

© Коллектив авторов, 2022

УДК 616-092.9

Сухопарова Е.П.¹, Зиновьев Е.В.², Князева Е.С.²

Прогностическая значимость элементного состава волос для оценки риска развития послеоперационных раневых осложнений

¹ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова», 197022, Санкт-Петербург, Россия, ул. Льва Толстого, д. 6-8;

²ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И. И. Джанелидзе», 196128, Санкт-Петербург, Россия, ул. Будапештская, д. 3, Россия

Введение. Снижение уровня микро- и макроэлементов является одним из факторов увеличения сроков заживления послеоперационных ран, поскольку это препятствует пролиферации фибробластов, синтезу коллагена и эпителизации.

Цель – оценить прогностическую значимость элементного состава волос для оценки риска осложненного и замедленного течения раневого процесса после хирургического вмешательства.

Методика. В исследование включено 49 женщин в возрасте 30-60 лет ($46,98 \pm 7,10$ лет) с избыточной массой тела, которым выполнены плановые хирургические вмешательства по эстетическим показаниям, направленные на коррекцию контуров тела, в ожоговом отделении с пластической хирургией ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России. Всем пациенткам проведен спектральный анализ волос на микро- и макроэлементы.

Результаты. У пациенток с замедленным и осложненным заживлением ран выявлены значимые сдвиги в элементном составе волос. Высокую прогностическую значимость в отношении риска замедления раневого процесса и развития длительно незаживающих ран имеют снижение уровней лития ($Li < 0,04$), германия ($Ge < 0,07$), бора ($B < 1,11$) и йода ($I < 0,06$) с уровнями абсолютного риска более 58,1%.

Заключение. Пациентам с запланированным хирургическим вмешательством необходим тщательный мониторинг содержания макро- и микроэлементов с целью выявления их дефицита и своевременной коррекции лечебной тактики, что позволит уменьшить риск неблагоприятного течения раневого процесса. Доступным и неинвазивным методом изучения элементного состава организма является спектральный анализ волос.

Ключевые слова: заживление ран; хирургические вмешательства; макроэлементы; микроэлементы; спектральный анализ волос

Для цитирования: Сухопарова Е.П., Зиновьев Е.В., Князева Е.С. Прогностическая значимость элементного состава волос для оценки риска развития послеоперационных раневых осложнений. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2022; 66(4): 67-72.

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.67-72

Участие авторов: подготовка иллюстративного материала, написание текста, сбор и обработка материала, концепция и дизайн исследования – Сухопарова Е.П.; редактирование, концепция исследования – Зиновьев Е.В.; статистическая обработка материала – Князева Е.С. Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Для корреспонденции: Сухопарова Елена Петровна, e-mail: suhoparova.e@gmail.com

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 30.05.2022

Принята к печати 27.10.2022

Опубликована 15.12.2022

Sukhoparova E.P.¹, Zinoviev E.V.², Knyazeva E.S.²

Prognostic significance of the elemental composition of hair for assessing the risk of postoperative wound complications

¹Pavlov First Saint Petersburg State Medical University,
L'va Tolstogo St. 6-8, Saint Petersburg 187022, Russian Federation;

²Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine,
Budapeshtskaya St. 3, Saint Petersburg 196128, Russian Federation

Introduction. Decreased concentrations of micro- and macroelements are one of the factors for delayed postoperative wound healing since this factor prevents fibroblast proliferation, collagen synthesis, and epithelization. **The aim** of this study was to evaluate the prognostic significance of the elemental composition of hair to assess the risk of complicated and delayed postoperative wound healing.

Methods. The study included 49 overweight women aged 30-60 years (46.98±7.10 years) who underwent elective surgical interventions for aesthetic indications aimed at correcting body contours in the department of burns and plastic surgery of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia. Spectral analysis of hair for micro- and macroelements was performed for all patients.

Results. In patients with delayed and complicated wound healing, significant shifts in the elemental composition of hair were revealed. Reduced levels of lithium (Li <0.04), germanium (Ge <0.07), boron (B <1.11), and iodine (I <0.06) with levels of absolute risk over 58.1% showed a high prognostic significance with respect of the risk for delayed healing and development of persistent wounds.

Conclusion. Patients scheduled for a surgical intervention need thorough monitoring of the content of macro- and microelements for identification of their deficiency and timely correction of the therapeutic tactics, which will reduce the risk of an unfavorable course of the wound process. An affordable and non-invasive method for studying the elemental composition of the body is the spectral analysis of hair.

Keywords: wound healing; surgical intervention; major elements; trace elements; spectral analysis of hair

For citation: Sukhoparova E.P., Zinoviev E.V., Knyazeva E.S. Prognostic significance of the elemental composition of hair for assessing the risk of postoperative wound complications. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2022; 66(4): 67-72. (in Russian).

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.67-72

Author's contribution: preparation of illustrative material, writing the text, collection and processing of material, concept and design of the study – Sukhoparova E.P.; editing, conceptual research – Zinoviev E.V.; statistical processing of the material – Knyazeva E.S.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For correspondence: *Elena P. Sukhoparova*, candidate of Medical Sciences, The First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, 6-8 Lev Tolstoy str., St. Petersburg, 197022, Russian Federation, e-mail: suhoparova.e@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Received 30.05.2022

Accepted 27.10.2022

Published 15.12.2022

Введение

Заживление ран происходит за счет каскада последовательных взаимосвязанных молекулярных и клеточных событий [1]. Различные местные и системные факторы, в том числе инфекция, хроническое воспаление, пониженное содержание биоэлементов и плохая перфузия краев раны могут оказывать негативное влияние на процесс заживления [2]. Элементный состав волос отражает состояние обмена биоэлементов в организме человека за длительный промежуток времени [3, 4]. Развитие воспалительной реакции, окислительного стресса и гиперметаболического состояния в процессе заживления хирургических ран, среди прочего, приводят к отклонениям

в содержании основных микро- и макроэлементов, что, в свою очередь, может привести к более частым инфекционным осложнениям или нарушениям в процессах заживления ран [5].

Спектральный анализ химического состава волос является современным неинвазивным методом интегральной оценки минерального обмена в организме за продолжительный период времени и позволяет оценивать содержание микро- и макроэлементов в организме. Определение элементного состава волос можно использовать для клинической и донологической диагностики заболеваний, а также как вспомогательный инструмент при выборе тактики системно-

го лечения пациентов с нарушениями течения раневого процесса.

Цель исследования – оценка прогностической значимости элементного состава волос при определении степени риска развития осложнений течения раневого процесса после хирургического вмешательства.

Методика

В исследование включены 49 женщин от 30 до 60 лет с индексом массы тела более 25 кг/м^2 ($31,64 \pm 5,04 \text{ кг/м}^2$) и окружностью талии более 80 см. Все пациентки добровольно подписывали форму информированного согласия на анонимное участие в исследовании. Исследование одобрено локальным этическим комитетом. Все исследования выполнялись по международным правилам работы с биоматериалом людей. Пациенткам в ожоговом отделении с пластической хирургией ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России в период с 2019 по 2020 гг. выполнены плановые хирургические вмешательства по эстетическим показаниям, направленные на коррекцию контуров тела – подтяжка молочных желез, уменьшение молочных желез, абдоминопластика. Длительность наблюдения в послеоперационном периоде составила 6 мес. Пациентки были разделены на 3 группы в зависимости от особенностей течения раневого процесса: 1-я группа – осложненный раневой процесс ($n=21$, 42,86%); 2-я группа – замедленный раневой процесс ($n=16$, 32,65%); 3-я группа – стандартно протекающий раневой процесс ($n=12$, 24,49%).

Отбор волос, подготовку и анализ проб осуществляли согласно утвержденным методикам. Элементный анализ волос исследовали методом атомно-абсорбционной спектроскопии на поверенных приборах «Spectr 240 FS» и «Spectr 280 Z» с предварительной минерализацией проб в микроволновой системе «MDS-2000».

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10 и SAS JMP 11. Для описания количественных данных использовали среднее арифметическое значение (M) и стандартное отклонение (δ). Качественные характеристики показателей выражены абсолютными (n) и относительными величинами (%). В отношении количественных переменных проверяли нормальность распределения, использовали χ^2 -критерий Пирсона, t -критерий Стьюдента, критерий многочисленных сравнений. Различия между группами считали значимыми при $p < 0,05$. В случае, когда выборки из переменных не подчинялись

нормальному закону распределения, использовали непараметрические методы: U -критерий Манна-Уитни, H -критерий Краскела-Уоллеса, медианный тест. Для оценки прогностической значимости нескольких независимых факторов в отношении неблагоприятного заживления раны в послеоперационном периоде использовали метод множественного регрессионного анализа.

Результаты

По данным спектрального анализа состава волос в категории «Микроэлементы» выявлены статистически значимые сравнительные отличия между группами пациенток по двум показателям: для показателя литий «Li» во 2-й группе по сравнению с 1-й группой – $0,05 \pm 0,05 \text{ мг/кг}$ против $0,03 \pm 0,03 \text{ мг/кг}$, соответственно ($p=0,025$), а также для показателя германий «Ge» во 2-й группе по отношению к 1-й – $0,08 \pm 0,01 \text{ мг/кг}$ против $0,07 \pm 0,02 \text{ мг/кг}$, соответственно ($p=0,014$). Относительно содержания макроэлементов статистически значимых отличий в исследуемых группах получено не было.

С помощью статистического однофакторного прогнозирования развития раневых осложнений в послеоперационном периоде были выделены 20 ключевых прогнозных факторов (таблица).

Из таблицы видно, что 11 факторов (элементов) статистически значимо повышают риск развития неблагоприятного исхода заживления раны – от 35,7% до 100,0%.

Наиболее значимыми факторами высокого риска осложненного и замедленного течения раневого процесса являются $\text{Ag} \geq 0,28$ (уровень риска 100,0%), $\text{Si} < 62,30$ (уровень риска 100,0%) и $\text{I} < 0,06$ (уровень риска 87,5%). Меньшее влияние оказывают статистически значимые факторы $\text{Ba} < 4,41$, $\text{B} < 1,11$ и $\text{Cd} \geq 0,03$, которые повышают уровень риска послеоперационных осложнений с 52,6% до 60,0%.

Результаты проведенного однофакторного анализа для группы показателей «Микро- и макроэлементы» свидетельствуют, что ключевыми статистически значимыми факторами риска развития замедления раневого процесса в послеоперационном периоде и развития длительно незаживающих ран являются снижение уровня лития, снижение уровня германия, снижение уровня бора и снижение уровня йода с уровнями абсолютного риска более 58,1% (рисунок).

Наличие одного из данных ключевых факторов повышает риск замедления процессов репарации и формирования хронических, длительно незаживающих ран более чем в 3 раза.

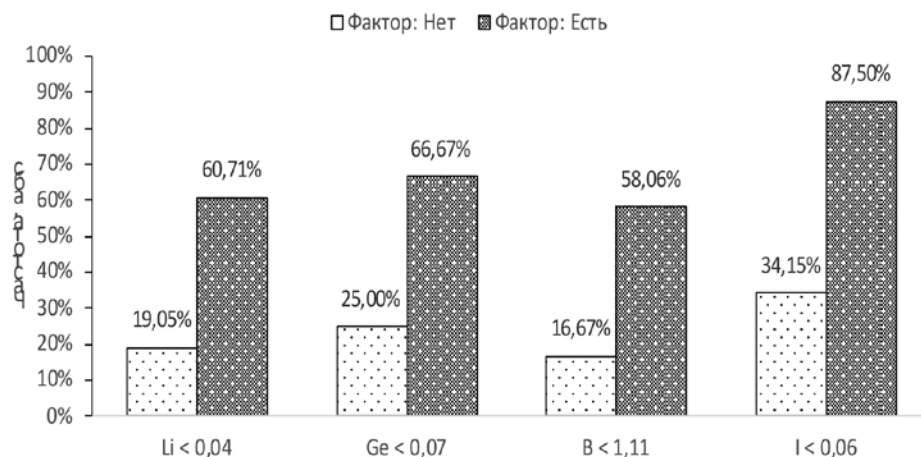
Ключевые факторы, влияющие на развитие осложнений в послеоперационном периоде

Key factors influencing the development of complications in the postoperative period

Фактор Factor	Развитие осложнений в послеоперационном периоде (абсолютный риск, %) Development of complications in the postoperative period (absolute risk, %)		Изменение риска (95% ДИ) Change in risk (95% CI) (95% CI)	Относительный риск Relative risk (95% confidence interval)	Значимость, <i>p</i>
	Фактор: Нет There is no factor	Фактор: Есть There is a factor			
Li < 0,04	4 (19,05%)	17 (60,71%)	41,67 (17,0; 66,4)%	3,19 (1,26; 8,08)	0,004*
Ge < 0,07	7 (25,00%)	14 (66,67%)	41,67 (15,9; 67,4)%	2,67 (1,31; 5,42)	0,004*
B < 1,11	3 (16,67%)	18 (58,06%)	41,40 (16,9; 65,9)%	3,48 (1,19; 10,21)	0,005*
I < 0,06	14 (34,15%)	7 (87,50%)	53,35 (26,2; 80,5)%	2,56 (1,56; 4,22)	0,005*
Ba < 4,41	1 (9,09%)	20 (52,63%)	43,54 (20,3; 66,8)%	5,79 (0,87; 38,44)	0,010*
Cu < 6,58	15 (35,71%)	6 (85,71%)	50,00 (20,3; 79,7)%	2,4 (1,45; 3,98)	0,013*
Rb ≥ 0,03	6 (85,71%)	15 (35,71%)	-50,00 (-79,7; -20,3)%	0,42 (0,25; 0,69)	0,013*
Ag ≥ 0,28	17 (37,78%)	4 (100,00%)	62,22 (48,1; 76,4)%	2,65 (1,82; 3,85)	0,016*
Si < 62,30	17 (37,78%)	4 (100,00%)	62,22 (48,1; 76,4)%	2,65 (1,82; 3,85)	0,016*
Cd ≥ 0,03	9 (31,03%)	12 (60,00%)	28,97 (1,7; 56,3)%	1,93 (1,01; 3,70)	0,044*
Na ≥ 675,80	15 (36,59%)	6 (75,00%)	38,41 (5,0; 71,8)%	2,05 (1,16; 3,62)	0,045*
Ti < 0,68	14 (35,90%)	7 (70,00%)	34,10 (2,0; 66,2)%	1,95 (1,09; 3,50)	0,052
K ≥ 74,93	5 (26,32%)	16 (53,33%)	27,02 (0,4; 53,7)%	2,03 (0,89; 4,62)	0,063
Co < 0,03	6 (28,57%)	15 (53,57%)	25,00 (-1,7; 51,7)%	1,88 (0,88; 4,01)	0,080
As < 0,01	3 (23,08%)	18 (50,00%)	26,92 (-1,2; 55,1)%	2,17 (0,76; 6,16)	0,093
Mn < 3,63	2 (20,00%)	19 (48,72%)	28,72 (-0,6; 58,1)%	2,44 (0,68; 8,77)	0,102
Sr ≥ 10,44	12 (35,29%)	9 (60,00%)	24,71 (-4,8; 54,2)%	1,7 (0,92; 3,14)	0,107
Sn < 0,41	13 (36,11%)	8 (61,54%)	25,43 (-5,3; 56,2)%	1,7 (0,92; 3,14)	0,112
Ni ≥ 0,73	14 (36,84%)	7 (63,64%)	26,79 (-5,5; 59,1)%	1,73 (0,94; 3,18)	0,114
Mo < 0,03	8 (32,00%)	13 (54,17%)	22,17 (-4,9; 49,2)%	1,69 (0,86; 3,34)	0,117

Примечание. * – статистически значимые отличия.

Note. * – statistically significant differences.



Оценки рисков развития осложненного и замедленного раневого процесса по ключевым факторам: «Li < 0,04», «Ge < 0,07», «B < 1,11» и «I < 0,06». Risk estimates of complicated and delayed wound development by key factors: «Li < 0.04», «Ge < 0.07», «B < 1.11», and «I < 0.06».

Обсуждение

Несмотря на пристальный интерес медицинско-го хирургического сообщества к различным аспектам раневого процесса и определенные успехи в области лечения послеоперационных ран, некоторые вопросы по-прежнему остаются не решенными [6]. Осложненное и длительное заживление ран является одной из наиболее актуальных научных и практических проблем современной хирургии, особенно у пациентов с избыточной массой тела и ожирением [7]. Известно, что ожирение как один из компонентов метаболического синдрома ухудшает процесс заживления ран [8].

Физиологическое течение раневого процесса сопровождается фазовым изменением строения ее структурных элементов — эпидермиса, дермы и гиподермы, зависит от реактивности тканей и клеток в их составе [1]. Процесс заживления ран хорошо изучен и включает фазу воспаления, пролиферативную фазу, а также фазу организации рубца и эпителизации. На процесс заживления раны влияет множество различных факторов, в том числе содержание микро- и макроэлементов. Снижение уровня микроэлементов приводит к удлинению сроков заживления послеоперационных ран, препятствуя пролиферации фибробластов, синтезу коллагена и эпителизации [9,10]. В настоящем исследовании показано существенное влияние содержания ряда микро- и макроэлементов на процесс заживления хирургических ран у больных с повышенным ИМТ. В другой работе, выполненной С.А. Точило и соавт. (2020), выявлены значимые отклонения уровня макро- и микроэлементов у пациентов после

абдоминальных хирургических вмешательств, имеющих в послеоперационном периоде серьезные жизнеугрожающие осложнения в виде сепсиса и синдрома полиорганной недостаточности [11].

Поиск причины длительно незаживающих хирургических ран является важной задачей хирурга. Перспективным решением этой проблемы является изучение элементного состава волос, позволяющее выявить сдвиги в обмене макро- и микроэлементов и своевременно провести их коррекцию.

Заключение

У пациенток, имеющих избыточную массу тела, с осложненным и замедленным течением раневого процесса выявлены значимые отклонения в содержании микроэлементов. Высокую прогностическую значимость в отношении риска замедления раневого процесса и развития длительно незаживающих ран имеют снижение уровней лития (Li < 0,04), германия (Ge < 0,07), бора (B < 1,11) и йода (I < 0,06) с уровнями абсолютного риска более 58,1%. Пациентам с запланированным хирургическим вмешательством необходим тщательный мониторинг содержания макро- и микроэлементов с целью выявления их дефицита.

Литература

(п.п. 1–10 см. References)

11. Точило С.А., Марочков А.В., Ливинская В.А. Динамика макро- и микроэлементов у пациентов с синдромом полиорганной недостаточности в абдоминальной хирургии. *Хирургия. Восточная Европа*. 2020; 9(4): 425-38. <https://doi.org/10.34883/PE.2020.9.4.024>

References

1. Han G., Ceilley R. Chronic Wound Healing: A Review of Current Management and Treatments. *Adv Ther.* 2017; 34(3): 599-610. <https://doi.org/10.1007/s12325-017-0478-y>
2. Wang P.H., Huang B.S., Horng H.C., Yeh C.C., Chen Y.J. Wound healing. *J Chin Med Assoc.* 2018; 81(2): 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2017.11.002>
3. Derakhshandeh H., Kashaf S.S., Aghabaglou F., Ghanavati I.O., Tamayol A. Smart Bandages: The Future of Wound Care. *Trends Biotechnol.* 2018; 36(12): 1259-74. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.07.007>
4. Bi H., Li H., Zhang C., Mao Y., Nie F., Xing Y., et al. Stromal vascular fraction promotes migration of fibroblasts and angiogenesis through regulation of extracellular matrix in the skin wound healing process. *Stem Cell Res Ther.* 2019; 10(1): 302. <https://doi.org/10.1186/s13287-019-1415-6>
5. Rech M., To L., Tovbin A., Smoot T., Mlynarek M. Heavy metal in the intensive care unit: a review of current literature on trace element supplementation in critically ill patients. *Nutr Clin Pract.* 2014; 29(1): 78-89. doi: 10.1177/0884533613515724
6. Sandy-Hodgetts K. Surgical wound complications: a 21st century problem? *J Wound Care.* 2019; 28(10): 645. <https://doi.org/10.12968/jowc.2019.28.10.645>
7. Hirt P.A., Castillo D.E., Yosipovitch G., Keri J.E. Skin changes in the obese patient. *J Am Acad Dermatol.* 2019; 81(5): 1037-57. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.12.070>
8. Chen S.J., Yen C.H., Huang Y.C., Lee B.J., Hsia S., Lin P.T., et al. Factors affecting wound healing. *J Dent Res.* 2010; 89(3): 219-29. <https://doi.org/10.1177/0022034509359125>
9. Kavalukas S.L., Barbul A. Nutrition and wound healing: an update. *Plast Reconstr Surg.* 2011; 127, Suppl 1: 38-43. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e318201256c>
10. Medlin S. Nutrition for wound healing. *Br J Nurs.* 2012; 21(12): 11-5. <https://doi.org/10.12968/bjon.2012.21.Sup12.S11>
11. Tochilo S.A., Marochkov A.V., Livinskaya V.A. Dynamics of macro- and microelements in patients with multiple organ dysfunction syndrome in abdominal surgery. *Khirurgiya. Vostochnaya Evropa.* 2020; 9(4): 425-38. (in Russian). <https://doi.org/10.34883/PI.2020.9.4.024>

Сведения об авторах:

Сухопарова Елена Петровна, канд. мед. наук, ФГБОУ ВО «Первый СпГМУ им. акад. И.П. Павлова»;

Зиновьев Евгений Владимирович, доктор мед. наук, проф., ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе;

Князева Екатерина Сергеевна, ординатор, каф. пластической хирургии ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе.