динамики исследования крови стало лучше видно графики изменяющихся параметров, но наглядности представления информации о состоянии пациента, как видно по рисунку, опять нет.

Во время экспериментальной работы в СУМД «MedData» врачи-реаниматологи одного из Пензенских ЛПУ пришли к выводу, что графическое отображение тепловой карты с учетом всех параметров крови и карты-радар также с полным набором значений показателей крови одного пациента, не дают наглядной картины о его состоянии. Они обратили внимание на скученность графиков на карте-радар, отсутствие интервалов «нормы» и «патологий».

В процессе поиска наиболее информативного графического представления состояния пациентов была проанализирована работа студентов-медиков Норвежского исследовательского центра. Они рассматривали четыре варианта графической визуализации состояния пациента в виде: таблицы со значениями показателей крови; абсолютного мультиграфа; спарклайнов и относительного мультиграфа. Подобные графические представления наиболее наглядны и просты для изучения [10]. По результатам изучения работы медиков авторы статьи приняли решение о построении графиков динамики каждого показателя в виде спарклайнов (рис. 5).

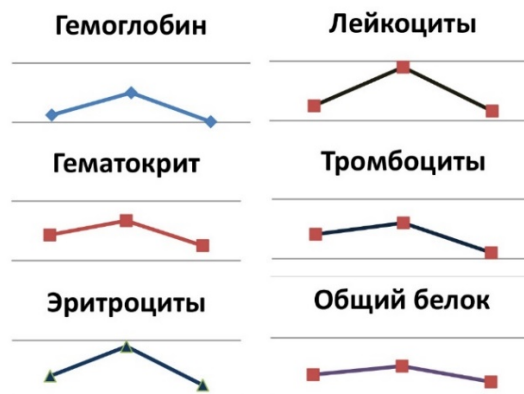
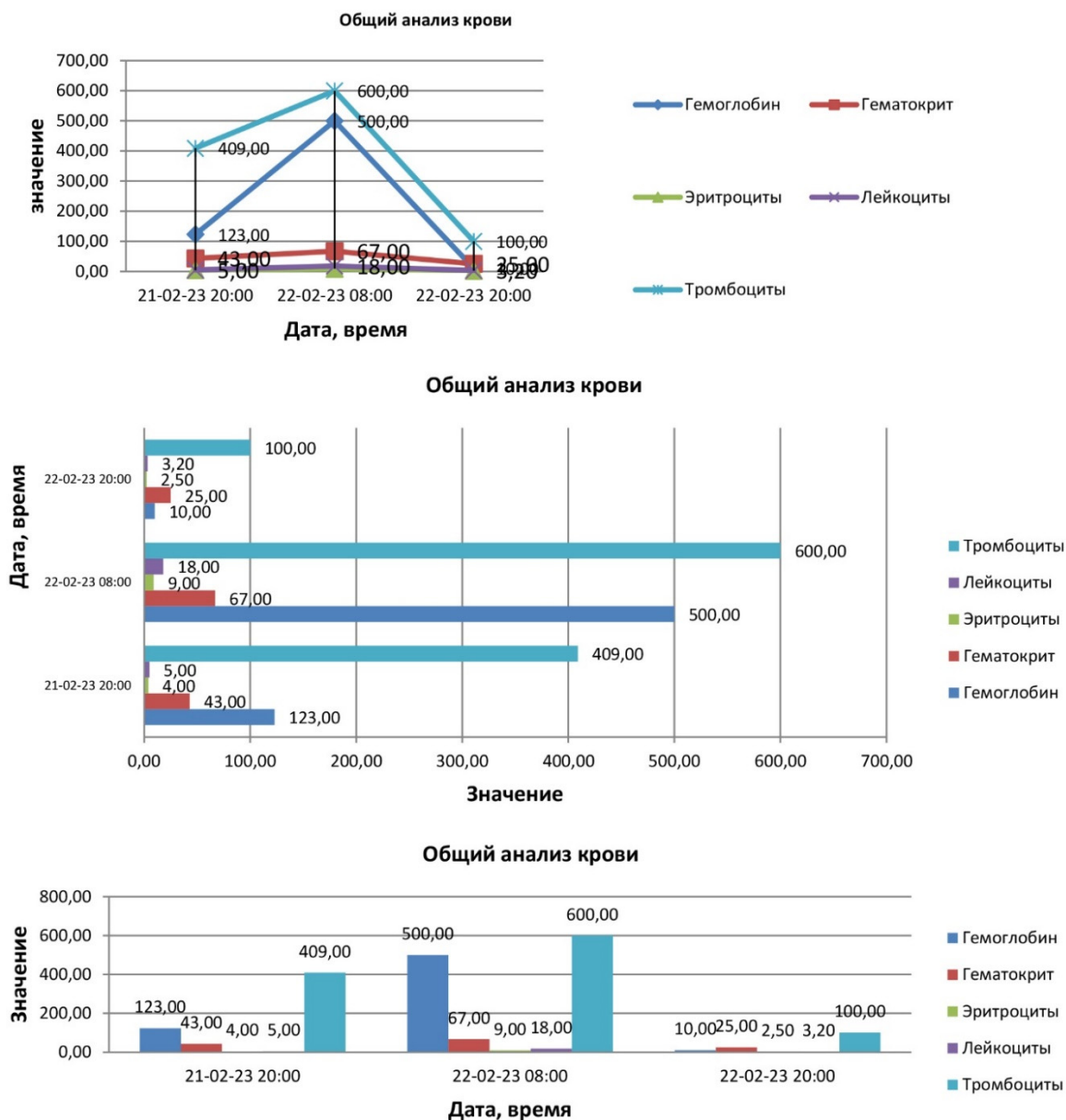


Рис. 5. Пример отображения показателей крови в динамике в виде спарклайнов

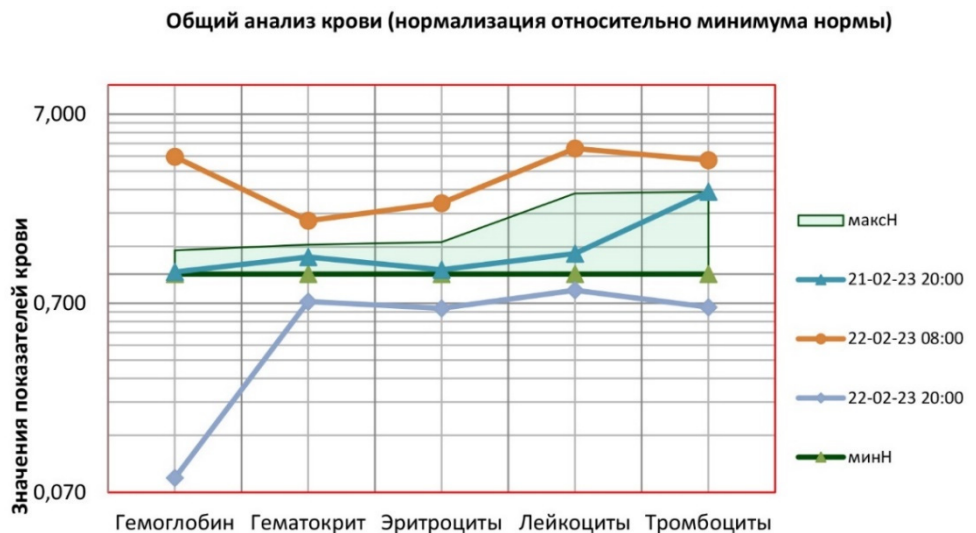
При оценивании полученных результатов сделан вывод о том, что приведенные варианты графической визуализации информации не дают полной картины сведений о состоянии пациента на время его нахождения в ОРИТ. Поэтому, по мнению авторов статьи, необходимо подготовить план эксперимента, для этого провести исследования по группировке показателей крови по признаку их функционального значения (например, с учетом выполняемых органами функций). Таким образом сформировано несколько подгрупп показателей крови. Для каждой подгруппы с целью оценки адекватности исследований норвежских медиков по значениям соответствующих параметров крови построены несколько типов диаграмм и таблица, отражающая их числовые значения (рис. 6).



Общий анализ крови	Дата, время			Единицы измерения
	21-02-23 20:00	22-02-23 08:00	22-02-23 20:00	
Гемоглобин	123,00	500,00	100,00	г/л
Гематокрит	43,00	67,00	25,00	%
Эритроциты	4,00	9,00	2,50	*10 <sup>е12</sup> /л
Лейкоциты	5,00	18,00	3,20	*10 <sup>е9</sup> /л
Тромбоциты	409,00	600,00	100,00	*10 <sup>е9</sup> /л

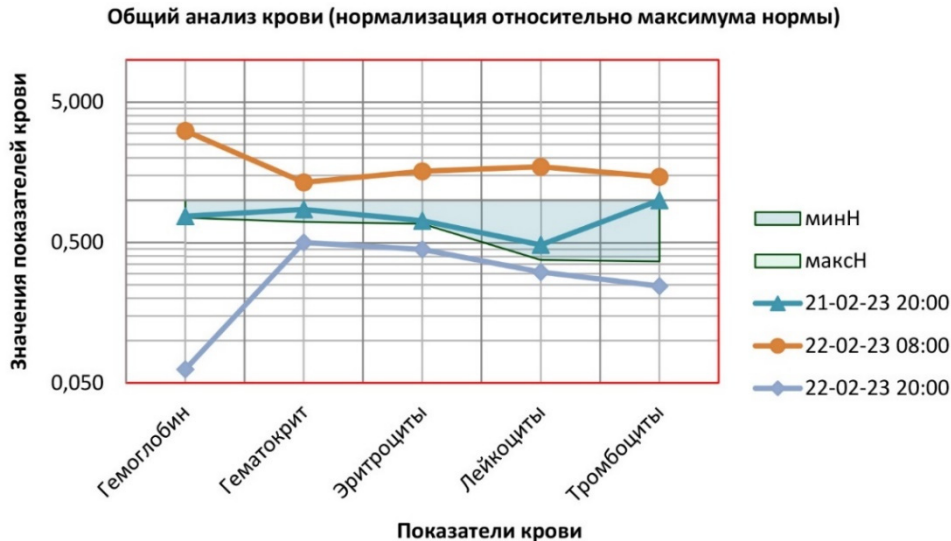
Рис. 6. Пример типов диаграмм и таблица со значениями показателей крови подгруппы «Общий анализ крови»

Проведенный авторами статьи анализ представленных графиков показывает низкую информационную составляющую подобных результатов. Неинформативными и ненаглядными являются графические сведения о состоянии пациента, отсутствуют данные о попадании показателей крови в интервалы «норма» и «патология». Поэтому было принято решение сменить тип диаграммы, указать интервал «нормы» и провести нормировку шкалы, так как все показатели крови имеют разную размерность (рис. 7).



Показатели крови

а)



Показатели крови

б)

Рис. 7. Диаграмма отображения показателей крови подгруппы «Общий анализ крови» с учетом нормировки

Диаграммы на рис. 7 нормированы по показателям «минимум нормы» (а) и «максимум нормы» (б). По мнению авторов статьи, представленные диаграммы являются наиболее информативными по сравнению с гистограммами и спарклайнами. Но для их анализа по-прежнему приходится концентрировать внимание. Учитывая данное обстоятельство, авторы предлагают подобрать такой тип диаграмм, при котором четко визуализировался бы интервал «нормы». Подобный подход реализован в разработанной СУМД с помощью программного модуля С#. Пример практической визуализации графической информации представлен на рис. 8.

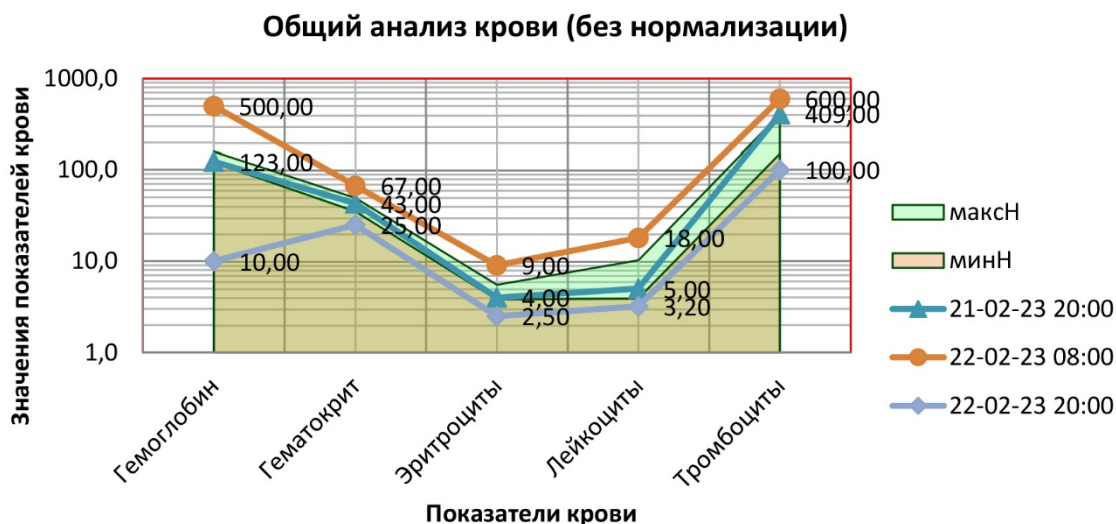


Рис. 8. Диаграмма подгруппы «Общий анализ крови»

Таким образом, по мнению авторов, информация на диаграмме подгруппы «Общий анализ крови» представлена наиболее наглядно. Виден интервал «нормы», а также просматриваются значения показателей крови на день и время их анализа, что облегчает интерпретацию полученных результатов.

### Заключение

Проанализировав способы визуализации динамических данных, можно сделать вывод о том, что наглядное представление нормального/критического состояния пациента отображают «Тепловая карта» и диаграмма с областями с учетом распределения показателей крови по функциональному значению. Визуальная информация о состоянии пациента в форме когнитивного графа не только показывает его реальное состояние, но и представляется в удобном виде врачу ОРИТ [3–5, 11], что снижает временные затраты на принятие решения для восстановления нормального состояния пациента.

### Список литературы

1. Соловов А. В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения : учеб. пособие. Самара : СГАУ, 1995. 138 с.
2. Зенкин А. А. Когнитивная компьютерная графика : учеб. пособие. М. : Наука, 1991. 192 с.
3. Объективная оценка тяжести состояния и прогноза у больных в критических состояниях. URL: <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970417850-KLINREK1546069392/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html>
4. Jevon P., Ewens B., Pooni J. S. Monitoring the Critically Ill Patient. 3rd ed. by. Wiley-Blackwell, 2012.
5. Реаниматология – это всегда коллективный труд. URL: <https://www.vishnevskogo.ru/news/doktor-kleuzovich-reanimatologiya-eto-vsegda-kollektivnyj-trud.html>
6. Тозик В. Т., Корпан Л. М. Компьютерная графика и дизайн. М. : Академия, 2013. 200 с.
7. Емельянова Ю. Г., Хачумов В. М. Когнитивная визуализация устойчивых физиологических и личностных факторов // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 25–30.
8. Хиггинс К. Расшифровка клинических лабораторных анализов : пер. с англ. / под ред. проф. В. Л. Эмануэля. 7-е изд. М. : Лаборатория знаний, 2016. 592 с.
9. Костенкова М. Ю., Сидорова М. А. Разработка программного модуля отображения текущего состояния пациента на основе методов когнитивной графики // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2022 : сб. тр. XXXV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов (г. Рязань, 7–9 декабря 2022 г.) / под общ. ред. В. И. Жулева. Рязань : Индивидуальный предприниматель Кожухин Александр Викторович, 2022. С. 317–319.
10. Torsvik T., Lillebo B., Mikkelsen G. Presentation of clinical laboratory results: an experimental comparison of four visualization techniques // Journal of the American Medical Informatics Association. 2013. Vol. 20. P. 325–331. doi: 10.1136/amiajnl-2012-001147
11. Марухина О. В., Берестнева О. Г., Мокина Е. Е. Визуализация и анализ многомерных экспериментальных данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 4-2. С. 90–95.



## References

1. Solovov A.V. *Proektirovanie komp'yuternykh sistem uchebnogo naznacheniya: ucheb. posobie = Designing computer systems for educational purposes : textbook*. Samara: SGAU, 1995:138. (In Russ.)
2. Zenkin A.A. *Kognitivnaya komp'yuternaya grafika: ucheb. posobie = Cognitive computer graphics : textbook*. Moscow: Nauka, 1991:192. (In Russ.)
3. *Ob"ektivnaya otsenka tyazhesti sostoyaniya i prognoza u bol'nykh v kriticheskikh sostoyaniyakh = Objective assessment of the severity of the condition and prognosis in patients in critical conditions*. (In Russ.). Available at: <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970417850-KLINREK1546069392/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html>
4. Jevon P., Ewens B., Pooni J.S. *Monitoring the Critically Ill Patient. 3rd ed.* Wiley-Blackwell, 2012.
5. *Reanimatologiya – eto vsegda kollektivnyy trud = Intensive care is always a team effort*. (In Russ.). Available at: <https://www.vishnevskogo.ru/news/doktor-kleuzovich-reanimatologiya-eto-vsegda-kollektivnyj-trud.html>
6. Tozik V.T., Korpan L.M. *Komp'yuternaya grafika i dizayn = Computer graphics and design*. Moscow: Akademiya, 2013:200. (In Russ.)
7. Emel'yanova Yu.G., Khachumov V.M. Cognitive visualization of stable physiological and personal factors. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern high-tech technologies*. 2021;(1):25–30. (In Russ.)
8. Khiggins K. *Rasshifrovka klinicheskikh laboratornykh analizov: per. s angl. 7-e izd. = Decoding of clinical laboratory analyses: translated from English. 7th ed.* Moscow: Laboratoriya znaniy, 2016:592. (In Russ.)
9. Kostenkova M.Yu., Sidorova M.A. Development of a software module for displaying the current state of the patient based on cognitive graphics methods. *Biotehnicheskie, meditsinskie i ekologicheskie sistemy, izmeritel'nye ustroystva i robototekhnicheskie komplekсы – Biomedсистемы-2022: sb. tr. XXXV Vseros. nauch.-tekh. konf. studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov (g. Ryazan', 7–9 dekabrya 2022 g.) = Biotechnical, medical and environmental systems, measuring devices and robotic complexes – Biomedsystems-2022 : sat. tr. XXXV All-Russian Scientific and Technical. conf. of students, young scientists and specialists (Ryazan, December 7-9, 2022)*. Ryazan': Individual'nyy predprinimatel' Konyakhin Aleksandr Viktorovich, 2022:317–319. (In Russ.)
10. Torsvik T., Lillebo B., Mikkelsen G. Presentation of clinical laboratory results: an experimental comparison of four visualization techniques. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2013;20: 325–331. doi: 10.1136/amiajnl-2012-001147
11. Marukhina O.V., Berestneva O.G., Mokina E.E. Visualization and analysis of multidimensional experimental data. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management*. 2016;(4-2):90–95. (In Russ.)

## Информация об авторах / Information about the authors

**Мария Юрьевна Костенкова**

соискатель,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр-д Байдукова/  
ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: marikost83@mail.ru

**Maria Yu. Kostenkova**

Applicant,  
Penza State Technological University  
(1a/11 Baidukova passage/Gagarina street,  
Penza, Russia)

**Маргарита Александровна Сидорова**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры биомедицинской инженерии,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр-д Байдукова/  
ул. Гагарина, 1а/11)  
E-mail: sidorova\_mailbox@mail.ru

**Margarita A. Sidorova**

Candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the sub-department  
of biomedical engineering,  
Penza State Technological University  
(1a/11 Baidukova passage/Gagarina street,  
Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 27.09.2023**

**Поступила после рецензирования / Revised 25.10.2023**

**Принята к публикации / Accepted 27.11.2023**