

vili A.Sh. et al. // Surgery. The magazine named after N.I. Pirogov. 2021. No.12. P.5-14.

14. Ambe P.C., Christ H., Wassenberg D. Does the Tokyo guidelines predict the extent of gallbladder inflammation in patients with acute cholecystitis? A single center retrospective analysis // BMC Gastroenterology. 2015. Vol. 15. № 1. P. 142. <https://doi.org/10.1186/s12876-015-0365-4>.

15. Assessing clinical outcomes of patients with acute calculous cholecystitis in addition to the Tokyo grading: A retrospective study / W.C. Cheng [et al.] // Kaohsiung Journal of Medical Sciences. 2014. Vol. 30. № 9. P. 459–465. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-5011-x>.

16. Conservative treatment of acute cholecystitis: a systematic review and pooled analysis / C.S. Loozen [et al.] // Surg Endosc. 2017. №31(2). P. 504-515. doi: 10.1007/s00464-016-5011-x.

17. Dili A., Bertrand C. Laparoscopic ultrasonography as an alternative to intraoperative cholangiography during laparoscopic cholecystectomy // World journal of gastroenterology. 2017. Vol.

23. № 29. P. 5438-5450. <https://doi.org/10.3748/wjg.v23.i29.5438>.

18. Factor analysis influencing postoperative hospital stay and medical costs for patients with definite, suspected, or unmatched diagnosis of acute cholecystitis according to the Tokyo Guidelines 2013 / A. Hayasaki [et al.] // Gastroenterology Research and Practice. 2016. Vol. 2016. P. 7675953. <https://doi.org/10.1155/2016/7675953>

19. Risk factors for difficulty of laparoscopic cholecystectomy in grade II acute cholecystitis according to the Tokyo guidelines 2013 / K. Inoue [et al.] // BMC surgery. 2017. Vol. 17, № 1. P. 114. <https://doi.org/10.1186/s12893-017-0319-6>

20. The severity grading of acute cholecystitis following the Tokyo Guidelines is the most powerful predictive factor for conversion from laparoscopic 213 cholecystectomy to open cholecystectomy / M. Bouassida [et al.] // Journal of Visceral Surgery. 2017. Vol. 154. № 4. P. 239-243. <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2016.11.007>

21. Tokyo Guidelines 2018 surgical management of acute cholecystitis: safe steps in laparoscopic cholecystectomy for acute cholecystitis

(with videos) / G. Wakabayashi [et al.] // Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences. 2018. Vol. 25, № 1. P. 73-86. <https://doi.org/10.1002/jhbp.517>

22. Tokyo Guidelines 2018: antimicrobial therapy for acute cholangitis and cholecystitis / H. Gomi [et al.] // J Hepatobiliary Pancreat Sci. 2018. Vol. 25. P. 3-16.

23. Tokyo Guidelines 2018: diagnostic criteria and severity grading of acute cholecystitis (with videos) / M. Yokoe [et al.] // Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences. 2018. Vol. 25, № 1. P. 41-54. <https://doi.org/10.1002/jhbp.515>

24. Tokyo Guidelines 2018: flowchart for the management of acute cholecystitis / K. Okamoto [et al.] // Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences. 2018. Vol. 25. № 1. P. 55-72. <https://doi.org/10.1002/jhbp.516>

25. Validation of TG13 severity grading in acute cholecystitis: Japan-Taiwan collaborative study for acute cholecystitis / M. Yokoe [et al.] // Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences. 2017. Vol. 24. № 6. P. 338-345. <https://doi.org/10.1002/jhbp.457>

## ТОЧКА ЗРЕНИЯ

Н.И. Микуляк, И.А. Сорокин, Л.А. Сорокина,  
П.А. Полубояринов

## ВЛИЯНИЕ УПОТРЕБЛЕНИЯ СУСПЕНЗИИ *CHLORELLA VULGARIS* НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

DOI 10.25789/YMJ.2024.85.26

УДК 615.036

Исследованы биохимические и гематологические показатели группы лиц после курса приема суспензии микроводоросли. Отмечались иммуномодулирующее действие, выраженное в увеличении LYM% и снижении ESR, омоложение клеточного звена в первую очередь среди здоровых мужчин, а также тенденции к увеличению ALB и TP в молодом возрасте. После 50 лет обнаруживалась тенденция к снижению уровня GLU после проведенного курса. При этом происходило увеличение CREA и UREA, что может быть связано как с улучшением доступности белковых соединений, так и с составом среды выращивания микроводоросли, что требует дальнейшего изучения.

**Ключевые слова:** суспензия, *chlorella vulgaris*, гематология, биохимия, возраст, пол, состояние здоровья.

Biochemical and hematologic indices of a group after a course of microalgae suspension reception were studied. There were immunomodulatory effects, expressed as an increase in LYM% and a decrease in ESR, cellular rejuvenation primarily among healthy men, and trends toward increased ALB and TP at younger ages. After 50 years of age, a tendency for GLU levels to decrease after the course was detected. There was an increase in CREA and UREA, which may be related to both improved availability of protein compounds and the composition of the microalgae growth medium, which requires further investigation.

**Keywords:** suspension, *chlorella vulgaris*, hematology, biochemistry, age, sex, health status.

Пензенский государственный университет, Медицинский институт: **МИКУЛЯК Надежда Ивановна** – д.м.н., доцент, зав. кафедрой, [normphys@mail.ru](mailto:normphys@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8473-5781>, **СОРОКИН Илья Александрович** – студент, [iuh30072001@yandex.ru](mailto:iuh30072001@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4206-0653>, **ПОЛУБОЯРИНОВ Павел Аркадьевич** – к.с.-х.н., доцент, [poluboyarinovpavel@yandex.ru](mailto:poluboyarinovpavel@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9870-0272>.

**СОРОКИНА Лариса Александровна** – к.м.н., зав. лаб. Областной психиатрической больницы им. К.Р. Евграфова, г. Пенза, [sorlorla@mail.ru](mailto:sorlorla@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-8953-5184>

**Введение.** Интерес к изучению *C.vulgaris* как перспективного источника незаменимых и питательных веществ возник в 1950-х гг. и был связан с мировым продовольственным кризисом [6]. В последнее время интерес к изучению влияния употребления данной микроводоросли на организм человека только растет. Это связано с тем, что продукты с *C.vulgaris* обладают уникальным составом, который включает набор всех незаменимых аминокислот, минеральные соединения, пищевые волокна, полиненасы-

щенные жирные кислоты, витамины [5], в том числе D2 и B12, отсутствующие в растительной пище [1], и др. соединения. Употребление такого количества биологически активных веществ, безусловно, оказывает эффект на организм человека, что требует его более расширенного и углубленного изучения посредством различных методов исследования.

Все выпускаемые формы препарата можно разделить на те, при которой хлорелла сохраняется в естественном состоянии и при кото-

рой она разрушается механически. Наиболее часто препараты содержат разрушенные штаммы *C. vulgaris*. Данный факт связан с тем, что клетки микроводоросли не могут быть переварены человеком из-за клеточной стенки, состоящей из целлюлозы, что снижает усвояемость белков [1]. Тем не менее даже в естественном состоянии в суспензии *C. vulgaris* способна оказывать эффект на организм человека.

**Целью** данной работы является исследование влияния употребления суспензии *C. vulgaris* на показатели крови человека для выявления паттернов к ее использованию.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проводилось с участием 34 добровольцев. В течение 30 дней (курс) они принимали суспензию *C. vulgaris* штамма ИФР №С-111 по 200 мл утром натощак. Плотность суспензии составляла 60 млн микроводорослей на 1 мл. Каждые 10 дней добровольцам выдавали по 2 л (2 бутылки) суспензии *C. vulgaris* на указанный срок. Исследование проводилось при условии подписания добровольцами информированного согласия в соответствии с положениями Хельсинкской декларации и было одобрено локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет». Полностью пропить курс смогли 28 чел. Среди причин прекращения курса добровольцы указывали: неприятные органолептические свойства, повышение диуреза.

В начале исследования, до приема суспензии *C. vulgaris*, а также по окончании курса выполнялся забор цельной крови. Исследовались следующие показатели общего и биохимического анализа крови: WBC, RBC, HGB, HCT, MCV, MCH, MCHC, PDW, MPV, P-LCR, PCT, PLT, LYM%, MXD%, NEUT%, LYM#, MXD#, NEUT#, RDW-SD, RDW-CV, RET, ESR 30 min, ESR 1 h, ESR 2 h, ALB, ALP, AMYL, SGPT, SGOT, BILT, D-BIL, ID-BIL, CHOL, CREA, GLU, TP, TG, UREA, LDH. Помимо этого, в базу данных заносились данные о возрасте добровольцев, их половой принадлежности и состоянии здоровья. Некоторые добровольцы имели следующие хронические заболевания: поликистоз почек, анемия, полиноз, аллергия, панкреатит хронический, язва 12-перстной кишки, гипертоническая болезнь, СД 2 типа, гепатит. По указанным группам проводилось ранжирование добровольцев (рис. 1). Первая возрастная группа (ПВГ) включала бо-



Рис. 1. Дизайн проведенного исследования

лее молодых добровольцев (36,14±6,4 лет), а вторая (ВВГ) - более старших (54,54±7,3).

Статистический анализ проводился с использованием пакета программ Microsoft Office 2019. Результаты предоставлялись в виде расчета медианы и 25% и 75% процентиля. Для визуализации результатов использовалась коробчатая диаграмма. Данные в выборке распределялись ненормально, поэтому для оценки значимости их различия использовался непараметрический U-критерий

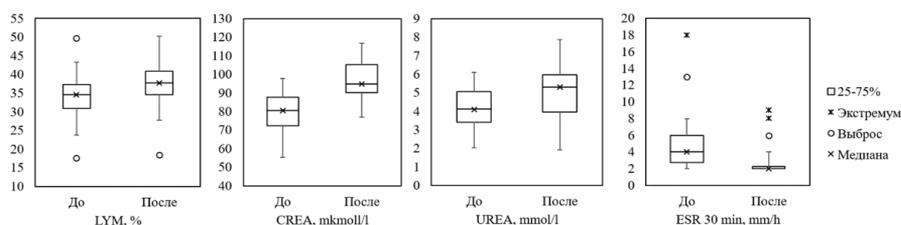


Рис. 2. Значимые изменения гематологических и биохимических показателей крови в общей группе до и после приема суспензии *C. vulgaris*

Таблица 1

Внутригрупповое сравнение значимых гематологических и биохимических показателей крови до и после приема суспензии *C. vulgaris*

Показатель	До приема	После приема	p	До приема	После приема	p
По состоянию здоровья	Здоровые (n=15)			Имеют хронические заболевания (n=13)		
MCHC, g/dL	353 [346;356,5]	348 [343;356,5]	0,6965	357 [354,0;363,0]	350 [347,0;358,0]	0,0455
MPV, fL	9,3 [9,2;10,8]	9,9 [9,4;10,9]	0,0016	10,3 [10,1;11,1]	10,4 [10,1;10,8]	0,7948
ESR 30 min, mm/h	5,0 [3,5;7,5]	2,0 [2,0;2,5]	0,0016	4,0 [2,0;5,0]	2,0 [2,0;2,0]	0,1585
ESR 1 h, mm/h	11,0 [6,0;14,0]	5,0 [4,0;8,5]	0,0065	9,0 [4,0;10,0]	5,0 [4,0;8,0]	0,4122
CREA, µmol/l	85,2 [78,1;90,0]	91,1 [89,6;107,2]	0,0104	75,0 [61,5; 85,2]	98,4 [90,1; 102,2]	0,0000
UREA, mmol/l	3,9 [3,5;4,6]	5,3 [4,3;5,7]	0,0182	4,2 [3,4;5,5]	5,37 [3,9;5,9]	0,3575
По половой принадлежности	Мужчины (n=10)			Женщины (n=18)		
ESR 30 min, mm/h	4,0 [2,2;6,5]	2,0 [2,0;2,0]	0,0257	4,5 [3,0;5,7]	2,0 [2,0;3,7]	0,0257
CREA, µmol/l	90,0 [85,2;92,3]	105,6 [104,6;110,5]	0,0005	76,1 [63,6; 83,6]	90,1 [89,4; 95,3]	0,0000
По возрасту	ПВГ (n=14)			ВВГ (n=14)		
ESR 30 min, mm/h	3,0 [2,0;4,0]	2,0 [2,0;2,0]	0,0257	5 [4,2;7,7]	2,0 [2,0;4,7]	0,0214
ESR 1 h, mm/h	6,0 [4,2;9,0]	5,0 [4,0;6,7]	0,3472	12,5 [10,0; 14,0]	5,5 [4,2; 12,7]	0,0307
CREA, µmol/l	78,1 [70,8;85,2]	93,3 [90,1;104,5]	0,0001	84,8 [75,5; 87,6]	97,1 [89,4; 107,9]	0,0024
UREA, mmol/l	3,5 [3,2;4,4]	5,0 [3,9;5,5]	0,0413	4,7 [3,8;5,5]	5,3 [4,5;6,1]	0,1556

Манна-Уитни при пороговом значении  $p < 0,05$ . Также проводился ROC-AUC анализ некоторых представленных показателей крови в соответствии с возрастными периодами: 20-29 лет, 30-39 лет, 40-49 лет, 50-59 лет, 60 лет и старше.

**Результаты и обсуждение.** Большая часть из взятых нами гематологических и биохимических показателей крови после проведенного курса значительно не изменялась. Тем не менее определенные изменения, как ожидаемые, так и не ожидаемые, были выявлены.

При сравнении показателей крови до и после курса без ранжирования выборки отмечались следующие изменения: увеличение LYM% ( $p=0,0384$ ), ускорение ESR 30 min ( $p=0,0013$ ), увеличение CREA ( $p=0,0000$ ), UREA ( $p=0,0198$ ) (рис. 2).

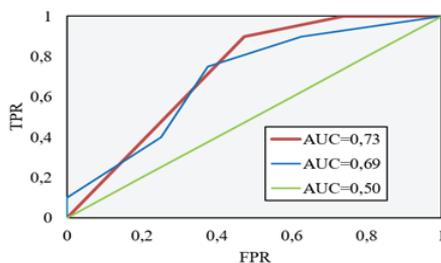
При ранжировании группы добровольцев по состоянию здоровья было выявлено, что при наличии хронического заболевания после курса уменьшался MCHC ( $p=0,0455$ ) и в большей степени увеличивался CREA ( $p=0,0000$ ). У здоровых добровольцев

увеличивался MPV ( $p=0,0016$ ), ускорились ESR 30 min ( $p=0,0016$ ), ESR 1 h ( $p=0,0065$ ), увеличивался CREA ( $p=0,0104$ ) и UREA ( $p=0,0182$ ). Как у мужчин ( $p=0,0257$ ), так и у женщин ( $p=0,0257$ ) ускорилось ESR 30 min. CREA также значимо повышался как у мужчин ( $p=0,0005$ ), так и у женщин ( $p=0,0000$ ). В ПВГ ускорилось ESR 30 min ( $p=0,0257$ ), увеличилась CREA ( $p=0,0001$ ) и UREA ( $p=0,0413$ ), во ВВГ - ESR 30 min ( $p=0,0214$ ) и ESR 1 h ( $p=0,0307$ ), а также увеличился CREA ( $p=0,0024$ ) (табл. 1).

Таблица 2

**Межгрупповое сравнение значимых изменений гематологических и биохимических показателей крови до и после приема суспензии *C.vulgaris***

Показатель	До приема суспензии		p	После приема суспензии		p
	Здоровые (n=15)	Имеют хронические заболевания (n=13)		Здоровые (n=15)	Имеют хронические заболевания (n=13)	
По состоянию здоровья						
CREA, $\mu\text{mol/l}$	85,2 [78,1;90,0]	75,0 [61,5;85,2]	0,0477	91,1 [89,6;107,2]	98,0 [90,1;102,2]	0,8181
По половой принадлежности						
RBC, $10^9/\text{l}$	4,2 [4,3;4,6]	5,1 [4,7;5,4]	0,0127	4,5 [4,2;4,7]	5,0 [4,7;5,3]	0,0198
HGB, g/l	134,0 [130,0;139,0]	156,0 [152,2;165,2]	0,0000	131,0 [126,5;137,7]	152,0 [150,2;157,5]	0,0001
HCT, %	38,0 [36,8;39,1]	43,4 [42,4;45,4]	0,0002	37,7 [36,7;39,0]	42,7 [41,9;45,4]	0,0004
MCHC, g/dL	353,5 [342,7;358,5]	356,5 [353,2;364,5]	0,0687	347,0 [340,0;353,7]	356,5 [351,0;358,0]	0,0292
RET, %	5,0 [3,0;6,0]	5,0 [4,0;8,0]	0,7565	4,5 [4,0;5,0]	7,0 [5,0;10,0]	0,0110
ALP, U/l	50,0 [42,8;55,8]	58,0 [49,6;77,6]	0,1074	50,0 [47,2;62,5]	74,5 [63,2;89,0]	0,0018
CREA, $\mu\text{mol/l}$	76,1 [63,6;83,6]	90,0 [85,2;92,3]	0,0013	90,1 [89,4;95,3]	105,6 [104,6;110,5]	0,0004
По возрасту						
RDW-SD, %	40,7 [40,1;42,3]	43,2 [40,9;45,2]	0,0455	40,9 [40,1;41,9]	43,8 [41,2;44,6]	0,0348
RET, %	4,0 [3,0;5,0]	6,0 [5,0;8,0]	0,0366	5,0 [4,0;5,7]	5,0 [4,0;9,2]	0,5961
ESR 30 min, mm/h	3,0 [2,0;4,0]	5,0 [4,2;7,7]	0,0107	2,0 [2,0;2,0]	2,0 [2,0;4,7]	0,0989
ESR 1 h, mm/h	6,0 [4,2;9,0]	12,5 [10,0;14,0]	0,0027	5,0 [4,0;6,7]	5,5 [4,2;12,7]	0,3125
ESR 2 h, mm/h	11,0 [8,2;14,5]	20,0 [16,0;25,0]	0,0038	12,5 [9,2;14,7]	13,5 [9,5;25,0]	0,3125
ALB, g/l	45,5 [43,1;48,0]	43,7 [41,2;44,4]	0,0703	46,5 [45,8;47,0]	44,1 [42,0;45,4]	0,0051
ALP, U/l	47,6 [42,1;50,4]	58,0 [53,7;62,2]	0,0307	49,0 [47,2;64,5]	63,5 [58,7;74,5]	0,0384
CHOL, mmol/l	4,5 [4,2;4,9]	5,6 [4,9;6,0]	0,0057	5,0 [4,5;5,3]	5,6 [5,4;6,4]	0,0131
UREA, $\mu\text{mol/l}$	3,5 [3,2;4,4]	4,7 [3,8;5,5]	0,0292	5,0 [3,9;5,5]	5,3 [4,5;6,1]	0,3843
LDH, U/l	294,0 [266,5;310,7]	320,0 [308,5;339,0]	0,0146	284,0 [258,7;321,7]	316,5 [303,0;360,2]	0,0366



**Рис. 3.** ROC-кривые уровня GLU и TP при приеме суспензии *C. vulgaris* в соответствии с возрастом: красная кривая – GLU; синяя кривая – TP; зеленая кривая – контроль

Помимо внутригруппового анализа данных осуществлялся их межгрупповой анализ. Исчезнувшая разница ( $p=0,0477$ ;  $p=0,8181$ ) между уровнем CREA здоровых и имеющих хронические заболевания добровольцев может указывать на его больший подъем во второй группе после проведения курса. Разница в уровне RBC ( $p=0,0127$ ;  $p=0,0198$ ), HGB ( $p=0,0000$ ;  $p=0,0001$ ), HCT ( $p=0,0002$ ;  $p=0,0004$ ) у мужского и женского пола объясняется действием половых гормонов. При этом наблюдается снижение MCHC у женщин, в то время как у мужчин изменения не наблюдаются ( $p=0,0687$ ;  $p=0,0292$ ). При изначально равном значении RET после курса у женщин показатель снизился, а у мужчин, наоборот, увеличился ( $p=0,7565$ ;  $p=0,0110$ ). Также изначально не наблюдающаяся разница в ALP после проведенного курса увеличилась у мужчин, что отразилось и на уровне значимости ( $p=0,1074$ ;  $p=0,0018$ ). Разница в уровне CREA присутствовала до курса и не изменилась после его проведения ( $p=0,0013$ ;  $p=0,0004$ ). Во ВВГ RDW-SD был выше как до, так и после курса, по сравнению с ПВГ, что обуславливает разницу ( $p=0,0455$ ;  $p=0,0348$ ). Уровень RET после курса в ПВГ увеличился, в то время как во ВВГ снизился ( $p=0,0366$ ;  $p=0,5961$ ). Показатель ESR 30 min ( $p=0,0107$ ;  $p=0,0989$ ), 1 h ( $p=0,0027$ ;  $p=0,3125$ ), 2 h ( $p=0,0038$ ;  $p=0,3125$ ) до курса преобладал во ВВГ, после же курса ESR снизился в обеих группах до равных значений. После курса увеличились ALB, в большей степени в ПВГ ( $p=0,0703$ ;  $p=0,0051$ ). Уровень ALP был относительно увеличен у ВВГ как до, так и после курса ( $p=0,0307$ ;  $p=0,0384$ ). Уровень CHOL также был более высокий во ВВГ, однако после курса разница была хуже выражена из-за незначительного увеличения показателя в ПВГ ( $p=0,0057$ ;  $p=0,0131$ ). UREA до курса была выше во ВВГ,

чем в ПВГ, но после курса разница выявлялась хуже при общем повышении показателя в двух группах ( $p=0,0292$ ;  $p=0,3843$ ). Показатель LDH как до, так и после курса был ниже у ПВГ при общем его снижении ( $p=0,0146$ ;  $p=0,0366$ ) (табл. 2).

Среди полученных результатов в общей группе, а также в остальных группах заметно увеличение LYM% и ESR в различные временные промежутки замера, что может указывать на иммуномодулирующее и противовоспалительное действие суспензии микроводоросли на организм человека. Вероятно, для *C. vulgaris* характерен следующий механизм иммуномодуляции. Микроводоросль богата аргинином, в зависимости от штамма на него приходится около 3200 мг на 100 г сухой массы. Аргинин способствует образованию такой важной сигнальной молекулы, как NO, которая в свою очередь является активатором гуанилатциклазы, запускающей многочисленные внутриклеточные цепочки реакций, в том числе приводящие к иммунному ответу в компетентных клетках [1, 7]. Помимо этого, механизм иммуномодуляции объясняется присутствием среди углеводов микроводоросли  $\alpha$ -глюкана, который вызывает пролиферацию спленоцитов, а также восстанавливает уровень секреции цитокинов TNF- $\alpha$  и IL-2 [5, 10].

Изменения в показателях GLU и TP были незначимыми. Однако при рассмотрении тенденции изменения данных показателей с возрастом можно обнаружить характерные изменения. Так, уровень GLU в большей степени снижался среди добровольцев старше 50 лет (AUC=0,73). В свою очередь повышение TP было характерно для добровольцев моложе 50 лет (AUC=0,69) (рис. 3). Антидиабетический эффект *C. vulgaris* описан в литературе и может быть обусловлен: снижением перекиси липидов в сыворотке крови [9], увеличением экспрессии рецептора GLUT4 в скелетных мышцах [11], а также снижением экспрессии индукторов инсулинорезистентности, например, резистина [3].

Полученные результаты могут быть объяснены улучшением доступности белковых соединений, что также выражается в тенденции к увеличению ALB и TP, а также совместным влиянием на организм человека состава питательной среды для выращивания микроводоросли [1]. Стоит обратить внимание и на увеличение CREA и UREA, которое само по себе не является положительным результатом. Различные

исследования указывают на то, что свойство препарата микроводоросли зависит от следующих факторов: температуры среды, состава питательных веществ для роста, доступности света [8], а также от самого штамма. Так, для синтеза витамина B12 и корриноидных соединений [2] в среду выращивания *C. vulgaris* добавлялся  $Co^{2+}$ , что также могло вызвать повышение описываемых показателей. Тенденция к увеличению CHOL среди молодого возраста вряд ли указывает на развитие патологического процесса, но тем не менее розниться с данными, представленными в литературе. Клеточная стенка *C. vulgaris*, по-видимому, должна препятствовать всасыванию липидов в просвете кишечника, что обуславливает снижение CHOL в аналогичных исследованиях [4]. Также непонятно, за счет какой фракции липидов (ЛПНП или ЛПВП) происходило повышение показателя.

**Заключение.** Таким образом, прием суспензии *C. vulgaris* оказывает на организм человека выраженный иммуномодулирующий и противовоспалительный эффект независимо от пола, возраста и состояния здоровья. Микроводоросль способствует омоложению эритроидного, мегакариоцитарного и лимфоцитарного ростка клеточного звена, в особенности у мужчин в молодом возрасте. Также в молодом возрасте выражено увеличение белоксинтезирующей функции. После 50 лет употребление микроводоросли оказывает гипогликемический эффект. При этом обнаруженное увеличение CREA, UREA, CHOL требует дальнейшего изучения и контроля за употреблением и производством *C. vulgaris*.

## Литература

1. Bito T., Okumura E., Fujishima M., Watanabe F. Potential of Chlorella as a Dietary Supplement to Promote Human Health. *Nutrients*. 2020; 12(9):2524. DOI: 10.3390/nu12092524.
2. Bito T., et al. Characterization and quantitation of vitamin B12 compounds in various Chlorella supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(45):8516–8524. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03550.
3. Itakura H., Kobayashi M., Nakamura S. Chlorella ingestion suppresses resistin gene expression in peripheral blood cells of borderline diabetics. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2015; 10(3):e95–e101. DOI: 10.1016/j.clnesp.2015.04.002.
4. Kim S, et al. A dietary cholesterol challenge study to assess Chlorella supplementation in maintaining healthy lipid levels in adults: A double-blinded, randomized, placebo-controlled study. *Journal of Nutrition*. 2016; 15(1):1–7. DOI: 10.1186/s12937-016-0174-9.
5. Kwak J.H., et al. Beneficial immunostimulatory effect of short-term Chlorella supplement-

tation: Enhancement of Natural Killer cell activity and early inflammatory response (randomized, double-blinded, placebo-controlled trial). *Journal of Nutrition*. 2012; 11:1–8. DOI: 10.1186/1475-2891-11-53.

6. Montoya, E.Y.O., et al. Production of *Chlorella vulgaris* as a source of essential fatty acids in a tubular photobioreactor continuously fed with air enriched with CO<sub>2</sub> at different concentrations. *Biotechnology Progress*. 2014; 30(4):916–22. DOI: 10.1002/btpr.1885.

7. Morris Jr S.M. Recent advances in ar-

ginine metabolism: roles and regulation of the arginases. *British Journal of Pharmacology*. 2009; 157(6):922-30. DOI: 10.1111/j.1476-5381.2009.00278.x.

8. Panahi Y., Khosroshahi A.Y., Sahebkar A., Heidari H.R. Impact of Cultivation Condition and Media Content on *Chlorella vulgaris* Composition. *Advanced pharmaceutical bulletin*. 2019; 9(2):182-194. DOI: 10.15171/apb.2019.022.

9. Shibata S., et al. Antioxidant and anti-cataract effects of *Chlorella* on rats with streptozotocin-induced diabetes. *Journal of Nutritional Sci-*

ence and Vitaminology. 2003; 49(5):334–39. DOI: 10.3177/jnsv.49.334.

10. Tabarsa M., et al. An immune-enhancing water-soluble  $\alpha$ -glucan from *Chlorella vulgaris* and structural characteristics. *Food Science and Biotechnology*. 2015; 24:1933–1941. DOI: 10.1007/s10068-015-0255-0.

11. Vecina J.F., et al. *Chlorella* modulates insulin signaling pathway and prevents high-fat diet-induced insulin resistance in mice. *Life Sciences*. 2014; 95(1):45–52. DOI: 10.1016/j.lfs.2013.11.020.

Д.Н. Сидорова, А.М. Спиридонов, И.П. Троев,  
Л.Г. Маринова, М.П. Кириллина, Г.А. Пальшин, Д.В. Сивцев,  
А.А. Дьяконов, Н.Н. Лазарева, А.А. Охлопкова

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА МАРКИ ПН-90 НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

DOI 10.25789/YMJ.2024.85.27

УДК 617; 678.5

В работе приведены результаты исследования биосовместимости политетрафторэтилена марки ПН-90 имплантированного в подкожно-жировое пространство лабораторных животных – крысы линии Wistar. Вживление полимера проводилось под общим наркозом в подлопаточную область. Рассмотрены гистологические срезы тканей с контрольного участка и близлежащих к имплантату. Вокруг имплантированного политетрафторэтилена наблюдается интенсивный рост новых сосудов разного калибра в сочетании с сильной пролиферацией фибробластов. Также проведены исследования на ИК-спектрометре и растровом электронном микроскопе полимерного материала до и после имплантации. По результатам исследований методом ИК-спектроскопии можно сделать вывод о том, что после имплантации химический состав полимера остается неизменным. Поверхность политетрафторэтилена после имплантации выглядит практически идентично с поверхностью исходного полимера. По полученным данным сделаны выводы о биологической совместимости политетрафторэтилена и его возможности использования в медицине в качестве основы для имплантов.

**Ключевые слова:** биосовместимость, воспаление, имплантация, политетрафторэтилен, крысы.

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск: **СИДОРОВА Долгуяана Николаевна** – вед. инженер ИЕН, инженер-исследователь лаб. МИ, ORCID 0000-0001-7470-5634, dolguyaana.sidorova@bk.ru, **СПИРИДОНОВ Александр Михайлович** – к.х.н., в.н.с.-руковод. лаб. ИЕН, ORCID 0000-0001-6520-5785, spalnik@mail.ru, **ТРОЕВ Иван Петрович** – с.н.с. МИ, ORCID 0000-0001-9782-8565, ysumed@yandex.ru, **МАРИНОВА Людмила Германовна** – к.м.н., н.с. МИ, ORCID 0000-0001-8284-0051, marinova@mail.ru, **ПАЛЬШИН Геннадий Анатольевич** – д.м.н., проф., зав. кафедрой МИ, ORCID 0000-0002-2346-8090, palgasv@mail.ru, **СИВЦЕВ Денис Витальевич** – студент ИЕН, ORCID 0000-0002-0115-4699, Alen1882@gmail.com, **ДЪЯКОНОВ Афанасий Алексеевич** – с.н.с. ИЕН, ORCID 0000-0002-1076-0631, afonya71185@mail.ru, **ЛАЗАРЕВА Надежда Николаевна** – к.т.н., доцент, в.н.с.-зав. лаб. ИЕН, ORCID 0000-0001-5090-0793, lazareva-nadia92@mail.ru, **ОХЛОПКОВА Айтилина Алексеевна** – д.т.н., проф., гл.н.с. ИЕН, ORCID 0000-0003-0691-7066, okhlopkova@yandex.ru, **КИРИЛЛИНА Мария Петровна** – к.б.н., в.н.с.-руковод. лаб. ЯНЦ КМП, г. Якутск, ORCID 0000-0002-8629-1296, kirillinamp@mail.ru.

This paper presents the results of biocompatibility research of PN-90 polytetrafluoroethylene implanted in the subcutaneous fat space of laboratory animals (Wistar rats). The implantation of the polymer was carried out under general anesthesia in the subscapular region. Histological sections of tissues from the control area and adjacent to the implant were investigated. Around the implanted polytetrafluoroethylene there was an intensive growth of new vessels of various calibers combined with a severe fibroblasts proliferation. The polymeric material was also investigated by means of an IR spectrometer and a scanning electron before and after implantation. According to the results of IR spectroscopy the chemical composition of the polymer remains unchanged. The surface of polytetrafluoroethylene after implantation was practically identical to the surface of the initial polymer. Based on the data obtained, it can be concluded that polytetrafluoroethylene is biologically compatible and can be used in medicine as a base for implants.

**Keywords:** biocompatibility, inflammation, wear resistance, implantation, polytetrafluoroethylene, rats.

**Введение.** В медицине уже давно широко используются синтетические полимерные материалы в качестве расходных изделий, систем доставки лекарств, протезов и имплантов, экстракорпоральных устройств и т.д. В большинстве случаев использование полимеров обуславливается дешевизной и технологичностью в процессе изготовления требуемых изделий, а также возможностью легко варьировать их эксплуатационные свойства. Также к материалам, имплантируемым в человеческое тело, предъявляется ряд

требований, включающих в себя: высокую биосовместимость, химическую инертность, высокую чистоту изделия, износостойкость, стабильность основных характеристик [3].

Подходящим для использования в медицине полимером является политетрафторэтилен (ПТФЭ), или тефлон – это воскообразный и гладкий синтетический полимерный материал, широко используемый во многих отраслях промышленности и медицины. Он обладает очень высокой термической и химической стабильностью, низким