УДК 617.574-77 *DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-3-27-31*

МЕХАНИЧЕСКИЙ ПРИВОД ПРОТЕЗА ПРЕДПЛЕЧЬЯ: ИННОВАЦИЯ КОМПОНОВКИ БАЗОВОГО УСТРОЙСТВА

Буров Г.Н. [1], Большаков В.А. [1], Дробаха А.С. [1]

[1] *Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта, ул. Бестужевская, дом 50, Санкт-Петербург, 195067, Российская Федерация*

Резюме

Введение. Активный протез руки с любым методом управления должен способствовать выполнению основных бытовых и простых трудовых действий при сравнительно небольших приспособительных движениях инвалида. Кроме того, необходимо совмещение во времени движений ориентации кисти в пространстве рабочей зоны и движений схвата, что в механизмах возможно только после соответствующего переключения. Двойное функциональное нагружение приводного механизма ротационного типа предоставляет инвалиду определённые преимущества по сравнению с устройствами, которые используются в настоящее время. Новые конструкции ротационных узлов позволяют избежать перестёгивания управляющей тяги на ведущие звенья сменных насадок при смене узла, обеспечивают непрерывное управление с позиционной и силовой обратной связью. Задача решается путём прямой передачи управляющих движений от усечённого сегмента к исполнительному механизму.

Цель. Создание инновационной компоновки базового устройства привода протеза предплечья, которая обеспечит непрерывное управление протезом с позиционной и силовой обратной связью.

Материалы и методы. Одной из главных задач, которая ставилась при создании новых конструкций ротационных узлов, было обеспечение нового качества протеза руки при работе со сменными функциональными насадками, а именно: при смене узла не должно осуществляться перестёгивание управляющей тяги на ведущие звенья сменных насадок. В основу создания системы новых механизмов был положен метод базового агрегата. Базовый агрегат после присоединения к нему сменных частей превращается в устройства различного назначения.

Результаты. По материалам данного исследования были разработаны ротационно-приводной узел протеза предплечья, устройство переключения функций движения искусственной кисти в протезе предплечья, ротационный привод с устройством переключения и сменные устройства (искусственная кисть и функциональный схват).

Обсуждение. Данное устройство позволяет осуществлять поочерёдно как ротацию искусственной кисти, так и функцию схвата, при этом движение в обоих случаях осуществляется прямой передачей управляющих движений от усечённого сегмента. Двойное функциональное нагружение приводного механизма ротационного типа предоставляет инвалиду определённые преимущества по сравнению с устройствами, которые используются в настоящее время.

Заключение. После присоединения сменной части к базовой возникает новое устройство. Для проектирования каждого такого устройства требуется разработка только сменных узлов.

Ключевые слова: механический протез руки, механический привод, ротационный метод управления.

Буров Г.Н., Большаков В.А., Дробаха А.С. Механический привод протеза предплечья: инновация компоновки базового устройства // Физическая и реабилитационная медицина. — 2021. — Т. 3. — № 3. — С. 27-31. DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-3-27-31.

Burov GN, Bol'shakov VA, Drobaha AS. Mehanicheskij privod proteza predplech'ja: innovatsija komponovki bazovogo ustrojstva [Mechanical Drive of the Forearm Prosthesis: Innovation in the Layout of the Basic Device]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [*Physical and Rehabilitation Medicine*]. 2021;3(3):27-31. DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-3-27-31. (In Russian).

Буров Геннадий Николаевич / Gennady N. Burov; e-mail: zxzy@yandex.ru

MECHANICAL DRIVE OF THE FOREARM PROSTHESIS: INNOVATION IN THE LAYOUT OF THE BASIC DEVICE

Burov GN [1], Bolshakov VA [1], Drobakha AS [1]

[1] *Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation*

Abstract

Introduction. An active hand prosthesis with any method of control should facilitate the performance of basic household and simple labor activities with relatively small adaptive movements of the disabled person. In addition, it is necessary to combine in time the movements of the orientation of the hand in the space of the working zone and the movements of the gripper, which in mechanisms is possible only after the appropriate switching. The double functional loading of the rotary-type drive mechanism provides the disabled person with certain advantages over devices that are currently used. New designs of rotary assemblies allow to avoid overloading of the control rod onto the driving links of replaceable nozzles when changing the assembly, provide continuous control with positional and force feedback. The problem is solved by direct transfer of control movements from the truncated segment to the actuator.

Aim. Creation of an innovative arrangement of the basic device of the forearm prosthesis drive, which will provide continuous control of the prosthesis with positional and force feedback.

Materials and methods. One of the main tasks that were posed when creating new designs of rotary nodes was to ensure a new quality of a hand prosthesis when working with replaceable functional attachments, namely: when changing a node, the control rod should not be switched to the leading links of the replaceable attachments. The basis for creating a system of new mechanisms was based on the method of the basic unit. The basic unit, after attaching replaceable parts to it, turns into devices for various purposes.

Results. Based on the materials of this study, a rotary-drive unit of a forearm prosthesis, a device for switching the functions of movement of an artificial hand in a prosthesis of a forearm, and a rotary drive with a switching device and replaceable devices (an artificial hand and a functional gripper) were developed.

Discussion. This device makes it possible to alternately perform both the rotation of the artificial hand and the gripping function, while the movement in both cases is carried out by direct transmission of control movements from the truncated segment. The double functional loading of the rotary-type drive mechanism provides the disabled person with certain advantages over devices that are currently used.

Conclusion. After attaching the replacement part to the base, a new device appears. For the design of each such device, only the development of replaceable assemblies is required.

Keywords: mechanical hand prosthesis, mechanical drive, rotary control method.

Publication ethics. All data is real and authentic. The submitted article was not previously published. All borrowings are correct.

Conflict of interest. There is no information about a conflict of interest.

Source of financing. The study had no sponsorship.

Received: 06.05.2021
Accepted for publication: 03.09.2021

Введение / Introduction

Амплитуды угловых перемещений и наибольшие угловые скорости сохранившихся после ампутаций сегментов руки при выполнении двигательных актов претерпевают значительные изменения после ампутации в пределах предплечья. В этом случае при выполнении бытовых действий инвалид не имеет возможности использовать большую часть степеней подвижности руки, так как отсутствует естественная кисть (реализующая 20 степеней подвижности), а современные протезы предплечья, к тому же, имеют закрепощённое сочленение искусственной кисти и предплечья [1].

Активный протез руки с любым методом управления должен способствовать выполнению основных бытовых и простых трудовых действий при сравнительно небольших приспособительных движениях инвалида. Более совершенным следует считать такой протез руки, при пользовании которым приспособительные движения выражены несильно, а основные движения, обеспечивающие выполнение целевой задачи, приближаются по своему рисунку к движениям, свойственным здоровому человеку. Данное требование выполняется легче, если в распоряжении инвалида имеются соответствующие механизмы протеза, а управление ими выполняют те группы мышц, которые обычно участвуют в аналогичных движениях здоровой конечности. Если позволяет конструкция протеза руки и управление им освоено хорошо, то инвалид в весьма малых объёмах использует движения корпуса. В других случаях движения корпуса хорошо заметны и могут преобладать в комплексе полезных движений [2].

Цель / Aim

Создание инновационной компоновки базового устройства привода протеза предплечья, которая обеспечит непрерывное управление протезом с позиционной и силовой обратной связью.

Материалы и методы / Materials and methods

Одной из главных задач, которая ставилась при создании инновационной компоновки базового устройства, было обеспечение нового качества протеза руки при работе со сменными функциональными насадками, а именно: при смене узла не должно осуществляться перестёгивание управляющей тяги на ведущие звенья сменных насадок. Решение этой задачи автоматически выполняется при разработке механических ротационных приводов, основной целью создания которых является обеспечение непрерывного управления с позиционной и силовой обратной связью.

При движении руки с протезом предплечья, где суставы плеча и локтя сохранены и выполняют движения так же, как и в здоровой руке, степеней подвижности всё же недостаточно для ориентации кисти. Инвалид в таких ситуациях вынужден приспособиться к заданному движению за счёт степеней подвижности плечевого пояса и корпуса. В современных протезах предплечья в большинстве случаев используются искусственные кисти с пружинным схватом, где усилие схвата определено параметрами возвратной пружины и в конечной фазе движения в момент удержания объекта манипулирования не контролируется инвалидом-оператором [2].

При воспроизведении заданной траектории связанного движения пальцы кисти испытывают нагрузку, действие которой направлено на их деформацию и проскальзывание по поверхности рукоятки. Если при этом инвалид компенсаторно не обеспечит отслеживание принудительной траектории или вовремя не уменьшит усилие схвата, то возможны поломка кисти и разрыв косметической оболочки, что и происходит на практике.

Процесс движения здоровой руки может быть представлен в виде двух фаз перемещения кисти. Прежде всего — это достижение рукой нужной точки. Затем следует ориентация самой кисти около заданной точки. Процессы ориентации кисти и выполнения функции схвата могут осуществляться в совмещённом режиме, то есть в зависимости от условий, в которых проводится акт движения руки (наличие зрительной обратной связи, препятствий, сопротивления самой среды), фазы данных движения в разной степени могут быть смещены во времени.

Положение точки, достигаемой рукой в пространстве рабочей зоны, в прямоугольной системе определяется тремя координатами. Для достижения естественной рукой (концевым звеном) заданной точки в пространстве оптимальной зоны моторного поля достаточно трёх степеней подвижности звеньев шарнирно-рычажной цепи. А для подхода к заданной точке с различных сторон необходимо иметь шесть степеней подвижности.

При протезировании предплечья современным протезом активная ротация кисти, а также подвижность пясти в виде сгибания-разгибания и отведения-приведения не воспроизводятся в искусственной части руки. Обеспечивается только тугая пассивная подвижность ротации кисти. Таким образом, выполнить сложный двигательный акт с произвольной ориентацией кисти относительно заданной точки, используя только подвижность конечности, протезированной протезом предплечья, невозможно, поскольку не обеспечено необходимое количество степеней подвижности шарнирно-рычажной цепи. Ни свободное, ни связанное движение по жёстко заданной траектории в данном случае не может быть выполнено без компенсаторных движений других частей тела (надплечья и корпуса).

При использовании пронации-супинации предплечья в качестве движения, управляющего исполнительным механизмом, можно обеспечить совмещение активных движений ориентации протеза предплечья с одной из степеней подвижности, а именно — с движением схват-раскрытие пальцев искусственной кисти или движением ротации кисти.

Совмещение во времени движений ориентации кисти в пространстве рабочей зоны и движений схвата обеспечивают сокращение времени выполнения двигательной операции. При этом может быть, при необходимости, задействовано движение активной ротации кисти, но только после соответствующего переключения. Известно достаточно много бытовых двигательных операций, где преимущественно используется ротация кисти, в пальцах которой удерживается объект манипулирования.

Результаты / Results

Задача здесь решается путём прямой передачи управляющих движений от усечённого сегмента к исполнительному механизму, что исключает подведение ветвей силовой гибкой передачи непосредственно к исполнительному механизму. При проектировании новых устройств необходимо соблюдать все сопутствующие ограничения, в рамках которых ведется создание протезов рук и их механизмов. Одним из таких факторов является необходимость протезирования инвалидов с длинными культями предплечья. Это означает, что сменная часть (искусственная кисть или насад-

ка) и ротационный узел после стыковки не должны превышать, по крайней мере, размеров широко известной пластмассовой искусственной кисти.

С точки зрения функциональной нагрузки приводной ротационный узел должен обеспечивать преобразование пронационно-супинационного движения культи предплечья в поступательное или вращательное движение выходного звена. Кроме того, он должен обеспечивать надёжное крепление к несущей гильзе предплечья, позволяя одновременно осуществлять ротацию кисти, например, в форме тугой пассивной подвижности.

В основу создания системы новых механизмов был положен метод базового агрегата. Базовый агрегат после присоединения к нему сменных частей превращается в устройства различного назначения [3, 4]. В данном случае базовым является приводной ротационный узел, представленный на рисунке 1, принимающий на себя не только функцию механического основания, но и механического привода, а также снабжён элементами стыковочного узла.

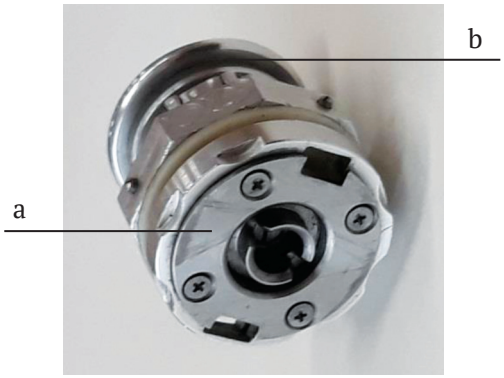

Рисунок 1. Ротационно-приводной узел протеза предплечья:
a — стыковочный фланец;
b — фланец выходного вала

Figure 1. Rotary drive unit of the forearm prosthesis:
a — docking flange;
b — output shaft flange

Присоединение различного специального сменного оборудования, в данном случае, не требует разработки дополнительных устройств, позволяющих соединять с основанием сменные части. Здесь предусмотрен универсальный стыковочный узел — ответная частъ, соединяемая с механизмом стыковки сменного узла. Функции самих сменных узлов определяются их назначением. После присоединения сменной части к базовой возникает новое устройство. Для проектирования каждого такого устройства требуется разработка только сменных узлов, что упрощает создание набора необходимых активных средств для самообслуживания инвалидов с дефектами верхних конечностей.

Двойное функциональное нагружение приводного механизма осуществляется при помощи устройства переключения функций движения протеза предплечья, представленного на рисунке 2. Данное устройство позволяет осуществлять поочерёдно как ротацию искусственной кисти, так и функцию схвата, при этом движение в обоих случаях осуществляется прямой передачей управляющих движений от усечённого сегмента.

На рисунке 3 представлены составные части, обеспечивающие двойное функциональное нагружение протеза предплечья.

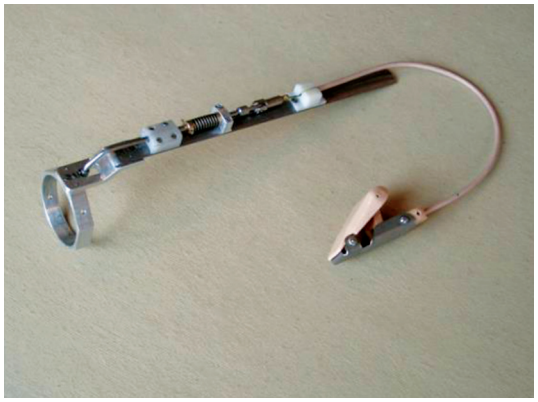

Рисунок 2. Устройство переключения функций движения искусственной кисти в протезе предплечья

Figure 2. Device for switching the functions of movement of the artificial hand in the prosthesis of the forearm

Рисунок 3. Ротационный привод с устройством переключения и сменные устройства (искусственная кисть и функциональный схват)
Figure 3. Rotary drive with switching device and interchangeable devices (artificial hand and functional gripper)

Обсуждение / Discussion

Известно достаточно много бытовых двигательных операций, где преимущественно используется ротация кисти, в пальцах которой удерживается объект манипулирования [5]. Двойное функциональное нагружение приводного механизма ротационного типа предоставляет инвалиду определённые преимущества по сравнению с устройствами, которые используются в настоящее время.

Заключение / Conclusion

Ротационный узел, разработанный в результате исследования, обеспечивает выполнение нескольких функций:

– обеспечивает подсоединение кисти и сменяемых функциональных узлов без перестёгивания управляющей тяги (в данном случае тяга полностью исключена из конструкции);

– обеспечивает блокировку стыковочного узла;

– обеспечивает ротацию кисти в активном режиме с обратной связью по положению и усилию;

– осуществляет функцию схвата при использовании устройства переключения функций движения искусственной кисти в протезе предплечья.

Этика публикации. Все данные являются реальными и подлинными; представленная статья ранее опубликована не была; все заимствования корректны.

Конфликт интересов. Информация о конфликте интересов отсутствует.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Näder Max. Otto Bock. Prosthetic compendium. Upper Extremity Prostheses. - Berlin: Schiele und Schön. 1990:95 p.
2. Протезы верхних конечностей. / Каталог. — М.: РКК «Энергия», 2002. 21 с.
3. Буров Г.Н., Большаков В.А. Протез предплечья / Патент РФ № 2615278 от 04.04. 2017г.
4. Буров Г.Н., Большаков В.А., Белянин О.Л. Многофункциональный активный протез предплечья / Патент РФ № 2744605 от 11.03. 2021г.
5. Реабилитация инвалидов: национальное руководство / под ред. Г. Н. Пономаренко. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. - 188 с.

References

1. Näder Max. Otto Bock. Prosthetic compendium. Upper Extremity Prostheses. - Berlin: Schiele und Schön. 1990:95 p.
2. Protezy verhnih konechnostej. [Upper limb prostheses]. Katalog. — M.: RKK «Energija» [Catalog 2001-2002. - Moscow RSC Energia]. 2002.21 p. (In Russian).
3. Burov GN, Bol'shakov VA. Protez predplech'ja [Forearm prosthesis]. Patent Rossijskoj Federatsii [Patent of the Russian Federation] No 2615278 dated 04.04.2017. (In Russian).
4. Burov GN, Bol'shakov VA, Beljanin OL. Mnogofunktsional'nyj aktivnyj protez predplech'ja [Multifunctional active prosthesis of the forearm]. Patent Rossijskoj Federatsii [Patent of the Russian Federation] No 2744605 dated 11.03. 2021. (In Russian).
5. Reabilitaciya invalidov: nacional'noe rukovodstvo [Rehabilitation of disabled people: national leadership]. pod red. G. N. Ponomarenko. [ed. GN Ponomarenko]. Moskva: GEOTAR-Media [Moscow: GEOTAR-Media]. 2020:188 p. (In Russian).

Рукопись поступила: 06.05.2021
Принята в печать: 03.09.2021

Авторы

Буров Геннадий Николаевич — кандидат технических наук, руководитель научного направления Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Российская Федерация, Санкт-Петербург, 195067 ул. Бестужевская, 50, +7-921-791-12-90, e-mail: zxzy@.yandex.ru

Большаков Владимир Александрович — руководитель проектно-конструкторского отдела Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Российская Федерация, Санкт-Петербург, 195067 ул. Бестужевская, 50, +7-921-757-87-16, e-mail: pko09_903@mail.ru

Дробаха Алёна Сергеевна — младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Российская Федерация, Санкт-Петербург, 195067 ул. Бестужевская, 50, e-mail: drobaha-alena@mail.ru

Authors

Burov Gennady Nikolayevich, PhD in Technical sciences, head of scientific direction, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: zxzy@yandex.ru

Bolshakov Vladimir Alexandrovich, head of design department, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: pko09_903@mail.ru

Drobakha Alena Sergeevna, junior research associate, Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, 50 Bestuzhevskaya Street, 195067 St. Petersburg, Russian Federation, e-mail: drobaha-alena@mail.ru