

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ  
КРОВИ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ**

Костарев С. Н. <sup>1,2,3</sup>,

Середа Т. Г. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова.

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

<sup>3</sup> Пермский институт ФСИН России, Российская Федерация.

**ALTERED LEUKOCYTE BLOOD COUNT IN COVID-19 PANDEMIC  
PERIOD**

Kostarev S. N. <sup>a, b, c</sup>,

Sereda T. G. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Perm State Agrarian-Technological University named after academician D N Prianishnikov.

<sup>b</sup> Perm National Research Polytechnic University.

<sup>c</sup> Perm Institute of the FPS of Russia, Russian Federation.

## Резюме

*Актуальность.* Возможность зоонозной передачи высокопатогенных штаммов коронавируса человеку не вызвала большой обеспокоенности у медицинских работников, что стало неожиданностью и привело к пандемии весной 2020 года, вызванной коронавирусной инфекцией. Осенью 2023 г. наблюдалось увеличения количества инфицированных людей коронавирусной инфекцией. В 2024 году наблюдаются вспышки гриппа, характеризующиеся волновым изменением температуры, что может говорить о появлении нового штамма вируса. В настоящее время представляет интерес изучение последствий влияния новой коронавирусной инфекции на иммунную систему человека. К настоящему времени были изучены иммунные ответы отдельных параметров лейкоцитарной формулы крови, но совокупному воздействию уделено недостаточно внимания, в связи с тем, что многие показатели ведут себя неоднозначно и не было возможности определить суммарное воздействие на иммунную систему. *Целью работы* является исследование моделей, описывающих динамику изменения показателей иммунограмм в период пандемии у детей и подростков, проживающих в Пермском крае. Задачи исследований заключались в анализе дифференциальных уравнений, описывающих изменение параметров иммунограмм; обобщении результатов исследований по деструкции иммунитета в результате воздействия коронавирусной инфекции; *Результаты.* Исследованы дифференциальные уравнения на экстремум и определены возрастные параметры пациентов, имеющие наибольшее отклонение показателей от референтного интервала. *Заключение.* Несмотря на то, что отдельные элементы проточного цитофотометрического анализа носят колебательный характер с большими импульсами, обобщение показателей проточного цитофотометрического анализа (ПЦФМ) показало интересную картину, характеризующуюся плавным изменением в сторону увеличения

отклонения у старшего подросткового возраста при всех исследуемых параметрах.

Показатели ПЦФМ, находящиеся в референтном интервале, имели одинаковое направление в сторону отрицательного отклонения с увеличением возраста с тем отличием, что в состоянии болезни отклонение было в два раза больше. В состоянии отсутствия заболевания превышение показателей ПЦФМ имело положительную тенденцию с увеличением возраста, а понижение показателей ПЦФМ от референтного интервала имело отрицательную тенденцию. В состоянии заболевания при пониженных иммуноглобулинах при превышении референтного интервала ПЦФМ наблюдается выпуклое отклонение в отрицательную сторону при увеличении возраста. При понижении от референтного интервала наблюдается выпуклая кривая с положительным отклонением. При повышенных иммуноглобулинах при превышении референтного интервала ПЦФМ имеет выгнутое положительное отклонение, при понижении референтного интервала ПЦФМ также имеет выгнутое положительное отклонение превышающее почти в пять раз.

**Ключевые слова:** коронавирус, SARS-CoV-2, иммунограмма, ПЦФМ, лейкоциты, системный анализ.

## **Abstract**

Relevance. A potential for zoonotic transmission of highly pathogenic coronavirus strains to humans was of little concern to health care providers, which came as a surprise and led to a coronavirus pandemic in 2020 spring. In 2023 fall, there was higher number of humans infected with coronavirus infection. In 2024, influenza outbreaks characterized by wave-like temperature changes are observed, which may indicate the emergence of a new virus strain. Currently, it is of interest to study the effects related to novel coronavirus infection on human immune system. To date, the immune responses for individual parameters from leukocyte blood formula have been studied, but insufficient attention has been paid to the cumulative impact, due to the fact that many parameters behave ambiguously and it has not been possible to determine the cumulative impact on the immunogram. The aim of the work is to investigate models describing the dynamics in immunogram changes during the pandemic in adolescents living in Perm Krai. The objectives were to analyze differential equations describing a change in immunogram parameters; to summarize study results on impaired immunity due to exposure to coronavirus infection; Results. Differential equations were analyzed and the extremum and age patient parameters with the greatest deviation from the reference interval were determined. Conclusion. Despite the fact that individual elements of flow cytophotometric analysis are oscillatory in nature with large impulses, the generalization of flow cytophotometric analysis indices showed an interesting pattern characterized by a smooth change towards increasing deviation in older adolescence for all studied parameters. Flow cytophotometric analysis indices being within the reference range had the same modality towards negative trend with increasing age only differed by the fact that in the disease state the deviation was twice as large. Without disease, the excess of flow cytophotometric analysis indicators had a positive trend with increasing age, and the decrease of flow cytophotometric analysis indicators from the reference interval had a negative trend. In the disease state with decreased immunoglobulins, when flow cytophotometric analysis exceeded the reference

interval, there was a convex deviation in the negative direction with increasing age. When decreasing from the reference interval, a convex curve with a positive trend is observed. Upon elevated immunoglobulins exceeding the reference interval flow cytophotometric analysis has a convex positive trend, whereas for at lowering the reference interval flow cytophotometric analysis also has a convex positive trend exceeding 5 times.

**Keywords:** coronavirus, SARS-CoV-2, immunogram, flow cytophotometric analysis, leukocytes, systemic analysis

1 **1 Введение**

2 В настоящее время стали появляться новые инфекции, вызванные зоонозной  
3 передачей высокопатогенных штаммов вирусов. Особую проблему вызвал  
4 коронавирус. Коронавирусы (CoV) представляют собой группу  
5 одноцепочечных РНК-вирусов, инфицирующих различных позвоночных.  
6 Впервые они были обнаружены у человека в 1960-х годах [5] и в основном  
7 вызывали легкие респираторные заболевания. Однако к ним относятся первый  
8 вирус атипичного тяжелого острого респираторного синдрома (SARS-CoV-1)  
9 в 2002 г. и коронавирус ближневосточного респираторного синдрома (MERS-  
10 CoV) в 2012 г., оба из которых характеризуются высокой смертностью от  
11 респираторных заболеваний. В декабре 2019 г. в провинции Wuhan (Ухань)  
12 КНР произошла мутация коронавируса SARS-CoV-1 и появился новый  
13 бетакоронавирус, получивший название SARS-CoV-2. Вопросы, связанные с  
14 лечением, профилактикой и вакцинацией населения, являются очень  
15 актуальными, в связи с чем было уделено большое влияние иммунному ответу.  
16 Оценке Т-клеточного иммунитета у переболевших COVID-19 и иммунного  
17 ответа после вакцинации посвящены исследования [6,7]. Многочисленные  
18 исследования посвящены изучению иммунитета у детей во время пандемии  
19 [3,4]. Также представлял интерес воздействия новой коронавирусной  
20 инфекции на пациентов, имеющих побочные заболевания.  
21 Иммунотерапевтические подходы к лечению и состояние липидтранспортной  
22 системы рассмотрены в работах [1,9].

23 **2 Материалы и методы исследования**

24 Материалом исследования служили иммунограммы пациентов в  
25 возрасте до 18 лет, проживающие в Пермском крае. План проведения  
26 эксперимента показан на рисунке 1 и состоял в следующем: иммунограммы  
27 детей и подростков были предварительно сгруппированы на три возрастные  
28 интервала: до трех лет, от четырех до девяти и до семнадцати лет. Далее от  
29 состояния иммуноглобулинов иммунограммы разделены на больных (С2) и

30 здоровых детей (С1). В состоянии С1 изучалось отклонение параметров  
31 проточной цитофотометрии (ПЦФМ) крови пациентов от референтного  
32 интервала в обе стороны, а также находящихся в референтном интервале.  
33 Отличие измерений в состоянии С2 состояло в предварительной сортировке  
34 иммунограмм по отклонению иммуноглобулинов, таким образом  
35 формировались два массива, учитывающие повышение или понижение от  
36 референтного интервала. Исследования были проведены на базе  
37 медицинского учреждения «Философия красоты и здоровья». Построение  
38 иммунограмм выполнено на приборе Pab Taurus. Было проанализировано около  
39 300 иммунограмм. Материалом для данных исследований являлись  
40 результаты, полученные в ранних публикациях [8,10].

### 41 3 Результаты исследования

42 Состояние иммунной системы человека может охарактеризовать  
43 иммунограмма. Иммунограмма обычно содержит три поля: массив  
44 иммуноглобулинов, поле иммунного статуса и поле показателей проточного  
45 цитофото-метрического анализа. Рассмотрим подходы математического  
46 моделирования при описании системы модулей иммунограммы [8,11].

47 Показатель иммуноглобулинов  $\Delta\Theta(\text{ИГ})$  характеризуется отклонением  
48 параметров трех иммуноглобулинов ИГА, ИГG и ИГМ

$$\Delta\Theta(\text{ИГ}) = \frac{\partial\Theta}{\partial\text{ИГА}} \Delta\text{ИИГ} + \frac{\partial\Theta}{\partial\text{ИГМ}} \Delta\text{ИИГ} + \frac{\partial\Theta}{\partial\text{ИГG}} \Delta\text{ИИГ}. \quad (1)$$

49  
50 Суммарный показатель отклонения лейкоцитарной формулы крови  $\Delta N(t)$  от  
51 возраста пациента ( $t$ ) описан параметрами проточной цитофотометрии

$$\Delta N(t) = \frac{\partial n_1}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial n_2}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial n_3}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial n_4}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial n_5}{\partial t} \Delta t, \quad (2)$$

53 где  $n_1$  – Лейкоциты,  $n_2$  – Лимфоциты,  $n_3$  – NK–клетки (CD16+CD56+),  $n_4$  – Т-  
54 хелперы,  $n_5$  – Индекс иммунорегуляции (CD4+/CD8+).

55 Суммарное отклонение показателя фагоцитозов  $\Delta F(t)$  описывается  
56 параметрами иммунного статуса

$$57 \quad \Delta F(t) = \frac{\partial f_1}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial f_2}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial f_3}{\partial t} \Delta t, \quad (3)$$

58 где  $f_1$  – Абсолютное значение фагоцитоза,  $f_2$  – Фагоцитарное число,  
59  $f_3$  – Фагоцитарный индекс.

60 В целом показатель иммунограммы  $\Delta\Phi(I)$  можно оценить по  
61 аддитивной функций отклонения параметров иммунограммы [8,10]

$$\Delta\Phi(I) = \frac{\Phi(N)^{PI} - \Phi(N)}{\Phi(N)^{PI}} + \frac{\Phi(\Theta)^{PI} - \Phi(\Theta)}{\Phi(\Theta)^{PI}} + \frac{\Phi(F)^{PI} - \Phi(F)}{\Phi(F)^{PI}}, \quad (4)$$

62 где  $PI$  – показатели референтного интервала.

63 В данном исследовании рассмотрены характерные параметры (2)  
64 цитофотометрического анализа плазмы крови пациентов.

65 В ранних исследованиях были получены зависимости полиномов  
66 отклонений Лейкоцитов, Лимфоцитов, НК–клеток, Т-хелперов, Индекса  
67 иммунорегуляции и других от возраста пациента и состояния болезни [8,10].

68 В данной работе представлял интерес обобщенный показатель ПЦФМ.

69 На первом этапе проведено исследование для всех параметров ПЦФМ,  
70 находящихся в референтном интервале и получены суммарные показатели  
71 (состояние С1) – таблица 1.

72 Зависимости показателей ПЦФМ в состоянии С1 при превышении от  
73 референтного интервала ( $\square$ РИ) представлены в таблице 2.

74 Зависимости показателей ПЦФМ в состоянии С1 при занижении от  
75 референтного интервала ( $\square$ РИ) представлены в таблице 3.

76 Рассмотрим также показатели иммунограммы ПЦФМ в состоянии С2.

77 В таблицах 4, 5 и 6 показаны результаты исследований, полученных при  
78 занижении иммуноглобулинов от референтного интервала.

79 Зависимости показателей ПЦФМ, находящиеся в референтном  
80 интервале при состоянии С2, представлены в таблице 4.

81 Результаты, полученные при превышении / понижении ПЦФМ от  
82 референтного интервала в состоянии С2 показаны в таблицах 5 и 6.

83 Результаты, показанные в таблицах 7,8 и 9 однотипны с таблицами 4,5 и 6 с  
84 одним отличием, касающегося отклонения иммуноглобулинов в сторону  
85 превышения референтного интервала.

86 Графические зависимости показателей ПЦФМ в состоянии С2 показаны  
87 на рисунке 3.

#### 88 4 Обсуждение

89 Почти все графики суммарных показателей проточной цитофотометрии  
90 имеют небольшой экстремум у детей в возрасте 2-3 лет. Несмотря на то, что  
91 отдельные параметры ПЦФМ имели колебательный характер, для всех  
92 графиков характерно плавное изменение с увеличением отклонения у  
93 подростков.

94 Показатели ПЦФМ, находящиеся в референтном интервале имели  
95 одинаковое направление в сторону отрицательного отклонения с увеличением  
96 возраста с тем отличием, что в состоянии болезни отклонение было в 2 раза  
97 больше.

98 В состоянии отсутствия заболевания превышение показателей ПЦФМ  
99 имело положительную тенденцию с увеличением возраста, а понижение  
100 показателей ПЦФМ от референтного интервала имело отрицательную  
101 тенденцию.

102 В состоянии заболевания при пониженных иммуноглобулинах при  
103 превышении референтного интервала ПЦФМ наблюдается выпуклое  
104 отклонение в отрицательную сторону при увеличении возраста. При  
105 понижении от референтного интервала наблюдается выпуклая кривая с  
106 положительным отклонением.

107 При повышенных иммуноглобулинах при превышении референтного  
108 интервала ПЦФМ имеет выгнутое положительное отклонение, при понижении

109 референтного интервала ПЦФМ также имеет выгнутое положительное  
110 отклонение в 5 раз больше.

111 **5 Выводы**

112       Обобщение показателей ПЦФМ при коронавирусной инфекции у детей  
113 и подростков, несмотря на некоторые отличия, имеет тенденцию к  
114 увеличению отклонения к старшему подростковому возрасту, на что нужно  
115 обратить внимание при дальнейшей диагностике последствий инфекции.

ТАБЛИЦЫ

**Таблица 1.** Зависимости показателей при нахождении ПЦФМ и иммуноглобулинов в референтном интервале (РИ) (состояние С1).

**Table 1.** A relation between indices for flow cytophotometric analysis and immunoglobulin level within reference interval (RI) (state C1).

Показатель Indicator	Аппроксимационная функция Approximation function
$n_1(t)$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} \Delta t = -18,18t^2 + 77,91t + 13,19$
$n_2(t)$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} \Delta t = 40,37\ln(t) + 51,44$
$n_3(t)$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} \Delta t = -12,79\ln(t) + 93,33$
$n_4(t)$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} \Delta t = 69,74\ln(t) + 16,62$
$n_5(t)$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} \Delta t = -32,29t^2 + 14,81t - 93,76$
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = -50,47t^2 + 92,72t + 97,32\ln(t) + 80,82$

**Таблица 2.** Зависимости показателей ПЦФМ в состоянии С1 при превышении референтного интервала ( $\uparrow$ РИ).

**Table 2.** A relation for flow cytophotometric analysis indicators at C1 state exceeding reference interval ( $\uparrow$ RI).

Показатель Indicator	Аппроксимационная функция Approximation function
$n_1(t)$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} \Delta t = 18,35t^2 - 80,29t + 89,02$
$n_2(t)$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} \Delta t = 24,81t^2 - 122,6t + 147,78$
$n_3(t)$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} \Delta t = -2,76\ln(t) + 6,07$
$n_4(t)$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} \Delta t = 364,2e^{-1,61t}$
$n_5(t)$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} \Delta t = 38,21t^2 - 188,49t + 231,52$
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = 30,9t^2 - 145,59t + 364,2e^{-1,61t} - 2,76\ln(t) + 473$

**Таблица 3.** Зависимости показателей ПЦФМ крови в состоянии С1 при ↓РИ\*.

**Table 3.** A relation between blood flow cytophotometric analysis indicators in at C1 state for ↓RI \*.

Показатель Indicator	Аппроксимационная функция Approximation function
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} \Delta t = 1,665t - 1,6033$
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} \Delta t = 1,665t + 2,7167$
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} \Delta t = -4,625t^2 + 26,835t - 22,21$
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} \Delta t = -22,405t^2 + 91,285t - 68,88$
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} \Delta t = 36,517\ln(t) + 0,1667$
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = -27,03t^2 + 36,517\ln(t) + 121,45t - 89,81$

\*Примечание – ↓РИ – при понижении показателей от референтного интервала.

\*Note – ↓RI - when indicators decrease below reference interval.

**Таблица 4.** Зависимости показателей ПЦФМ в РИ при состоянии С2.

**Table 4.** A relation between flow cytophotometric analysis indicators at C2 state within RI.

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = 10,53t^2 - 31,57t + 21,05$	↓	РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = -16,45t^2 + 74,34t - 32,89$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = -50t^2 + 200t - 150$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = -27,96t^2 + 121,38t - 80,92$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = -26,65t^2 + 117,44t - 78,29$		
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = -110,53t^2 + 481,59t - 321$		

\*Примечание – РИ – референтный интервал.

\*Note – RI - reference interval.

**Таблица 5.** Зависимости ↑РИ показателей ПЦФМ при состоянии С2.

**Table 5.** A relation between ↑RI flow cytophotometric analysis indicators at С2 state.

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = -43,75t^2 + 168,75t - 112,5$	↓	↑РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = 0$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = 0$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = 0$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = 0$		
Суммарный показатель Total Score	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = -43,75t^2 + 168,75t - 112,5$		

**\*Примечание** – РИ – референтный интервал, ↑РИ – при превышении показателей от референтного интервала.

**\*Note** – RI - reference interval, ↑RI - values exceeding reference interval.

**Таблица 6.** Зависимости показателей ПЦФМ лейкоцитарной формулы крови при состоянии болезни (отклонение иммуноглобулинов ИГА, ИГМ от референтного интервала).

**Table 6.** A relation between flow cytophotometric analysis indicators of leukocyte blood formula in disease (deviation of immunoglobulins IgA, IgM from reference interval).

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = 0$	↓	↓РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = 18,42t^2 - 55,26t + 36,84$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = 34,21t^2 - 102,63t + 68,42$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = -27,96t^2 + 121,38t - 80,92$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = -26,65t^2 + 117,44t - 78,29$		
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = -1,98t^2 + 80,74t - 54$		

\*Примечание – РИ – референтный интервал, ↓РИ – при занижении показателей от референтного интервала.

\*Note – RI - reference interval, ↓RI - in case of indicators below reference interval.

**Таблица 7.** Зависимости показателей лейкоцитарной формулы крови при состоянии болезни (превышение показателей иммуноглобулинов ИГА, ИГМ от референтного интервала).

**Table 7.** A relation between leukocyte blood formula indices in disease (IgA, IgM immunoglobulin indices above reference interval).

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = -43,75t + 133,33$	↑	РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = -37,5t + 116,67$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = -50t^2 + 200t - 150$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = 0$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = -37,5t^2 + 137,5t - 75$		
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = -87,5t^2 + 336,99t - 30$		

\*Примечание – РИ – референтный интервал.

\*Note – RI - reference interval.

**Таблица 8.** Зависимости показателей лейкоцитарной формулы крови при состоянии болезни (отклонение иммуноглобулинов ИГА, ИГМ от референтного интервала).

**Table 8.** A relation between leukocyte blood formula indices in disease states (deviation of immunoglobulins IgA, IgM from reference interval).

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = 0$	↑	↑РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = 0$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = 0$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = 18,42t^2 - 55,26t + 36,84$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = 45,72t^2 - 199,68t + 216,45$		
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = 64,14t^2 - 254,94t + 253,29$		

\*Примечание – РИ – референтный интервал, ↑РИ – при превышении показателей от референтного интервала.

\*Note – RI - reference interval, ↑RI - indicators exceed the reference interval.

**Таблица 9.** Зависимости показателей лейкоцитарной формулы крови при состоянии болезни (отклонение иммуноглобулинов ИГА, ИГМ от референтного интервала).

**Table 9.** A relation between leukocyte blood formula indices in disease states (deviated immunoglobulins IgA, IgM from the reference interval).

Показатель Indicator	Зависимость Dependence	ИГА, ИГМ IgA, IgM	Status *
$n_1$	$\frac{\partial n_1}{\partial t} = 0$	↑	↓РИ
$n_2$	$\frac{\partial n_2}{\partial t} = 10,52t^2 - 31,57t + 21,05$		
$n_3$	$\frac{\partial n_3}{\partial t} = 15,79t^2 - 47,37t + 31,58$		
$n_4$	$\frac{\partial n_4}{\partial t} = 0$		
$n_5$	$\frac{\partial n_5}{\partial t} = 0$		
Суммарный показатель Total Score	$\Delta N(t) = 26,31t^2 - 78,94t + 52,6$		

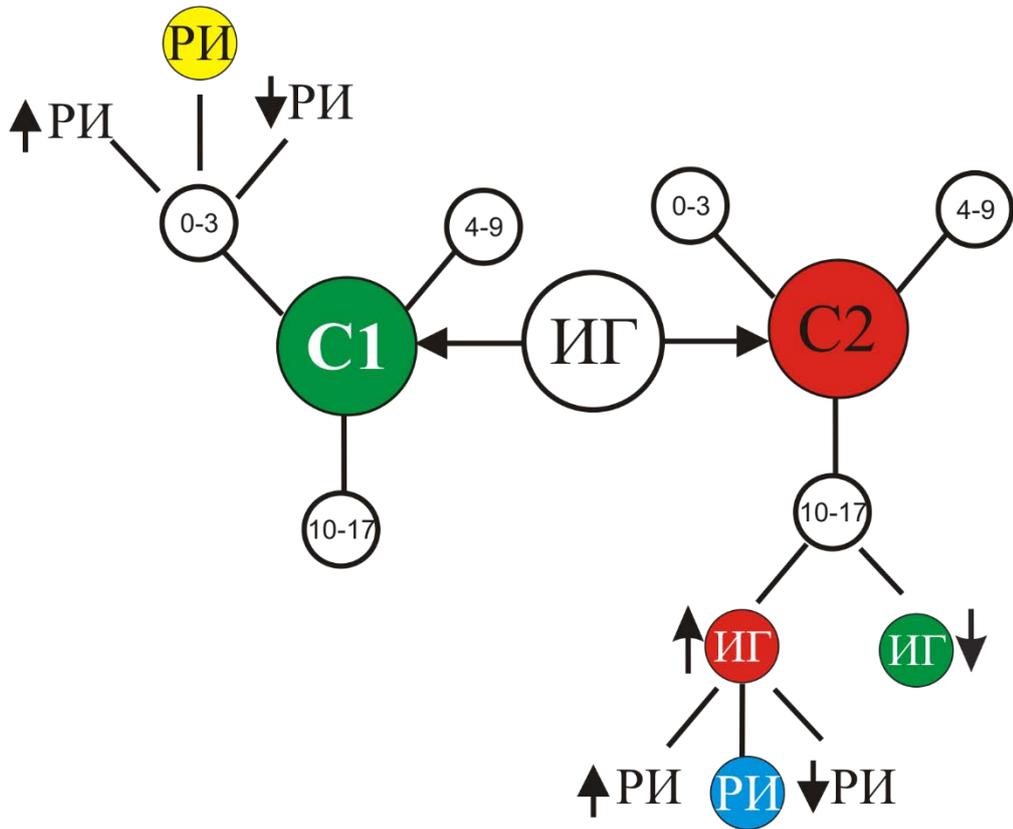
\***Примечание** – РИ – референтный интервал, ↓РИ – при понижении показателей от референтного интервала.

\***Note** - RI - reference interval, ↓ RI - values below reference interval.

РИСУНКИ

Рисунок 1. План проведения эксперимента.

Figure 1. Experimental design.



**Рисунок 2.** Зависимости отклонения суммарных показателей ПЦФМ ( $\Delta N(t) * 10^{-3}$ ) в состоянии С1 от возраста пациентов ( $t$ ) и отклонения от референтного интервала (РИ).

**Figure 2.** A relation between deviation modality for total flow cytophotometric analysis ( $\Delta N(t) * 10^{-3}$ ) indices at C1 state and patient age ( $t$ ) and deviation from reference interval (RI).

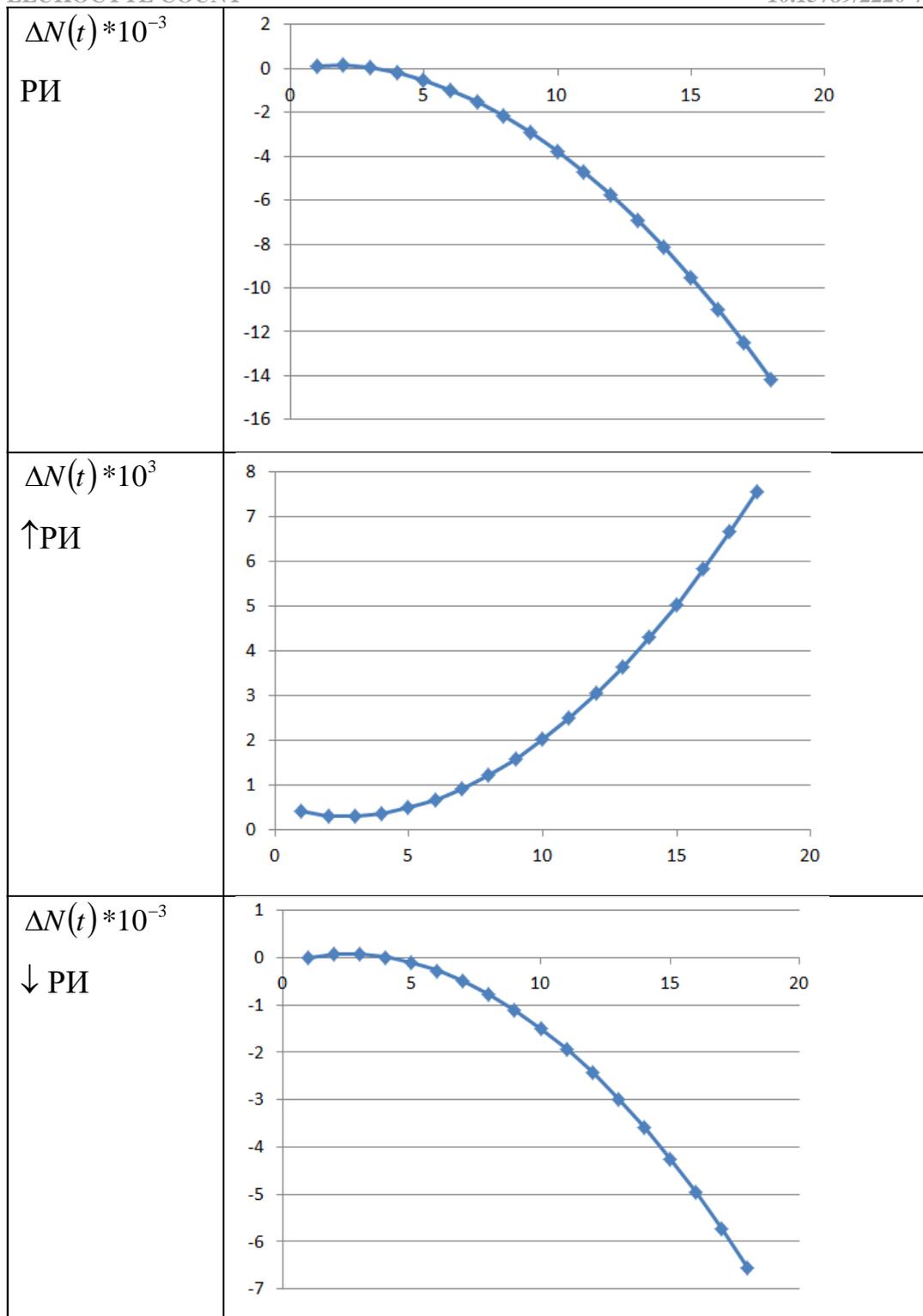


Рисунок 2. Зависимости отклонения суммарных показателей ПЦФМ ( $\Delta N(t) * 10^{-3}$ ) в состоянии S1 от возраста пациентов ( $t$ ) и отклонения от референтного интервала (РИ)

**Рисунок 3.** Зависимости отклонения суммарных показателей ПЦФМ ( $\Delta N(t)$ ) в состоянии С2 от возраста пациентов ( $t$ ), отклонения от референтного интервала (РИ) при пониженных (ИГА, ИГМ↓) / повышенных (ИГА, ИГМ↑) уровнях иммуноглобулинов.

**Figure 3.** A relation between deviation modality for total flow cytophotometric analysis indices at C2 state and patient age ( $t$ ), deviation from the reference interval (RI) at decreased (IgA, IgM ↓)/increased (IgA, IgM ↑) immunoglobulin levels.

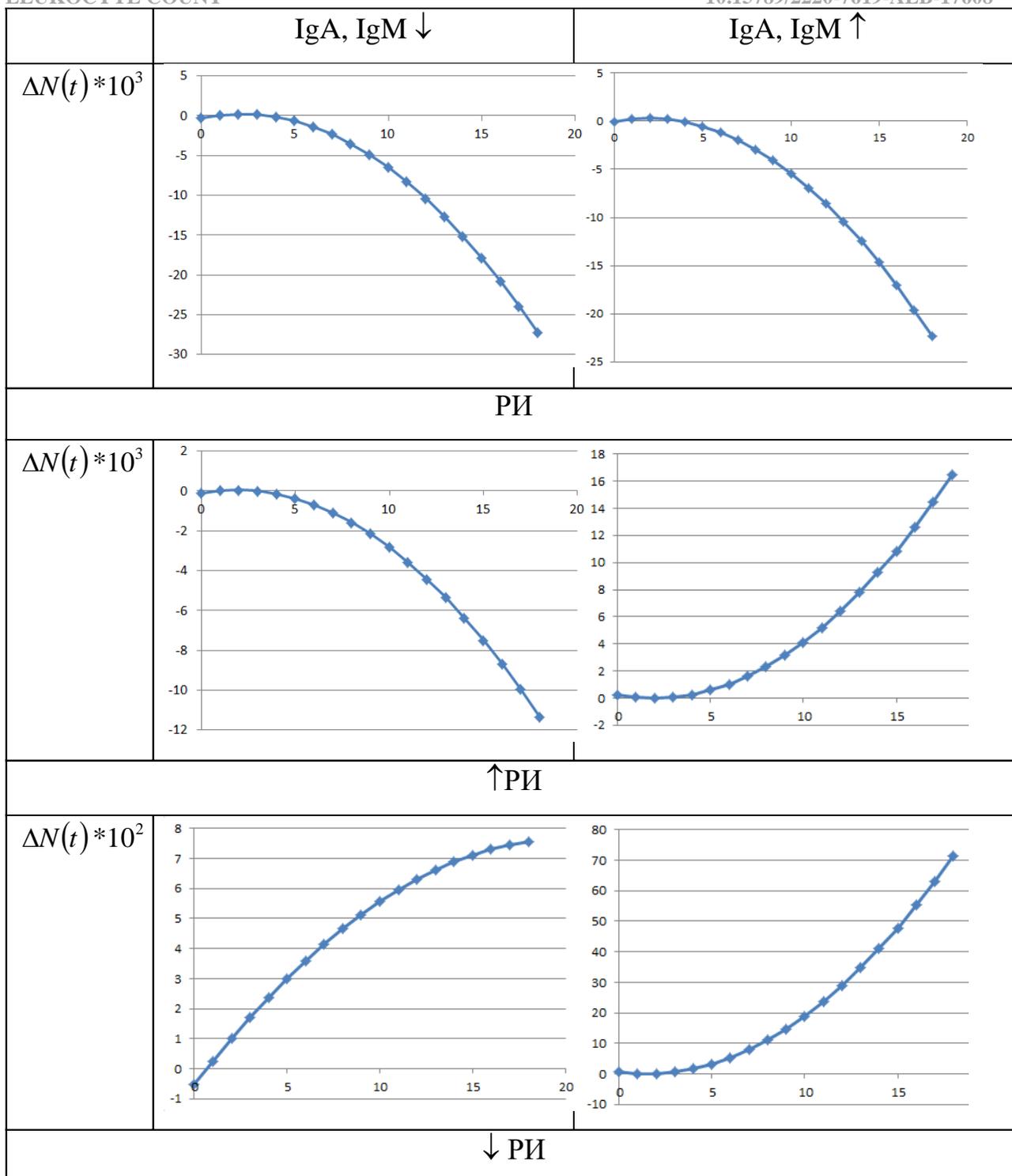


Рисунок 3. Зависимости отклонения суммарных показателей ПЦФМ ( $\Delta N(t)$ ) в состоянии С2 от возраста пациентов ( $t$ ), отклонения от референтного интервала (РИ) при пониженных (IgA, IgM ↓)/ повышенных (IgA, IgM ↑) уровнях иммуноглобулинов

## ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ\_МЕТАДААННЫЕ

### Блок 1. Информация об авторе ответственном за переписку

**Костарев Сергей Николаевич** – Доктор технических наук, Профессор кафедры ИТАС, Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова; Профессор кафедры зоотехнии, Пермский институт ФСИН России, Российская Федерация;

адрес: 614039, Пермь, Революции, 52в – 404;

телефон: 8(906)878-39-29;

ORCID: [0000-0002-3097-7037](https://orcid.org/0000-0002-3097-7037);

e-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

**Kostarev Sergey Nikolaevich** – Dr. Sci. Tech., Professor of the Department ITAS of Perm National Research Polytechnic University, Professor of the Department of Life Safety, Perm State Agrarian-Technological University named after academician D N Prianishnikov, Professor of the Department of Animal Science, Perm Institute of the FPS of Russia, Russian Federation;

telephone: 8(906)878-39-29;

ORCID: [0000-0002-3097-7037](https://orcid.org/0000-0002-3097-7037);

e-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

### Блок 2. Информация об авторах

**Серeda Татьяна Геннадьевна** – Доктор технических наук, Профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация;

e-mail: [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

**Tatayna Sereda** – Dr.Sci.Tech., Professor of the Department of Life Safety, Perm

**Блок 3. Метаданные статьи**

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ КРОВИ  
В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

STUDY OF CHANGES IN THE LEUKOCYTE BLOOD COUNT DURING THE  
PANDEMIC PERIOD

**Сокращенное название статьи для верхнего колонтитула:**

АНАЛИЗ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ ФОРМУЛЫ КРОВИ  
LEUKOCYTE COUNT

**Ключевые слова:** коронавирус, SARS-CoV-2, иммунограмма, ПЦФМ,  
лейкоциты, системный анализ.

**Keywords:** coronavirus, SARS-CoV-2, immunogram, flow cytophotometric  
analysis, leukocytes, systemic analysis.

Оригинальные статьи.

Количество страниц текста – N, количество таблиц – 9, количество рисунков –  
3.

22.02.2024

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Порядковый номер ссылки	Авторы, название публикации и источника, где она опубликована, выходные данные	Ф.И.О., название публикации и источника на английском языке	Полный интернет-адрес (URL) цитируемой статьи и/или ее DOI
1	Абакушина, Е. В. Иммунотерапевтические подходы в лечении COVID-19 / Е. В. Абакушина // Гены и Клетки. – 2020. – Т. 15, № 4. – С. 19-26. – DOI 10.23868/202012003	Immunotherapeutic approaches in the treatment of COVID-19	<a href="https://genescells.ru/2313-1829/article/view/121962/kk_KZ">https://genescells.ru/2313-1829/article/view/121962/kk_KZ</a>
2	Абдуллаева, К. А. Состояние иммунологического статуса больных постковидной пневмонией / К. А. Абдуллаева // Экономика и социум. – 2022. – № 11-1(102). – С. 376-379	State of the immunological status of patients with post-COVID pneumonia	<a href="https://www.iupr.ru/_files/ugd/b06fdc_5d6db1d800194816ba96b46a4e4e6d24.pdf?index=true">https://www.iupr.ru/_files/ugd/b06fdc_5d6db1d800194816ba96b46a4e4e6d24.pdf?index=true</a>

3	Доценко, Т. М. Здоровье детей, иммунитет, иммунопрофилактика в условиях экологического неблагополучия / Т. М. Доценко, Н. В. Бугашева, О. Н. Парахина // Главврач. – 2019. – № 12. – С. 52-56. – DOI 10.33920/med-03-1911-05	Importance of preliminary and periodic medical examinations for protecting health of employees of river, sea and mixed (river-sea) navigation	<a href="https://panor.ru/articles/zdorove-detey-immunitet-immunoprofilaktika-v-usloviyakh-ekologicheskogo-neblagopoluchiya/32078.html#">https://panor.ru/articles/zdorove-detey-immunitet-immunoprofilaktika-v-usloviyakh-ekologicheskogo-neblagopoluchiya/32078.html#</a>
4	Есенбекова, Э. Ж. Особенности иммунного ответа у детей на новую коронавирусную инфекцию / Э. Ж. Есенбекова, Г. К. Жиемуратова, Г. Б. Жаксылыкова // Новый день в медицине. – 2022. – № 9(47). – С. 74-78	Features of the immune response of children to a new coronavirus infection	<a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50418748">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50418748</a>

5	История изучения и современная классификация коронавирусов (Nidovirales: Coronaviridae) / М. Ю. Щелканов, А. Ю. Попова, В. Г. Дедков [и др.] // Инфекция и иммунитет. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 221-246. – DOI 10.15789/2220-7619-NOI-1412	History of investigation and current classification of coronaviruses ( <i>Nidovirales: Coronaviridae</i> )	<a href="https://iimmun.ru/iimm/article/view/1412">https://iimmun.ru/iimm/article/view/1412</a>
6	Клеточный и гуморальный иммунный ответ после введения комбинированной векторной вакцины Гам-КОВИД-Вак / Е. В. Инвияева, В. В. Вторушина, Ю. С. Драпкина [и др.] // Инфекция и иммунитет. – 2022. – Т. 12, № 6. – С. 1051-1060. – DOI 10.15789/2220-7619-PCV-1975.	Post-Gam-COVID-Vac combined vector vaccine cellular and humoral immune response	<a href="https://iimmun.ru/iimm/article/view/1975">https://iimmun.ru/iimm/article/view/1975</a>

7	Оценка специфического Т-клеточного иммунитета у переболевших и вакцинированных против COVID-19 / Т. А. Платонова, М. С. Скляр, А. А. Голубкова [и др.] // Журнал инфектологии. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 96-104. – DOI 10.22625/2072-6732-2022-14-1-96-104	Assessment of specific T-cell immunity in patients who have been ill and vaccinated against COVID-19	<a href="https://journal.niidi.ru/jofin/article/view/1313">https://journal.niidi.ru/jofin/article/view/1313</a>
8	Системный анализ и математическое моделирование инфекционной безопасности заболевания, вызываемого штаммами коронавируса COVID-19 / С. Н. Костарев, Р. А. Файзрахманов, Н. А. Татарникова [и др.] // Известия Юго-Западного	System Analysis and Mathematical Modeling of Infection Safety Human Caused by COVID-19 Coronavirus Strains	<a href="https://uprinmatus.elpub.ru/jour/article/view/105">https://uprinmatus.elpub.ru/jour/article/view/105</a>

	государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 76-94. – DOI 10.21869/2223-1536-2023-13-2-76- 94		
9	Юпатов, Г. И. Противовирусный иммунитет и состояние липидтранспортной системы / Г. И. Юпатов, М. Л. Доценко // Медицинская панорама. – 2002. – № 8. – С. 22.	Antiviral immunity and the state of the lipid transport system	<a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48497533">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48497533</a>
10	Kostarev S., Komyagina O., Fayzrakhmanov R., Kurushin D., Tatarnikova N., Novikova O., Sereda		<a href="https://www.mdpi.com/1660-4601/19/20/13669">https://www.mdpi.com/1660-4601/19/20/13669</a>

	<p>T. Impact of the New Coronavirus Infection on the Immune System of Children and Adolescents in the Region of the Russian Federation // International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022. T. 19(20), C. 13669. DOI: 10.3390/ijerph192013669</p>		
11	<p>Sereda T.G., Kostarev S.N., Kochinov Y.A., Kochinova T.V. Building a tool model for the study of the ecosystem "coronavirus - Vector - human - Environment" // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. T. 548 (4). C. 042030</p>		<p><a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/4/042030">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/4/042030</a></p>