

История развития и возможности плазменной хирургии

© Б.В. СИГУА, В.П. ЗЕМЛЯНОЙ, А.С. СОКОЛОВА

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

200 лет прошло с того момента, когда М. Фарадей предположил наличие у веществ четвертого агрегатного состояния. Был проделан длинный путь изучения плазмы и ее свойств, поиск возможностей применения в различных направлениях. Многие специалисты различных областей медицины проводили исследования по применению уникальных свойств плазмы для стерилизации оборудования, лечения различных заболеваний и профилактики их осложнений. Однако потенциал использования плазмы продолжает открывать новые и новые области применения.

Ключевые слова: плазма; история открытия; механизмы воздействия; области применения

History of Development and Potentials of Plasma Surgery

© B.V. SIGUA, V.P. ZEMLYANOV, A.S. SOKOLOVA

North-Western state medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

Two hundred years have passed since the moment when Michael Faraday suggested the existence of substances of the fourth aggregate state. A long way has been spent studying plasma and its properties, searching for possible applications in various directions. Many specialists in various fields of medicine have conducted research on the use of unique properties of plasma for sterilization of equipment, treatment of various diseases and prevention of their complications. However, the potential of plasma use continues to open up novel ways of its application.

Keywords: plasma; history of discovery; impact mechanisms; applications

С давних времен человечеству известно, что вещества могут находиться в твердом, жидком и газообразном агрегатном состоянии. Безусловно, понимание того, что каждое вещество может находиться во всех этих состояниях, приходило со временем и развитием химической и физической науки. Но лишь в XIX веке ученые обратили внимание на еще одну форму пребывания вещества – это плазма. Открытие плазмы, как четвертого агрегатного состояния, приписывают Майклу Фарадею, который в 1819 году предположил, что вещество может пребывать в газообразном, жидком, твердом и лучистом состояниях – “radiant state of matter”. Причем это предположение носило исключительно теоретический характер [1].

В начале 1870-х гг. английский физик и химик Уильям Крукс проводил опыты по созданию радиометра. Изучая распространение электрического разряда в стеклянных трубках Гейссера, он отметил, что разряженные газы, подключенные к высоковольтной обмотке индукционной катушки, могли испускать яркое свечение [2]. Крукс установил изменение характера разряда в зависимости от давления и исчезновение разряда при высоком вакууме. Таким образом, ученый впервые смог зафиксировать существование четвертого агрегатного состояния веществ – плазменного. В 1879 г. Крукс в одном из своих докладов написал: “Явления в откачанных трубках открывают для физической науки новый мир, в котором материя может существовать в четвертом состоянии”. В своем докладе Уильям Крукс прямо говорил, что использует термину, которые позаимствовал у Майкла Фарадея [3].

Однако это открытие не вызвало интереса у других физиков и про него забыли на 56 лет, до тех пор, пока в 1923 году американский химик Ирвинг Ленгмюр не приступил к девятилетнему исследованию свойств электрических разрядов в газах. Именно он и предложил для ионизированного газа использовать термин “плазма”, когда в процессе экспериментов изменялись чрезвычайно мощные переменные токи [4].

С тех пор человечество сделало гигантский шаг в изучении плазмы. На основе теорий её существования были сделаны многие открытия, в том числе и термоядерные реакции. Созданы выпрямители электрического тока, стабилизаторы напряжения, телевизионные экраны, люминесцентные лампы, плазменные релятивистские усилители, а также генераторы сверхвысоких частот (СВЧ). В настоящее время ученые более 50 стран трудятся над созданием нового Такамака - международного экспериментального термоядерного реактора. Это позволит получать огромное количество “мирной” энергии без природных затрат.

Но если в технике плазма применяется в течение многих лет, то применение плазмы в медицине долгое время носило весьма однобокий характер. Учитывая ее высокую бактерицидную активность, плазма широко используется для стерилизации медицинских устройств и материалов.

Для начала имеет смысл разобраться в основных понятиях и свойствах плазмы. Плазма – это частично или полностью ионизированный газ, состоящий из нейтральных атомов (или молекул), свободных радикалов и заряженных частиц (ионов и электронов) [5]. Различают естественно возникшую (земная

плазма или астрофизическая плазма, как например, солнце, молния и северное сияние) и искусственно созданную плазму, которая образуется в экранах или флуоресцентных лампах. Также происходит деление плазмы, в зависимости от относительных температур нейтрального газа, а также электронов и ионов, на горячую (тепловую) и холодную (нетепловую или низкотемпературную). Газы в тепловой плазме имеют одинаковую температуру, находясь в равновесии между собой и окружающим веществом. В нетепловой плазме электроны имеют большую температуру, чем незаряженные молекулы и ионы. В такой “холодной” плазме газ-носитель (аргон, гелий, воздух) ионизирован весьма незначительно, а ионы могут охлаждаться до комнатной температуры за доли секунды.

Физикам и химикам уже длительное время был известен биоцидный эффект ионизированного газа, только в 1996 году появились первые сообщения об успешном уничтожении бактерий с помощью плазмы. Традиционные методы, при которых используют высокие температуры и концентрации химических веществ, таких как хлор, могут оказывать выраженное воздействие на химически активные или термочувствительные поверхности. Плазма быстро и эффективно проникает в самые маленькие отверстия поверхностей и полости. Однако механизм процесса дезинфекции или стерилизации до сих пор остается не совсем ясным. Согласно современным теориям, инактивируют бактерии физические (свободными радикалами, обусловленные активными формами, УФ-фотонами), и биологические механизмы воздействия (клеточные процессы, повреждающие ДНК и мембраны). УФ-излучение, поглощая энергию, повреждает клеточные макромолекулы, а также вызывает окислительный стресс, приводящий к необратимому повреждению ДНК-белков и липидов [6].

В источниках приведено множество исследований, в которых используются различные параметры плазмы. В них доказывалась высокая эффективность низкотемпературной плазмы *in vitro* в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий, бактерий, вирусов, спор и грибов. Kamgang-Youbi и соавт. в своем исследовании в 2007 году обрабатывали плазмой дистиллированную воду и доказали, что в течение 5-ти минут такая вода обладает *in vitro* выраженным антимикробным эффектом на различные патогенетические агенты и может использоваться для обработки контаминированных тканей или материалов [7]. Низкотемпературная плазма также позволяет растворять или удалять биопленки, которые обнаруживаются на катетерах, медицинских имплантатах и зубах. Биопленки представляют собой трехмерные скопления микроорганизмов, которые, присоединившись к поверхности, покрываются полимерными веществами и могут эффективно защищаться от агрессивного воздействия как окружающей среды, так и иммунной системы. Lee с группой коллег удалось

выяснить, что биопленки, которые продуцируются грамотрицательными и грамположительными бактериями, могут быть удалены меньше чем за 20 секунд. Рост же планктонных бактерий можно ингибировать в течение 5 секунд [8]. В результате исследования также авторами была обнаружена вероятность удаления белков с поверхностей медицинского назначения гелий-кислородной плазмой. Данный эффект связывают с действием активных форм кислорода.

Помимо изучения влияния холодной плазмы на клетки *in vitro*, были проведены исследования по воздействию плазмы на клетки млекопитающих. Эксперименты, проводимые на фибробластах, эндотелиальных и мышечных клетках *in vitro* позволили выявить эффективность низкотемпературной плазмы, однако существует зависимость от дозы и времени воздействия. Воздействие длительностью более 60 секунд, либо большей интенсивности, приводит к апоптозу и некрозу клеток. При воздействии меньшей длительности, около 30 секунд или меньшей интенсивности, происходит обратимая потеря клеточной адгезии, отмечается временное увеличение проницаемости клеточных мембран, происходит подавление миграции или стимуляция клеточной пролиферации, что возникает, вероятно, за счет факторов роста. За клеточный апоптоз и клеточную пролиферацию, вызываемые индуцированной плазмой, вероятнее всего, несут ответственность активные формы, например, кислорода и азота [9].

Низкие дозы, эффективно уничтожающие бактерии, весьма безопасны для клеточных структур человека и животных. Научные исследования, проведенные на коже млекопитающих и человека, подтверждают эту теорию. При воздействии плазмы в низкой продолжительности происходит выраженное снижение бактериальной обсемененности, однако, оно не вызывает макро- или микроскопических повреждений как *in vivo*, так *ex vivo*. Лишь после 10-минутного воздействия определялась вакуолизация кератиноцитов кожи [10].

Dobrynin и соавт. суммировали различные гипотезы, подтвержденные и другими авторами, которые объясняли выраженную селективность воздействия плазмы на прокариотические клетки в сравнении с эукариотическими. Эукариотические клетки, отличающиеся клеточным метаболизмом и более высокой клеточной организацией, гораздо более лучше защищены от внешнего воздействия, к тому же они имеют более выгодное соотношение в характеристике «поверхность – объем», что позволяет им игнорировать повреждения, а для поражения требуется более высокая доза яда [10].

В своем исследовании Fridman и соавт. продемонстрировали эффект направленного апоптоза злокачественные клетки. Это было продемонстрировано *in vitro* на меланомной клеточной линии ATCC A2058 (воздействие ПЭ-ДБД-устройства). Lee и соавт. ис-

пользовали данный эффект на меланомной клеточной линии G361 (гелиевая плазменная игла, 13.56 МГц, 15 с при 4 Вт, 0.5-5 ст.л/мин) [11,12].

В 1969 г. Robson с соавторами при проведении исследования выяснили, что необходимо наличие не более 10^5 колонийобразующих единиц β -гемолитических стрептококков, а также *Staphylococcus aureus* или *Pseudomonas aeruginosa* в ране, чтобы помешать её заживлению. Этот процесс также замедляется при обнаружении более 4 различных штаммов бактерий. Резистентные патогенные микроорганизмы, особенно метициллин-резистентные штаммы *Staphylococcus aureus* (MRSA) чаще всего определяются в хронических ранах. Исследования, проведенные на различных клеточных культурах, доказали, что воздействие плазмой влияет на процесс заживления ран только путем уменьшения бактериальной обсемененности, а также за счет оказания прямого воздействия на клетки эпидермиса и дермы. При ознакомлении с промежуточными результатами анализа первого глобального рандомизированного клинического исследования по применению плазменного аппарата, было отмечено, что у пациентов с хроническими инфицированными ранами, получающих лечение низкотемпературной аргоновой плазмой 1 раз в день (продолжительность воздействия составляла 2-5 минуты) в качестве дополнительной терапии, отмечалось значительное снижение бактериальной обсемененности в ранах в 34% случаев, в сравнении с пациентами контрольной группы, где раны не обрабатывались. Побочные эффекты при этом не отмечались [13]. В неконтролируемом исследовании при участии 48 пациентов с синдромом диабетической стопы Фетюков А.И. и группа исследователей, используя “Плазмафон”, как источник низкотемпературной плазмы, достигли более быстрого заживления ран (в 2 раза), а также снижение уровня боли по сравнению с контрольной группой [14].

Дополнительное преимущество, рассматриваемое с позиции заживления ран и улучшения регенеративных процессов, состоит в повышении концентрации оксида азота (NO), генерируемого плазмой экзогенно. Вызываемая индукция цитокинов, факторов роста объясняется вазодилатацией и нормализацией микроциркуляции, что оказывает влияние на прямой бактерицидный эффект, увеличивает скорость нервной передачи импульсов, стимулирует фибробласты и рост сосудов. Было проведено неконтролируемое исследование, в котором приняли участие 186 пациентов, страдающих диабетом, с наличием гнойных и некротических ран нижних конечностей. Лечение проводилось с использованием плазменного устройства “Plazon, особенностью которого служит то, что горячая плазма с высокой концентрацией оксида азота (NO) охлаждается до 20-40 °С в течение короткого промежутка времени и приводит к ускоренному заживлению ран [15]. Это было подтверждено Липатовым К.В. и соавт. в исследовании на 40 пациентах

[16]. Несмотря на тот факт, что плазменное устройство “Plazon” используется в медицине более 10 лет, до сих пор не были проведены контролируемые рандомизированные исследования.

В 2005 г. была представлена лицензия на технологию плазменной регенерации кожи (ПРК) для омоложения и устранения морщин. Лицензия была выдана Американским Управлением по контролю пищевых продуктов и лекарственных средств.

Косметический эффект заключается в том, что применяется горячая плазма, способная быстро охлаждаться и генерироваться радиочастотным плазмотроном. В качестве газа-носителя используют азот. Продуцируемое плазмой тепло вызывает контролируемое термическое повреждение кожи, это, в свою очередь, стимулирует выработку нового коллагена и сокращение коллагеновых волокон, что и вызывает перестройку кожной архитектуры. [17,18, 19]. Данный метод может быть использован для лечения таких кожных заболеваний, как актинический и себорейный кератоз, при вирусных папилломах, рубцах кожи, от солнечного повреждения кожи, в том числе пигментного расстройства, в сочетании с процедурами эстетической хирургии. Ряд исследований подтверждают весьма успешное использование данного метода по сокращению морщин с эффективностью до 50 % [20, 21].

Стоит отметить эффективность местного воздействия высокотемпературной плазмой для достижения оптимального уровня гемостаза, а также возможность вызывать склерозирование ангиодисплазий, абляцию опухолей во многих областях хирургии, гинекологии, онкологии, урологии, включая эндоскопическое. Глубина термического воздействия не превышает 2-3 мм, что делает данный метод относительно безопасным со стороны возникновения побочных эффектов.

Существуют разработки для возможности лечения в будущем многих бактериальных кожных заболеваний. Ведутся исследования по возможности лечения плазмой при наличии фолликулита, контактного импетиго, дерматофитии стоп.

Способность плазмы проникать сквозь текстильные изделия позволяет предположить альтернативное использование плазмы для предотвращения или лечения дерматофитии стоп. Разрабатываются большие устройства для клиник и медицинских офисов, но, в будущем, возможна разработка и небольших устройств для домашнего использования. Также использование данных методов может позволить создать устройства, генерирующие низкотемпературную плазму для дезинфекции рук, обеспечивает *in vitro* снижение бактериальной нагрузки в течение нескольких секунд. При этом могут эффективно уничтожаться даже полирезистентные патогены. Данная форма дезинфекции рук обладает рядом выраженных преимуществ в сравнении с традиционными кожными антисептиками, которые могут раздражать кожу и требуют более длительного периода нанесения. Это может

быть весьма полезным не только в условиях клиник, но также любых других общественных учреждений, что особенно актуально в условиях настоящей эпидемиологической обстановки. С высокой долей вероятности в будущем холодная плазма найдет широкое применение в стоматологической практике. Обладая способностью проникать в микроскопические отверстия, можно предположить возможность ее использования в терапии заболеваний десен или для обработки инфицированных корневых каналов. Усовершенствование манипуляторов для увеличения плазменного пучка или, наоборот, создание манипулятора с точеч-

ным воздействием, позволит расширить возможности по использованию плазмы не только в полостной хирургии, но и на локальных участках. Это позволит более широко использовать плазму в пластической хирургии, а также в нейрохирургии, офтальмологии, оториноларингологии, колопроктологии и амбулаторной хирургии.

Дополнительная информация

Конфликт интересов

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

Список литературы

- Geoffrey N. Cantor. Michael Faraday: Sandemanian and scientist. *Springer*. 2016; 180-182.
- Храмов Ю.А. Крукс Уильям. *Физики: Биографический справочник*. Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Наука. 1983; 145.
- Кудрявцев П.С. *Курс истории физики*. М.: Просвещение. 1982; 448.
- Mott-Smith H., Langmuir I. *Phys. Rev.* 1926; 28: 5: 727. doi:https://doi.org/10.1103/PhysRev.28.727.
- Кузовенин К.А. Компьютерное моделирование и мультимедийное представление технологий получения плазмы. *Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий*. 2011;1: 2: 87-92.
- Ичеткина А.А., Трофимова С.В., Кряжев Д.В., Иванова И.П., Смирнов В.Ф. Влияние ультрафиолетового излучения и излучения плазмы импульсного искрового разряда на зародышевые структуры и мицелий микромицетов-деструкторов. *Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского*. 2011; 2: 2: 196-201.
- Kamgang-Youbi G, Herry JM, Bellon-Fontaine MN, Brisset JL, Doubla A. Evidence of temporal postdischarge decontamination of bacteria by gliding electric discharges: application to Hafnia alvei. *Appl Environ Microbiol.* 2007;73: 15: 4791-4796. doi: 10.1128/AEM.00120-07
- Lee CK, Fn Hung I, Kw To K, Lee KL, Chan K. Convalescent plasma treatment reduced mortality in patients with severe pandemic influenza A (H1N1) 2009 virus infection. *Clin Infect Dis.* 2011; 52:4: 447-456. doi: 10.1093/cid/ciq106.
- Chailakhyan RK, Grosheva AG, Gerasimov YuV, Vorob'eva NN, Ermolaeva SA. Effect of Non-Thermal Plasma on Proliferative Activity and Adhesion of Multipotent Stromal Cells to Scaffolds Developed for Tissue-Engineered Constructs. *Bull Exp Biol Med.* 2019; 167: 1: 182-188. doi: 10.1007/s10517-019-04486-0.
- Andrew SWu, Kalghatgi S, Dobrynin D, Sensenig R, Cerchar E. Porcine intact and wounded skin responses to atmospheric nonthermal plasma. *J Surg Res.* 2013; 179: 1: 1-12. doi 10.1016 / j.jss.2012.02.039.
- Sensenig R, Kalghatgi S, Cerchar E, Fridman G, Shereshevsky A. Retraction note to: Non-thermal plasma induces apoptosis in melanoma cells via production of intracellular reactive oxygen species. *Ann Biomed Eng.* 2013; 41: 3: 656. doi: 10.1007 / s10439-013-0740-7.
- Choi BBR, Choi JH, Hong JW, Song KW, Lee HJ. Selective Killing of Melanoma Cells With Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma and p-FAK Antibody Conjugated Gold Nanoparticles. *Int J Med Sci.* 2017; 4: 14: 1101-1109. doi: 10.7150 / ijms.20104.
- Robson MC, Hegggers JP. Surgical infection. II. The beta-hemolytic streptococcus. *J Surg Res.* 1969; 9: 5: 289-292. doi: 10.1016 / 0022-4804 (69) 90068-7.
- Фетюков А.И., Шорников В.А., Цицюра А.П., Авдеева Е.А., Петрова Л.А. Лечение трофических язв при различных формах диабетической стопы с использованием холодной плазмы. *Скорая медицинская помощь*. 2004; 5: 3: 260-261.
- Чернеховская Н.Е., Шишло В.К., Чомаева А.А., Шевхужев З.А. Основы взаимодействия NO-терапии и лимфотропной антибактериальной терапии при лечении трофических язв. *Хирургическая практика*. 2013; 1: 9-13.
- Липатов К.В., Сопроматдзе М.А., Шехтер А.Б., Емельянов А.Ю., Грачев С.В. Использование газового потока, содержащего оксид азота (NO-терапия) в комплексном лечении гнойных ран. *Хирургия*. 2002; 2: 41-43.
- Bogle MA, Arndt KA, Dover JS. Plasma skin regeneration technology. *J Drugs Dermatol.* 2007; 6: 11: 1110-1112.
- Elsaie ML, Kammer JN. Evaluation of plasma skin regeneration technology for cutaneous remodeling. *J Cosmet Dermatol.* 2008; 7: 4: 309-311. doi: 10.1111 / j.1473-2165.2008.00411.x

References

- Geoffrey N. Cantor. Michael Faraday: Sandemanian and scientist. *Springer*. 2016; 180-182.
- Khramov YuA. Kruks U. *Fiziki: Biograficheskiy spravochnik*. Pod red. A. I. Akhiezer. Izd. 2-e, ispr. i dop. M.: Nauka. 1983; 145. (In Russ.)
- Kudryavtsev PS. *Kurs istorii fiziki*. M.: Prosveshchenie. 1982; 448. (In Russ.)
- Mott-Smith H., Langmuir I. *Phys. Rev.* 1926; 28: 5: 727. doi:https://doi.org/10.1103/PhysRev.28.727.
- Cosoveni KA. Computer modeling and multimedia representation of plasma production technologies. *Nizkotemperaturnaya plazma v protsessakh naneseniya funktsional'nykh pokrytii*. 2011;1: 2: 87-92. (In Russ.)
- Ichetkina AA, Trofimova SV, Kryazhev DV, Ivanova IP, Smirnov VF. Influence of ultraviolet radiation and plasma radiation of pulsed spark discharge on germ structures and mycelium of micromycetes-destructors. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. I. Lobachevsky*. 2011; 2: 2: 196-201. (In Russ.)
- Kamgang-Youbi G, Herry JM, Bellon-Fontaine MN, Brisset JL, Doubla A. Evidence of temporal postdischarge decontamination of bacteria by gliding electric discharges: application to Hafnia alvei. *Appl Environ Microbiol.* 2007;73: 15: 4791-4796. doi: 10.1128/AEM.00120-07
- Lee CK, Fn Hung I, Kw To K, Lee KL, Chan K. Convalescent plasma treatment reduced mortality in patients with severe pandemic influenza A (H1N1) 2009 virus infection. *Clin Infect Dis.* 2011; 52:4: 447-456. doi: 10.1093/cid/ciq106.
- Chailakhyan RK, Grosheva AG, Gerasimov YuV, Vorob'eva NN, Ermolaeva SA. Effect of Non-Thermal Plasma on Proliferative Activity and Adhesion of Multipotent Stromal Cells to Scaffolds Developed for Tissue-Engineered Constructs. *Bull Exp Biol Med.* 2019; 167: 1: 182-188. doi: 10.1007/s10517-019-04486-0.
- Andrew SWu, Kalghatgi S, Dobrynin D, Sensenig R, Cerchar E. Porcine intact and wounded skin responses to atmospheric nonthermal plasma. *J Surg Res.* 2013; 179: 1: 1-12. doi 10.1016 / j.jss.2012.02.039.
- Sensenig R, Kalghatgi S, Cerchar E, Fridman G, Shereshevsky A. Retraction note to: Non-thermal plasma induces apoptosis in melanoma cells via production of intracellular reactive oxygen species. *Ann Biomed Eng.* 2013; 41: 3: 656. doi: 10.1007 / s10439-013-0740-7.
- Choi BBR, Choi JH, Hong JW, Song KW, Lee HJ. Selective Killing of Melanoma Cells With Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma and p-FAK Antibody Conjugated Gold Nanoparticles. *Int J Med Sci.* 2017; 4: 14: 1101-1109. doi: 10.7150 / ijms.20104.
- Robson MC, Hegggers JP. Surgical infection. II. The beta-hemolytic streptococcus. *J Surg Res.* 1969; 9: 5: 289-292. doi: 10.1016 / 0022-4804 (69) 90068-7.
- Fetyukov AI, Shornikov VA, Siccura AP, Avdeev EA, Petrova LA. Treatment of trophic ulcers in various forms of diabetic foot using cold plasma. *Skoraya meditsinskaya pomoshch'*. 2004; 5: 3: 260-261. (In Russ.)
- Chernyakhovskaya NE, Shishlo VK, Chomaeva AA, Shevkhezhev ZA. Fundamentals of interaction between NO-therapy and lymphotropic antibacterial therapy in the treatment of trophic ulcers. *Khirurgicheskaya praktika*. 2013; 1: 9-13. (In Russ.)
- Lipatov KV, Sopromadze MA, Shekhter AB, Emelyanov AYU, Grachev SV. Use of a gas stream containing nitric oxide (NO-therapy) in the complex treatment of purulent wounds. *Khirurgiya*. 2002; 2: 41-43. (In Russ.)
- Bogle MA, Arndt KA, Dover JS. Plasma skin regeneration technology. *J Drugs Dermatol.* 2007; 6: 11: 1110-1112.
- Elsaie ML, Kammer JN. Evaluation of plasma skin regeneration technology for cutaneous remodeling. *J Cosmet Dermatol.* 2008; 7: 4: 309-311. doi: 10.1111 / j.1473-2165.2008.00411.x
- Holcomb J.D. Plasma Energy Skin Rejuvenation. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2020; 28: 1: 67-74. doi: 10.1016 / j.fsc.2019.09.006.

19. Holcomb J.D. Plasma Energy Skin Rejuvenation. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2020; 28: 1: 67-74. doi: 10.1016 / j.fsc.2019.09.006.
20. Gan L, Zhang S, Poorun D, Liu D, Lu X. Medical applications of nonthermal atmospheric pressure plasma in dermatology. *J Dtsch Dermatol Ges.* 2018; 16: 1: 7-13. doi: 10.1111 / ddg.13373.
21. Bernhardt T, Semmler ML, Schäfer M, Bekeschus S, Emmert S. Plasma Medicine: Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma in Dermatology. *Oxid Med Cell Longev.* 2019; 3: Index:3873928. doi: 10.1155 / 2019/3873928.
20. Gan L, Zhang S, Poorun D, Liu D, Lu X. Medical applications of nonthermal atmospheric pressure plasma in dermatology. *J Dtsch Dermatol Ges.* 2018; 16: 1: 7-13. doi: 10.1111 / ddg.13373.
21. Bernhardt T, Semmler ML, Schäfer M, Bekeschus S, Emmert S. Plasma Medicine: Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma in Dermatology. *Oxid Med Cell Longev.* 2019; 3: Index:3873928. doi: 10.1155 / 2019/3873928.

Информация об авторах

1. Сигуа Бадри Валериевич - д.м.н., доцент кафедры факультетской хирургии им. И.И. Грекова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com
2. Земляной Вячеслав Петрович - д.м.н., профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии им. И.И. Грекова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com
3. Соколова Анна Сергеевна - соискатель кафедры факультетской хирургии им. И.И. Грекова, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com

Information about the Authors

1. Badri Valerievich Sigua - M.D., Associate Professor of the Department of Faculty Surgery named after I. I. Grekov, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com
2. Vyacheslav Petrovich Zemlyanoi - M.D., Professor, Head of the Department of Faculty Surgery named after I. I. Grekov, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com
3. Sokolova Anna Sergeevna - Candidate of the Department of Faculty Surgery named after I. I. Grekov, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, e-mail: a.s.sokolova84@gmail.com

Цитировать:

Сигуа Б.В., Земляной В.П., Соколова А.С. История развития и возможности плазменной хирургии. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2021; 14: 3: 243-247. DOI: 10.18499/2070-478X-2021-14-3-243-247.

To cite this article:

Sigua B.V., Zemlyanoy V.P., Sokolova A.S. History of Development and Potentials of Plasma Surgery. *Journal of experimental and clinical surgery* 2021; 14: 3: 243-247. DOI: 10.18499/2070-478X-2021-14-3-243-247.