

НАЗНАЧЕНИЕ ВИДА И КОНСТРУКЦИИ ПРОТЕЗОВ ПАЦИЕНТАМ С ЧАСТИЧНОЙ АМПУТАЦИЕЙ СТОПЫ, ИСПОЛЬЗУЯ ТЕХНОЛОГИЮ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО СИНТЕЗА ПРОТЕЗОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

стр. 50 – 56

М.И. Монахова^{1,2}, Л.Р. Киракозов², Л.М. Смирнова^{1,3}

¹ – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический институт «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, Россия;

² – Федеральное государственное унитарное предприятие «Московское протезно-ортопедическое предприятие» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, г. Москва, Россия.

³ – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия;

Контактные данные: Монахова М.И., e-mail: m.monakhova@inbox.ru

Резюме: В статье обсуждаются проблемные вопросы назначения вида и конструкции протеза пациенту с частичной ампутацией стопы, используя технологию персонифицированного синтеза протезов нижних конечностей. Обращено внимание на достоинства и недостатки того или иного вида протеза и его конструкции. Обозначены основные операции технологии изготовления определенных видов и конструкций протезов стоп в условиях работы протезно-ортопедического предприятия.

Ключевые слова: протезы нижних конечностей; протезы стопы; персонифицированный синтез модульных протезов.

APPOINTMENT OF THE TYPE AND CONSTRUCTION OF PROSTHESIS FOR PATIENTS WITH PARTIAL FOOT'S AMPUTATION USING THE TECHNOLOGY OF PERSONIFIED SYNTHESIS OF LOWER LIMB PROSTHESES

стр. 50 – 56

M.I. Monakhova^{1,2}, L.R. Kirakozov², L.M. Smirnova^{1,3}

¹ St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia;

² Moscow prosthetic and orthopedic enterprise Ministry of Labor and Social Protection, Moscow, Russia;

³ Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht"
Ministry of Labor and Social Protection

Summary: The article discusses the problematic issues of appointment of the type and construction of prosthesis to the patient with partial foot's amputation using the technology of personified synthesis of lower limb prostheses. Attention is paid to the advantages and disadvantages of a particular type of prosthesis and its construction. The basic operations of manufacturing technology of certain types and constructions of prostheses of feet in the work of prosthetic and orthopedic enterprise are indicated.

Keywords: lower limb prostheses; foot prostheses; personified synthesis of modular prostheses.

Введение

При культе стопы, в зависимости от уровня ее резекции, двигательной активности и предпочтений пациента, может потребоваться обеспечение совершенно различными видами протезно-ортопедических изделий. Любое из них по сути своей можно назвать протезом, поскольку оно выполняет главную функцию протеза – замещение отсутствующей части тела. Однако эти виды изделий имеют настолько разную конструкцию, что их принято разделять по принципиально отличающимся видам.

1. Вкладное ортопедическое приспособление – изделие, вкладываемое в обычную («магазинную») обувь пациента:

а) карбоновая стелька с передним отделом в виде искусственной недостающей части стопы;

б) вкладной башмачок (вкладывается в обувь и фиксируется к культе) – изделие отдаленно похожее на ортопедическую обувь, но, не имеющее подошвы для использования без обуви и декоративных элементов и . предназначено для воссоздания анатомического размера и частичной компенсации утраченной функции стопы;

2. Ортопедическая обувь – изделие «два в одном» – фиксирует в физиологически правильном положении сохранную часть стопы и замещает отсутствующую часть с частичной компенсацией её функции, являясь одновременно и уличной обувью;

3. Протез стопы – обычно состоит из культеприемной гильзы естественной (анатомической) формы, которая удерживается на конечности, как правило, застежками «контакт». Пример конструкции протеза: гильза склеена с карбоновой стелькой и содержит внешнюю косметическую оболочку стопы.

В связи с такими различиями возможных вариантов протезного обеспечения при культе стопы возникает проблема их обоснованного выбора для пациентов.

Основная часть

Как известно, стопа – это орган опорно-двигательной системы человека, который состоит из 26 костей, 33 суставов, сети из более 100 связок, сухожилий и мышц, покрытый кожей. Уникальное строение подошвы стопы позво-

ляет ей переносить сжимающие нагрузки большой величины (до 200 кг/см²).

В процессе жизнедеятельности человека стопа претерпевает большие по величине и продолжительности повторяющиеся нагрузки. Скорость, с которой стопа «приземляется» на опору, составляет при быстрой ходьбе 5 метров в секунду (18 км/час), а при беге до 20 метров в секунду (70 км/час), что определяет силу столкновения с опорой, равную 120-250 % от веса тела. В течение дня обычный человек совершает от 2 до 6 тысяч шагов.

Основной задачей ходьбы как важной локомоторной функции является безопасное линейное поступательное перемещение тела вперед. Требования к качеству ходьбы:

- удержание вертикального баланса и предотвращение падения при движении;
- сохранение энергии, использование минимального количества энергии за счёт её перераспределения в течение цикла шага;
- обеспечение плавности передвижения (резкие движения могут являться причиной повреждения);
- адаптация походки для предотвращения болезненных движений и усилий;
- сохранение походки при внешних возмущающих воздействиях или при изменении плана движений (стабильность ходьбы);
- устойчивость к возможным иннервационным и биомеханическим нарушениям;
- перемещение центра тяжести масс с наименьшим расходом энергии.

График вертикальной составляющей опорной реакции при ходьбе в норме имеет вид плавной симметричной двугорбой кривой (рис.1). Первый максимум кривой соответствует интервалу времени, когда в результате переноса тяжести тела на опорную ногу происходит передний толчок (приземление на пятку), второй максимум (задний толчок) отражает активное отталкивание ноги от опорной поверхности и вызывает продвижение тела вверх, вперед и в сторону опорной конечности. Оба максимума расположены выше уровня веса тела и составляют соответственно при медленном темпе ходьбы примерно 100 % от веса тела, при произвольном – 120 %, при быстром – 140-150 %.

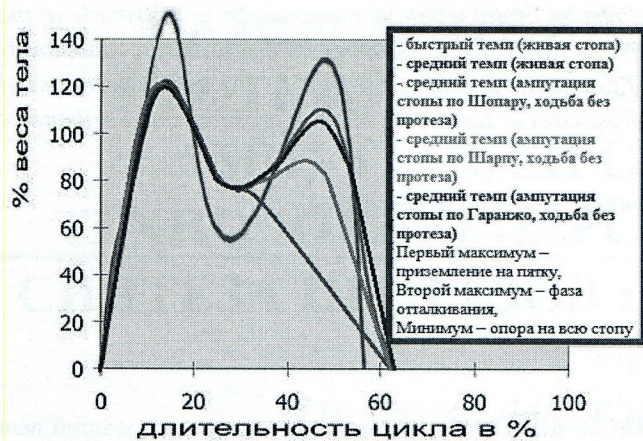


Рис. 1. Вертикальная составляющая силы реакции опоры

Минимум опорной реакции расположен симметрично между ними ниже линии веса тела. Формирование минимума обусловлено переносом другой ноги над опорой. При этом появляется сила, направленная вверх, которая вычитается из веса тела. Чем выше темп ходьбы человека, тем меньше сила реакции опоры (ее минимум до 40 % веса тела человека).

Таким образом, общая тенденция при увеличении темпа ходьбы состоит в росте значений переднего и заднего толчков и снижении минимума вертикальной составляющей опорной реакции.

При частичной ампутации стопы графики вертикальной составляющей силы реакции опоры претерпевают изменения, однако при ампутации стопы по Гаранжо график вертикальной составляющей силы реакции опоры будет практически идентичен аналогичному графику стопы в норме.

Работа мышц-разгибателей является основным энергетическим источником для перемещения общего центра масс. Активность мышц разгибателей обусловлена также необходимостью «притормаживания» движения сегментов в фазу переноса.

Икроножная мышца выполняет функцию отталкивания от опорной поверхности и вертикальное перемещение

общего центра масс. Подколенные сгибатели — регулируют скорости движения в коленном суставе. Передняя большеберцовая — коррекцию положения стопы.

Поэтому очень важно в случае отсутствия большей части переднего отдела стопы (ампутации по Шопару, Лисфранку, Шарпу) обеспечить с помощью протеза рекуперацию энергии и возможность осуществления переднего толчка.

При назначении вида и конструкции протеза пациенту с частичной ампутацией стопы, *во-первых*, важно проверить подвижность стопы в щиколотке. Если есть контрактуры, отметить в бланке заказа подвижность стопы в суставе щиколотки в сагиттальной плоскости в градусах. Если есть ограничения, то при снятии слепка следует учесть угол установки протезной стопы в обуви с учетом каблука.

Пример из практики: пациент с ампутационной культей стопы по Шопару после минно-взрывной травмы нижней конечности (рис.2). Вследствие чего сформировалась нерациональная установка культы стопы. В положении пациента стоя вся нагрузка приходилась на передний отдел культы и, как следствие, в этой области образовалась большая кожная мозоль. При обращении за протезированием пациент не ходил (стопа не опороспособна), так как при перекате через стопу большие нагрузки испытывала преимущественно дистальная часть и торец культы в целом, не предназначенный для опоры. От реконструктивного хирургического вмешательства пациент отказался. В такой ситуации важно при протезировании учесть установку культы, таким образом, пациент сможет ходить на протезе. Чтобы рационально распределить нагрузку на всю её опорную часть, необходимо приподнять пяточную часть стопы в конструкции протеза на 1,5 см. Благодаря такому варианту протезирования пациент смог ходить приставным шагом.

Во-вторых, при протезировании стопы важно проверить целостность кожи опорной - подошвенной поверхности. Только на опорной поверхности стопы находится кожа способная выдерживать динамические нагрузки



Рис. 2. Пациент с ампутационной культей стопы по Шопару после минно-взрывной травмы нижней конечности

веса тела. Известно, что кожа, пересеженная с другой области тела на стопу, приживается, но от нагрузок при ходьбе лопается, и формируются не заживающие трофические раны. Чтобы избежать такой проблемы ампутацию целесообразно проводить сразу на уровне нижней трети голени, либо такому пациенту назначить специальное протезирование с учетом уменьшения нагрузки на пересеженную кожу. Не смотря на то, что у пациента имеется и стопа и голень, и не нарушена подвижность стопы, для обеспечения возможности ходьбы изготавливается протез-ортез (Рис.3). В такой конструкции нагрузка тела в протезе распределена на связку колена - 50% и на опорную поверхность кожи стопы - 50%. Практика показывает, что такую нагрузку пересеженная кожа выдерживает. В этом случае протез-ортез изготавливается без шин и имеет вес типичного ортеза.

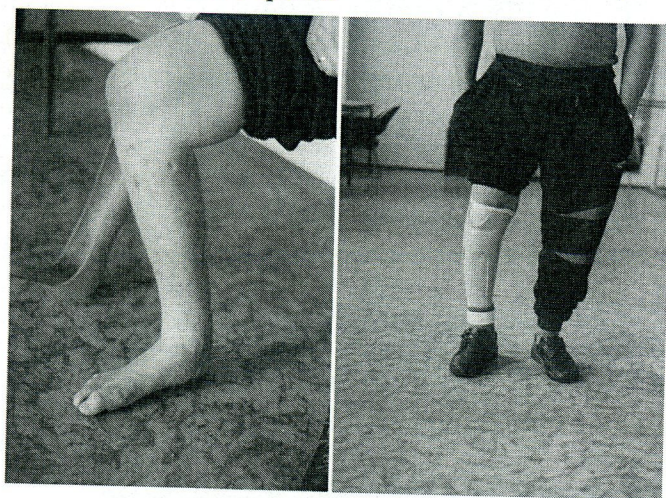


Рис. 3. Протез-ортез при нарушении целостности подошвенной кожи на опорной поверхности стопы

В-третьих, при назначении конструкции протеза следует проверить, нет ли укорочения нижней конечности. При его наличии в протезе компенсируют укорочение до 1-1,5см без необходимости использования в дальнейшем специальной обуви. Причем компенсация производится коском от пятки к переднему отделу стопы «на нет». В случае укорочения свыше 1,5см изготавливают специальную обувь.

Четвертым фактором при определении конструкции протеза стопы является наличие кожных мозолей на опорной поверхности стопы. До снятия гипсового слепка необходимо отметить на стопе расположение их центров и размеров. Учитывая, что мозоль - это наслоившаяся ороговевшая ткань, выступающая над поверхностью кожи в виде бугра, и при контакте с ровной опорной поверхностью стопа испытывает в этом месте повышенную нагрузку и болезненность, необходимо в протезе стопы перераспределить нагрузку так, чтобы при пользовании протезом пациент ощущал дискомфорт в месте нахождения мозоли. При необходимости, для компенсации болезненных ощущений в толще опорного материала в области оппозитной

мозоли следует выполнить углубление для уменьшения концентрированной нагрузки.

В-пятых, при протезировании стопы отмечают болезненные места на опорной поверхности культи, которые необходимо разгрузить (если это не невромы, т.к. в этом случае проблему придется решать хирургически). В случае изготовления протеза из силиконовых композиций толщина силиконового компонента стопы на опорной поверхности будет равна приблизительно 5 мм. Этого достаточно для того, чтобы в местах болезненности в оболочке сделать углубления для уменьшения нагрузки в этих зонах. Если же конструкция протеза имеет на опорной поверхности «вшитую» в силиконовый компонент карбоновую рекуперационную пластину, то при изготовлении протеза в ней в таком случае предусматривается конусное отверстие для разгрузки конкретного болезненного места.

В норме основные опорные точки, воспринимающие нагрузку при ходьбе, находятся в области пятки и плюсны. Пальцы стопы участвуют в ходьбе минимально, поэтому при ампутации стопы по Гаранжо, либо отдельных пальцев стопы, нет необходимости в протезировании всей стопы. Протез в данном случае выполняет только косметическую функцию (Рис.4). Он изготавливается из силикона телесного цвета с кожным рисунком, с акриловыми или силиконовыми ногтями с возможностью окраски их цветным лаком. Протез крепится за счет охвата плюсневой области культи силиконовой оболочкой.

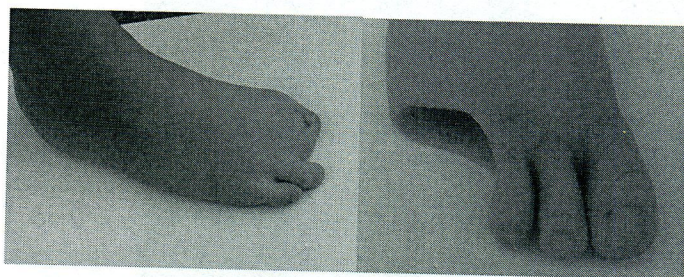


Рис. 4. Протез силиконовый (компонент фирмы Regal) при ампутации пальцев

На рынке протезно-ортопедических изделий Российской Федерации присутствуют различные виды и конструкции протезов при частичной ампутации стопы. Ниже приведем их описание.

1. Протез стопы, состоящий из гильзы голени, изготовленной методом вакуумной инфузии, на основе акриловых смол, протезной стопы низкого профиля (Рис. 5). Крепление в области голени осуществляется застегиванием «контакт». Такой протез громоздок и стопа в щиколотке не имеет подвижности. В результате не происходит силового заднего толчка и атрофируется икроножная мышца, ходьба пациента чаще всего сопровождается хромотой. Кроме того, лангета в области перехода голень/стопа от динамических нагрузок лопается. Требуется специальная

ортопедическая обувь. Косметичность конструкции низкая. Долговечность составляет до двух лет.

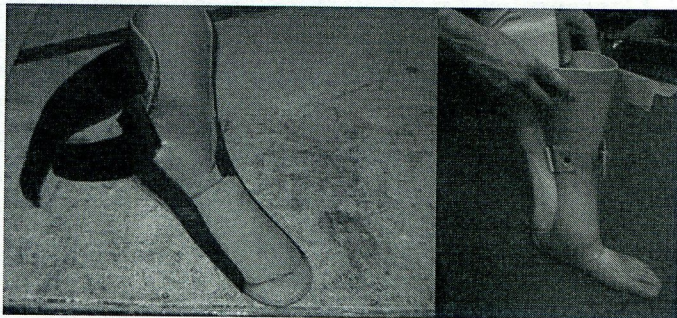


Рис. 5. Протез стопы, состоящий из гильзы голени, изготовленной методом вакуумной инфузии, на основе акриловых смол, протезной стопы низкого профиля

2. Протез стопы, состоящий из карбоновой стельки с приклеенной к ней приемной полостью, изготовленной методом вакуумной инфузии на основе акриловых смол, и оболочки протезной стопы (Рис. 6 и 7). Крепление осуществляется за счет формы приемной полости. Подвижность в щиколотке полная. При этом пациент использует стандартную обувь. Как правило, в одежде протез не заметен для окружающих. Косметичность средняя. Долговечность составляет до трех лет.

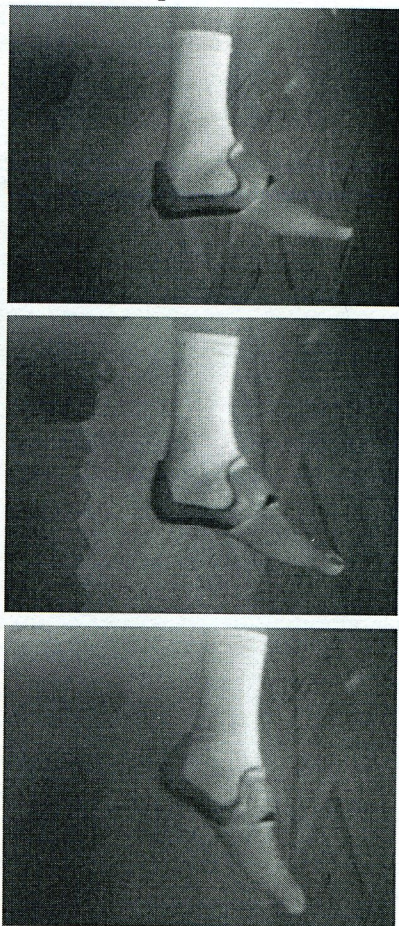


Рис. 6. Протез стопы, состоящий из приемной полости, изготовленной методом вакуумной инфузии на основе акриловых смол, и оболочки протезной стопы

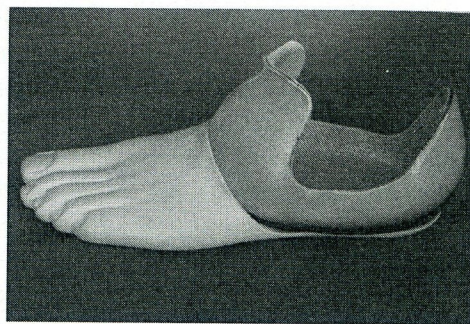


Рис. 7. Протез стопы, состоящий из приемной полости, изготовленной методом вакуумной инфузии на основе акриловых смол, и оболочки протезной стопы

3. Протез стопы из силиконовых композиций (компонент фирмы Regal) с креплением застежкой «молния» (Рис. 8). При ампутации по Шопару, Лисфранку, Шарпу опорную поверхность протеза делают профильной с выкладкой продольного свода (Рис. 9). Подвижность в щиколотке сохраняется в полном объеме. Косметичность высокая. Долговечность использования – до двух лет. Следует учитывать, что культя стопы, находясь в силиконовой оболочке, имеющей толщину 2 - 2,5 мм, увеличивает занимаемый объем в обуви. Поэтому пациента предупреждают о необходимости примерки обуви перед покупкой.

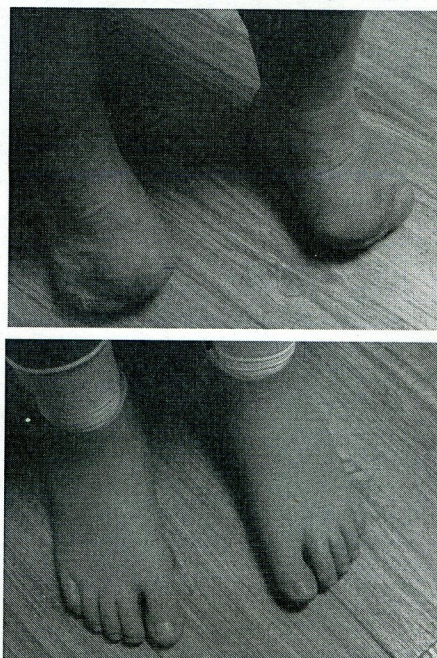


Рис. 8. Протез стопы (силиконовый компонент фирмы Regal) с креплением за счет вакуума и застежкой «молния»

При резекции переднего отдела стопы с частичным сохранением её продольного свода при изготовлении протеза стопы есть необходимость в выкладке естественной формы свода, так как в противном случае под нагрузкой свод опускается и стопа разворачивается наружу (супинация стопы). Для повышения косметических свойств протеза в случаях протезирования женщин, его конструкция предусматривает наличие опции «акриловые ногти».



Рис. 9. Выкладка продольного свода – внутренняя часть протеза стопы силиконового

4. Протез стопы в виде вкладного башмачка. (Рис. 10). Изготавливается из натуральной кожи для восполнения объемов здоровой стопы. Иногда имеет вкладную стельку.



Рис. 10. Протез стопы – вкладной башмачок

При назначении конструкции протеза из силиконовых композиций (компонент фирмы Regal) пациенту с частичной ампутацией стопы необходимо учитывать следующие три важных аспекта.

Во-первых, при ампутации переднего отдела стопы, захватывающей её продольный свод, необходима выкладка свода в оболочке стопы (супинатор). Если высота выкладки 2-3 мм, то она может быть выполнена из того же силикона, что и сама оболочка стопы. Если же высота выкладки выше 3 мм, нужна более жесткая фиксация, которая обеспечивается либо жестким вспененным мате-

риалом, либо силиконом высокой твердости. В противном случае под нагрузкой свод стопы опускается, и стопа разворачивается наружу, а на переднем и торцевом отделах культи стопы образуется кожная мозоль.

Во-вторых, чем больше ампутированная часть переднего отдела стопы, тем больше угловая экскурсия переднего отдела протеза стопы в процессе ходьбы за счет эластичности силиконовой оболочки компонента протеза. Это часто приводит к потертостям, ссадинам и наминам на переднем отделе культи стопы, что ограничивает длительную ходьбу пациента в течение дня. Если естественные опорные поверхности плюсны ампутированы, то следует использовать протез из силиконовых композиций, который на опорной поверхности имеет «вшитую» в силиконовый компонент карбоновую рекуперационную пластину. Пластина придает жесткость подошве, ограничивая ее прогиб в процессе ходьбы, и является рекуператором энергии, работая как полосовая рессора. Жесткость пластины подбирается из трех возможных типов и зависит от веса пациента и уровня его активности.

В-третьих, если стопа ампутирована по Шопару, то в конструкции протеза также необходимо предусмотреть «вшитую» в силиконовый компонент карбоновую рекуперационную пластину, кроме того, протез должен иметь более высокую крагу голени, так как при наступании на носок протеза последний испытывает усилие, которое «стягивает» протез с щиколотки.

Выше рассмотрены случаи протезирования при различных поперечных ампутациях стопы, но возможно и протезирование, когда отсутствует часть плюсневых костей с пальцами вдоль стопы (Рис. 11). В этом случае при нормальной функциональности и подвижности оставшегося сегмента стопы наблюдается плохая устойчивость за счет уменьшения площади опоры. Сказывается это и на походке. Для обеспечения устойчивости силиконовый протез должен иметь карбоновую пластину и тщательно сформированный ложемент из силикона.

При протезировании стопы всегда следует иметь в виду, что протез стопы не имеет подвижности живой стопы, вви-

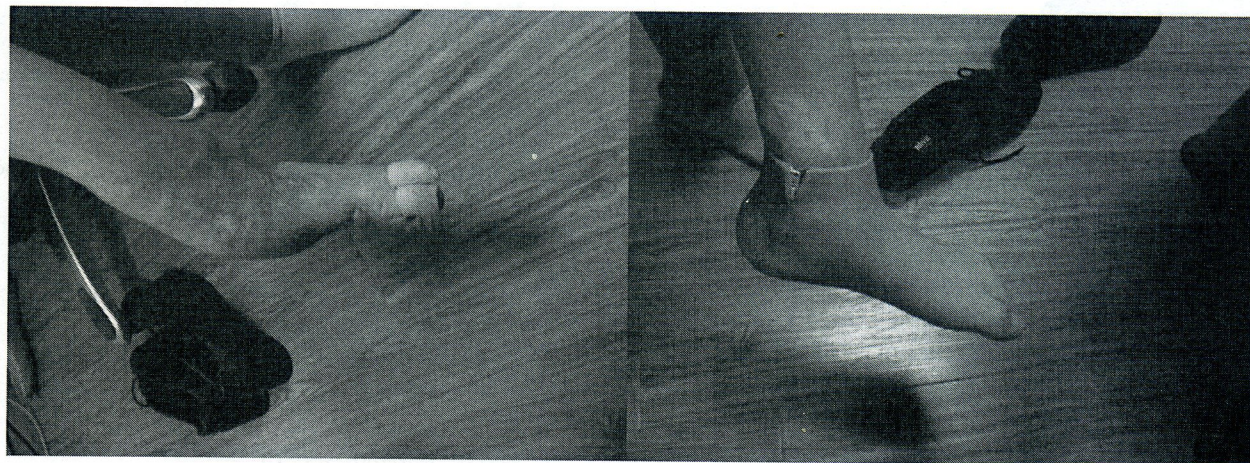


Рис. 11. Протез стопы при отсутствии части плюсневых костей с пальцами вдоль стопы

ду отсутствия части суставов, поэтому стопа протеза выбирается на 1 см короче здоровой стороны, иначе не исключены проблемы с установкой протеза в стандартную обувь.

После назначения конструкции протеза стопы специалист (врач травматолог-ортопед, техник) должен подобрать компоненты для изготовления изделия, ориентируясь на уровень двигательной активности пациента, вес, прочие обязательные характеристики в зависимости от конкретного типа компонента.

Заключение

В статье разобраны основные конструкции и виды протезов стопы, назначаемых при различных видах культей стоп. Все функции живой стопы обеспечить стопе с ампутационными дефектами с помощью протеза невозможно, но частично вернуть ее функциональность можно. Необходим грамотный и рациональный подход к выбору вида и конструкции протеза стопы в зависимости от уровня резекции стопы и функциональных возможностей ее сохранившихся сегментов для обеспечения максимального возможного реабилитационного потенциала пациента.

Конфликт интересов отсутствует.

There is no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://protezist-md.blogspot.com/2015/06/blog-post.html>
2. http://www.medicinform.net/revmo/ther_pop34.htm
3. Baumgartner, R., Botta P. Amputation and prosthetics of the lower limbs. Translated from the German PhD A.V. Grassroots. Edited by honored scientist of Russia, doctor of medical Sciences Professor A.N. Keir. – M: Medicine, 2002. – 504p.
4. Мицкевич В. А., Подиатрия / В. А. Мицкевич, А. О. Арсеньев. - Москва : Бином. Лаб. знаний, 2006 (Ульяновск : Ульяновский Дом печати). - 136 с.
5. www.regalprosthesis.vitaorta.ru

Поступила 25.05.2018

УДК 617.58-77; 617.3

REFERENCE

1. <http://protezist-md.blogspot.com/2015/06/blog-post.html>
2. http://www.medicinform.net/revmo/ther_pop34.htm
3. Baumgartner, R., Botta P. Amputation and prosthetics of the lower limbs. Translated from the German PhD A.V. Grassroots. Edited by honored scientist of Russia, doctor of medical Sciences Professor A.N. Keir. – M: Medicine, 2002. – 504p.
4. Mitskevich V.A., Podiatriya / V.A.Mitskevich, A.O. Arsen'ev. - Moskva : Binom. Lab. znaniy, 2006 (Ul'yanovsk : Ul'yanovskiy Dom pechati). - 136 s.
5. www.regalprosthesis.vitaorta.ru

Received 25.05.2018

UDC 617.58-77; 617.3

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

1. **Монахова Марина Игоревна** – аспирант Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический институт «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, Россия, заместитель главного инженера Федерального государственного унитарного предприятия «Московское протезно-ортопедическое предприятие» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, г. Москва, Россия; e-mail: m.monakhova@inbox.ru
2. **Киразов Левон Рубенович** – руководитель производственного обучения Федерального государственного унитарного предприятия «Московское протезно-ортопедическое предприятие» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, г. Москва, Россия; e-mail: 4789561@mail.ru
3. **Смирнова Людмила Михайловна** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела биомеханических исследований ОДС Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия, профессор кафедры «Биотехнические системы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический институт «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: info@diaserv.ru

AUTHORS' INFORMATION

1. **Monakhova Marina I.** – aspirant of St. Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, Russia,, St. Petersburg, Russia, deputy chief engineer of Moscow prosthetic and orthopedic enterprise Ministry of Labor and Social Protection, Moscow, Russia, e-mail: m.monakhova@inbox.ru
2. **Kirakozov Levon R.** – head of industrial training direction of Moscow prosthetic and orthopedic enterprise Ministry of Labor and Social Protection, Moscow, Russia, e-mail: 4789561@mail.ru
3. **Smirnova Ljudmila M.** – doctor of engineering, leading researcher of the department of biomechanical studies of the musculoskeletal system FSBI “Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht” Ministry of Labor and Social Protection, professor of the biotechnical systems department of St. Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, St. Petersburg, Russia,, St. Petersburg, Russia, e-mail: info@diaserv.ru