

Влияние постоянного электрического тока на структурную организацию эндотелиоцитов кровеносных капилляров десен больных хроническим маргинальным гингивитом

Самойлов К.О.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

Effect of direct electric current on the structural organization of endotheliocytes of gingival blood capillaries in patients with chronic marginal gingivitis

Samoilov K.O.

Novosibirsk State Medical University

АННОТАЦИЯ

Хронический воспалительный процесс в тканях пародонта (гингивит, пародонтит) является одной из наиболее часто встречающихся проблем в стоматологической практике. Результат лечения такого процесса во многом определяется состоянием системы микроциркуляции тканей пародонта. В комплексной терапии этих заболеваний часто применяют физиотерапевтические методики, основанные на эффектах воздействия постоянного электрического тока (анод-гальванизация, лекарственный электрофорез, депофорез).

В исследовании, посвященном изучению влияния постоянного электрического тока на структурную организацию эндотелиоцитов кровеносных капилляров десен больных хроническим маргинальным гингивитом (ХМГ), участвовали 39 чел. (группа 1 — 10 чел. с интактным пародонтом; группа 2 — 10 больных ХМГ до лечения; группа 3 — 19 больных ХМГ после комплексного лечения, включавшего в том числе 3-кратную анод-гальванизацию десен по 5 мин). Обнаружены изменения структуры эндотелиоцитов кровеносных капилляров хронически воспаленных десен (изменились величина и численность клеточных органелл) под воздействием постоянного электрического тока, что может оказывать существенное влияние на течение хронического воспалительного процесса в тканях пародонта.

Ключевые слова: пародонт, хронический гингивит, эндотелиоцит, кровеносные капилляры, анод-гальванизация.

ABSTRACT

The chronic inflammatory process in periodontal tissues (gingivitis, periodontitis) is one of the most common issues in dental practice. The results of treatment of such process is determined mainly by the state of the periodontal microcirculation system. In the complex therapy of these diseases, physiotherapeutic techniques based on the effects of direct electric current (anode-galvanization, drug electrophoresis, depophoresis) are often used.

In the study on the effect of direct electric current on the structural organization of endotheliocytes of blood capillaries of gums in patients with chronic marginal gingivitis (CMG) participated 39 persons (group 1 consisted of 10 persons with an intact periodontium, group 2 consisted of 10 patients with simple CMG before treatment, and group 3 consisted of 19 patients with CMG after comprehensive treatment, including 3-fold anode-galvanization of gums for 5 min).

Authors have found changes in the structure of endotheliocytes of blood capillaries of chronically inflamed gums (the size and number of cellular organelles have changed) under the influence of direct electric current, that may have a significant effect on the course of chronic inflammatory process in periodontal tissues.

Keywords: periodontium, chronic gingivitis, endotheliocyte, blood capillaries, anode-galvanization.

Поступила 09.12.2019
Принята 12.01.2020

*Автор, ответственный за переписку

Самойлов Константин Олегович : ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России. 630091, г. Новосибирск, Красный просп., 52.
E-mail: konstantin.samoilov@inbox.ru

Received 09.12.2019
Accepted 12.01.2020

*Corresponding author

Samoilov Konstantin Olegovich: Novosibirsk State Medical University, 52, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: konstantin.samoilov@inbox.ru

ВВЕДЕНИЕ

Физиотерапевтические методы лечения, основанные на использовании постоянного электрического тока (анод-гальванизация, лекарственный электрофорез, депофорез), давно и успешно применяются в стоматологической практике [1]. Имеются исследования, посвященные изучению сочетанного воздействия, лекарственного и физического (постоянного электрического тока), на структурную организацию тканей пациентов со стоматологической патологией [2]. Однако влияние на ультраструктурную организацию клеток тканей полости рта постоянного электрического тока, лежащего в основе выше упомянутых физиотерапевтических методов, изучено недостаточно.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение структурных изменений в эндотелиоцитах кровеносных капилляров десен больных хроническим маргинальным гингивитом (ХМГ) под воздействием постоянного электрического тока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 39 чел. обоего пола в возрасте от 18 до 30 лет. Исследование проводилось в полном соответствии с международными и российскими законодательными актами о юридическом и этическом применении медико-биологических исследований у человека. Все исследуемые пациенты были разделены на 3 группы: группа 1 — 10 чел. с интактным пародонтом, группа 2 — 10 пациентов с простым хроническим маргинальным гингивитом до лечения, группа 3 — 19 пациентов с простым маргинальным хроническим гингивитом после комплексного лечения, включавшего, кроме профессионального снятия зубных отложений, обучение методике гигиенического ухода за полостью рта, контроль за уровнем гигиены полости рта и 3-кратное проведение анод-гальванизации десен по 5 мин.

У каждого пациента под аппликационной анестезией 10% Sol. Lidocaini с помощью стоматологического инструментария брали ткани десны из межзубных сосочков фронтальной группы зубов объемом 1–1.5 мм³ в процессе механической очистки зубов от твердых зубных отложений. Эта манипуляция практически безвредна для пациента, при этом десна полностью восстанавливается в течение нескольких дней.

Образцы тканей фиксировали в 1% растворе OsO₄ на фосфатном буфере (pH 7.3), дегидратировали в серии спиртов возрастающей концентрации и заключали в эпон. Из 5 блоков тканей дес-

INTRODUCTION

Physiotherapeutic methods of treatment based on the use of direct electric current (anode-galvanization, drug electrophoresis, depoforesis) have long and successfully been applied in dental practice [1]. There are studies concerning the combined effects, both medicinal and physical (viz direct electric current), on the structure of tissues in patients with dental pathology [2]. However, the effect of a direct electric current on the ultrastructural organization of the oral tissues cells, which underlies the above-mentioned physiotherapeutic methods, has not been studied enough.

AIM OF THE RESEARCH

To study the structural changes in endothelial cells of the gingival blood capillaries in patients with chronic marginal gingivitis (CMG) under the influence of direct electric current.

MATERIALS AND METHODS

The study included 39 persons of both sexes aged 18 to 30 years. The research was conducted in full compliance with international and Russian legislative acts on the legal and ethical application of biomedical research in humans. All patients were divided into three groups: group 1 consisted of 10 individuals with an intact periodontium, group 2 — of 10 individuals with simple chronic marginal gingivitis before treatment, and group 3 consisted of 19 patients with simple chronic marginal gingivitis after comprehensive treatment, which included in addition to professional removal of dental deposits, training in oral hygienic techniques, the oral hygiene monitoring, and 3-fold anode-galvanization of gums for 5 minutes.

Gingival tissues from the interdental papillae of the frontal group of teeth in the volume of 1–1.5 mm³ were taken from each patient under application anesthesia with 10% Lidocaine solution, using dental instruments, during the mechanical removal of hard dental deposits. The manipulation is almost harmless to the patient, while the gum is completely restored within a few days.

Tissue samples were fixed in a 1% solution of OsO₄ in phosphate buffer (pH 7.3), dehydrated in a series of alcohols of increasing concentration and embedded in epon. From 5 blocks of gum tissue taken from each patient, semi-thin sections were obtained which were stained with toluidine blue at 40°C and used to study the gums' connective tissue layer.

ны, взятой от каждого пациента, получали полутонкие срезы, которые окрашивали толуидиновым синим при температуре 40 °С и использовали для исследования соединительнотканного слоя десен.

На ультрамикротоме LKB-8800 получали ультратонкие срезы, которые контрастировали насыщенными водными растворами уранил-ацетата и цитрата свинца, затем покрывали слоем углерода в вакуумном испарителе и изучали в электронном микроскопе JEM-100S (ASID) SEGZ.

Для целей морфометрии при аппаратном увеличении в 2 800 раз фотографировали эндотелиоциты десны (рисунок). Морфометрию параметров эндотелиоцитов десен проводили с помощью открытых и закрытых тестовых систем из квадратов при конечных увеличениях 14 000 и 44800.

Вероятность достоверности различий, сравниваемых средних $M \pm m$ (M — средняя величина, m — ошибка репрезентативности) определяли, сопоставляя значения критерия достоверности со стандартными значениями критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0.05$.

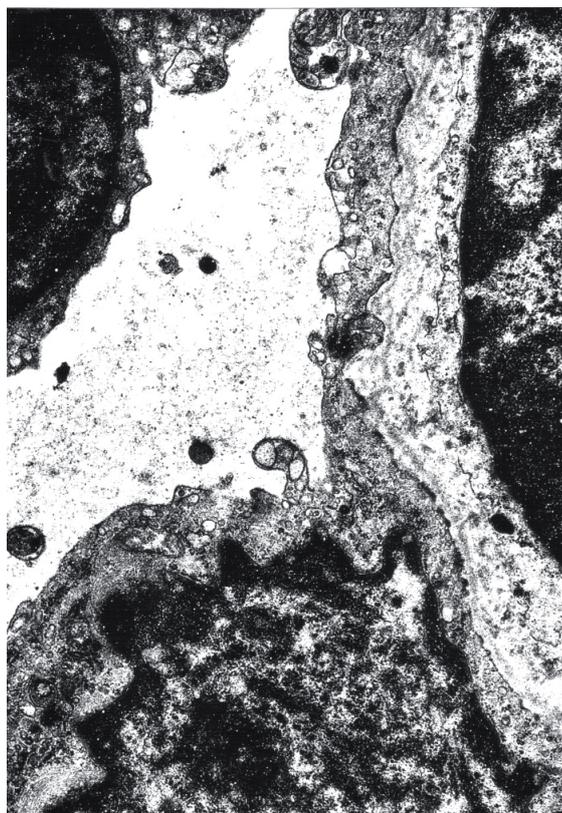
Ultrathin sections were obtained on LKB-8800 ultramicrotome, sections were contrasted with saturated aqueous solutions of uranyl acetate and lead citrate, then coated with a layer of carbon in vacuum evaporator and examined with JEM 100S (ASID) SEGZ electron microscope.

For the purposes of morphometry gum endothelial cells were photographed at 2800 x magnification (Fig.). Morphometry of gum endothelial cells' parameters was performed using open and closed square test systems at final magnifications of 14 000 x and 44 800 x.

The probability of significance of differences in compared average values $M \pm m$ (M — the average value, m — the representativeness error) were determined, comparing the parameters of the significance criterion with the standard parameters of the Student's t -criterion. The differences were considered significant at $p < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

When studying gum capillaries in patients with simple chronic marginal gingivitis after comp-



Просвет кровеносного капилляра десны больного хроническим маргинальным гингивитом после лечения, включавшего анод-гальванизацию. Увеличение 7500
The lumen of the gum blood capillary in patient with chronic marginal gingivitis after the treatment including anode-galvanization. Magnification 7500 x

Результаты морфометрии эндотелиальных клеток кровеносных капилляров десен ($M \pm m$)
Results of morphometry of endothelial cells of the blood capillaries of gums ($M \pm m$)

Исследованные структуры и морфометрические параметры Investigated structures and morphometric parameters	Группа 1 (лица со здоровым пародонтом) 1 group (individuals with intact periodontium)	Группа 2 (больные ХМГ до лечения) 2 group (patients with CMG before treatment)	Группа 3 (больные ХМГ после применения анод-гальванизации) 3 group (patients with CMG after anode-galvanization)
Клетки (A) / Cells (A)	36.5 ± 5.46	50.9 ± 3.7*	39.12 ± 2.6 [☆]
Ядра (A) / Nuclei (A)	16.5 ± 1.9	26.4 ± 2.07*	15.81 ± 2.1 [☆]
Ядра (Sv) / Nuclei (Sv)	0.22 ± 0.016	0.25 ± 0.007	0.16 ± 0.011 ^{☆*}
Первичные лизосомы / Primary lysosomes:			
Vv	1.0 ± 0.17	1.5 ± 0.17*	2.1 ± 0.4 ^{☆*}
Nv	0.56 ± 0.08	0.79 ± 0.1*	1.53 ± 0.09 ^{☆*}
Рибосомы / Ribosomes (Nv):			
свободные / free	6.67 ± 0.8	4.76 ± 0.5*	20.07 ± 2.32 ^{☆*}
прикрепленные / attached	52.44 ± 5.6	56.51 ± 3.6	30.4 ± 3.3 ^{☆*}
Микрофибриллы (Vv) Microfibrils (Vv)	30.0 ± 2.1	13.0 ± 1.0*	35.4 ± 3.1 [☆]
ГЭР / GER:			
Sv	4.9 ± 0.4	4.6 ± 0.2	3.45 ± 0.21 ^{☆*}
Vv	23.0 ± 2.3	35.0 ± 1.7*	27.0 ± 3.5 [☆]
Митохондрии / Mitochondria:			
Vv	8.0 ± 0.7	9.0 ± 0.6	7.7 ± 1.1
Nv	0.7 ± 0.05	0.73 ± 0.05	0.32 ± 0.06 ^{☆*}
Цитоплазма (A) / Cytoplasm (A)	19.6 ± 1.2	24.5 ± 4.23	14.5 ± 1.24 [☆]
Ядерно-цитоплазматическое отношение / Nuclear-cytoplasmic ratio	0.84 ± 0.11	1.38 ± 0.12*	1.09 ± 0.17
Мембрана митохондрий / Membrane of mitochondria (Sv):			
наружная / outer	0.78 ± 0.04	0.88 ± 0.03*	0.44 ± 0.03 ^{☆*}
внутренняя / inner	1.2 ± 0.09	1.5 ± 0.06*	0.8 ± 0.08 ^{☆*}

Примечания: A — площадь на профиле среза, мкм²; Sv — поверхностная плотность, мкм⁰/мкм³; Vv — объемная плотность, %; Nv — численная плотность, мкм⁰/мкм³; ГЭР — гранулярный эндоплазматический ретикулум.

*Достоверное различие с величиной соответствующего параметра в 1-й группе.

[☆]Достоверное различие с величиной соответствующего параметра во 2-й группе.

Notes: A — area on section profile, μm²; Sv — surface density, μm⁰/μm³; Vv — volume density, %; Nv — numerical density, μm⁰/μm³; GER — granular endoplasmatic reticulum.

*Significant difference with the value of the corresponding parameter in the 1st group.

[☆]Significant difference with the value of the corresponding parameter in the 2nd group.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании капилляров десен пациентов, больных простым хроническим маргинальным гингивитом после комплексной терапии, включавшей применение анод-гальванизации, обнаружили, что площадь сечения эндотелиоцитов у больных после лечения снижалась на 23 % по сравнению с таковой у больных до лечения и достоверно не отличалась от величины этого показателя в группе пациентов со здоровыми деснами (таблица). Также уменьшалась величина поверхностной плотности ядер эндотелиоцитов: этот показатель был на 40 % меньше, чем у пациентов до лечения, и на 36 % — чем у лиц со здоровыми деснами (см. таблицу). Пло-

rehensive therapy including anode-galvanization, we revealed that the cross-sectional area of endothelial cells in patients after treatment decreased by 23% compared to that in patients before treatment and did not significantly differ from this indicator in the group of patients with healthy gums (Table). The surface density of endotheliocytes' nuclei also decreased, this indicator was 40% less than in patients before treatment, and 36% less than in individuals with healthy gums (Table). The cytoplasm area of endothelial cells in patients after treatment decreased by 26% compared to individuals with healthy gums and by 41% in patients with chronic gingivitis before treatment (Table). The magnitude of the the endothelial cells' nuclear-cytoplasmic ra-

щадь цитоплазмы эндотелиоцитов у больных после лечения уменьшалась на 26 % по сравнению с тем же параметром у лиц со здоровыми деснами и на 41 % — у больных хроническим гингивитом до лечения (см. таблицу). Величина ядерно-цитоплазматического отношения в эндотелиоцитах больных после лечения достоверно не отличалась ни от аналогичного показателя у больных до лечения, ни от показателя эндотелиоцитов у лиц со здоровыми деснами, хотя при этом имелась тенденция к снижению этого показателя у больных после лечения (см. таблицу).

На электронограммах митохондрии эндотелиоцитов в группе пациентов после лечения выглядели увеличенными в размерах и имели меньшее количество крист, чем митохондрии в клетках лиц со здоровыми деснами и больных гингивитом до лечения. Объемная плотность митохондрий в эндотелиоцитах пациентов с хроническим гингивитом после лечения достоверно не отличалась от аналогичных показателей в группах лиц со здоровыми деснами и больных хроническим гингивитом до лечения (см. таблицу), а их численная плотность уменьшилась в 2 раза по сравнению с показателем у лиц со здоровыми деснами и в 2.3 раза по сравнению с пациентами с хронически воспаленными деснами до лечения (см. таблицу). Параллельно на 43 % произошло снижение величины поверхностной плотности наружной мембраны митохондрий по сравнению с группой лиц со здоровыми деснами и на 50 % — по сравнению с пациентами с хроническим гингивитом до лечения (см. таблицу). Аналогичными были изменения величины поверхностной плотности внутренней мембраны митохондрий. Этот показатель у больных после лечения был ниже, чем у лиц со здоровыми деснами, на 33 %, а по сравнению с больными ХМГ до лечения — на 53 % (см. таблицу). В эндотелиоцитах кровеносных капилляров пациентов после проведенного лечения численная плотность первичных лизосом возросла в 1.7 раза по сравнению с величиной этого параметра у лиц со здоровыми деснами и на 93 % по сравнению с клетками пациентов до лечения (см. таблицу). Объемная плотность первичных лизосом превышала аналогичный параметр у лиц со здоровыми деснами в 2 раза и на 40 % — по сравнению с больными ХМГ до лечения (см. таблицу). Численная плотность прикрепленных рибосом у пациентов после лечения уменьшилась на 40 % по сравнению с лицами со здоровыми деснами и на 45 % — по сравнению с больными ХМГ до лечения (см. таблицу).

tio in patients after treatment did not significantly differ either from the same parameter in patients before treatment or from the parameter of healthy gum endothelial cells, although there was a tendency to decrease in this indicator in patients after treatment (Table).

On the electron diffraction patterns the mitochondria of endothelial cells in the group of patients after treatment looked enlarged and had fewer cristae than mitochondria in cells of patients with healthy gums and patients with gingivitis before treatment. The volume density of mitochondria in the endothelial cells of patients with chronic gingivitis after treatment did not significantly differ from those in groups of individuals with healthy gums and patients with chronic gingivitis before treatment (Table), and their numerical density decreased by 2 times compared to individuals with healthy gums and by 2.3 times compared with chronically inflamed gums before treatment (Table). In parallel, there occurred a 43% decrease in the surface density of the outer membrane of mitochondria compared with the group of individuals with healthy gums, and a 50% decrease compared with chronic gingivitis patients before treatment (Table). The similar changes in the surface density of the inner mitochondrial membrane were observed. This parameter in patients after treatment was 33% less than in individuals with healthy gums and 53% lower than in CMG patients before treatment (Table). In the endotheliocytes of capillaries, the numerical density of primary lysosomes in patients after treatment increased 1.7 times compared to individuals with healthy gums and by 93% compared to patients before treatment (Table). The volume density of primary lysosomes exceeded the same parameter in individuals with healthy gums by 2 times and by 40% compared to CMG patients before treatment (Table). The numerical density of attached ribosomes in patients after treatment decreased by 40% compared to individuals with healthy gums and by 45% compared with CMG patients before treatment (Table).

The volume density of the granular endoplasmic reticulum (GER) of endothelial cells in patients after treatment decreased by 22% compared with patients before treatment and reached the maximum value of the group with healthy gums (Table). The surface density of GER decreased by 24% compared with the value of this parameter in patients before treatment and by 29% in patients with healthy periodontium (Table). The numerical

Объемная плотность гранулярного эндоплазматического ретикулума (ГЭР) эндотелиоцитов у больных после лечения снижалась на 22 % по сравнению с больными до лечения и достигла максимума в группе лиц со здоровым пародонтом (см. таблицу). Поверхностная плотность ГЭР уменьшалась на 24 % по сравнению с величиной этого параметра у больных до лечения и на 29 % — по сравнению с лицами со здоровыми деснами (см. таблицу). Численная плотность свободных рибосом у пациентов после лечения превышала этот показатель у лиц со здоровыми деснами в 3 раза, а по сравнению с больными ХМГ до лечения — в 4 раза (см. таблицу). Рост численной плотности свободных рибосом в эндотелиоцитах сопровождался увеличением в 2.5 раза по сравнению с группой больных до лечения объемной плотности микрофибрилл в цитоплазме клеток, что превысило соответствующую величину в группе лиц со здоровым пародонтом (см. таблицу).

Базальная мембрана эндотелия капилляров десен больных хроническим маргинальным гингивитом после лечения, так же как и у больных до лечения, оставалась истонченной и разрыхленной (см. рисунок).

Согласно [2] в тканях под воздействием постоянного электрического тока наблюдается ряд изменений, приводящих к созданию новых условий для протекания различных биохимических реакций. Под электродами в тканях происходит перемещение ионов Na^+ , K^+ , приводящее к изменению кислотно-основного состояния. Указанные физико-химические изменения в тканях лежат в основе различных физиологических реакций, контролируемых путем нейрогуморальной регуляции. Кроме того, в тканях увеличиваются объем и скорость кровотока.

В [3] отмечается, что явления интерполяции, возникающие при прохождении постоянного электрического тока через ткани, влияют на дисперсность коллоидов протоплазмы, проницаемость клеточных мембран, что приводит к снижению гидратации клеток. В связи с этим можно предположить, что процесс дегидратации клеток частично обуславливает наблюдаемое у пациентов после лечения уменьшение площади эндотелиоцитов на профиле среза (см. таблицу).

Данные о снижении численной плотности митохондрий и поверхностной плотности наружной мембраны митохондрий при оставшейся практически неизменной их объемной плотности свидетельствуют об уменьшении количества митохондрий в цитоплазме эндотелиоцитов и увеличении их объема. Уменьшение ве-

density of free ribosomes in patients after treatment 3 times exceeded this parameter in individuals with healthy gums and 4 times exceeded that of CMG patients before treatment (Table). The increase in the numerical density of free ribosomes in endothelial cells was accompanied by a 2.5-fold increase in the volume density of microfibrils in cell cytoplasm compared to patients before treatment, which exceeded the corresponding value in the group with intact periodontium (Table).

The basal membrane of the gingival capillaries endothelium in patients with chronic marginal gingivitis after treatment, as well as in patients before treatment, remained thinned and loose (Fig.).

According to [2], a number of specific changes are observed in tissues under the influence of direct electric current, resulting in new conditions for various biochemical reactions. Under the electrodes in tissues, Na^+ , K^+ ions move thus leading to a change in the acid-base state. The above mentioned physical and chemical changes in tissues underlie various physiological reactions controlled by neurohumoral regulation. Moreover, the volume and speed of blood flow in tissues increase.

It is noted that the interpolation phenomena, that occur when direct electric current passes through tissues, affect the dispersion of protoplasmic colloids and the permeability of cell membranes, which leads to a decrease in cell hydration. In this regard, it can be assumed that the process of cell dehydration partially determines the reduction in the volume of endothelial cells on the section profile observed in patients after treatment [3] (Table).

Data on the decrease in mitochondrial density and the surface density of the outer membrane of mitochondria with their volume density remaining practically unchanged, indicate a decline in the number of mitochondria in the cytoplasm of endothelial cells and an increase in their volume. A decrease in the surface density of the inner membrane of mitochondria, both in comparison with the level of healthy persons and that of patients before treatment, indicates that, despite an increase in the volume of mitochondria, the number of cristae in them was reduced. Such structural changes indicate a decrease in ATP synthesis as there is a direct relationship between the number of synthesized ATP molecules and the surface of the inner mitochondrial membrane [4]. Consequently, the increase in the volume of mitochondria was obviously due to their swelling.

личины поверхностной плотности внутренней мембраны митохондрий по сравнению с уровнем здоровых лиц и больных до лечения свидетельствует о том, что, несмотря на увеличение объема митохондрий, количество крист в них было снижено. Такие структурные изменения указывают на уменьшение синтеза АТФ, так как существует прямая зависимость между числом синтезирующихся молекул АТФ и поверхностью внутренней мембраны митохондрий [4]. Следовательно, увеличение объема митохондрий, очевидно, было обусловлено их набуханием.

Известно, что повышение функциональной активности митохондрий может реализоваться путем их деления, а в период снижения функциональной активности митохондрий происходит их слияние и набухание [5]. Учитывая все это, можно предположить, что наблюдаемое набухание митохондрий в эндотелиоцитах кровеносных капилляров десен больных гингивитом после воздействия постоянного электрического тока является структурным признаком снижения их функциональной активности.

Также известно, что первичные лизосомы в эндотелии выявляются не всегда и отличаются выраженной гетерогенностью [6]. В то же время в клетках, находящихся в состоянии функционального покоя, количество первичных лизосом увеличено [7]. Следовательно, обнаруженный рост численной и объемной плотностей первичных лизосом в эндотелиоцитах пациентов после лечения (см. таблицу), вероятно, в первую очередь обусловлен снижением эндоцитарной и метаболической активности клеток.

Увеличение численной плотности свободных рибосом (см. таблицу), возможно, обеспечивает усиление синтеза клеточных органелл [8]. В пользу этого свидетельствует обнаруженное у пациентов после лечения увеличение численной плотности микрофибрилл в цитоплазме эндотелиоцитов (см. таблицу). В то же время известно, что полиморфизм эндотелиоцитов отчасти обусловлен наличием в цитоплазме микрофибрилл, способных к сокращению [9]. Следовательно, можно предположить, что в основе наблюдаемого уменьшения объема эндотелиоцитов больных гингивитом после лечения лежит не только возможная дегидратация клеток под действием постоянного электрического тока [3], но, вероятно, и сокращение эндотелиальных клеток за счет снижения большего числа микрофибрилл, содержащихся в их цитоплазме.

Наблюдаемое уменьшение величин численной плотности прикрепленных рибосом, объ-

It is known that increased activity of mitochondria can be realized by their division, and during a decline in the activity of mitochondria, they merge and swell [5]. Given all this, we can assume that the observed swelling of mitochondria in the endotheliocytes of gum blood capillaries in patients with gingivitis after exposure to a direct electric current is a structural sign of a decrease in their functional activity.

It is also known that primary lysosomes in the endothelium are not always detected and are characterized by pronounced heterogeneity [6]. At the same time, the number of primary lysosomes in cells in a state of functional rest is increased [7]. Therefore, the detected increase in the numerical and volume densities of primary lysosomes in the endothelial cells of patients after treatment (Table) is probably primarily due to a reduced endocytic and metabolic activity of cells.

The increase in the numerical density of free ribosomes (Table) is likely to enhance synthesis of cell organelles [8]. This is also evidenced by the increase in the numerical density of microfibrils in the cytoplasm of endothelial cells found in patients after treatment (Table). At the same time, endothelial cell polymorphism is partly due to the presence of microfibrils in the cytoplasm capable of contracting [9]. Therefore, it can be assumed that the observed decrease in the volume of endothelial cells in patients with gingivitis after treatment is based not only on the possible dehydration of cells under the influence of direct electric current [3], but, probably, on the reduction of endothelial cells due to the decrease in the greater number of microfibrils contained in their cytoplasm.

The observed decrease in the values of numerical density of attached ribosomes, volume and surface densities of GER in the group of patients after treatment (Table), considering the fact that synthesis of substances for export is carried out on GER ribosomes [8], allows us to make an assumption that these changes indicate inhibition of exocrine activity of endotheliocytes in patients with gingivitis after exposure of gum tissues to direct electric current.

Taking into consideration the data according to which endothelial cells can secrete a vasoconstrictor factor [10], as well as the fact that during inflammation under the influence of cytokines, endothelial cells increase the expression of adhesive molecules and the secretion of chemokines, through which neutrophils and monocytes migrate via the vascular wall [11, 12], we can assume that the suppression of the exocrine activity of endothelial cells can lead

емной и поверхностной плотностей ГЭР в группе больных после лечения (см. таблицу), с учетом того, что синтез веществ на «экспорт» осуществляется на рибосомах ГЭР [8], позволяет сделать предположение, что эти изменения указывают на угнетение внешнесекреторной деятельности эндотелиальных клеток больных гингивитом после воздействия на ткани десны постоянного электрического тока.

Принимая во внимание данные, согласно которым эндотелиальные клетки способны секретировать фактор, суживающий сосуды [10], а также то, что в процессе воспаления под воздействием цитокинов эндотелиоциты увеличивают экспрессию адгезивных молекул и секрецию хемокинов, посредством которых реализуются процессы миграции нейтрофилов и моноцитов через сосудистую стенку [11, 12], можно предположить, что угнетение внешнесекреторной активности эндотелиоцитов может обуславливать восстановление просвета кровеносных капилляров десен и способствовать уменьшению миграции нейтрофилов и моноцитов через сосудистую стенку. В пользу этого предположения также свидетельствует наблюдаемое у больных группы 3 в эндотелиоцитах восстановление до уровня нормы объемной плотности микрофибрилл (см. таблицу), которые принимают активное участие в процессе миграции нейтрофилов и моноцитов через сосудистую стенку [13]. Однако учитывая, что эндотелиоциты секретируют остеопротегерин — фактор, блокирующий действие цитокинов, активизирующих активность остеокластов [14], а количество остеопротегерина, при активно текущем воспалении в пародонте, уменьшается [15, 16], можно предположить, что снижение внешнесекреторной активности эндотелиоцитов десен больных группы 3 может оказать негативное влияние на процесс восстановления количества остеопротегерина в тканях пародонта и, как следствие, — на активность остеокластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.И., Цепов Л.М. Практическая терапевтическая стоматология. СПб., 2001. 390 с.
2. Ефанов О.И., Дзанагова Т.Ф. Физиотерапия стоматологических заболеваний. М.: Медицина, 1980. 296 с.
3. Комарова Л.А., Терентьева Л.А., Егорова Г.И. Сочетанные методы физиотерапии. Рига: Зинатне, 1986. 175 с.
4. Йост Х. Физиология клетки. М.: Мир, 1975. 864 с.

to the restoration of gingival capillaries lumen, and reduce the migration of neutrophils and monocytes through the vascular wall. This assumption is also supported by the restoration of volume density of microfibrils to the normal level in the endothelial cells seen in patients from the group 3 (Table) since microfibrils are actively involved in the migration of neutrophils and monocytes through the vascular wall [13]. However, taking into account that endothelial cells secrete osteoprotegerin, a factor that blocks cytokines stimulating osteoclast activity [14], and the quantity of osteoprotegerin decreases in the inflamed gums [15, 16], it can be assumed that a decrease in the exocrine activity of gingival endothelial cells in patients of the group 3 may have a negative effect on the recovery of osteoprotegerin quantity in periodontal tissues and, as a result, on the activity of osteoclasts.

CONCLUSION

It can be assumed that despite the clinically determined gum well-being after treatment, the revealed morphological signs of reduced metabolic and “export” secretory activity of blood capillary endotheliocytes, indicate the ambiguous influence of a direct electric current, as a result of which the structure of cells has not been completely restored, and the risk of developing hemodynamic disorders in the future remained.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно предположить, что, несмотря на клинически определяемое благополучие десен после проведенного лечения, выявленные морфологические признаки снижения метаболической и «экспортной» секреторной активности эндотелиоцитов кровеносных капилляров свидетельствуют о неоднозначности воздействия постоянного электрического тока, в результате которого не произошло полного восстановления структурной организации клеток, что сохраняет риск развития нарушений гемодинамики в дальнейшем.

REFERENCES

1. Nikolaev A.I., Tsepov L.M. (2001). *Practical Therapeutic Dentistry*. St. Petersburg, 390 p. In Russ.
2. Efanov O.I., Dzanagova T.F. (1980). *Physiotherapy of Dental Diseases*. Moscow: Medicine, 296 p. In Russ.
3. Komarova L.A., Terentyeva L.A., Egorova G.I. (1986). *Combined Methods of Physiotherapy*. Riga: Zinatne, 175 p. In Russ.
4. Jost H. (1975). *Cell Physiology*. Moscow: Mir, 864 p. In Russ.

5. Шкурупий В.А., Гизатулин З.Я., Сорокин А.С. Влияние острого стресса на структурно-функциональные показатели печени и коры надпочечников мышей // Цитология и генетика. 1980. Т. 14, № 3. С. 3–10.
6. Караганов Я.Л., Алимов Г.А., Миронов А.А. Общая морфология сосудистого эндотелия // Сосудистый эндотелий. Киев: Здоровья, 1986. С. 78–121.
7. Покровский А.А., Тутельян В.А. Лизосомы. М.: Наука, 1976. 378 с.
8. Ченцов Ю.С. Общая цитология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 384 с.
9. Фултон А. Цитоскелет. Архитектура и хореография клетки. М.: Мир, 1987. 120 с.
10. Miller V.M., Vanhoutte P.M. Endothelium-dependent responses in isolated blood vessels of lower vertebrates // *Blood Vessels*. 1986. Vol. 23 (5). P. 225–235.
11. Grevers G., Sturm C. Significance of vascular endothelium for specific functional behavior of nasal mucosa // *Laryngo-Rino-Otologie*. 1997. Vol. 76 (7). P. 398–404.
12. Жданова О.Ю. Изменение адгезивных свойств эндотелия сосудистых стенок у пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта в динамике лечения: дис. ... канд. мед. наук. М., 2017. 168 с.
13. Белоцкий С.М., Авталион Р.Р. Воспаление: Мобилизация клеток и клинические эффекты. М.: Бинном, 2008. 239 с.
14. Crotti T., Smith M.D., Hirsch R. Receptor activator NF κB ligand (RANKL) and osteoprotegerin (OPG) expression in periodontitis // *J. Periodontal Res.* 2003. Vol. 38 (4). P. 380–387.
15. Ганковская Л.В., Хелминская Н.М., Молчанова Е.А., Свитич О.А. Роль факторов врожденного иммунитета в патогенезе пародонтита // *Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2016. № 2. С. 100–107.
16. Kobayashi-Sakamoto M., Tamai R., Kiyoura Y. Beyond bone remodeling – emerging functions of osteoprotegerin in host defense and microbial infection // *OAT*. 2015. doi: 10.15761/IMM.1000173.
5. Shkurupiy V.A., Gizatulin Z.Ya., Sorokin A.S. (1980). The influence of acute stress on the structural and functional parameters of the liver and cortex of the adrenal glands of mice. *Cytology and Genetics*, 14 (3), 3–10. In Russ.
6. Karaganov Ya.L., Alimov G.A., Mironov A.A. (1986). General morphology of the vascular endothelium. In *The Vascular Endothelium* (pp. 78–121). Kiev: Zdorovie, 1986. In Russ.
7. Pokrovsky A.A., Tutelyan V.A. (1976). *Lysosomes*. Moscow: Nauka, 378 p. In Russ.
8. Chentsov Yu.S. (1995). *General Cytology*. Moscow: Publishing House Moscow University, 384 p. In Russ.
9. Fulton A. (1987). *Cytoskeleton. Architecture and Choreography of a Cell*. Moscow: Mir, 120 p. In Russ.
10. Miller V.M., Vanhoutte P.M. (1986). Endothelium-dependent responses in isolated blood vessels of lower vertebrates. *Blood Vessels*, 23 (5), 225–235.
11. Grevers G., Sturm C. (1997). Significance of vascular endothelium for specific functions behavior of nasal mucosa. *Laryngo-Rino-Otologie*, 76 (7), 398–404.
12. Zhdanova O.Yu. (2017). *Change in the adhesive properties of the endothelium of the vascular walls in patients with inflammatory periodontal diseases in the dynamics of treatment*. Cand. Sci. (Med.) Thesis. Moscow, 168 p. In Russ.
13. Belotskiy S.M., Avtalion R.R. (2008). *Inflammation. Cell Mobilization and Clinical Effects*. Moscow: Binom, 239 p. In Russ.
14. Crotti T., Smith M.D., Hirsch R. et al. (2003). Receptor activator NF κB ligand (RANKL) and osteoprotegerin (OSP) expression in periodontitis. *J. Periodontal Research*, 38 (4), 380–387.
15. Gankovskaya L.V., Khelminskaya N.M., Molchanova E.A., Svitich O.A. (2016). Role of innate immunity factors in periodontitis pathogenesis. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, 2, 100–107.
16. Kobayashi-Sakamoto M., Tamai R., Kiyoura Y. (2015). Beyond bone remodeling – emerging functions of osteoprotegerin in host defense and microbial infection. *OAT*. doi: 10.15761/IMM.1000173.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Самойлов Константин Олегович — д-р мед. наук, профессор кафедры терапевтической стоматологии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Образец цитирования: Самойлов К.О. Влияние постоянного электрического тока на структурную организацию эндотелиоцитов кровеносных капилляров десен больных хроническим маргинальным гингивитом // *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2020. № 2. С. 50–58.

ABOUT THE AUTHOR

Samoilov Konstantin Olegovich — Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Therapeutic Dentistry, Novosibirsk State Medical University.

Citation example: Samoilov K.O. (2020). Effect of direct electric current on the structural organization of endotheliocytes of gingival blood capillaries in patients with chronic marginal gingivitis. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 2, 50–58.