

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА СХВАТОВ ДЛЯ ПРОТЕЗОВ ПРЕДПЛЕЧЬЯ С БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Безъязычный В.Ф.¹, Елисеичев Е.А.¹, Блинов И.С.¹, Михайлов В.В.¹,
Тяптин А.А.²

¹ Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева,
ул. Пушкина, д. 53, г. Рыбинск, 152934, Российская Федерация

² «МИФРМ» (медицинский центр «Мотус»),
Тутаевское шоссе, д. 93, г. Ярославль, 150004, Российская Федерация

Резюме

Введение. Создание и совершенствование протезов предплечья с биоэлектрическим управлением (далее — протез) является одним из главных направлений современной в медицинской технике. Для улучшения работы протеза необходимо определить оптимальный набор схватов, который позволит наиболее полно восстановить функциональность утраченной верхней конечности.

Цель. Определить оптимальный набор схватов для протеза на основе анализа кистевых схватов, применяемых человеком без повреждения опорно-двигательного аппарата в повседневной жизни.

Материалы и методы. Были проанализированы существующие таксономии, описывающие кистевые схваты человека без повреждения опорно-двигательного аппарата, а также научные работы, где проводились эксперименты для определения частоты и времени использования выделенных в таксономиях схватов.

Результаты. Поскольку в рассмотренных работах использовались различные таксономии, для объединения результатов было выделено девять схватов, наиболее часто используемых в ходе повседневных активностей и работы. Для каждого схвата были описаны положения и функции пальцев, а так же проиллюстрировано их применение с бытовыми предметами. Экспериментальные данные из рассмотренных научных работ были объединены и представлены в виде гистограммы, показывающую среднее время использования каждого из описанных схватов.

Обсуждение. На определенный набор схватов приходится 97,3% времени использования от всех схватов, используемых человеком в ходе повседневных активностей и работы. Из этого следует вывод, что данные схваты можно принять за оптимальный набор схватов для протеза. Так же было определено, что силовые схваты — это наиболее популярная группа схватов, на них приходится более половины времени использования.

Заключение. Получены новые данные о частоте использования различных типов базовых схватов в ходе повседневных активностей и работы. Полученные данные могут быть применены при разработке новых протезов или при доработке набора схватов в существующих моделях протезов.

Ключевые слова: протез предплечья с биоэлектрическим управлением, набор схватов, антропометрия, анализ данных.

Безъязычный В.Ф., Елисеичев Е.А., Блинов И.С., Михайлов В.В., Тяптин А.А. Определение оптимального набора схватов для протезов предплечья с биоэлектрическим управлением // Физическая и реабилитационная медицина. — 2023. — Т. 5. — № 3. — С. 59-65. DOI: 10.26211/2658-4522-2023-5-3-59-65.

Bezъyazichny VF, Eliseichev EA, Blinov IS, Mikhailov VV, Tyaptin AA. Opredelenie optimal'nogo nabora skhvatov dlya protezov predplech'ya s bioelektricheskim upravleniem [Determination of the optimal set of grips for bioelectrically controlled forearm prostheses]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine]. 2023;5(3):59-65. DOI: 10.26211/2658-4522-2023-5-3-59-65. (In Russian).

Илья Сергеевич Блинов / Ilya S. Blinov; e-mail: ilya.blinov.1998@mail.ru

DETERMINATION OF THE OPTIMAL SET OF GRIPS FOR BIOELECTRICALLY CONTROLLED FOREARM PROSTHESES

Bez'yazichny VF¹, Eliseichev EA¹, Blinov IS¹, Mikhailov VV¹, Tyaptin AA²

¹ Rybinsk State Aviation Technical University,
53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Russian Federation

² «MIFRM» (Medical Center «Motus»),
93 Tutaevskoye Hwy, Yaroslavl, 150004, Russian Federation

Abstract

Introduction. Creation and improvement of bioelectrically controlled forearm prostheses (hereinafter referred to as prosthesis) is one of the main directions of modern medical technology. In order to improve the prosthesis operation it is necessary to determine the optimal set of grips that will allow to restore the functionality of the lost upper limb in the most complete way.

Aim. To determine the optimal set of grips for a prosthesis based on the analysis of wrist grips used by a person without musculoskeletal system damage in everyday life.

Materials and Methods. Existing taxonomies describing the wrist grips of a person without musculoskeletal injury were analysed, as well as scientific papers where experiments were conducted to determine the frequency and time of use of the grips identified in the taxonomies.

Results. As the reviewed papers used different taxonomies, the nine contractions most frequently used during daily activities and work were identified to combine the results. For each grip, finger positions and functions were described, and their use with everyday objects was illustrated. Experimental data from the reviewed research papers were combined and presented in the form of a bar graph showing the average time of use of each of the described grips.

Discussion. A particular set of grips accounted for 97.3% of the usage time of all grips used by humans during daily activities and work. It is concluded that these grips can be accepted as the optimal set of grips for a prosthesis. It was also determined that power grips are the most popular group of grips, accounting for more than half of the use time.

Conclusion. New data has been obtained on the frequency of use of different types of basic grips during daily activities and work. The findings can be applied to the design of new prostheses or to the refinement of the set of grips in existing prosthesis models.

Keywords: Bioelectrically controlled forearm prosthesis, grip set, anthropometry, data analysis.

Publication ethics. The submitted article has not been published before.

Conflict of interest. There is no information about the conflict of interests.

Sources of funding. The study was funded by the Russian Science Foundation grant N 22-19-20095 "Control of the trajectory of kinematic motion of the fingers of an anthropomorphic bioprosthetic hand based on a neural network".

Received: 24.04.2023

Accepted for publication: 15.09.2023

Введение / Introduction

В последнее время наблюдается растущий интерес к разработке антропоморфных роботизированных рук, часто применяемых в медицине для протезирования [1]. Порядка 41,6% от всех травм опорно-двигательной системы составляют повреждения верхних конечностей. Чаще всего инвалидность и утрата трудоспособности обусловлена травмами кистей, которые составляют 61,8% от травм руки и 25,4% от общего числа повреждений [2]. Такое распространение травм, прежде всего, связано с активной ролью кисти в повседневной деятельности человека [3]. При отсутствии возможности восстановления функциональности кисти оптимальным решением является установка протезов предплечья с биоэлектрическим управлением (далее — протез). Его освоение занимает около года. За этот период человек должен овладеть набором базовых схватов в такой степе-

ни, чтобы комфортно захватывать и перемещать предметы различной формы и массы в пространстве [4].

Различные типы схватов используют для моделирования и проведения исследований, чтобы понять роль различных анатомических элементов, углубить знания о последствиях патологий и хирургических процедур, используемых для их лечения, и помочь в проектировании протезов. Однако для получения полезных выводов из всех этих симуляций следует учитывать частоту и продолжительность использования различных типов схватов для выполнения повседневных действий в различных областях. Эти данные также могут быть полезны для объективной оценки функционального восстановления руки во время реабилитации. Кроме того, частота использования различных типов схватов для повседневной деятельности является критически важным фактором для раз-

работки и управления протезом. Информация, полученная в результате углубленного анализа, проведенного в данной научной статье, позволит определить оптимальный набор базовых схватов протеза, позволяющий наиболее полно восстановить функциональность утраченной конечности.

Цель / Aim

Цель исследования — провести анализ публикаций, посвященных кистевым схватам, применяемых человеком без повреждения опорно-двигательной системы в повседневной жизни и на основании данной информации определить оптимальный набор схватов протеза.

Материалы и методы / Materials and methods

Для достижения цели исследования проводился поиск научной литературы в открытых электронных базах ResearchGate и eLIBRARY. Глубина поиска составила 20 лет.

В ходе исследования были отобраны и проанализированные следующие научные работы, в которых рассматривались время и частота использования различных схватов. В [5–12] были рассмотрены схваты, выполняемые в ходе бытовых действий (прием и приготовление пищи, уход за собой, уборка, досуг и т.д.). В [13–18] анализировались схваты, используемые в ходе рабочего процесса.

Результаты / Results

В ходе анализа научных работ возникла проблема, заключающаяся в том, что для описания движения кисти авторы использовали различные таксономии схватов. В данных работах рассматривались таксономии, предложенные Каткоски [19], Фейксом [20], либо предлагались собственные таксономии, как в [7, 8]. Для совмещения результатов данных работ, используемые в них схваты были проанализированы и объединены в следующие группы:

1. Схваты, для которых важна сила. Это самая большая группа схватов, в которой большую роль в удержании предмета играют все пальцы и ладонь. В данной группе были выделены следующие виды схватов:

1.1. Цилиндрический хват. Большой палец располагается напротив других пальцев кисти. Вся ладонь и пальцы охватывают какой-нибудь цилиндрический предмет, а большой палец образует около него кольцо;

1.2. Боковой хват. Большой палец отведен и расположен сбоку от указательного. В данную группу относятся все схваты, в которых предмет берется и удерживается между большим пальцем и боковой стороной указательного;

1.3. Схват косой ладонью. Разновидность цилиндрического схвата, при котором большой палец отведен. В отличие от такого же положения большого пальца при боковом хвате, предмет удерживается всеми пальцами;

1.4. Схват-крючок. В процессе схвата используются пальцы (указательный — мизинец), они согнуты только в межфаланговых суставах. Большой палец не принимает участия и находится в произвольном положении;

1.5. Плоскостной хват. Большой палец располагается напротив других пальцев кисти. Вся ладонь и пальцы охватывают какой-нибудь плоский предмет. В качестве упора им противопоставлен большой палец. В отличие от цилиндрического схвата, сгибание пальцев в данном случае минимально;

1.6. Непрямой хват. Описывает нехватательные движения, при которых на предмет оказывается толчок, постукивающие или приподнимающие действия кистью в целом или только некоторыми пальцами.

2. Схваты, для которых важна точность манипулирования предметом. В отличие от силовых схватов, в точных схватах предмет не касается ладони, а пальцы удерживают и позволяют манипулировать им. В данную группу относятся все схваты кончиками пальцев. На практике наиболее часто предметы берутся кончиками двух и трех пальцев (большой, указательный и средний палец), поэтому в данной группе были рассмотрены следующие виды точных схватов:

2.1. Схват кончиками двух пальцев или просто хват кончиками пальцев. В процессе схвата задействуется большой и указательный палец, которые точно смыкаются при взятии небольшого предмета;

2.2. Схват кончиками трех пальцев или пальмарный хват кончиками пальцев. В процессе схвата задействуется большой, указательный и средний палец. Указательный, средний и большой палец точно смыкаются меж собой при схвате. Данный хват применяют в тех случаях, когда необходима сила при взятии кончиками пальцев.

3 Промежуточный хват. Сюда относятся все схваты, которые нельзя точно классифицировать как силовые или точные. Как правило, в данных схватах ладонь немного задействована, как и в силовых схватах, но большой и указательный палец позволяют точно манипулировать предметом, как в точных схватах.

В результате анализа и объединения таксономий [7, 8, 19, 20] было описано 9 видов схватов, которые можно использовать для совмещения результатов экспериментов в [5–18] и проведения комплексного анализа с целью определения наиболее распространенных схватов в повседневной жизни. На рисунке 1 представлены примеры использования каждого из описанных схватов.

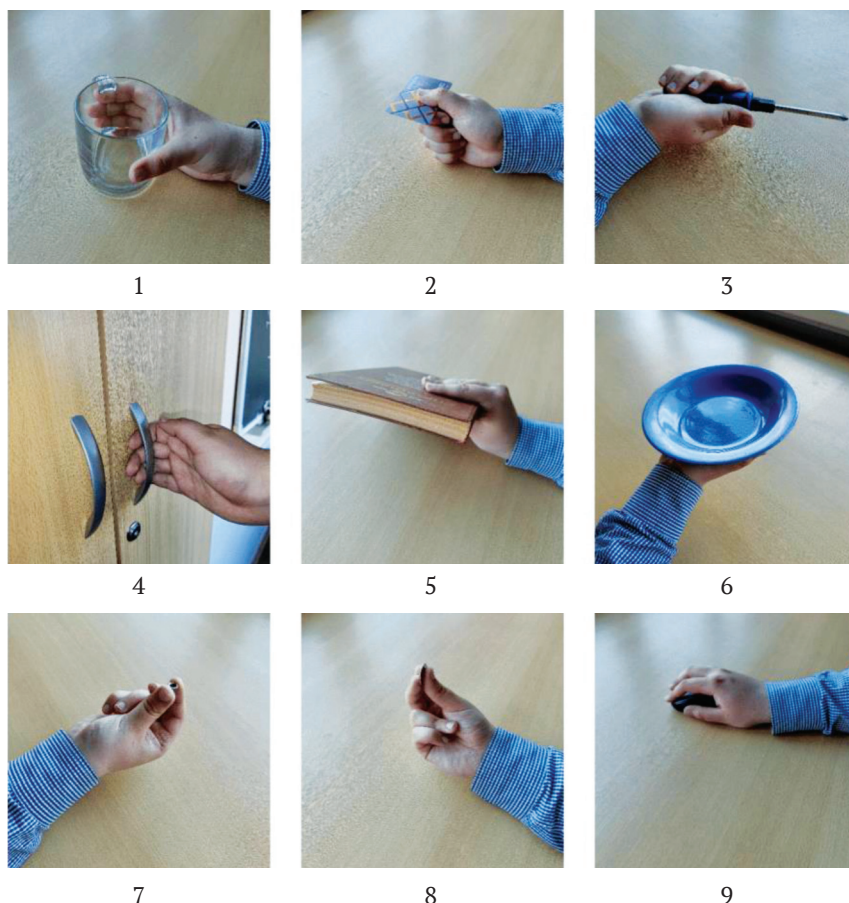


Рисунок 1. Пример использования схватов:

- 1 – цилиндрический схват;
- 2 – боковой схват;
- 3 – схват косою ладонью;
- 4 – схват-крючок;
- 5 – плоскостной схват;
- 6 – непрямой схват;
- 7 – схват кончиками пальцев;
- 8 – пальмарный схват кончиками пальцев;
- 9 – промежуточный схват

Figure 1. Example of the use of grips:

- 1 – cylindrical grasp;
- 2 – lateral pinch;
- 3 – oblique palmar grasp;
- 4 – hook grasp;
- 5 – lumbrical grasp;
- 6 – non-prehensile grasp;
- 7 – pinch grasp;
- 8 – special pinch;
- 9 – intermediate power-precision grasp

Полученные результаты из [12–25] были объединены для получения данных о времени использования схватов человека в течении повседневных активностей. Данные были пересчитаны в процентных соотношениях и представлены в форме диаграммы (рис. 2).

В группу «Не анализируется» были добавлены те схваты, в которых несколько объектов удерживаются одновременно различными схватами, либо их невозможно отнести ни к одному из описанных ранее схватов.

Обсуждение / Discussion

Анализируя полученную диаграмму (рис. 2) можно прийти к выводу, что наиболее популярными схватами являются схват кончиками пальцев, косою ладонью, цилиндрический и боковой схват. На них приходится около 2/3 всех схватов, применяемых в ходе работы и повседневных активностей.

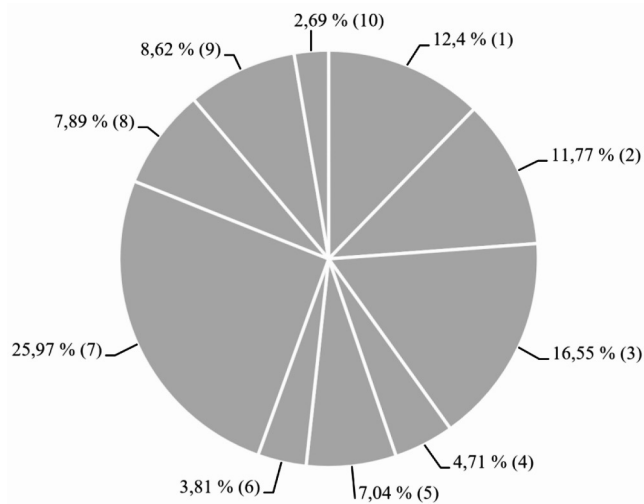


Рисунок 2. Время использования схватов в ходе работы и повседневных активностей:

- 1 – цилиндрический схват; 2 – схват косою ладонью;
- 3 – схват-крючок; 4 – промежуточный схват;
- 5 – боковой схват; 6 – схват кончиками пальцев;
- 7 – пальмарный схват кончиками пальцев;
- 8 – плоскостной схват; 9 – непрямой схват;
- 10 – не анализируется

Figure 2. Time of use of the grip during work and daily activities:

- 1 – cylindrical grasp; 2 – lateral pinch;
- 3 – oblique palmar grasp; 4 – hook grasp;
- 5 – lumbrical grasp; 6 – non-prehensile grasp;
- 7 – pinch grasp; 8 – special pinch;
- 9 – intermediate power-precision grasp
- 10 – not analyzed

На время использования силовых схватов приходится примерно 56% от всего времени. Из данных схватов большой палец находится в приведенном состоянии в цилиндрическом и плоскостном схватах. Процент популярности данных схватов составляет 35% времени от силовых и 19,5% времени от всех схватов. В отведенном состоянии большой палец находится при схвате крестом ладонью и боковым схвате. На них приходится 50% времени от силовых и 28% времени от всех схватов. Большой палец не задействован при непрямом схвате и схвате-крючке они составляют 15% времени от силовых и 8,5% времени от всех схватов.

На группу точных схватов приходится почти треть от времени всех схватов. Эффективность данных схватов напрямую зависит от развития мелкой моторики человека. При реализации данных схватов в протезах восстановить их полную эффективность на данный момент невозможно. Это связано с меньшим числом степеней свободы у существующих протезов в сравнении с человеческой кистью и тем, что все мышцы для реализации мелкой моторики расположены в кисти человека и при отсутствии или повреждении них точно манипулировать каждым пальцем в отдельности будет проблематично. В связи с этим в существующих протезах данные схваты преимущественно выполняют функцию взятия и удержания небольших объектов. На долю использования промежуточных схватов приходится 8,6% времени от всего времени.

По оценкам, человек в среднем активно использовал кисти рук 60,5% от общего времени экспериментов. Из этого времени 57% обе руки использовались одновременно обычно совместно над одной задачей, 28% использовалась только правая рука, а 15% только левая.

Заключение / Conclusion

В ходе выполнения работы был произведен анализ имеющихся классификаций кистевых схватов и научных статей, в которых экспериментальным путем анализировались схваты, применяемые в ходе работы и повседневных активностей. Схваты были классифицированы на девять типов и были описаны с точки зрения цели движения и положения пальцев. Эта информация может быть применена для оптимизации конструкции искусственных манипуляторов и протезов с целью повышения качества их функционирования.

Выбранные схваты описывают и классифицируют большинство движений кистей рук человека и могут служить базовым набором для протезов. Данное исследование будет продолжено в виде определения типовых форм и размеров, наиболее часто захватываемых данными схватами объектов.

Этика публикации. Представленная статья ранее опубликована не была, все заимствования конкретны.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источники финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-20095 «Управление траекторией кинематического движения пальцев антропоморфного биопротеза кисти руки на основе нейронной сети».

Литература

1. Cobos S. Efficient Human Hand Kinematics for Manipulation Tasks. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems. 2008:2246–51. DOI: 10.1109/IROS.2008.4651053.
2. Губочкин Н.В., Шаповалов В.М. Избранные вопросы хирургии кисти. Санкт-Петербург: учебное пособие, 2000. — 111 с.
3. Родоманова Л.А. Первичная реконструкция I пальца кисти // Травматология и ортопедия России. — 2005. — Т. 37. — № 3. — С. 11-20.
4. Atzori M, Gijsberts A, Castellini C, Caputo B et al. Clinical parameter effect on the capability to control myoelectric robotic prosthetic hands. Journal of Rehabilitation Research and Development. 2016;53(3):345-58. DOI: 53. 10.1682/JRRD.2014.09.0218.
5. Matheus K, Dollar AM. Benchmarking grasping and manipulation: properties of the objects of daily living. International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010:5020-5027. DOI: 10.1109/IROS.2010.5649517.
6. Jang CH, Yang HS, Yang HE, Lee SY et al. A survey on activities of daily living and occupations of upper extremity amputees. Annals of rehabilitation medicine. 2011;35(6):907.
7. Vergara M, Sancho-Bru JL, Gracia-Ibáñez V, Pérez-González A. An introductory study of common grasps used by adults during performance of activities of daily living. Journal of Hand Therapy 2014;27:225-34. DOI: 10.1016/j.jht.2014.04.002.
8. Gracia-Ibáñez V, Sancho-Bru JL, Vergara M, Relevance of grasp types to assess functionality for personal autonomy. Journal of Hand Therapy. 2018;31:102-10. DOI: 10.1016/j.jht.2017.02.003.
9. Riddle M, MacDermid J, Holland S, Lalone E et al. Wearable Strain Gauge Based Technology Measures Manual Tactile Forces during Activities of Daily Living. Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering. 2018;5:28–35. DOI: 10.1177/2055668318793587.
10. Bullock IM, Feix T, Dollar AM. Finding small, versatile sets of human grasps to span common objects. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2013:1068–75. DOI: 10.1109/ICRA.2013.6630705.
11. Kilbreath S, Heard R. Frequency of hand use in healthy older persons. The Australian journal of physiotherapy. 2005;51(2):119-22. DOI: 10.1016/S0004-9514(05)70040-4.
12. Lawrence EL, Dayanidhi S, Fassola I, Requejo P et al. Outcome measures for hand function naturally reveal three latent domains in older adults: strength, coordinated upper extremity function, and sensorimotor

- processing. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2015;7:108. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00108.
13. Feix T, Romero J, Schmedmayer HB, Dollar AM et al. The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types. *IEEE Transactions on human-machine systems*. 2016;46:66–77. DOI: 10.1109/THMS.2015.2470657.
 14. Zheng JZ, De La Rosa S, Dollar AM. An investigation of grasp type and frequency in daily household and machine shop tasks. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2011;27:201–15. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980366.
 15. Feix, T. Anthropomorphic hand optimization based on a latent space analysis, 2011. Dissertation, Technische Universität Wien. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/161507>.
 16. Bullock IM, Zheng JZ, De La Rosa S, Guertler C et al. Grasp Frequency and Usage in Daily Household and Machine Shop Tasks. *IEEE Transactions Haptics*. 2013;6(3):296–308. DOI: 10.1109/TOH.2013.6.
 17. Feix T, Bullock IM, Dollar AM. Analysis of Human Grasping Behavior: Correlating Tasks, Objects and Grasps., *IEEE Transactions Haptics*. 2014;7(4):430–441. DOI: 10.1109/TOH.2014.2326867.
 18. Bullock IM, Feix T, Dollar AM. The Yale Human Grasping Data Set: Grasp, Object and Task Data in Household and Machine Shop Environments. *International Journal of Robotics Research*. 2015;34(3):251–5.
 19. Cutkosky MR. On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Transactions Robotics and Automation*. 1989;5(3):269–79. DOI: 10.1109/70.34763.
 20. Feix T, Pawlik R, Schmiedmayer H, Romero J, et al. A comprehensive grasp taxonomy. *Robotics, Science and Systems Conference: Workshop on Understanding the Human Hand for Advancing Robotic Manipulation*. 2009:2–3.
 7. Vergara M, Sancho-Bru JL, Gracia-Ibáñez V, Pérez-González A. An introductory study of common grasps used by adults during performance of activities of daily living. *Journal of Hand Therapy* 2014;27:225–34. DOI: 10.1016/j.jht.2014.04.002.
 8. Gracia-Ibáñez V, Sancho-Bru JL, Vergara M, Relevance of grasp types to assess functionality for personal autonomy. *Journal of Hand Therapy*. 2018;31:102–10. DOI: 10.1016/j.jht.2017.02.003.
 9. Riddle M, MacDermid J, Holland S, Lalone E et al. Wearable Strain Gauge Based Technology Measures Manual Tactile Forces during Activities of Daily Living. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*. 2018;5:28–35. DOI: 10.1177/2055668318793587.
 10. Bullock IM, Feix T, Dollar AM. Finding small, versatile sets of human grasps to span common objects. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2013:1068–75. DOI: 10.1109/ICRA.2013.6630705.
 11. Kilbreath S, Heard R. Frequency of hand use in healthy older persons. *The Australian journal of physiotherapy*. 2005;51(2):119–22. DOI: 10.1016/S0004-9514(05)70040-4.
 12. Lawrence EL, Dayanidhi S, Fassola I, Requejo P et al. Outcome measures for hand function naturally reveal three latent domains in older adults: strength, coordinated upper extremity function, and sensorimotor processing. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2015;7:108. DOI: 10.3389/fnagi.2015.00108.
 13. Feix T, Romero J, Schmedmayer HB, Dollar AM et al. The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types. *IEEE Transactions on human-machine systems*. 2016;46:66–77. DOI: 10.1109/THMS.2015.2470657.
 14. Zheng JZ, De La Rosa S, Dollar AM. An investigation of grasp type and frequency in daily household and machine shop tasks. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2011;27:201–15. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980366.
 15. Feix, T. Anthropomorphic hand optimization based on a latent space analysis, 2011. Dissertation, Technische Universität Wien. Available at: <http://hdl.handle.net/20.500.12708/161507>.
 16. Bullock IM, Zheng JZ, De La Rosa S, Guertler C et al. Grasp Frequency and Usage in Daily Household and Machine Shop Tasks. *IEEE Transactions Haptics*. 2013;6(3):296–308. DOI: 10.1109/TOH.2013.6.
 17. Feix T, Bullock IM, Dollar AM. Analysis of Human Grasping Behavior: Correlating Tasks, Objects and Grasps., *IEEE Transactions Haptics*. 2014;7(4):430–41. DOI: 10.1109/TOH.2014.2326867.
 18. Bullock IM, Feix T, Dollar AM. The Yale Human Grasping Data Set: Grasp, Object and Task Data in Household and Machine Shop Environments. *International Journal of Robotics Research*. 2015;34(3):251–5.
 19. Cutkosky MR. On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Transactions Robotics and Automation*. 1989;5(3):269–79. DOI: 10.1109/70.34763.
 20. Feix T, Pawlik R, Schmiedmayer H, Romero J et al. A comprehensive grasp taxonomy. *Robotics, Science and Systems Conference: Workshop on Understanding the Human Hand for Advancing Robotic Manipulation*. 2009:2–3.

References

1. Cobos S. Efficient Human Hand Kinematics for Manipulation Tasks. *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*. 2008:2246–51. DOI: 10.1109/IROS.2008.4651053.
2. Gubochkin N., Shapovalov V. *Izbrannyye voprosy hirurgii kisti* [Selected issues of hand surgery]. St. Petersburg: HSE.2000. 111 p. (in Russian).
3. Rodomanova L. Pervichnaya rekonstrukciya I pal'ca kisti [Primary reconstruction of the first finger of the hand]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2005;37(3):11–20. (In Russian)
4. Atzori M, Gijsberts A, Castellini C, Caputo B et al. Clinical parameter effect on the capability to control myoelectric robotic prosthetic hands. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2016;53(3):345–58. DOI: 10.1682/JRRD.2014.09.0218.
5. Matheus K, Dollar AM. Benchmarking grasping and manipulation: properties of the objects of daily living. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2010:5020–5027. DOI: 10.1109/IROS.2010.5649517.
6. Jang CH, Yang HS, Yang HE, Lee SY et al. A survey on activities of daily living and occupations of upper extremity amputees. *Annals of rehabilitation medicine*. 2011;35(6):907.

Поступила: 24.04.2023

Принята в печать: 15.09.2023

Авторы

Безъязычный Вячеслав Феоктистович — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения», Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, ул. Пушкина, дом 53, г. Рыбинск, 152934, Российская Федерация; e-mail: technology@rsatu.ru.

Елисеичев Евгений Александрович — доцент кафедры «Электротехника и промышленная электроника», Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, ул. Пушкина, дом 53, г. Рыбинск, 152934, Российская Федерация; e-mail: EvgenijEliseichev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6741-4465>.

Блинов Илья Сергеевич — младший научный сотрудник инжинирингового центра «Цифровое энергомашиностроение», Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, ул. Пушкина, дом 53, г. Рыбинск, 152934, Российская Федерация; e-mail: ilya.blinov.1998@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2272-2277>.

Михайлов Владимир Владимирович — кандидат технических наук, главный научный сотрудник инжинирингового центра «Цифровое энергомашиностроение», Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, ул. Пушкина, дом 53, г. Рыбинск, 152934, Российская Федерация; e-mail: vmikhailov@rambler.ru.

Тяптин Артем Анатольевич — кандидат медицинских наук, специалист функциональной диагностики, врач-невролог «Международный институт функциональной реконструктивной микрохирургии» Тутаевское шоссе, д. 93, г. Ярославль, 150004, Российская Федерация; e-mail: artemt@bk.ru.

Authors

Bez'yazichny Vyacheslav Feoktistovich, Grand PhD in Technical Sciences, Professor of the Department "Technology of aircraft engines and general engineering" Rybinsk State Aviation Technical University, 53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Russian Federation; e-mail: technology@rsatu.ru.

Eliseichev Evgeny Alexandrovich, Associate Professor of Electrical Engineering and Industrial Electronics Department, Rybinsk State Aviation Technical University, 53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Russian Federation; e-mail: EvgenijEliseichev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6741-4465>.

Blinov Ilya Sergeevich, Junior researcher of Engineering Center "Digital Machine Building" of Rybinsk State Aviation Technical University, 53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Russian Federation; e-mail: ilya.blinov.1998@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2272-2277>.

Mikhailov Vladimir Vladimirovich, PhD in Technical Sciences, Chief Researcher, Engineering Center "Digital power engineering" Rybinsk State Aviation Technical University, 53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Russian Federation; e-mail: vmikhailov@rambler.ru.

Tyaptin Artem Anatolievich, PhD in Medical Sciences, functional diagnostics specialist, neurologist, "Mezhdunarodnyj institut funkcional'noj rekonstruktivnoj mikrohirurgii", 93 Tutaevskoye Hwy, Yaroslavl, 150004, Russian Federation; e-mail: artemt@bk.ru.