

Влияние конструкции приемной гильзы протеза плеча на распределение давления по внутренней поверхности гильзы

Аннотация

Проведены биомеханические исследования распределения удельного давления по внутренней поверхности приемной гильзы с акцентом на области торца культи плеча в процессе манипуляций протезом. Для этой цели были использованы матричные тензометрические многосенсорные датчики. Показано, что пиковые нагрузки в локальных зонах значительно снижаются с увеличением площади и постоянства контакта кожных покровов культи с внутренней поверхностью приемной гильзы. Наилучшие результаты получены при использовании комбинированных приемных гильз с силиконовой композицией.

Введение

Комплексная реабилитация инвалидов с поражением опорно-двигательной системы является сложной и многогранной проблемой. Наиболее сложными являются реабилитация и восстановительное лечение инвалидов, перенесших ампутации конечностей. Хорошо известно, что верхняя конечность в процессе развития человека подвергалась наиболее специфическому развитию и достигла совершенства функции и анатомического строения.

Верхняя конечность состоит из трех сегментов: плеча, предплечья, кисти – и относительно плечевого пояса имеет 27 степеней свободы. С точки зрения биомеханики верхняя конечность представляет собой незамкнутую биокинематическую цепь, снабженную кинематическими парами. 20 степеней свободы приходится на суставы кисти, 2 – на локтевой и лучелоктевой суставы, 2 – на лучезапястный сустав. Таким образом, после усечения на уровне плеча остается всего 3 степени свободы, что резко ограничивает двигательные возможности пациента, делая его зависимым от посторонней помощи [1].

Ампутация одной или обеих верхних конечностей на проксимальном уровне является сильнейшим эмоциональным и физическим стресс-фактором для человека. Вследствие ампутации практически все функциональные системы организма претерпевают изменения. Серьезные изменения происходят со стороны опорно-двигательного аппарата, в частности, происходят типичные нарушения осанки, которые проявляются смещением надплечья вверх, вперед и образованием так называемых крыловидных лопаток. Снижается сила мышц культи и плечевого пояса, формируются контрактуры и тугоподвижность в плечевом суставе, определенные изменения происходят со стороны дыхательной системы.

В настоящее время самым эффективным средством восстановления или компенсации утраченных функций верхней конечности является протезирование [2], [3]. В практике протезирования широко используются косметические, функционально-косметические, механические протезы с тяговой системой управления, рабочие протезы и протезы с внешним источником энергии [3]. В конструкции любого протеза независимо от принципа управления и его функционального назначения основным элементом является приемная гильза, от качества изготовления которой, соответствия анатомо-морфологическим особенностям культи во многом зависят возможность и удобство пользования протезом. Поэтому одним из ключевых моментов изготовления протеза является исполнение приемной гильзы [4].

Для объективной оценки эффективности использования протезов плеча с приемными гильзами различных конструкций в процессе эксплуатации были проведены биомеханические исследования.

Задачей исследований являлось изучение распределения удельного давления по внутренней поверхности гильз различ-

ных конструкций с акцентом на область торца, а также на зоны, где пациенты отмечали дискомфорт или болевые ощущения в процессе манипуляции протезом плеча.

Материалы и методы

К обследованию привлекались 23 пациента мужского пола и 5 пациенток женского пола в возрасте от 18 до 45 лет, перенесшие ампутации вследствие травм, не страдавшие какими-либо заболеваниями опорно-двигательной системы, не имевшие ограничения подвижности в сохраненных суставах усеченной конечности, протезировавшиеся ранее и обученные пользованию протезами.

У части обследованных пациентов на культях плеча имелись рубцово измененные кожные покровы в области дистальной части и торца культи.

Приемные гильзы протезов изготавливались из листового полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 3 мм в трех вариантах: стандартной конструкции (вариант 1), полноконтактной (вариант 2) и комбинированной гильзы с кремний-органической композицией «силпен», которая заливалась непосредственно в гильзу, образуя покрытие торца культи толщиной 3...5 мм слоем, в точности передающим форму дистального отдела и обладающим после полимеризации эластично-амортизирующими свойствами и высокой адгезией (сцепляемостью) с кожными покровами (вариант 3).

В каждом конкретном случае протезы предварительно выдавались на пробную носку в течение 1-2 суток, после чего проводилась предварительная оценка функциональности протезирования и клинический осмотр культи для исключения влияния на процесс исследования дефектов и ошибок протезирования.

Биомеханические исследования динамики топографии давления внутри приемных гильз проводилось с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК) «F-Socket». Этот комплекс включал в себя матричные измерители давления в виде тензометрических пластин толщиной 0,2 мм. С помощью кабельной связи результаты измерения передавались в компьютер и обрабатывались. Результаты исследований представлялись на мониторе топологией давления, траекторией центра давления – «линией нагрузки», графиками суммарного давления на измерителях.

Для достижения лучшего сопряжения с культей пластины сначала разрезали на полосы, не нарушая их работоспособности.

Многосенсорные датчики крепились при помощи клейкой прозрачной ленты на поверхности культи плеча с максимальным покрытием зон торца культи и зон, где пациенты отмечали дискомфорт или болевые ощущения. В ситуациях, когда были выявлены недостатки приемной гильзы, изделия направлялись на дополнительную подгонку для исключения возможных искажений конечных результатов биомеханических исследований.

Протокол обследования включал в себя ряд функциональных тестов (табл. 1) для определения: уровня суммарного удельного давления на культю плеча, размеров области контакта в процессе манипуляций, уровня пиковых нагрузок, приходящихся на опорные участки культи с различными конструкциями приемных гильз.

Таблица 1

Перечень и описание функциональных тестов для определения уровня нагружения и комфорта культи верхней конечности

№ п/п	Наименование теста	Описание функционального теста
1	Регистрация в покое	Определение уровня суммарной нагрузки на культю в процессе покоя
3	При осуществлении максимального отведения	Определение уровня пиковых нагрузок и их локализации в процессе максимального отведения культи с протезом
4	Манипуляции с грузом	Определение уровня пиковых нагрузок и их локализации, а также области контакта в процессе удержания и подъема груза массой 3 кг
5	Импульсные нагрузки	Определение уровня пиковых нагрузок и их локализации, а также области контакта в процессе работы с насадкой «молоток»

Результаты

При регистрации давления в покое (использован протез с рабочей насадкой, в сборе весом 1800 г) средний уровень давления на поверхность культи в протезе со стандартной гильзой не превышал 300 г/см² при площади контакта в районе 80 см² с незначительными локализованными зонами перегрузок со значением давления до 1400 г/см². Для полноконтактных гильз значения давления были схожими – в диапазоне 280 г/см² с незначительными локализованными зонами пере-

грузок со значением давления до 1200 г/см² и суммарной площадью контакта до 95 см². В случае использования комбинированной гильзы давление доходило до 500 г/см² с площадью контакта до 110 см² и локальными перегрузками до 1000 г/см² в области торца культи (рис. 1).

Таким образом, наибольшее среднее давление покоя (500 г/см²) было зарегистрировано в протезе с комбинированной гильзой, однако за счет значительной площади контакта – 30 см², превышающей на 28 % площадь контакта в стандартной гильзе, пиковые всплески давления в локальной зоне торца снижались на 400 г/см² по сравнению со стандартной гильзой и на 200 г/см² по сравнению с полноконтактной гильзой.

При осуществлении максимального отведения в плечевом суставе уровень среднего давления на культю составил: для стандартных гильз – до 1000 г/см², для полноконтактной гильзы – в среднем до 1300 г/см², для комбинированной гильзы – до 1350 г/см² (рис. 2). Однако, как и в предыдущем случае, следует отметить, что уровень пикового давления на торце культи был существенно ниже у комбинированной гильзы, доходя до 1400 г/см², по сравнению с остальными гильзами, где уровень локальной нагрузки на торец был не менее 2000 г/см².

Процесс подъема груза характеризовался высоким уровнем давления на торце культи. Для стандартной и полноконтактной гильз давление на торец в среднем составило более 4000 г/см², а в некоторые моменты пиковое давление превышало отметку в 11500 г/см² (рис. 3). Такой сверхвысокий уровень нагружения не наблюдается даже в протезах нижних конечностей при активной ходьбе, где кинетическая масса, приходящаяся на момент реакции опоры, может достигать до 150 % от массы пациента.

В протезе с комбинированной гильзой подъем груза был осуществлен с рабочим давлением до 3000 г/см² и пиковым до 6000 г/см² в области торца культи, что также определялось достаточно высоким уровнем контакта торца культи со стенкой приемной гильзы (до 130 см²) на фоне высоких адгезивных свойств силпена к кожным покровам.

Выраженность пиковой нагрузки в протезе с комбинированной гильзой существенно ниже, чем с остальными гильзами. Так, по сравнению со стандартной гильзой было зарегистрировано снижение давления на 25...30 % при высокой субъективной оценке уровня комфорта пациентом.

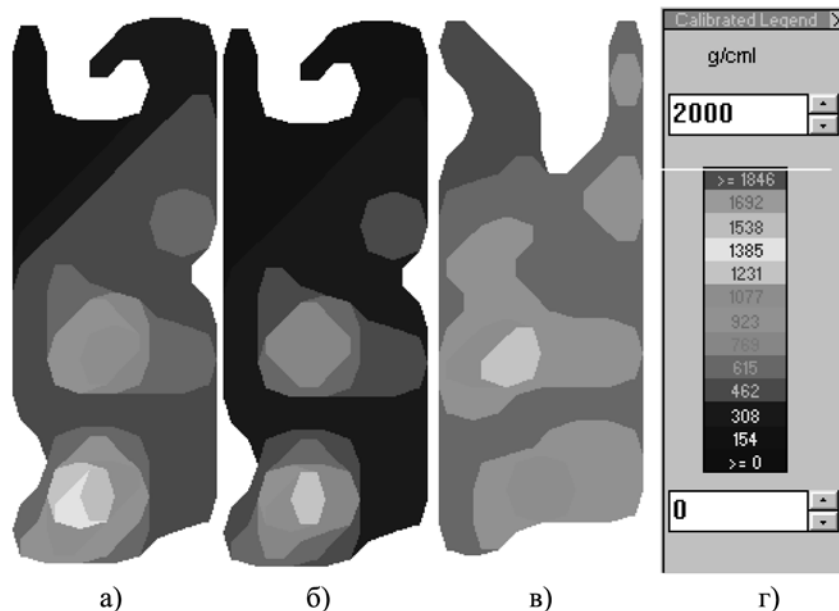


Рис. 1. Распределение удельного давления на культю плеча в покое:

а) стандартная гильза; б) полноконтактная гильза; в) комбинированная гильза; г) цветовая калибровочная карта давления

Тест с импульсными нагрузками (работа с насадкой типа молоток) был проведен в упрощенном варианте в связи с невозможностью достаточно точного управления рабочим протезом плеча. Для регистрации тест проводился для каждой гильзы один раз, и пациенту предлагалось максимально сильно ударить слегка насаженный в деревянную доску гвоздь 4 раза.

Проведенный анализ показал (рис. 4), что при импульсных нагрузках удельное давление не превышало средних показателей в 1600 г/см^2 для всех видов гильз. В случае стандартной и

полноконтантной гильз обнаружены явные участки пиковых нагрузок в проекции торца культы со значением давления до 2000 г/см^2 . Для комбинированной гильзы давление регистрировалось на уровне 1500 г/см^2 без характерного для обычных гильз пикового скачка давления на торце культы.

Падение пикового давления для данного вида гильзы составило до 45 % по сравнению со стандартной гильзой и до 30 % по сравнению с уровнем нагрузок, определенных для полноконтантной гильзы.

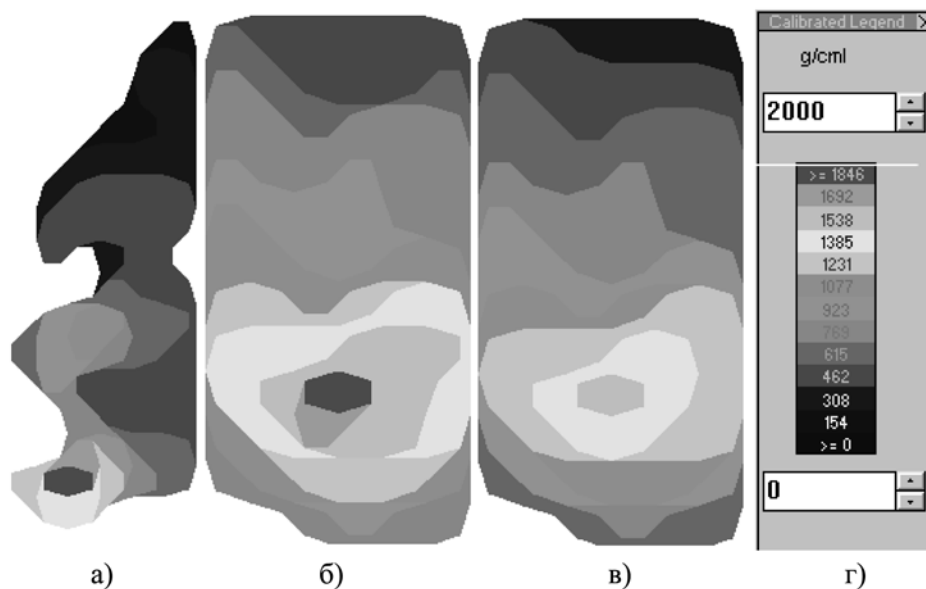


Рис. 2. Распределение удельного давления на культю плеча в процессе отведения:
а) стандартная гильза; б) полноконтантная гильза; в) комбинированная гильза; г) цветовая калибровочная карта давления

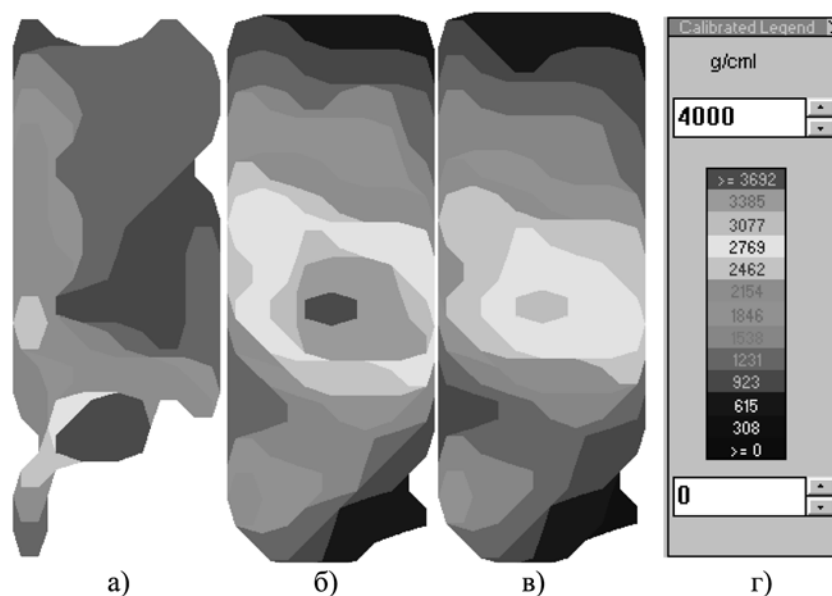


Рис. 3. Распределение удельного давления на культю плеча в процессе подъема груза 3 кг на высоту 1,5 м:
а) стандартная гильза; б) полноконтантная гильза; в) комбинированная гильза; г) цветовая калибровочная карта давления

Заключение

Впервые получены количественные значения удельного давления на культю плеча при различных конструкциях приемной гильзы в процессе эксплуатации протеза.

Биомеханическими исследованиями на программно-аппаратном комплексе «F-Socket» установлено, что снижение уровня пиковых нагрузок на культю в локальных зонах при использовании комбинированных полноконтактных приемных гильз с силиконовой композицией составило до 45 % по сравнению со стандартной гильзой и до 30 % по сравнению с уровнем нагрузок, определенных для полноконтактной гильзы. При этом увеличивалась площадь контакта культи с внутренней поверхностью приемной гильзы до 30 % на фоне высоких адгезивных свойств силпена к кожным покровам.

Комбинированные полноконтактные приемные гильзы позволяют надежно фиксировать протезы с минимальными поршнеобразными движениями, что способствует усилению чувства обратной связи при использовании рабочими и активными протезами с тяговой системой управления.

Усовершенствованная технология внедрена в практику протезирования на нескольких протезно-ортопедических предприятиях РФ и свидетельствует о значительном повышении функциональности протезирования при использовании индивидуальных комбинированных полноконтактных приемных гильз для протезов плеча, выполненных с учетом анатомо-функциональных особенностей усеченной конечности.

Основной результат применения комбинированных полноконтактных приемных гильз можно рассматривать как один из этапов медицинской реабилитации. Повышение качества жизни открывает новые перспективы к возвращению к профессиональной деятельности, адаптации и интеграции инвалидов в современном обществе.

Список литературы:

1. Кейер А.Н., Рожков А.В. Руководство по протезированию и ортезированию / Под ред. А.Н. Кейера и А.В. Рожкова. – СПб.: Крисмас, 1999. С. 624.
2. Курдыбайло С.Ф., Замилацкий Ю.И., Андриевская А.О. и др. Технические средства реабилитации больных и инвалидов с поражением верхних конечностей / Под ред. С.Ф. Курдыбайло. – СПб.: Знак, 2013. С. 293.
3. Курдыбайло С.Ф., Замилацкий Ю.И., Андриевская А.О. и др. Конструкции протезов верхних конечностей (исторический очерк) / Под ред. С.Ф. Курдыбайло, Ю.И. Замилацкого, А.О. Андриевской. – СПб.: Нимфа, 2009. С. 458.
4. Петров В.Г., Замилацкий Ю.И., Буров Г.Н. и др. Технология изготовления протезов верхних конечностей / Под ред. Г.Н. Букова. – СПб.: Гиппократ, 2008. С. 126.

Юрий Иванович Замилацкий,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
Сергей Федорович Курдыбайло,
д-р мед. наук, профессор,
руководитель отдела,
Регина Ренатовна Гайнуллина,
научный сотрудник,
ФГБУ «Санкт-Петербургский
научно-практический центр медико-социальной
экспертизы, протезирования и реабилитации
инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России,
г. С.-Петербург,
e-mail: reabin@center-albreht.ru

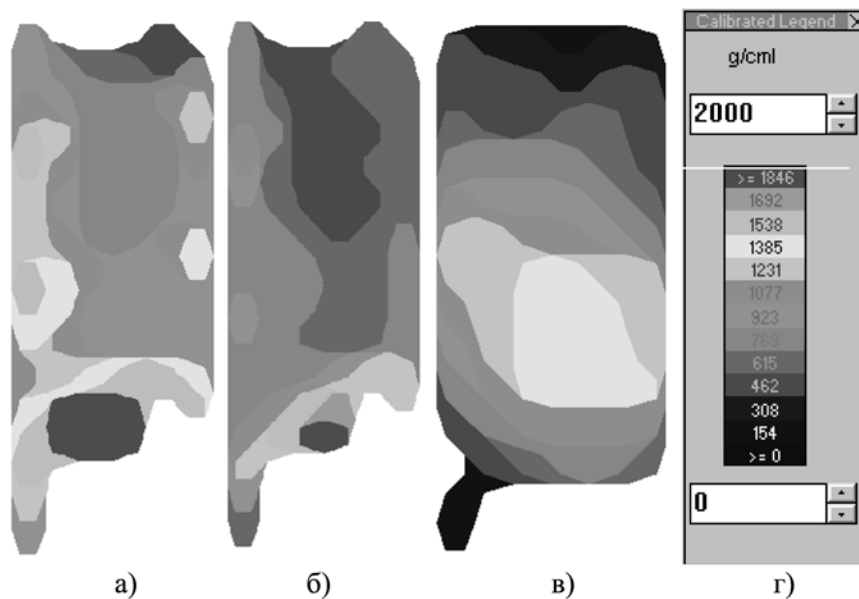


Рис. 4. Распределение удельного давления на культю плеча в процессе импульсных нагрузок: а) стандартная гильза; б) полноконтактная гильза; в) комбинированная гильза; г) цветовая калибровочная карта давления