

## СТРОЕНИЕ БЕДРЕННОЙ ВЕНЫ И БЕДРЕННЫХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ СОСУДОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНФРАЗВУКА НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

Красноруцкая И.С., Петренко Е.В.

*ФГБОУ ВО «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта», Санкт-Петербург, e-mail: belka783@mail.ru*

Структурные изменения в строении бедренной вены при воздействии инфразвука происходят медленнее и выражены в меньшей степени, чем в лимфатических сосудах. Она более устойчива к влиянию инфразвука, чем бедренные лимфатические сосуды. Под влиянием инфразвука бедренная вена и лимфатические сосуды изменяются в три этапа. На первом этапе сосуды расширяются в связи с нарушениями в строении их клеток. На втором этапе происходит неравномерное сужение сосудов и выраженные гистоструктурные изменения в их стенках. На третьем этапе обнаружены вторичная дилатация и необратимые изменения в строении сосудистых стенок. Такие изменения происходят быстрее и выражены в большей степени в лимфатических сосудах – здесь наблюдаются разнообразные деформации и цитогистологические деструкции стенок. Это можно объяснить меньшей толщиной стенок лимфатических сосудов и более тонким их строением, а значит, меньшей ригидностью и большей проницаемостью для инфразвука. В более толстостенной бедренной вене локальные деформации стенок не обнаружены. Они определяются в бедренных лимфатических сосудах, особенно – в тонких латеральных стенках их клапанных синусов. Меньшей толщиной и плотностью стенок лимфатических сосудов и их наружной адвентициальной оболочки, играющей роль протектора, можно объяснить большую, чем в венах, гибель клеток, в том числе гладких миоцитов. Это способствует большей дилатации лимфатических сосудов, морфогенезу разнообразных деформаций лимфангионов, выявленных в эксперименте.

Ключевые слова: бедренная вена, лимфатические сосуды, инфразвук

## THE STRUCTURE OF FEMORAL VEIN AND FEMORAL LYMPHATIC VESSELS UNDER THE INFLUENCE OF INFRASOUND ON A LIVING ORGANISM

Krasnorutskaya I.S., Petrenko E.V.

*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint Petersburg, e-mail: belka783@mail.ru*

Structural changes in the structure of the femoral vein under the influence of infrasound occur more slowly and are less pronounced than in lymphatic vessels. It is more resistant to the influence of infrasound than femoral lymphatic vessels. Under the influence of infrasound, the femoral vein and lymphatic vessels change in three stages. At the first stage, the vessels expand due to disturbances in the structure of their cells. At the second stage, uneven vasoconstriction and pronounced histostructural changes in their walls occur. At the third stage, secondary dilation and irreversible changes in the structure of the vascular walls were detected. Such changes occur faster and are more pronounced in the lymphatic vessels – various deformations and cytohistological destruction of the walls are observed here. This can be explained by the smaller thickness of the walls of lymphatic vessels and their thinner structure, which means less rigidity and greater permeability to infrasound. In the thicker-walled femoral vein, local deformations of the walls were not detected. They are detected in the femoral lymphatic vessels, especially in the thin lateral walls of their valvular sinuses. The smaller thickness and density of the walls of lymphatic vessels and their outer adventitial membrane, which plays the role of a protector, can explain the greater death of cells, including smooth myocytes, than in veins. This contributes to greater dilation of lymphatic vessels, morphogenesis of various deformations of lymphangions, identified in the experiment.

Keywords: femoral vein, lymphatic vessels, infrasound

Клапаны играют важную роль в организации кровотока и лимфотока по бедренным сосудам в условиях нормы и эксперимента [1]. Такой вывод можно сделать и на основании изучения лимфатических сосудов другой локализации [2]. Изменения сосудистой системы при воздействии инфразвука наиболее подробно изучены на лимфатических сосудах, чаще всего – на сосудах брыжейки тонкой кишки и грудном протоке. Сначала происходит

расширение лимфатических сосудов и их клеточные изменения (в строении мембран, митохондрий и эндоплазматической сети). Затем наступает неравномерное сужение сосудов и возникают тканевые изменения в их стенках, включая деструкцию миоцитов [3]. Наконец, наблюдаются вторичная дилатация лимфатических сосудов и явления фиброза их стенок с расправлением запасных складок в пучках коллагеновых волокон, которые вытесняют и замещают мышечно-эластический комплекс. Створки клапанов деформируются и не смыкаются [4]. Фиброз и ригидность стенки лимфатических сосудов и деформация их клапанов являются причиной резко выраженных нарушений лимфотока [5, 6]. Лимфатические сосуды утрачивают четковидную форму, в области их клапанов значительно снижается содержание миоцитов. Более крупные и толстостенные лимфатические протоки и стволы, узлы изменяются под влиянием инфразвука медленнее и в меньшей степени [1, 3].

Цель исследования – сравнить изменения в строении вен и лимфатических сосудов при воздействии инфразвука на живой организм.

#### **Материалы и методы исследования**

Работа выполнена на 90 беспородных белых крысах в возрасте 4–12 месяцев. Контрольную группу составили 30 животных, остальных подвергали воздействию инфразвука интенсивностью 100 Дб и с частотой 16 Гц, для чего их ежедневно помещали на 3 ч на протяжении шести недель в инфразвуковую камеру. Изучаемых крыс усыпляли хлороформом [7], в том числе в конце первого дня и в конце каждой недели эксперимента на протяжении шести недель. Строение стенок бедренной вены и бедренных лимфатических сосудов крыс изучали с использованием гистологических и электронно-микроскопических методов исследования.

Исследовали гистологические срезы сосудов толщиной 5–6 мкм, окрашенных гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван Гизону и Вергеффу, орсеином по Унна – Тенцеру, импрегнированных солями серебра по Бильшовскому – Грос, а также тотальные препараты лимфатических сосудов, изготовленные по методике В.М. Петренко (2000, 2001). Тотальные препараты окрашивались галлоцианином по Эйнарсону, гематоксилином, орсеином, а также гистохимическими и иммуногистохимическими способами. Микроскопическое изучение стенок толстостенных лимфатических сосудов проводилось также на толстых срезах толщиной 10–15 мкм [8].

Морфометрические исследования сосудов проводили с помощью окуляр-микрометра (ок. 7) – измерялась ширина бедренной вены, длина и ширина лимфангионов. Вычисление объема лимфангионов проводили по формуле В.М. Петренко (1987) – объём лимфангиона рассчитывали по упрощенной формуле эллипсоида [9]. Подсчет клеточных элементов

производили с использованием сетки Стефанова (ок. 7, об. 40). Цифровые показатели обрабатывали методом вариационной статистики по Н.А. Плохинскому [10].

Для электронно-микроскопического исследования фрагменты стенок сосудов фиксировали в 3 % буферном растворе глутаральдегида в течение 1,5 ч, после чего отмывали в фосфатном буфере (рН 7,4). Постфиксацию осуществляли в 2 % растворе четырехоксида осмия в течение двух часов. Затем материал обезвоживали в спиртах возрастающей концентрации и заливали в эпон-аралдит. Ультратонкие срезы исследовали на электронном микроскопе JEM-2.

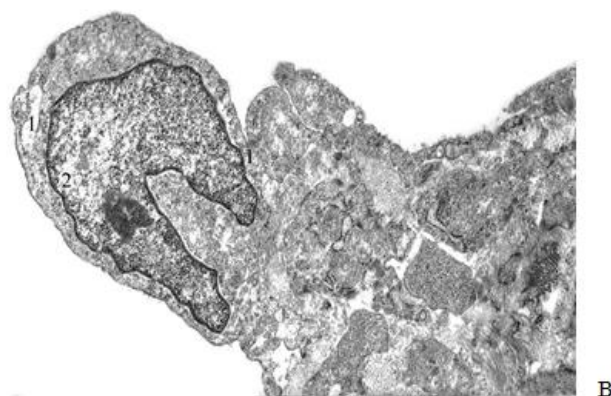
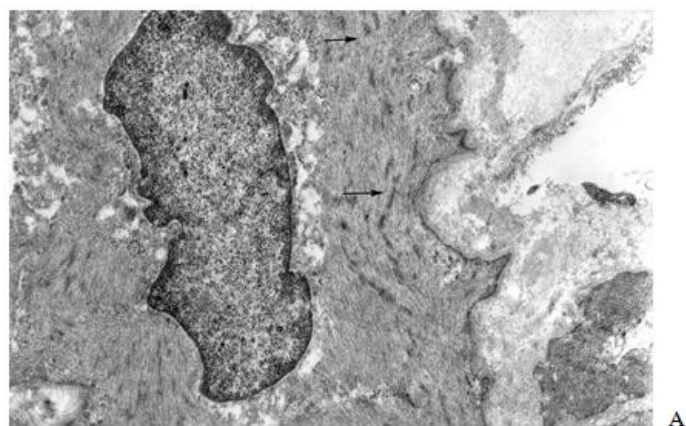
### **Результаты исследования и их обсуждение**

Форма бедренной вены и в контроле, и в эксперименте была одинаковой – вид уплощенной трубки (цилиндра), в опыте изменялись ее ширина и строение стенок.

В конце первого дня опыта выявлены внутриклеточные изменения стенок вены – расширение канальцев эндоплазматической сети, набухание митохондрий, вакуолизация цитоплазмы, увеличение межклеточных промежутков.

В течение первой недели воздействия инфразвука вена расширялась, причем по-разному на своем протяжении: ширина межклапанных частей увеличивалась до 105 % по сравнению с контролем, а ширина клапанных частей – до 130 %. Происходило растяжение клапанов вены с раздвижением их валиков и уменьшением их способности ограничивать обратный кровоток. Усиливались уже описанные ультраструктурные изменения венозной стенки, содержание в ней гладких миоцитов уменьшилось на 2 %, а в области клапанов – на 20 %. Мышечные пучки становились более поперечными, особенно в клапанных частях вены.

На второй неделе эксперимента расширение бедренной вены достигало 110 % от контрольного уровня, но ширина ее клапанных частей оставалась на прежнем уровне (расширение до 130 %). Число гладких миоцитов в венозной стенке уменьшилось на 4 %, а около венозного клапана, в латеральной стенке аксиального синуса – на 7 %. Описанные ультраструктурные изменения нарастали, включая разрывы крист митохондрий и эндоплазматической сети, набухание клеточных ядер и снижение их базофилии (рис. 1).



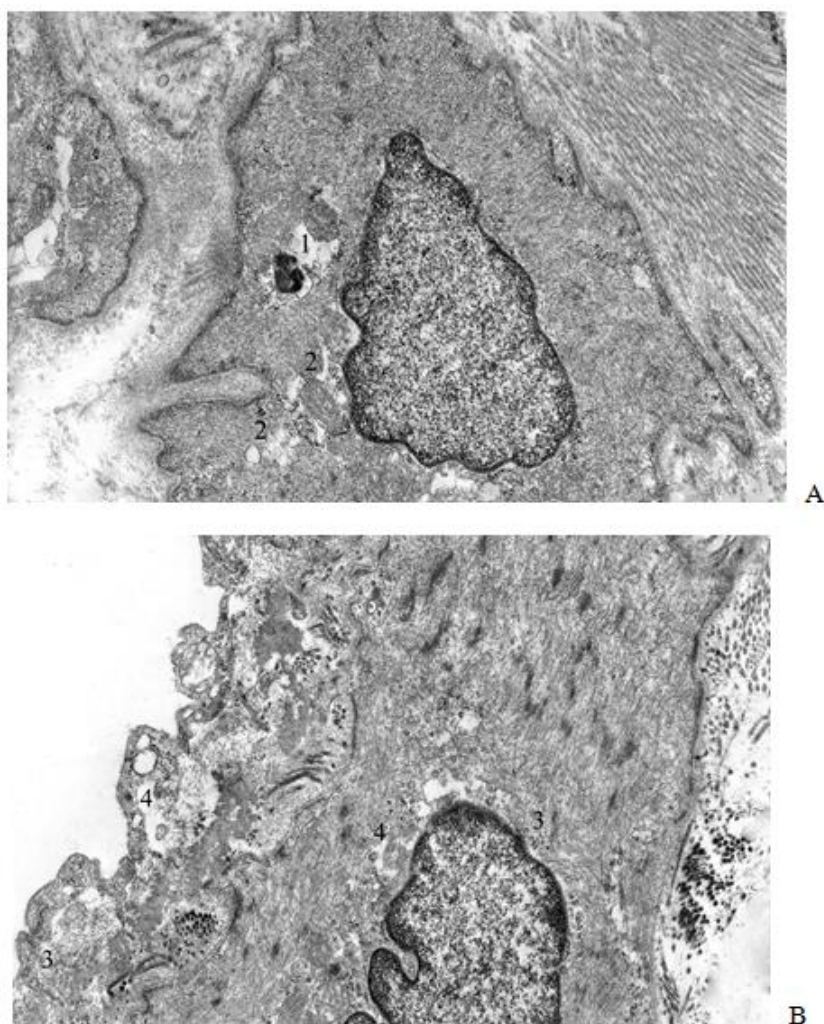
*Рис. 1. Стенка бедренной вены белой крысы в конце первой недели воздействия инфразвука:*

*А – миоцит с набухшими миофибриллами (показаны стрелками);*

*Б – эндотелиоцит с расширенной эндоплазматической сетью (1) и набухшим ядром (2).*

*Увеличение x10000*

В течение третьей недели воздействия инфразвука бедренная вена сужалась до 40 % по сравнению с контролем и до 30 % по сравнению с концом второй недели эксперимента. Клапанные части вены становились уже в 1,5 раза по сравнению со второй неделей и до 20 % по сравнению с контролем. Число гладких миоцитов в венозной стенке стало меньше на 2 % по сравнению с предыдущей неделей эксперимента и на 8 % – по сравнению с контролем. Миоциты стали более плотными и базофильными (рис. 2).



*Рис. 2. Стенка бедренной вены белой крысы в конце второй недели воздействия инфразвука:*

*А – миоцит: большая лизосома (1), эндоплазматическая сеть расширена (2);*

*Б – эндотелиоцит: эндоплазматическая сеть расширена (3), митохондрии набухшие (4).*

*Увеличение x10000*

На четвертой неделе воздействия инфразвука наблюдалась вторичная неравномерная дилатация бедренной вены. Ее ширина достигала 90 % по сравнению с контролем, а ширина клапанных частей – 110 %. Число гладких миоцитов уменьшилось на этом этапе опыта на 15 %, а за четыре недели – на 20 %. На пятой неделе воздействия инфразвука продолжилось неравномерное расширение вены – до 94 % по сравнению с контролем, а в области клапанов – до 120 %. Число гладких миоцитов уменьшилось на этом этапе опыта еще на 12 %.

В конце шестой недели эксперимента средняя ширина бедренной вены составила 115 % по сравнению с контролем, ширина ее клапанных частей осталась прежней. По сравнению с предыдущим сроком исследования удельное содержание гладких миоцитов в венозной стенке уменьшилось еще на 11 %. В этот срок тотальные препараты бедренной вены,

окрашенные галоцианином, становятся заметно светлее, что коррелирует с гибелью клеток и обрушением соединительнотканного каркаса истончающейся венозной стенки.

Бедренные лимфатические сосуды на первой неделе воздействия инфразвука изменялись подобно вене, но значительно: их первичная дилатация достигала 200 % по сравнению с контролем. На второй неделе расширение просвета лимфатических сосудов уменьшилось до 150 % по сравнению с контролем, но появились участки изменений тонких стенок клапанных синусов в виде их сужений по длине и выпячиваний. Некоторые лимфангионы сужались вдвое по сравнению с контролем, их эллипсоидная форма сменялась на палочковидную или жгутообразную. Их клетки набухали, в них выявлялись ультраструктурные изменения.

Через неделю ширина лимфатических сосудов возвращалась к контрольным значениям, но сохранялись и целиком суженные лимфангионы, количество которых достигало 14 %, а количество лимфангионов с местными преобразованиями – 28 %. Возросло число, глубина и протяженность деформаций по периметру лимфангионов. Сокращения стенок переходили в круговые. Нарушалась форма клапанных частей лимфатических сосудов: появились неодинаковые по форме и размерам сужения в основаниях клапанов, клапанные заслонки смещались относительно друг друга. Эти изменения могут привести к неспособности клапанов ограничивать обратный лимфоток и к лимфостазу [1, 6].

С четвертой недели воздействия инфразвука наступало вторичное, еще более значительное расширение бедренных лимфатических сосудов. Их четковидная форма сменялась трубковидной: сужения между межклапанными сегментами отсутствовали почти полностью. В конце шестой недели эксперимента ширина лимфатических сосудов втрое превышала контрольный уровень.

На четвертой-пятой неделях полностью суженные лимфангионы отсутствовали, число местных преобразований стенок лимфангионов на их протяжении возросло, лимфангионы сглаживались, а лимфатические сосуды приобретали извитые контуры. Изменялось и строение их стенок. Миоциты размещались в них все более рыхло, располагались только в одном слое, утрачивался второй слой с косопродольными пучками. Сеть истончающихся эластических волокон растягивалась, пучки коллагеновых волокон становились толстыми, местами лентовидными, поперечными или косопоперечными, почти без складок. Мышечная сеть была сильно растянутой и фрагментированной. Такие преобразования стенок лимфатических сосудов ведут к снижению их эластичности и прочности [1, 2]. Поскольку клапаны расположены на пути и прямого, и обратного лимфотоков, то под ударным воздействием лимфотока они изменяются первыми.

Содержание гладких миоцитов в мышечных манжетках лимфангионов при воздействии инфразвука прогрессивно уменьшалось – до 95 и 90 % на первой и второй неделях, 75 % на третьей неделе и 45 % к шестой неделе. Резкое снижение числа миоцитов в стенках сильно суженных сосудов происходит на третьей неделе. На второй и третьей неделях опыта выявлены локальное сосредоточение гладких миоцитов, их укорочение и уплотнение, особенно в спазмированных лимфангионах. Веретеновидные и палочковидные в норме ядра миоцитов в эксперименте сначала становились короткими и утолщенными, овальными и более базофильными, затем растягивались и просветлялись. При воздействии инфразвука мышечные пучки выпрямлялись с уменьшением количества косых пучков. В местах спазмирования сосудистой стенки определялись короткие, толстые (состоящие из трех-четырех рядов клеток) мышечные пучки. В процессе опыта сетевидная и разветвленно-линейная миоархитектоника лимфангионов сохранялась, однако мышечная сеть разрыхлялась, особенно через четыре-пять недель опыта, когда преобладали короткие и тонкие, состоящие из одного ряда клеток мышечные пучки разной ориентации.

### **Заключение**

Лимфатические сосуды и бедренная вена при воздействии инфразвука изменяются по-разному, поскольку имеют разное строение стенки. Большая устойчивость вены определяется ее геометрическими характеристиками и упруго-вязкими свойствами стенок, которые гораздо выше, чем у лимфатических сосудов [11]. Поэтому при воздействии инфразвука на живой организм строение бедренной вены изменяется медленнее и в меньшей степени. Она оказалась более устойчивой к влиянию инфразвука, чем бедренные лимфатические сосуды. При этом все сосуды испытывают сходные изменения, проходящие в три этапа.

На первом этапе преобладают расширение, ультраструктурные преобразования и функциональные расстройства сосудов. На втором этапе происходит неравномерное сужение сосудов и выраженные гистоструктурные изменения в их стенках. На третьем этапе обнаружена вторичная дилатация сосудов и необратимые изменения в строении их стенок. Причем такие изменения происходят быстрее и гораздо значительнее в лимфатических сосудах, которые подвергаются ярко выраженным разнообразным деформациям и цитогистологическим деструкциям. Это можно объяснить меньшей толщиной стенок лимфатических сосудов и более тонким их строением [6], а значит, меньшей ригидностью и большей проницаемостью для инфразвука. В более толстостенной бедренной вене локальные деформации стенок обнаружены не были. Они определялись в бедренных лимфатических сосудах, особенно в тонких латеральных стенках их клапанных синусов. По этой же причине более тонкостенные лимфатические сосуды расширялись быстрее и значительнее, чем вена. Меньшей толщиной и плотностью стенок, особенно наружной адвентициальной оболочки

лимфатических сосудов, играющей роль протектора [1, 2], можно объяснить большую, чем в вене, гибель клеток, в том числе гладких миоцитов. Это способствовало большей дилатации лимфатических сосудов, изменению их формы от простого расширения в начале опыта (первые две стадии) до утрачивания четкообразности (изогнутая на протяжении, уплощенная трубка) в конце опыта, морфогенезу разнообразных деформаций их лимфангионов в целом (расширенные, палочковидные и жгутообразные сегменты) и их участков (локальные деформации – односторонние стяжки и смежные вздутия стенок, двухсторонние и круговые стяжки). Форма бедренной вены и в контроле, и в эксперименте была одинаковой – вид уплощенной трубки (цилиндра).

### Список литературы

1. Petrenko V.M. Life. Anatomy of a search device: monograph. Moscow, Berlin: Direct-Media, 2020. 140 p.
2. Коненков В.И., Бородин Ю.И., Любарский М.С. Лимфология. Новосибирск: Манускрипт, 2012. 1104 с.
3. Петренко Е.В. Строение лимфатического узла при воздействии физических нагрузок и инфразвука // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. № 1. С. 35–42.
4. Красноруцкая И.С., Петренко Е.В. Воздействие инфразвука на строение лимфатических сосудов // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. 2021. № 6. С. 1/7 – 7/7.; URL: <https://science-education.ru/2021/>. DOI: 10.17513/spno.31360.
5. Уртаев Б.М., Самохин Г.Г., Симонин Р.А., Шарафетдинов А.Х. Лимфологические методы лечения лимфовенозной недостаточности / Материалы XIV научно-практической конференции Ассоциации флебологов России и IX Международной научно-практической конференции по клинической лимфологии «ЛИМФА – 2022» (Казань, 26–29 мая 2022 г.) // Флебология. 2022. Т. 16. № 2–2. С. 69–70.
6. Ерофеев Н.П., Бубнова Н.А., Канина Л.Я., Махин Ю.Ю., Волков А.А. Насосная функция лимфатического русла – ключ к успеху лечения первичной лимфедемы // Лимфология: от фундаментальных исследований – к медицинским технологиям: Материалы XIV международной научно-практической конференции памяти академика Ю.И. Бородина. Новосибирск, 2021. Т. 1. С. 139–146.
7. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33215-2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. М.: Стандартиформ, 2014. 34 с.



8. Петренко В.М. Лимфатические исследования на кафедре анатомии человека ЛСГМИ – СПбГМА имени И.И. Мечникова / Актуальные вопросы современной морфологии и физиологии: ред. В.М. Петренко, В.К. Верин, Г.И. Лобов. СПб.: ДЕАН, 2007. С. 34–35.
9. Петренко В.М. Развитие лимфатической системы в пренатальном онтогенезе человека. СПб.: СПбГМА им. И.И. Мечникова, 1998. С. 15.
10. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
11. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М. Клиническая флебология. М.: ДПК Пресс, 2016. 256 с.