

Влияние низкоэластичных бандажей на диапазон движений голеностопного сустава и дисфункцию мышечно-венозной помпы голени у больных лимфедемой нижних конечностей

© Т.В. АПХАНОВА¹, Е.М. СТЯЖКИНА¹, М.А. ЕРЕМУШКИН¹, А.С. РАЗВАЛЯЕВ¹, Т.В. КОНЧУГОВА¹, Д.Б. КУЛЬЧИЦКАЯ¹, С.В. САПЕЛКИН²

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Москва, Россия;

²ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Ограничение диапазона движений в голеностопном суставе (Ankle Range of Motion — AROM) приводит к дисфункции мышечно-венозной помпы (МВП) голени.

Цель исследования: провести сравнительный анализ воздействия многослойного низкоэластичного биндажа (МНБ) и регулируемых нерастяжимых компрессионных биндажей (РНКБ) на работу МВП голени, а также на показатели AROM у больных лимфедемой нижних конечностей.

Материал и методы. В пилотный проект включены 10 больных лимфедемой нижних конечностей I—III стадий, средний возраст — 62 года. Проводили гониометрию с измерением AROM дорсифлексии в градусах и изокинетическую динамометрию мышц нижних конечностей на роботизированном биомеханическом комплексе.

Результаты. Выявили снижение показателей AROM дорсифлексии на 30% и AROM подошвенного сгибания на 20,2%, что свидетельствует о функциональном ограничении движений в голеностопном суставе, лимитирующем полноценную работу мышечно-венозных насосов. У больных лимфедемой зарегистрировано снижение показателей изокинетической динамометрии: максимальной силы разгибания — на 26,5%, средней силы разгибания — на 35,7%, общей работы — на 29,8%. Применение МНБ, рекомендуемых в 1-ю фазу компрессионной терапии, приводит наряду с противоотечным действием к повышению эффективности мышечной помпы голени, что подтверждается увеличением средней и максимальной силы разгибания, но ограничивает AROM дорсифлексии на 47% от исходного показателя. Применение альтернативного противоотечного метода компрессии, РНКБ, также повышает производительность мышечной помпы: увеличивает среднюю и максимальную силу разгибания, при этом ограничение AROM происходит только на 20%.

Заключение. РНКБ не уступает многослойному биндажу не только в противоотечном действии, но и в повышении производительности мышечной помпы.

Ключевые слова: лимфедема, диапазон движений, голеностопный сустав, мышечная помпа голени, изокинетическая динамометрия.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Апханова Т.В. — <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Стяжкина Е.М. — <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Еремушкин М.А. — <https://orcid.org/0000-0003-3452-8706>

Разваляев А.С. — <https://orcid.org/0000-0001-5738-5296>

Кончугова Т.В. — <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Кульчицкая Д.Б. — <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Сапелкин С.В. — <https://orcid.org/0000-0003-3610-8382>

Автор, ответственный за переписку: Апханова Т.В. — e-mail: apkhanova@yandex.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Апханова Т.В., Стяжкина Е.М., Еремушкин М.А., Разваляев А.С., Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б., Сапелкин С.В. Влияние низкоэластичных биндажей на диапазон движений голеностопного сустава и дисфункцию мышечно-венозной помпы голени у больных лимфедемой нижних конечностей. *Флебология*. 2021;15(1):15–23. <https://doi.org/10.17116/flebo20211501115>

Influence of Inelastic Bandage on Ankle Range of Motion and Calf Muscle Pump Dysfunction in Patients with Lower Limb Lymphedema

© Т.В. АРКХАНОВА¹, Е.М. СТЯЖКИНА¹, М.А. ЕРЕМУШКИН¹, А.С. РАЗВАЛЯЕВ¹, Т.В. КОНЧУГОВА¹, Д.Б. КУЛЬЧИЦКАЯ¹, С.В. САПЕЛКИН²

¹National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia;

²Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia

ABSTRACT

Restriction of the ankle range of motion (AROM) results in calf muscle pump dysfunction.

Objective. To compare the effects of a multilayer inelastic bandage and inelastic compression garment on the calf muscle pump function, as well as AROM parameters in patients with lower limb lymphedema.

Material and methods. The pilot study included 10 patients with lower limb lymphedema, stage I-III (mean age 62 years). Patients underwent goniometry with AROM dorsiflexion measurement in degrees. Muscle pump performance was evaluated using isokinetic dynamometry on a robotic biomechanical complex.

Results. We found a decrease in dorsiflexion AROM by 30% and plantar flexion AROM by 20.2% that indicated functional limitation of movements in the ankle joint and calf muscle pump dysfunction. Patients with lymphedema had less parameters of isokinetic dynamometry (decrease in maximum extension force by 26.5%, mean extension force by 35.7%, total work by 29.8%). Multilayer inelastic bandage increases the effectiveness of calf muscle pump that is confirmed by higher mean extension force, maximum extension force. However, dorsiflexion AROM is reduced by 47%. The use of inelastic compression garment also increases muscle pump performance (increase of mean extension force and maximum extension force with AROM decrease by 20% only).

Conclusion. Inelastic compression garment is non-inferior to a multilayer inelastic bandage not only in decongestant action, but also in improving muscle pump function.

Keywords: lymphedema, range of motion, ankle joint, calf muscle pump, isokinetic dynamometry.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Apkhanova T.V. — <https://orcid.org/0000-0003-3852-2050>

Styazhkina E.M. — <https://orcid.org/0000-0003-4612-5119>

Eremushkin M.A. — <https://orcid.org/0000-0003-3452-8706>

Razvalyaev A.S. — <https://orcid.org/0000-0001-5738-5296>

Konchugova T.V. — <https://orcid.org/0000-0003-0991-8988>

Kulchitskaya D.B. — <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Sapelkin S.V. — <https://orcid.org/0000-0003-3610-8382>

Corresponding author: Apkhanova T.V. — e-mail: apkhanova@yandex.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Apkhanova TV, Styazhkina EM, Eremushkin MA, Razvalyaev AS, Konchugova TV, Kulchitskaya DB, Sapelkin SV. Influence of Inelastic Bandage on Ankle Range of Motion and Calf Muscle Pump Dysfunction in Patients with Lower Limb Lymphedema. *Flebologiya*. 2021;15(1):15–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/flebo20211501115>

Введение

Динамическая работа мышечно-венозных помп (МВП) стопы и голени является основным механизмом венозного оттока из нижних конечностей и реализуется во время ходьбы. В первую фазу ходьбы, в начале шага, при дорсальном сгибании стопы (дорсифлексии) в положении, когда нога поднята, активируется дистальный икроножный насос [1, 2]. Дорсифлексия пассивно растягивает ахиллово сухожилие и таким образом обеспечивает выталкивание крови из дистальных отделов малоберцовых и задних большеберцовых вен. Во вторую фазу ходьбы, когда нога ударяется о землю, активируется МВП стопы: сокращение подошвенной мышцы сдавливает боковую подошвенную вену [3]. Подошвенное сгибание инициирует третью фазу, когда нога поднимается на носок. МВП голени, которая включает камбаловидную и икроножную мышцы, является наиболее мощным мышечным насосом [4–7]. Отечественными учеными установлен также механизм поверхностной венозной помпы, реализующийся через переменное натяжение и расслабление фасциального футляра большой подкожной вены (БПВ) и влияющий на гемодинамический отток в бассейне БПВ [5].

Недостаточность дистального мышечного насоса может развиваться из-за рефлюкса (превышение объема), органической или функциональной обструкции (превышение давления) [3, 4]. При этом зарубежными исследователями доказано большое значение диапазона движений в голеностоп-

ном суставе (Ankle Range of Motion — AROM), особенно дорсифлексии, в реализации полноценной работы мышечных и суставных помп нижних конечностей [6, 8–10]. Постоянный блок голеностопного сустава, а также ограничение объема движений в нем приводят к дисфункции МВП голени и способствуют таким образом повышению венозного давления [1, 3, 10]. В ранее проведенных исследованиях было показано, что ограничение AROM связано с более высоким риском прогрессирования хронической венозной недостаточности (ХВН) с развитием трофических язв [10]. В работах, посвященных исследованию венозной гемодинамики у больных лимфедемой нижних конечностей, по данным воздушной плетизмографии, увеличены амбулаторное венозное давление, венозный объем, индекс венозного наполнения и снижена фракция выброса [11]. Полученные данные позволили авторам сделать вывод о том, что лимфатический отек препятствует венозному возврату, что, в свою очередь, усугубляет лимфедему. Ухудшение мощности мышечного насоса отражает физическую неспособность голеностопного сустава выполнять дорсифлексию, в связи с чем важно учитывать этот фактор при планировании лечения лимфедемы [12].

Для решения задачи компенсации гидростатического давления и увеличения фракции изгнания во время систолы мышц при применении компрессии у больных лимфедемой нижних конечностей во время ходьбы необходимо обеспечить пики давления под компрессионной повязкой

60—90 мм рт.ст. [4]. Такие пики высокого давления могут достигаться только применением жестких компрессионных материалов с индексом статической жесткости (SSI) 20—30 мм рт.ст., создающих давление в положении лежа между 40 и 60 мм рт.ст. Известно, что такой уровень давления может быть создан при применении многослойных низкоэластичных биндажей (МНБ) и регулируемых нерастяжимых компрессионных биндажей (РНКБ). Единственными РНКБ, применяющимися в РФ, являются изделия *sigcaid (medi, Германия)*. Одновременно МНБ и РНКБ рассматриваются как наиболее эффективные средства компрессии при лимфедеме. Установлено, что применяемые в первую фазу комплексной противоотечной терапии МНБ повышают эффективность МВП голени при ходьбе [13]. Исследования, посвященных влиянию РНКБ на производительность МВП голени и АРОМ у больных лимфедемой нижних конечностей, ранее не проводилось.

Цель исследования — сравнить воздействие МНБ и РНКБ на работу МВП голени, а также на АРОМ у больных лимфедемой нижних конечностей.

Материал и методы

В пилотный проект были включены 10 больных лимфедемой нижних конечностей I—III стадий, средний возраст — 62,0 [47,54; 68,65] года, длительность заболевания — 8,5 [5,44; 14,95] года, индекс массы тела (ИМТ) — 25,76 [20,98; 33,03] кг/м². I стадия лимфедемы отмечалась у 1 пациентки, II стадия — у 5, III стадия — у 4 больных. У 4 больных была диагностирована первичная односторонняя лимфедема на фоне аплазии (гипоплазии) лимфатических узлов и лимфатических коллекторов, у 6 пациентов — вторичная лимфедема (после травмы, флебэктомии, диссекции регионарных лимфоузлов и лучевой терапии по поводу рака матки и рака простаты, липолимфедема).

Исследование проводили в 2 этапа с интервалом в 1—2 нед: на 1-м этапе выполняли гониометрию с измерением показателя АРОМ дорсифлексии в градусах с помощью стандартного гониометра. Производительность мышечно-суставной помпы ног оценивали с помощью изокинетической динамометрии (ИКДМ) мышц нижних конечностей с использованием модуля «Жим для ног» роботизированного биомеханического комплекса с биологической обратной связью (БОС) (CON-TREX, Physiomed, Германия) в классическом изокинетическом режиме. «Жим для ног» CON-TREX — это изокинетический тренажер для всей цепи разгибателей и сгибателей ног, позволяющий измерить и проанализировать мышечную силу нижних конечностей с высоким уровнем точности при различных скоростях. На основе объема выполняемого движения, регистрируемого усилия пациента и определения

оптимальных скоростных характеристик его движения возможно объективно оценить функциональное состояние опорно-двигательного и нейромышечного аппаратов пациента и выявить мышечные дисбалансы. Каждому пациенту проводили серию измерений: 1-е — в большой и интактной нижних конечностях без компрессии; 2-е — после наложения МНБ на большую конечность; 3-е — после наложения РНКБ на большую конечность. Таким образом, компрессионному воздействию с последующим тестированием подвергали только конечность с отеком. Для сравнения исходных двигательных и мышечных дефицитов конечностей в рамках проекта изучили показатели гониометрии (АРОМ) и ИКДМ у 10 здоровых добровольцев в возрасте 27,0 [23,88; 37,71] года с ИМТ 22,79 [22,44; 26,95] кг/м². Во время проведения исследования голеностопный сустав анатомически был расположен на оси вращения аппарата и сокращения начинались с полного тыльного сгибания стопы. Каждый участник выполнял 10 повторений сгибания/разгибания конечности с медленной (0,1 м/с) скоростью разгибания. Для предотвращения компенсаторного вклада мускулатуры туловища и таза, способствующей подошвенному сгибанию голеностопного сустава, конечности были зафиксированы двухточечным ремнем безопасности. Таким образом, изокинетические движения лодыжки были максимально изолированными. Проспективно были проанализированы наиболее значимые силовые параметры: максимальная сила разгибания конечности (Н), средняя сила разгибания конечности (Н), а также общая работа (Дж). Общая работа характеризует функциональную способность сустава, поскольку является мерой количества вращающего момента, который может поддерживаться на протяжении АРОМ и определяется как сила, умноженная на расстояние. Средняя сила — это общая работа (нескольких сокращений) за указанное время. Изокинетические сокращения — это концентрические сокращения (напряжение мышцы увеличивается по мере уменьшения ее длины), при которых поддерживается постоянная скорость движения сустава.

На 2-м этапе исследования больным проводили тестирование на «мультисуставном» модуле CON-TREX для изолированного изучения АРОМ и ИКДМ с определением пикового вращающего момента (ПВМ; *peak torque*) голеностопного сустава (мышц-сгибателей и разгибателей стопы соответственно) при угловой скорости 60°/с. Это позволило изучить непосредственно функцию голеностопного сустава — автоматически фиксированные АРОМ сгибания/разгибания, а также силовые характеристики мышц-сгибателей и разгибателей голени. При использовании «мультисуставного» модуля CON-TREX параметры гониометрии тестируются в автоматическом режиме при выполнении подошвенного сги-

бания и дорсифлексии. На 2-м этапе также проводили последовательно с интервалами 20 мин серию измерений: 1-е — в большой и интактной нижних конечностях без компрессии; 2-е — после наложения МНБ на большую конечность; 3-е — после наложения РНКБ на большую конечность. Проспективно были проанализированы наиболее значимые параметры ИКДМ: абсолютные показатели динамической силы на угловой скорости 60°/с (ПВМ) и относительные (по отношению к весу тела — ПВМ/ВТ). ПВМ (ньютон · метр, Н · м) свидетельствует о максимальной силе данной мышечной группы, его соотношение с весом тела позволяет проводить сравнение с эталонными средними популяционными показателями. При возникновении анатомического препятствия или болезненных ощущений в процессе тестирования происходит снижение мышечного усилия, что выражается в изменении графика ПВМ.

Статистический анализ. Результаты обработаны с использованием программы Statistica 13.0 (StatSoft, США). Проведен сравнительный анализ с применением теста Уилкоксона (доверительный интервал для среднего значения — квартили –95%; +95%). Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Показатели тестирования АРОМ и ИКДМ здоровых добровольцев с использованием модуля «Жим для ног» представлены в табл. 1.

Исследование показателей ИКДМ для оценки производительности мышц-сгибателей/разгибателей нижних конечностей проводилось впервые. Ранее насосную функцию МВП оценивали по измеренным объемам венозной крови, которые исследовали с помощью метода воздушной и фотоплетизмографии. Снижение фракции изгнания (EF), увеличение остаточной объемной фракции (RVF) рассматриваются как маркеры снижения мышечной

помпы голени [11, 12]. Объемные показатели МВП при лимфедеме давно изучены. Кроме того, корректное применение датчика плетизмографа под бандажом представляется проблематичным.

В связи с вышесказанным нами впервые была предпринята попытка изучить производительность мышц, образующих помпу голени, главной функцией которой является изгнание венозной крови из нижних конечностей к сердцу. Исследование показателей мышечной работы (работа, сила, ПВМ, ПВМ/ВТ) в изокинетическом режиме на аппарате CON-TREX позволяет не только оценить мышечную силу, но и определить производительность мышц-разгибателей голени, при этом тестирование производится в движении при заданной постоянной скорости, выполняемом в течение времени объеме мышечной работы, при определенных ранее аппаратом АРОМ. Это позволяет оценить мышечную дисфункцию, а также мышечные и двигательные дисбалансы. Данное тестирование (приближенное к ходьбе) дает возможность корректно оценить корректирующий эффект компрессионных бандажей на АРОМ и мышечные и двигательные дисбалансы в режиме реального времени. Здоровые добровольцы были протестированы для определения контрольных значений показателей, на которые можно опираться для оценки выявленных величин у больных лимфедемой. Сравнение показателей ИКДМ у здоровых молодых людей в возрасте 30 лет с показателями ИКДМ интактных конечностей позволило сформулировать вывод о том, что диапазон движений и производительность мышц-разгибателей голени снижены в интактных конечностях без отеков. Полученные данные подтверждают результаты ранее проведенных зарубежных исследований, свидетельствующие о снижении АРОМ у пожилых здоровых людей [14]. Это обусловлено как процессами дегенерации внеклеточного матрикса, так и развитием фиброза кожи, подкожной клетчатки, фасций и сухожилий. Про-

Таблица 1. Динамика показателей АРОМ и ИКДМ у здоровых добровольцев. Модуль «Жим для ног» CON-TREX (Me [θ–; θ+])
Table 1. AROM and isokinetic dynamometry in healthy volunteers. CON-TREX Leg Press module (Me [θ–; θ+])

Показатель	Максимальная сила разгибания конечности, Н	Средняя сила разгибания конечности, Н	Общая работа, Дж	Дорсифлексия, АРОМ, градусы
Конечности без компрессии	1597,5 [1468,3; 2161,2]	573,00 [424,64; 775,95]	1698,0 [1307,6; 2116,70]	29,00 [27,00; 29,79]
Конечности с МНБ	1931,5 [1641,7; 2336,4]	739,00 [565,82; 855,97]	2083 [1738,29; 2476,78]	15,00 [11,69; 15,00]
<i>p</i>	0,028	0,028	0,046	0,005
Конечности без компрессии	1597,5 [1468,3; 2161,2]	573,00 [424,64; 775,95]	1698,0 [1307,6; 2116,70]	29,00 [27,00; 29,79]
Конечности с РНКБ	1941 [1697,0; 2200,9]	652,00 [484,94; 812,25]	1849,5 [1542,17; 2239,32]	19,00 [18,39; 22,40]
<i>p</i>	0,241	0,284	0,646	0,005

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: «θ–» — квартиль –95,0% (доверительный интервал для среднего значения); «θ+» — квартиль +95,0% (доверительный интервал для среднего значения); Н — ньютон; Дж — джоуль.

изводительность мышц-разгибателей голени также с возрастом снижается, что подтверждают и результаты настоящего исследования. Сравнительному изучению были подвергнуты интактные конечности без отека и конечности с отеком, кроме того, были протестированы и изучены показатели ИКДМ и АРОМ после применения на конечности с отеком разных бандажных устройств для коррекции двигательных дефицитов.

На 1-м этапе тестирования с модулем «Жим ногами» у больных лимфедемой гониометрия с измерением АРОМ показала снижение дорсифлексии до 17,0° [13,94°; 20,65°], при III стадии лимфедемы — до 13,0° по сравнению с интактными конечностями (норма — 20°). При применении МНБ показатель дорсифлексии конечностей с лимфедемой уменьшился до 9,0° [7,48°; 10,91°], а при использовании РНКБ — до 14,0° [11,84°; 17,75°]. Также были исследованы показатели гониометрии коленных суставов: сгибание коленных суставов у больных лимфедемой составило 122,50° [110,4°; 128,16°], при применении МНБ — 99,00° [94,76°; 103,43°], при использовании РНКБ — 110,00° [107,42°; 116,97°] (норма — 130—150°).

На 1-м этапе тестирования при определении ИКДМ максимальная сила разгибания интактных конечностей составила 1210,5 [969,28; 1480,51] Н, больных конечностей — 889,00 [701,01; 1059,38] Н. При применении МНБ данный показатель возрос до 1060 [853,31; 1375,08] Н, при применении РНКБ — до 1255 [1018,48; 1376,11] Н.

Средняя сила разгибания на интактных конечностях составила 173,5 [101,36; 291,83] Н, на больных конечностях — 111,5 [75,04; 167,15] Н. Применение МНБ увеличило данный показатель до 295,5 [200,41; 343,38] Н, применение РНКБ — до 294,5 [235,29; 346,90] Н.

Общая работа на интактных конечностях составила 1156,0 [921,2; 1367,9] Дж, на больных конечностях — 811,5 [624,7; 1130,6] Дж. При МНБ данный показатель составил 880,8 [667,4; 1141,8] Дж, при РНКБ — 1204,8 [989,6; 1522,33] Дж (табл. 2).

Релевантность полученных данных согласуется с ранее опубликованными данными у пациентов с ХВН [1].

По данным, полученным в ходе 2-го этапа тестирования на «мультиуставном» модуле CON-TREX, выявлено снижение АРОМ подошвенного сгибания голеностопного сустава конечностей у больных лимфедемой до -39,65° [-39,73°; -36,72°] (на 20,7% по сравнению с возрастной нормой подошвенного сгибания стопы — 50°), после применения МНБ — снижение до -31,10° [-35,78°; -29,29°] (на 21,5% от исходного уровня, $p < 0,01$), при использовании РНКБ — снижение до -38,90° [-39,16°; -32,81°] (на 2,0% от исходного уровня, $p < 0,05$). Снижение АРОМ дорсифлексии коррелировало с результатом, полученным на модуле «Жим ногами», и составило 19,60° [17,83°; 20,68°] (при норме 20°), после применения МНБ АРОМ дорсифлексии уменьшился до 10,80° [9,41°; 12,24°] ($p < 0,01$), а после применения РНКБ снизился до 16,4° [13,78°; 19,25°] ($p < 0,05$). Интегральный показатель мышечной силы — ПВМ разгибания (дорсифлексия) — статистически значительно снизился с 16,20 [12,96; 19,39] Н·м до 13,20 [9,95; 14,76] Н·м ($p < 0,01$) при применении МНБ и не изменился при применении РНКБ. ПВМ/ВТ разгибания уменьшился после применения РНКБ с 0,17 [0,15; 0,23] Н·м/кг до 0,15 [0,10; 0,17] Н·м/кг ($p < 0,05$) и не изменился при применении МНБ. Показатель общей работы разгибания снизился с 86,30 [68,91; 113,34] Дж до 42,65 [25,11; 55,66] Дж ($p < 0,01$) по-

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа показателей ИКДМ (модуль «Жим для ног» CON-TREX) у пациентов с лимфедемой нижних конечностей (Me [θ-; θ+])

Table 2. Comparative analysis of isokinetic dynamometry (CON-TREX Leg Press module) in patients with lower limb lymphedema (Me [θ-; θ+])

Показатель	Максимальная сила разгибания конечности, Н	Средняя сила разгибания конечности, Н	Общая работа, разгибание, Дж	Дорсифлексия, АРОМ, градусы
Интактные конечности	1210,5 [969,28; 1480,51]	173,5 [101,36; 291,83]	1156,0 [921,2; 1367,9]	25,00 [21,92; 26,77]
Больные конечности	889,00 [701,01; 1059,38]	111,5 [75,04; 167,15]	811,5 [624,7; 1130,6]	17,00 [13,94; 20,65]
<i>p</i>	0,005	0,021	0,046	0,008
Больные конечности	889,00 [701,01; 1059,38]	111,5 [75,04; 167,15]	811,5 [624,7; 1130,6]	17,00 [13,94; 20,65]
Конечности с МНБ	1060 [853,31; 1375,08]	295,5 [200,41; 343,38]	880,8 [667,4; 1141,8]	9,00 [7,48; 10,91]
<i>p</i>	0,021	0,005	0,798	0,005
Конечности с ЛЭ	889,00 [701,01; 1059,38]	111,5 [75,04; 167,15]	811,5 [624,7; 1130,6]	17,00 [13,94; 20,65]
Конечности с РНКБ	1255 [1018,48; 1376,11]	294,5 [235,29; 346,90]	1204,8 [989,6; 1522,33]	14,00 [11,84; 17,75]
<i>p</i>	0,005	0,005	0,046	0,168

сле применения МНБ и не изменился после применения РНКБ. ПВМ и ПВМ/ВТ сгибания (подошвенного) при применении РНКБ и МНБ не изменились. Статистически значимо улучшился показатель работы (среднее сгибание/разгибание, %), отражающий отношение средних максимумов работы по сгибанию/разгибанию за цикл. При применении МНБ он увеличился с 150,70% [117,4%; 213,9%] до 234,90% [211,6%; 254,6%] ($p < 0,05$), при применении РНКБ — с 150,70% [117,4%; 213,9%] до 207,65% [173,2%; 243,7%] ($p < 0,05$). Противоречивые данные ПВМ и ПВМ/ВТ, полученные на «мульти-суставном» модуле, могут быть объяснены тем, что особенностью тестирования является жесткая фиксация голени в области лодыжки и средней трети широкими жесткими ремнями, что затрудняет, по-видимому, мышечное усилие (полноценное сокращение мышц-сгибателей и разгибателей, особен-

но после использования бандажей). Это проявилось в снижении ПВМ и ПВМ/ВТ, особенно при выполнении дорсифлексии (мышцы-разгибатели). Статистически значимое увеличение мышечной силы продемонстрировал показатель ПВМ сгибания (трехглавая мышца голени) при использовании РНКБ. Также статистически значимый рост продемонстрировал показатель средней работы по сгибанию/разгибанию (%): было зарегистрировано увеличение этого показателя при применении как МНБ, так и РНКБ. Вероятно, на производительности мышц-сгибателей и разгибателей при МНБ сказалось мышечное утомление, поскольку тестирование проводили, согласно протоколу, последовательно в один день с незначительным временным интервалом (1,5 ч). Тестирование с РНКБ было завершающим. Показатели ПВМ разгибания и сгибания интактных конечностей и конечностей с отеком соотносятся с опубликованными

Таблица 3. Результаты сравнительного анализа показателей ИКДМ («мульти-суставной» модуль CON-TREX) голеностопного сустава у пациентов с лимфедемой нижних конечностей (Me [θ-; θ+])

Table 3. Comparative analysis of isokinetic dynamometry («Multi-joint module» CON-TREX) of the ankle joint in patients with lower limb lymphedema (Me [θ-; θ+])

Показатель	Дорсифлексия, градусы	Плантарное сгибание, градусы	ПВМ макс. разгибания конечности, Н·м	ПВМ/ВТ ср. разгибания конечности, Нм/кг	Общая работа, разгибание, Дж
Интактные конечности	19,65 [18,72; 23,09]	-39,30 [-41,08; 38,35]	13,80 [12,32; 15,75]	0,16 [0,14; 0,19]	77,25 [66,38; 91,27]
Больные конечности	19,60 [17,83; 20,68]	-39,65 [-39,73; -36,72]	16,20 [12,96; 19,39]	0,17 [0,15; 0,23]	86,30 [68,91; 113,34]
<i>p</i>	0,046	0,202	0,021	0,183	0,646
Больные конечности	19,60 [17,83; 20,68]	-39,65 [-39,73; -36,72]	16,20 [12,96; 19,39]	0,17 [0,15; 0,23]	86,30 [68,91; 113,34]
Больные конечности с МНБ	10,80 [9,41; 12,24]	-31,10 [-35,78; -29,29]	13,20 [9,95; 14,76]	0,15 [0,12; 0,20]	42,65 [25,11; 55,66]
<i>p</i>	0,005	0,005	0,005	0,123	0,005
Больные конечности	19,60 [17,83; 20,68]	-39,65 [-39,73; -36,72]	16,20 [12,96; 19,39]	0,17 [0,15; 0,23]	86,30 [68,91; 113,34]
Больные конечности с РНКБ	16,4 [13,78; 19,25]	-38,90 [-39,16; -32,81]	15,20 [11,31; 18,94]	0,15 [0,10; 0,17]	61,05 [48,72; 107,31]
<i>p</i>	0,012	0,012	0,284	0,016	0,386
Показатель	ПВМ макс. сгибания конечности, Н·м	ПВМ/ВТ ср. сгибания конечности, Нм/кг	Общая работа, сгибание, Дж	Работа, ср. сгибание/разгибание, %	Работа, ср. утомление, разгибание, Дж/с
Интактные конечности	-31,60 [-37,47; -24,08]	-0,33 [-0,41; -0,05]	155,65 [114,4; 166,8]	160,40 [140,1; 231,7]	0,065 [0,05; 0,16]
Больные конечности	-34,25 [-43,36; -22,17]	-0,38 [-0,47; -0,26]	151,70 [110,2; 228,5]	150,70 [117,4; 213,9]	0,12 [0,08; 0,19]
<i>p</i>	0,386	0,114	0,507	0,575	0,332
Больные конечности	-34,25 [-43,36; -22,17]	-34,25 [-43,36; -22,17]	151,70 [110,23; 228,5]	150,70 [117,4; 213,9]	0,12 [0,08; 0,19]
Больные конечности с МНБ	-31,40 [-36,01; -19,18]	-0,34 [-0,38; -0,21]	133,90 [67,09; 141,94]	234,90 [211,6; 254,6]	0,07 [0,04; 0,11]
<i>p</i>	0,168	0,074	0,005	0,016	0,011
Больные конечности	-34,25 [-43,36; -22,17]	-34,25 [-43,36; 22,17]	151,70 [110,23; 228,5]	150,70 [117,4; 213,9]	0,12 [0,08; 0,19]
Больные конечности с РНКБ	-33,55 [-46,65; -24,60]	-0,40 [-0,47; -0,27]	150,25 [111,51; 202,2]	207,65 [173,2; 243,7]	0,075 [0,03; 0,14]
<i>p</i>	0,074	0,678	0,798	0,036	0,202

средними значениями изокинетических тестов здоровых пожилых людей [14]. Результаты тестирования на «мультисуставном» модуле представлены в табл. 3.

Обсуждение

В проведенном пилотном исследовании влияния низкоэластичных бандажей на AROM и дисфункцию мышечной помпы голени с применением роботизированного биомеханического комплекса с БОС CON-TREX выявлено снижение показателей AROM дорсифлексии и AROM подошвенного сгибания у больных лимфедемой нижних конечностей, что свидетельствует о функциональном ограничении движений в голеностопном суставе, оказывающем негативное влияние на реализацию полноценной работы мышечных насосов. Отеки у больных лимфедемой конечностей затрудняют движения в суставах, вызывают дискомфорт, болезненность, которые обуславливают низкую физическую активность и способствуют формированию анкилоза и потере гибкости голеностопного сустава. В данном случае мы имеем синдром взаимного отягощения (отеки, дисфункция мышечных и фасциальных насосов, анкилоз и потеря гибкости суставов). У больных лимфедемой выявлено также снижение показателей ИКДМ (по сравнению со здоровыми добровольцами и интактными конечностями), что проявилось в статистически значимом снижении максимальной силы разгибания ($p < 0,01$), средней силы разгибания ($p < 0,05$) и общей работы ($p < 0,05$). Ослабление мышечной помпы приводит к фиброзу фасций и апоневроза, а также к атрофии мышц голени. Согласно полученным результатам, слабость МВП, функциональная и органическая контрактура голеностопного сустава приводят к нарушениям рессорной, балансирующей и толчковой функций стоп, развитию патологической ходьбы, которая снижает эффективность мышечных насосов у больных лимфедемой. Коррекция функциональной недостаточности МВП может осуществляться при применении компрессионных бандажей. Наиболее мощным противоотечным эффектом при лимфедеме нижних конечностей обладают МНБ, применяемые в первую фазу комплексной противоотечной терапии. В ранее проведенных исследованиях установлено, что МНБ повышают эффективность МВП голени при ходьбе [13].

По данным зарубежных исследователей, у больных с классами С5—С6 выявлено значительное снижение AROM (как дорсифлексии, так и подошвенного сгибания) — на 50% и более. При этом по результатам воздушной плетизмографии установлено снижение фракции изгнания (EF) и увеличение остаточной объемной фракции (RVF), что свидетельствует о снижении функции мышечной помпы голени. Ухудшение AROM рассматривается как дополнительный предиктор прогрессирования заболевания

и плохого заживления язвы у пациентов с хроническими заболеваниями вен (ХЗВ) [10]. Таким образом, пациенты со сниженной мобильностью голеностопного сустава имеют худший прогноз заживления трофической язвы даже после хирургического лечения [13]. Полученные данные об AROM у больных ХЗВ возможно экстраполировать на популяцию больных лимфедемой, поскольку в патогенетических и клинических проявлениях заболеваний имеется много общих моментов. В инициальных лимфатических капиллярах отсутствует мышечный слой, и лимфа прокачивается к лимфатическим коллекторам за счет сокращения окружающих мышц. Следовательно, у пациентов со сниженным AROM отмечается снижение эффективности воздействия мышечных насосов на лимфатическую систему. Часто умеренная лимфедема исчезает после восстановления AROM [15]. В начале 2000-х годов американские ученые подвергли ревизии традиционный закон Старлинга [16]. В настоящее время считают, что процесс капиллярной ультрафильтрации происходит по всему капилляру, без реабсорбции в венозном конце. Весь объем капиллярного фильтрата и макромолекул из интерстициального пространства поглощается лимфатической системой через открытые клапаны инициальных лимфатических капилляров. Отеки возникают, когда капиллярная фильтрация превышает лимфатический дренаж. Если лимфодренаж уменьшен, а капиллярная фильтрация в норме, то возникает лимфедема. Если капиллярная фильтрация повышается, то и лимфатические сосуды увеличивают дренаж, и отек развивается только тогда, когда капиллярная фильтрация превышает максимальную транспортную мощность лимфатических сосудов. Таким образом, авторы утверждают, что все отеки имеют лимфатический компонент, независимо от того, обусловлены ли они в первую очередь лимфатической проблемой или другими факторами, которые вызывают увеличение капиллярной фильтрации. Авторы рассматривают все хронические отеки как лимфедему. Традиционно отеки на фоне ХЗВ рассматривают как вторичную лимфедему (флеболимфедему) [17].

Компрессионная терапия лимфедемы нижних конечностей является основной частью всех международных клинических протоколов лечения с уровнем IA [ILF, 2012; ILS, 2016; STRIDE, 2020]. Механизмы реализации противоотечного эффекта компрессии были пересмотрены международным экспертным сообществом за последние 2 года [18—20]. Лечение лимфедемы делится на активную и поддерживающие фазы с рекомендациями по использованию определенных видов компрессионных изделий на разных этапах ведения больных. В первую фазу рекомендуют МНБ с давлением 40—60 мм рт.ст. и высокой жесткостью (SSI 20—30 мм рт.ст.). При этом было установлено, что при наложении МНБ достижение нужного уровня давления удается только опытному, обученному

специалисту. Кроме того, было установлено, что через 24 ч под МНБ происходит потеря давления почти в 2 раза за счет уменьшения отека, в связи с чем требуется повторное наложение МНБ в течение дня, что часто и практикуется в зарубежных лимфологических клиниках [21–23].

Соответственно, лечебный эффект от применения компрессии в таких условиях снижается. Также было выявлено снижение показателя качества жизни по психологической шкале, обусловленное круглосуточным бременем бандажа, в котором пациенту приходится двигаться, работать и спать [24]. Помимо этого, отмечается снижение приверженности больных к лечению при применении МНБ, что обусловлено трудностями в подборе одежды и обуви, высоким раздражающим воздействием МНБ на кожу в виде контактного дерматита, зуда, шелушения в области естественных сгибов. Применение МНБ существенно ограничивает движения в голеностопном суставе за счет создания цилиндрического профиля повязки с помощью пелотов и объемных полиуретановых прокладок в области внутренних и наружных лодыжек, создающих неудобства при движениях и ходьбе. Применение МНБ требует также участия специалиста, прошедшего обучение по технике его наложения в условиях специализированных профильных клиник. РНКБ выгодно отличаются от МНБ: создают давление 50 мм рт.ст., которое может быть отрегулировано самим пациентом, обладают высокой жесткостью, не теряют давления за счет возможности перенастроить бандажную систему в любое время суток, не обращаясь к специалисту. Кроме того, использование РНКБ позволяет применять в домашних условиях «ночные» компрессионные изделия, имеющие меньшую жесткость, из материалов, обеспечивающих комфортный сон при сохранении минимальной компрессии и массирующих свойств встроенных специальных каналов.

Обеспечение адекватной физической активности является одним из краеугольных камней лечебной стратегии при лимфедеме. На всех этапах лечения рекомендуются ежедневная длительная ходьба, интервальные аэробные нагрузки, которые должны проводиться при условии компрессионной поддержки. При этом необходимыми условиями являются адекватный профиль компрессии, сохранение

правильного паттерна ходьбы, минимизация ограничения диапазона движений в суставах ног, которое лимитирует активность мышечных насосов. Только во время нормальной ходьбы наблюдается слаженная, последовательная работа всех трех МВП (стопы, голени и бедра). Подвижность голеностопного сустава в сочетании с компетентной мышечной помпой голени при сохранности клапанов венозной системы обеспечивает полноценный лимфоток из нижних конечностей [25].

Заключение

У больных лимфедемой нижних конечностей выявлено снижение показателей диапазона движений в голеностопном суставе (AROM) на 30%, а также снижение показателей ИКДМ (по сравнению со здоровыми добровольцами и интактными конечностями). Применение МНБ приводит наряду с противоотечным действием к повышению эффективности МВП голени, что подтверждается увеличением средней силы разгибания, максимальной силы разгибания, но ограничивает AROM (дорсифлексию). Применение альтернативного противоотечного метода компрессии — РНКБ *circaid juxtafit* также повышает производительность мышечной помпы: увеличивает среднюю силу разгибания, максимальную силу разгибания, при этом ограничение AROM происходит в меньшей степени.

Бандажные изделия РНКБ circaid juxtafit были предоставлены компанией medi (Германия).

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования — Т.В. Апханова, М.А. Еремушкин, С.В. Сапелкин, Т.В. Кончугова, Д.Б. Кульчицкая

Сбор и обработка данных — А.С. Разваляев, Т.В. Апханова, Е.М. Стяжкина

Статистическая обработка данных — Т.В. Апханова, А.С. Разваляев, Е.М. Стяжкина

Написание текста — Т.В. Апханова, С.В. Сапелкин, Д.Б. Кульчицкая

Редактирование — С.В. Сапелкин, М.А. Еремушкин, Т.В. Кончугова

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Padberg FT Jr, Johnston MV, Sisto SA. Structured exercise improves calf muscle pump function in chronic venous insufficiency: a randomized trial. *J Vasc Surg.* 2004;39(1):79–87. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2003.09.036>
2. Yang D, Vandongen YK, Stacey MC. Effect of exercise on calf muscle pump function in patients with chronic venous disease. *British Journal of Surgery.* 1999;86:338–341. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1999.00993.x>
3. Meissner MH, Moneta G, Burmand K, Glociczki P, Lohr JM, Lurie F, Mattos MA, McLafferty RB, Mozes G, Rutherford RB, Padberg F, Sumner DS. The hemodynamics and diagnosis of venous disease. *J Vasc Surg.* 2007; 46:4–24. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.09.043>
4. Lee B-B, Nicolaide A, Myers K, Meissner M, Kalodiki E, Allegra C, Antigiani PL, Bækgaard N, Beach K, Belcaro G, Black S, Blomgren L, Bouskela E, Cappelli M, Caprini J, Carpentier P, Cavezzi A, Chastanet S, Chris-

- tenson JT, Christopoulos D, Clarke H, Davies A, Demaeseneer M, Eklöf B, Ermini S, Fernández F, Franceschi C, Gasparis A, Geroulakos G, Gianesini S, Giannoukas A, Gloviczki P, Huang Y, Ibegbuna V, Kakkos SK, Kistner R, Kölbl T, Kurstjens RL, Labropoulos N, Laredo J, Lattimer CR, Lugli M, Lurie F, Maleti O, Markovic J, Mendoza E, Monedero JL, Mone-ta G, Moore H, Morrison N, Mosti G, Nelzén O, Obermayer A, Ogawa T, Parsi K, Partsch H, Passariello F, Perrin ML, Pittaluga P, Raju S, Ricci S, Rosales A, Scuderi A, Slagsvold CE, Thurin A, Urbanek T, van Rij AM, Vasquez M, Wittens CH, Zamboni P, Zimmet S, Ezpeleta SZ. Venous hemodynamic changes in lower limb venous disease: the UIP consensus according to scientific evidence. *International Angiology*. 2016;35(3):236-352.
5. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М. *Основы клинической флебологии*. 2-е изд. М.: Шико; 2013. Shevchenko YuL, Stoyko YuM. *Fundamentals of Clinical Phlebology*. 2nd edition. M.: Shiko; 2013. (In Russ.).
 6. Orsted HL, Radke L, Gorst R. The impact of musculoskeletal changes on the dynamics of the calf muscle pump. *Ostomy Wound Manage*. 2001;47(10):18-24.
 7. Uhl JF, Gillot C. Anatomy of the foot venous pump: physiology and influence on chronic venous disease. *Phlebology*. 2012;27(5):219-230. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012b01>
 8. Kelechi TJ, Mueller M, Zapka JG, King DE. Cryotherapy and ankle motion in chronic venous disorders. *Open J Nurs*. 2012;2(4):379-387. <https://doi.org/10.4236/ojn.2012.24056>
 9. Back TL, Padberg FTJr, Araki CT, Thompson PN, Hobson RW. Limited range of motion is a significant factor in venous ulceration. *J Vasc Surg*. 1995;22(5):519-523. [https://doi.org/10.1016/S0741-5214\(95\)70030-7](https://doi.org/10.1016/S0741-5214(95)70030-7)
 10. Bertochi T, Gomes RZ, Martins M. Ankle joint mobility as a predictor of treatment prognosis in patients with chronic venous insufficiency with venous ulcers. *J Vasc Bras*. 2019;18:e20180133 <https://doi.org/10.1590/1677-5449.180133>
 11. Kim DI, Huh S, Hwang JH, Kim YI, Lee B-B. Venous dynamics in leg lymphedema. *Lymphology*. 1999;32(1):11-14.
 12. Parmar JH, Aslam M, Standfield NJ. Calf muscle failure in lower limb lymphedema. *Phlebology: The Journal of Venous Disease*. 2006;21(2):96-99. <https://doi.org/10.1258/026835506777304674>
 13. Orr L, Klement KA, McCrossin L, O'Sullivan Drombolis D, Houghton PE, Spaulding S, Burke S. A Systematic Review and Meta-analysis of Exercise Intervention for the Treatment of Calf Muscle Pump Impairment in Individuals with Chronic Venous Insufficiency. *Ostomy Wound Manage*. 2017;63(8):30-43. <https://doi.org/10.25270/owm.2017.08.3043>
 14. Bergamin M, Gobbo S, Bullo V, Vendramin B, Duregon F, Frizziero A, Di Blasio A, Cugusi L, Zaccaria M, Ermolao A. Reliability of a device for the knee and ankle isometric and isokinetic strength testing in older adults. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*. 2017;7(2):323-330. <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.2.323>
 15. *Standard of Care: Lymphedema*. Boston: The Brigham and Women's Hospital, Inc. Department of Rehabilitation Services; 2007.
 16. Levick JR, Michel CC. Microvascular fluid exchange and the revised Starling principle. *Cardiovasc Res*. 2010;87(2):198-210. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvq062>
 17. Moffatt C, Keeley V, Quéré I. The Concept of Chronic Edema — A Neglected Public Health Issue and an International Response: The LIMPRINT Study. *Lymphat Res Biol*. 2019;17(2):121-126. <https://doi.org/10.1089/lrb.2018.0085>
 18. *Best Practice for the Management of Lymphoedema — 2nd edition. Compression Therapy: A position document on compression bandaging*. UK: The International Lymphoedema Framework; 2012.
 19. Bjork R, Ehmann S. S.T.R.I.D.E. Professional guide to compression garment selection for the lower extremity. *Journal of Wound Care S.T.R.I.D.E Supplement*. 2019;28(6):1-44. <https://doi.org/10.12968/jowc.2019.28.Sup6a.S1>
 20. The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema: 2016 Consensus Document of the International Society of Lymphology. *Lymphology*. 2016;49(4):170-184.
 21. Mosti G, Cavezzi A. Compression therapy in lymphedema: Between past and recent scientific data. *Phlebology*. 2019;34(8):515-522. <https://doi.org/10.1177/0268355518824524>
 22. Damstra RJ, Partsch H. Prospective, randomized, controlled trial comparing the effectiveness of adjustable compression Velcro wraps versus inelastic multicomponent compression bandages in the initial treatment of leg lymphedema. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*. 2013;1(1):13-19. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2012.05.001>
 23. Damstra RJ, Brouwer ER, Partsch H. Controlled, comparative study of relation between volume changes and interface pressure under short-stretch bandages in leg lymphedema patients. *Dermatol Surg*. 2008;34(6):773-778. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.2008.34145.x>
 24. Апханова Т.В., Сапелкин С.В., Кульчицкая Д.Б. Влияние метода комплексной противоотечной терапии (по методу М. Foldi) на показатели качества жизни больных лимфедемой нижних конечностей. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2019;14(1):68-71. Apkhanova TV, Sapelkin SV, Kulchitskaya DB. Influence of the method of complex decongestive therapy (by method of M. Foldi) on the indicators of quality of life of patients with lymphedema of lower limbs. *Vestnik Natsional'nogo Mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N.I. Pirogova*. 2019;14(1):68-71. (In Russ.).
 25. Котельников Г.П., Каторкин С.Е., Кормасов Е.А. Клинико-патогенетическая концепция диагностики и комплексного лечения пациентов с сочетанной патологией венозной и опорно-двигательной систем нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2018;26(6):677-688. Kotelnikov GP, Katorkin SE, Korymasov EA. Clinical and pathogenetic concept of diagnosis and complex treatment of patients with combined pathology of the venous and musculoskeletal systems of the lower extremities. *Novosti Khirurgii*. 2018;26(6):677-688. (In Russ.). <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2018.6.677>

Поступила 19.05.2020

Received 19.05.2020

Принята к печати 01.09.2020

Accepted 01.09.2020