

© ДУНАЕВСКАЯ С. С., ЧЕРЕДНИЧЕНКО М. В., МАКАРСКАЯ Г. В.

УДК 616.126.423-005.4-089

DOI: 10.20333/25000136-2022-2-56-61

## Особенности хемилюминесценции нейтрофилов у больных кардиохирургического профиля в послеоперационном периоде

С. С. Дунаевская<sup>1</sup>, М. В. Чередниченко<sup>2</sup>, Г. В. Макарская<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск 660022, Российская Федерация

<sup>2</sup> Красноярская краевая клиническая больница, Красноярск 660022, Российская Федерация

<sup>3</sup> Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск 660036, Российская Федерация

**Цель исследования.** Изучить изменения показателей люминол-зависимой хемилюминесценции нейтрофилов у кардиохирургических больных в раннем послеоперационном периоде.

**Материал и методы.** Проведено когортное проспективное исследование, включающее 45 пациентов кардиохирургического профиля, с проведенной срединной стернотомией. По половому составу клиническая группа была представлена 37 (82,2 %) мужчинами и 8 (17,8 %) женщинами, средний возраст в группе составил 59,29 года [37,2; 72,1]. Хемилюминесцентный анализ был проведен в предоперационном периоде и на 1-3 сутки после операции.

**Результаты.** Оценка функциональной активности лейкоцитов является важным параметром, характеризующим гомеостаз и защитные реакции макроорганизма. Анализ реактивности лейкоцитов является значимым параметром при развитии различных патологических состояний, в том числе и операционном стрессе. Так как, при функциональной активации лейкоцитов увеличивается продукция цитотоксических и биологически активных веществ, оказывающих влияние на патогенез развития воспалительной реакции. Обнаружено увеличение скорости образования активных форм кислорода как при спонтанной, так и при активированной люминолом реакции и определялась суммарная функциональная активность нейтрофилов. Можно предположить, что при исследуемом патологическом процессе реакция формирования активных радикалов кислорода в нейтрофильных гранулоцитах идет в большей степени по миелопероксидазному пути.

**Заключение.** Таким образом, индуцирование реакции люминолом вызвало увеличение продукции активных форм кислорода, что позволяет судить о повышении резервных метаболических возможностей нейтрофильных гранулоцитов у больных в раннем послеоперационном периоде.

**Ключевые слова:** кардиохирургия, операционный стресс, нейтрофилы, хемилюминесценция, активные формы кислорода.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Дунаевская СС, Чередниченко МВ, Макарская ГВ. Особенности хемилюминесценции нейтрофилов у больных кардиохирургического профиля в послеоперационном периоде. *Сибирское медицинское обозрение.* 2022;(2):56-61. DOI: 10.20333/25000136-2022-2-56-61

## Features in chemiluminescence of neutrophils in cardiac surgical patients in the postoperative period

S. S. Dunaevskaya<sup>1</sup>, M. V. Cherednichenko<sup>2</sup>, G. V. Makarskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prof. V. F. Voyno-Yasensky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk 660022, Russian Federation

<sup>2</sup> Krasnoyarsk regional hospital, Krasnoyarsk 660022, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Computational Modeling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

**The aim of the research.** To study the changes in luminol-dependent chemiluminescence of neutrophils in cardiac surgical patients in the early postoperative period.

**Material and methods.** A cohort prospective study was conducted, enrolling 45 cardiac surgical patients after medial sternotomy. The gender composition of the clinical group was 37 (82.2 %) men and 8 (17.8 %) women, the average age in the group was 59.29 [37.2; 72.1] years. Chemiluminescent analyses were performed in the preoperative period and 1-3 days after surgery.

**Results.** Evaluation of functional activity of leukocytes is an important parameter characterising homeostasis and protective reactions of the macroorganism. Leukocyte reactivity analysis is a significant parameter in development of various pathological states, including operational stress since functional activation of white blood cells increases the production of cytotoxic and biologically active substances affecting the pathogenesis of the development of an inflammatory reaction. An increase in the rate of formation of reactive oxygen species was found in both spontaneous and luminol-activated reactions and the total functional activity of neutrophils was determined. It may be assumed that in the pathological process under study, the reaction of formation of reactive oxygen radicals in neutrophilic granulocytes occurs, to a greater extent, through the myeloperoxidase pathway.

**Conclusion.** Thus, the induction of the reaction by luminol caused an increase in the production of reactive oxygen species, which lets us assume the increase in the reserve metabolic capabilities of neutrophil granulocytes in patients in the early postoperative period.

**Key words:** cardiac surgery, operational stress, neutrophils, chemiluminescence, reactive oxygen species.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

**Citation:** Dunaevskaya SS, Cherednichenko MB, Makarskaya GB. Features in chemiluminescence of neutrophils in cardiac surgical patients in the postoperative period. *Siberian Medical Review.* 2022;(2):56-61. DOI: 10.20333/25000136-2022-2-56-61

Актуальность исследований, посвященных изменениям свободно-радикальных процессов при различных патологических состояниях не вызывает сомнений и обусловлена накопленным экспериментальным и клиническим материалом. Основой данного процесса является генерация свободных радикалов, повреждающих митохондриальные мембраны, что приводит к нарушению энергетического потенциала клетки. Происходит угнетение окислительного фосфорилирования и дезэнергизация митохондриального матрикса, что приводит к развитию окислительного стресса. Известно, что мембрана митохондрий на 75 % состоит из белков различных фракций, и именно они являются первичными мишенями для активных форм кислорода (АФК) в митохондриях [1-4].

Образование АФК также направлено на элиминацию микроорганизмов, именно поэтому недостаточное образование АФК можно расценивать как предиктор недостаточности неспецифического звена иммунитета. Прогностически важным фактором благоприятного течения послеоперационного периода является достаточная генерация АФК, а также адекватный ответ на стандартный стимул. Одним из диагностически значимых способов оценки генерации АФК является хемилюминесцентный метод, эффективность которого повышается при использовании активаторов хемилюминесценции, таких как люминол и люциноген [5-8].

Лидирующей в структуре заболеваемости и летальности на протяжении многих лет является патология сердечно-сосудистой системы. По поводу развития декомпенсации и осложненного течения сердечно-сосудистой патологии ежегодно проводится большое количество хирургических вмешательств, таких как коронарное шунтирование, коррекция приобретенных или врожденных пороков сердца и другой патологии, также известно, что количество операций ежегодно увеличивается. Несмотря на активное внедрение в хирургическую практику малоинвазивных и эндоваскулярных вмешательств, доля открытых операций по прежнему сохраняется значительной и в среднем составляет около 60 тысяч операций. Проведение оперативного вмешательства приводит к развитию в раннем послеоперационном периоде операционного стресса, патогенетические механизмы которого недостаточно изучены [9-15].

Таким образом, проведение хемилюминесцентного анализа позволит определить особенности изменений свободно-радикальных процессов в развитии операционного стресса у пациентов кардиохирургического профиля.

Цель исследования: изучить особенности показателей хемилюминесценции нейтрофилов у кардиохирургических больных в раннем послеоперационном периоде.

## Материал и методы

Проведенная работа являлась когортным проспективным исследованием, и включало 45 больных с проведенной операцией на сердце, с операционным доступом срединная стернотомия, проходивших лечение в краевой клинической больнице г. Красноярска в кардиохирургическом отделении за период 2019-2021 гг. Исследование было одобрено на заседании локального этического комитета Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого протокол 3-21 от 2.04.2021 года. Группа контроля включала 75 практически здоровых лиц, не имеющих в анамнезе сопутствующей патологии по сердечно-сосудистой системе.

Пациентам клинической группы были выполнены следующие оперативные вмешательства: аортокоронарное шунтирование – 23 (51,1 %) пациентам, операции на клапанах сердца – 15 (33,3 %) пациентам, операции на аорте – 7 (15,6 %) пациентам.

По половому составу клиническая группа была представлена 37 (82,2 %) мужчинами и 8 (17,8 %) женщинами, средний возраст в группе составил 59,29 [37,2; 72,1] года.

При сборе анамнеза была выявлена следующая сопутствующая патология: пациентов с сахарным диабетом было 17 (37,7 %), с хроническими obstructивными заболеваниями легких – 20 (44,4 %), с остеопорозом грудины – 29 (64,4 %) пациентов. Индекс массы тела у пациентов в клинической группе составил 28,9 [25,8; 32,2].

Венозную кровь выделяли в стандартные пробирки с гепарином, адгезированном на стенках, и хранили до исследования при комнатной температуре не более 2-х часов. При проведении хемилюминесцентного анализа первым этапом центрифугировали периферическую кровь пациента в градиенте плотности фиколл-верографина, с целью выделения нейтрофилов. Эритроциты крови удаляли с помощью метода осмотического шока. Жизнеспособность нейтрофилов в полученной суспензии составляла не менее 97 %.

Перед проведением хемилюминесцентной оценки функциональной активности клеток крови ее разводили 10-кратно раствором Хенкса (pH=7,2) без фенолового красного. Функциональную активность клеток крови оценивали методом Тоно-Оке в модификации В. М. Земскова с соавт. при антигенной стимуляции клеток *in vitro* частицами латекса (активированная) или без нее (спонтанная) по кинетике генерации АФК, регистрируемой методом люминол зависимой хемилюминесценции с использованием 36-канальный аппаратно-программного комплекса «Хемилюминометр CL 3604 – lgraph.exe» (СКТБ «Наука», Россия, Красноярск). Продолжительность

записи хемилюминесцентной кривой составляла 90 минут при температуре в регистрационной камере +37 °С. Состав реакционной смеси регистрационной кюветы включал 200 мкл  $2 \times 10^{-4}$  М люминола («Sigma», США) в растворе Хенкса (рН=7,2), 100 мкл нейтрофилов крови, 50 мкл суспензии частиц монодисперсного латекса (ФГУП Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С. В. Лебедева, С-Петербург) концентрацией  $5 \times 10^8$  част./мл, опсонизированных белками пуловой сыворотки крови человека, для активации *in vitro* фагоцитарной активности (активированная) или 50 мкл раствора Хенкса (спонтанная). Подсчет количества профагоцитировавших клеток производили в окрашенных в течение 15 минут 0,25 % генцианвиолетом на 3 % уксусной кислоте образцах крови из кювет после записи хемилюминесцентной кинетики микроскопированием при 300-кратном увеличении в камере Горяева. Люминол (5-Amino-2,3-dihydro-1,4-Phthalazinedione) (специфичный в отношении гидроперекиси, гидроксила, гипохлоританиона и др.) использовали для усиления хемилюминесцентной реакции.

О кинетике генерации АФК в нейтрофилах крови судили по параметрам хемилюминесцентной кинетики: амплитуде максимальной интенсивности хемилюминесцентной реакции ( $I_{\max}$ , имп./с), времени достижения максимума ( $T_{\max}$ , мин.) и площади под кривой хемилюминесценции (S, имп. за 120 мин.), определяющей общее количество квантов, регистрируемых за весь период записи хемилюминесцентной кривой и характеризующих объем генерированных АФК. Рассчитывали удельную продукцию АФК лейкоцитами и активными фагоцитами (S/лейкоцит, имп./кл.;

S/фагоцит, имп./кл. соответственно), а также индекс активации (ИА), как отношение светосумм активированной и спонтанной хемилюминесценции ( $S_{\text{акт}}/S_{\text{спонт.}}$ , усл. ед.).

На рисунке представлена запись кривой хемилюминесцентной реакции.

Описательная статистика исследуемых величин представлена в виде медианы 25; 75 перцентилей Me [Q1; Q3]. Для оценки характера распределения использовали тест Шапиро-Уилка. Исследуемые величины не подчинялись нормальному распределению, для попарного сравнения в группах использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для сравнения показателей в динамике использовали непараметрический критерий Вилкоксона.

Критический уровень статистической значимости при проверке нулевой гипотезы принимали равным 0,05. Статистическую обработку полученных данных выполнили с помощью программы Statistica 6.1. Результаты статистической обработки были сведены в таблицы.

### Результаты и обсуждение

На момент поступления у пациентов кардиохирургического профиля не было зарегистрировано статистически значимых изменений в показателях хемилюминесценции нейтрофилов, как при спонтанной так и при активированной реакции. Однако, в раннем послеоперационном периоде были зарегистрированы значимые изменения в хемилюминесцентной реакции нейтрофилов, обусловленные развитием операционного стресса. При спонтанной реакции было зарегистрировано достоверное увеличение интенсивности реакции до 1776,12 [1432,54; 1963,36]

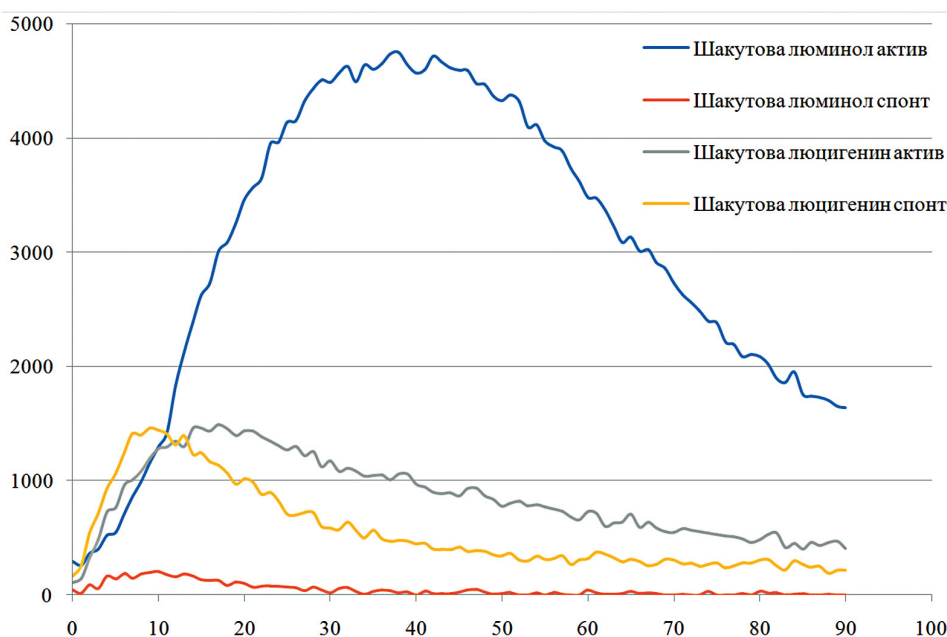


Рисунок. Кривая хемилюминесцентной реакции.  
Figure. Chemiluminescent reaction curve.

$p_1=0,341$ ,  $p_2<0,001$  (табл.), площади под кривой хемилюминесцентной реакции до  $5,77E+05$  [4,04; 8,68]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$  и времени выхода на пик реакции 15,67 [13,65; 18,84]  $p_1=0,295$ ,  $p_2<0,001$ . Было выявлено возрастание индекса активации хемилюминесцентной реакции (5,31 [4,22; 5,36]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$ ) и фагоцитарного индекса до 57,90 [53,34; 61,18]  $p_1=0,187$ ,  $p_2<0,001$ . Не было зарегистрировано статистически значимой динамики в показателе отношения площади под кривой к количеству лейкоцитов. Однако, было выявлено увеличение показателя отношения площади под кривой к количеству фагоцитов, что составило 101,32 [93,72; 104,56]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$ .

При активации реакции основные тенденции в динамике изменений показателей хемилюминесцентной реакции нейтрофилов сохранялись прежние. Было зафиксировано значимое увеличение показателя

интенсивности реакции до 4870,41 [4632,21; 5067,03]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$ , индекса активации реакции до 6,41 [5,68; 7,23]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$ , фагоцитарного индекса 89,09 [80,24; 98,46]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$  и коэффициента соотношения площади реакции к количеству фагоцитов до 237,09 [201,21; 327,57]  $p_1<0,001$ ,  $p_2<0,001$ . Однако, зарегистрировано снижение времени выхода на пик реакции, что позволяет предположить снижение скорости образования супероксидного анион радикала и низкой активности NADPH-оксидазы (табл.)

Оценка функциональной активности нейтрофилов является важным параметром, характеризующим гомеостаз и защитные реакции макроорганизма. Анализ реактивности нейтрофилов является значимым параметром при развитии различных патологических состояний, в том числе и операционном стрессе. Так как, при функциональной активации данных

Таблица

**Показатели спонтанной и индуцированной хемилюминесценции нейтрофилов периферической крови больных до операции и на 2-3 сутки послеоперационного периода (Me [Q1; Q3])**

Table

**Indicators of spontaneous and induced chemiluminescence of peripheral blood neutrophils in patients before surgery and on days 2-3 of the postoperative period (Me [Q1; Q3]).**

Показатели	Контрольная группа (n=75)		Клиническая группа (до) (n=45)		Клиническая группа (после) (n=45)	
	спонт.	актив.	спонт.	актив.	спонт.	актив.
Imax, имп/с	1544,33 [1339,10; 1732,17]	3188,25 [2654,09; 3345,23]	1235,04 [1146,32; 1327,09] $p_1=0,215$	2948,83 [2734,01; 3168,80] $p_1=0,173$	1776,12 [1432,54; 1963,36] $p_1=0,341$ , $p_2<0,001$	4870,41 [4632,21; 5067,03] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$
S <sub>quar</sub> , имп	2,76E+06 [1,82; 3,94]	1,98E+06 [1,67; 2,45]	3,01E+05 [2,47; 3,64] $p_1=0,334$	2,06E+04 [1,84; 2,23] $p_1=0,318$	5,77E+05 [4,04; 8,68] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$	2,44E+04 [1,74; 2,87] $p_1=0,067$ , $p_2=0,040$
T <sub>max</sub> , мин.	13,66 [11,24; 16,36]	27,93 [22,47; 33,65]	12,71 [10,84; 13,01] $p_1=0,425$	24,31 [20,79; 28,12] $p_1=0,325$	15,67 [13,65; 18,84] $p_1=0,295$ , $p_2<0,001$	20,12 [17,11; 22,09] $p_1=0,032$ , $p_2=0,049$
T <sub>cent</sub> , мин.	20,36 [17,10; 23,58]	42,37 [38,09; 47,23]	24,35 [21,22; 26,15] $p_1=0,367$	47,02 [43,37; 51,67] $p_1=0,229$	37,74 [33,84; 41,22] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$	49,12 [44,95; 53,07] $p_1=0,167$ , $p_2=0,218$
ИА	2,81 [2,02; 3,37]	4,4 [3,79; 4,85]	3,05 [2,34; 3,97] $p_1=0,413$	4,9 [4,13; 5,36] $p_1=0,331$	5,31 [4,22; 5,36] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$	6,41 [5,68; 7,23] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$
ФА	50,04 [46,06; 54,13]	68,62 [61,23; 75,12]	48,01 [46,34; 49,73] $p_1=0,260$	71,03 [67,52; 74,38] $p_1=0,132$	57,90 [53,34; 61,18] $p_1=0,187$ , $p_2<0,001$	89,09 [80,24; 98,46] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$
S <sub>лейкоцит</sub> , имп./кл.	170,25 [161,69; 179,32]	350,58 [319,81; 376,36]	163,08 [157,70; 166,44] $p_1=0,271$	320,24 [290,08; 343,74] $p_1=0,245$	174,82 [169,34; 178,04] $p_1=0,364$ , $p_2<0,001$	457,18 [315,26; 523,14] $p_1=0,036$ , $p_2=0,047$
S <sub>фагоциты</sub> , имп./кл.	80,32 [77,24; 83,70]	160,12 [135,43; 187,12]	82,13 [77,35; 85,72] $p_1=0,358$	170,32 [152,04; 183,62] $p_1=0,412$	101,32 [93,72; 104,56] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$	237,09 [201,21; 327,57] $p_1<0,001$ , $p_2<0,001$

Примечание:  $p_1$  – значимость различий группы по сравнению с показателями группы контроля (U-критерий Манна-Уитни),  $p_2$  – значимость различий между показателями до и после операции (критерий Вилкоксона).

Note:  $p_1$  – the significance of differences between the studied group and the control group (Mann-Whitney's U-test),  $p_2$  – the significance of differences between the pre- and post-surgery measures (Wilcoxon criterion)

форменных элементов крови увеличивается продукция цитотоксических и биологически активных веществ, оказывающих влияние на патогенез развития воспалительной реакции. Также нейтрофилы являются высокочувствительными индикаторами развития изменений гомеостаза организма, за счет наличия многочисленных рецепторов на мембране клетки. Таким образом, при изменении баланса внутренней среды происходит активация функционального состояния клеток, направленная на купирование воспалительной реакции, этот механизм является универсальным маркером нормы или патологии организма [2, 3].

Оценка активности фагоцитарной реакции в лабораторных условиях проводится на гранулоцитарных клетках, в частности нейтрофилах. Они являются наиболее удобным объектом для исследования фагоцитоза, так как обладают высокой чувствительностью к эндо- и экзогенным агентам и имеют эффекторный потенциал. Таким образом, в современной лабораторной диагностике внедряются методы оценки функционального состояния гранулоцитарно-макрофагального звена. Активно внедряется метод хемилюминесцентного анализа, так как существует высокая корреляция между уровнем хемилюминесценции нейтрофилов и киллингом. По данным хемилюминесцентного анализа можно судить о способности нейтрофилов к завершению фагоцитозу, что является одним из важных критериев функциональной активности данных клеток [5, 7].

### Заключение

Таким образом, при анализе хемилюминесцентной реакции нейтрофилов было зарегистрировано увеличение продукции активных форм кислорода, что позволяет предположить повышение резервных метаболических возможностей нейтрофильных гранулоцитов у больных в раннем послеоперационном периоде. Можно предположить, что при исследуемом патологическом процессе реакция формирования активных радикалов кислорода в нейтрофильных гранулоцитах идет в большей степени по миелопероксидазному пути.

### Литература / References

1. Жукова ОЮ, Высокогорский ВЕ. Влияние острой алкогольной интоксикации на хемилюминесценцию митохондрий печени при экспериментальном сахарном диабете. *Успехи современного естествознания*. 2005;(10):54-55. [Zhukova OY, Vysokogorsky VE. Effect of acute alcohol intoxication on chemiluminescence of liver mitochondria in experimental diabetes mellitus. *The Successes of Modern Natural Science*. 2005;(10):54-55. (In Russian)]

2. Дмитриева НЮ, Елизаров ДВ, Маергойз ЛС, Савченко АА. Вычислительное моделирование динамики хемилюминесценции нейтрофильных гранулоцитов. *Журнал Сибирского федерального университета*. Серия: Математика и физика. 2008;1(4):435-442 [Dmitrieva NU, Elizarov DV, Maergoyz LS, Savchenko AA. Computational simulation of chemiluminescence dynamics of neutrophil granulocytes. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Mathematics and Physics*. 2008;1(4):435-442. (In Russian)]

3. Czuba Z, Krol W, Scheller S, Shani J. Effect of cinnamic and acrylic acids' derivatives on luminol-enhanced chemiluminescence of neutrophils. *Zeitschrift für Naturforschung, Section C, Biosciences, Biosciences*. 1992;47(9-10):753-6. DOI: 10.1515/znc-1992-9-1019

4. Ibarra-Silva E, Raff AB, Cardenas A, Franco W. Point-of-care detection of neutrophils in live skin microsamples using chemiluminescence. *Biophotonics*. 2020;13(5):e201960170. DOI: 10.1002/jbio.201960170

5. Хачатрян СГ. Влияние активного хирургического вмешательства на хемилюминесценцию цельной крови у детей. *Вестник неотложной и восстановительной медицины*. 2014;1(15):106 [Khachatryan SG. Effect of active surgery on whole blood chemiluminescence in children. *Bulletin of Emergency and Restorative Medicine*. 2014;1(15):106. (In Russian)]

6. Bender JG, Van Epps DE. Analysis of the bimodal chemiluminescence pattern stimulated in human neutrophils by chemotactic factors. *Infection and Immunity*. 1983;41(3):1062-70. DOI: 10.1128/iai.41.3.1062-1070.1983

7. Chan KL, Bizios R, Malik AB. Thrombin enhances opsonized zymosan-induced chemiluminescence. *Tissue Cell*. 1988;20(1):13-7. DOI: 10.1016/0040-8166(88)90003-1

8. Дунаевская СС, Дябкин ЕВ. Активные формы кислорода и хемилюминесценция при остром панкреатите. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2010;3(94):38-40. [Dunaevskaya SS, Dyabkin EV. Reactive oxygen species and chemiluminescence in acute pancreatitis. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2010;3(94):38-40. (In Russian)]

9. Арутюнян ЛА, Ефанов ЮМ, Кремнева ЛВ, Сафиуллина ЗМ, Шалаев СВ. Осложнения после коронарного шунтирования и современные методы их профилактики. *Медицинская наука и образование Урала*. 2009; 3(59):127-134 [Arutyunyan LA, Efanov YM, Kremneva LV, Safiullina ZM, Shalaev SV. Complications following coronary bypass surgery and current methods of preventing them. *Medical Science and Education of the Urals*. 2009;3(59):127-134. (In Russian)]

10. Протасевич АИ, Татур АА. Эффективность вакуумной терапии в лечении послеоперационных стерномедиастенитов: систематический обзор

и мета-анализ. *Новости хирургии*. 2016;3(24):275-284 [Protasevich AI, Tatur AA. Effectiveness of vacuum therapy in the treatment of postoperative sternomediastinitis: systematic review and meta-analysis. *Surgery News*. 2016;3(24):275-284 (In Russian)]

11. Хубулава ГГ, Шихвердиев НН, Наумов АБ, Суворов ВВ, Марченко СП, Аверкин ИИ. Патфизиологические механизмы и факторы риска развития стеральной инфекции в кардиохирургии. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2013;1 (41):174-179 [Khubulava GG, Shikhverdiev NN, Naumov AB, Suvorov VV, Marchenko SP, Averkin AI. Pathophysiological mechanisms and risk factors for sternal infection in cardiac surgery. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2013;1(41):174-179. (In Russian)]

12. Balachandran S, Denehy L, Lee A, Royse C, Royse A, El-Ansary D. Motion at the Sternal Edges During Upper Limb and Trunk Tasks In-Vivo as Measured by Real-Time Ultrasound Following Cardiac Surgery: A Three-Month Prospective, Observational Study. *Heart, Lung and Circulation*. 2019;28(8):1283-1291. DOI: 10.1016/j.hlc.2018.05.195

13. Hawkins RB, Mehaffey JH, Charles EJ, Krebs ED, Smith JG, Kern JA, Wanchek T, Teman NR. Cost-Effectiveness of Negative Pressure Incision Management System in Cardiac Surgery. *Journal of Surgical Research*. 2019;(24):227-235. DOI: 10.1016/j.jss.2019.02.046

14. Konishi Y, Fukunaga N, Abe T, Nakamura K, Usui A, Koyama T. Efficacy of new multimodal preventive

measures for post-operative deep sternal wound infection. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2019;(4):234-239. DOI: 10.1007/s11748-019-01139-x

15. Sharif M, Wong CHM, Harky A. Sternal Wound Infections, Risk Factors and Management – How Far Are We? A Literature Review. *Heart, Lung and Circulation*. 2019;28(6):835-843. DOI: 10.1016/j.hlc.2019.01.008

### Сведения об авторах

Дунаевская Светлана Сергеевна, д. м. н., профессор, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1, тел.: +7(905)0873585; e-mail: vikto-potapenk@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0003-2820-4737

Чердниченко Михаил Владимирович, врач сердечно-сосудистый хирург, Красноярская краевая клиническая больница, адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 3, тел.: +7(983)2807661, e-mail: cherednichenko82@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9653-2612

Макарская Галина Владимировна, к. б. н., старший научный сотрудник, Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук адрес: Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр.12, тел.: +7(908)2000844, e-mail: mgv@icm.krasn.ru, http://orcid.org/0000-0002-4848-8880

### Author information

Svetlana S. Dunaevskaya, Dr. Med. Sci., Professor, Prof. V. F. Voyno-Yasensky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, PartizanZheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +7 (905) 0873585; e-mail: vikto-potapenk@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0003-2820-4737

Mikhail V. Cherednichenko, surgeon, Krasnoyarsk regional hospital, Address: 3, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +7(983)2807661, e-mail: cherednichenko82@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9653-2612

Galina V. Makarskaya, Cand. Biol. Sci., Senior Researcher, Institute of Computational Modeling, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Address: 50, 12, Campus, Krasnoyarsk, Russian Federation 660036; Phone: +7(908)2000844, e-mail: mgv@icm.krasn.ru, http://orcid.org/0000-0002-4848-8880

Дата поступления 04.10.2021

Дата рецензирования 26.11.2021

Принята к печати 11.03.2022

Received 04 October 2021

Revision Received 26 November 2021

Accepted 11 March 2022