

---

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

**А. А. Воробьев<sup>1</sup>, В. Ф. Байтингер<sup>3</sup>, Ф. А. Андрющенко<sup>2</sup>, А. А. Никулин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Волгоградский государственный медицинский университет,  
кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии;

<sup>2</sup> Волгоградский медицинский научный центр,  
отдел клинической и экспериментальной хирургии;

<sup>3</sup> АНО «НИИ Микрохирургии», Томск

## ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ЭКЗОСКЕЛЕТА МИКРОХИРУРГА

УДК 616-089.844

---

Определены клиничко-анатомические требования к пассивному экзоскелету верхней конечности для использования его в микрохирургии.

*Ключевые слова:* экзоскелет верхней конечности, ЭКЗАР, микрохирургия.

---

**A. A. Vorobiev, V. F. Baytinger, F. A. Andruschenko, A. A. Nikulin**

## SUBSTANTIATION OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF EXOSKELETON FOR MICROSURGERY

---

Clinical and anatomical requirements for a passive exoskeleton of the upper extremity were developed for a microsurgical use.

*Key words:* Exoskeleton of the upper extremity, EXAR, microsurgery.

---

Современные разработка и применение экзоскелетов верхней конечности осуществляется преимущественно для военных, промышленных нужд и медицинских целей. Военные экзоскелеты применяются для облегчения работы военнослужащих во время подготовительных или военных действий, в промышленности – для осуществления работ под водой, эксплуатации на атомных электростанциях, снятия статического напряжения, например, при работе на конвейерах. В медицине экзоскелеты используются для абилитации и реабилитации больных с верхним вялым парализом [7, 8, 11].

В последнее время особой актуальностью пользуется разработка и внедрение микрохирургических технологий, позволяющие детально сопоставлять ткани по принципу их однородности [1, 2]. Большой проблемой современной микрохирургии является синдром тремора рук. Связан он с наличием физиологического тремора, нарушениями к подготовке хирурга к микрохирургической операции (чай, кофе, алкоголь, напряжение рук в быту), возрастом хирурга,

длительной продолжительностью микрохирургических операций и длительным статическим напряжением, снижающим прецизионность манипуляций, что в итоге влияет на конечный результат.

Для уменьшения тремора в микрохирургии используют кресла для микрохирургических операций, с упорами для локтей и предплечий. При его использовании хирурги во многом снижают статическую нагрузку, выполняя опору на локоть и предплечье, которая в условиях узкого операционного поля *или удаленности оперируемой области от рук хирурга (кисть, предплечье, голова, шея)* не всегда возможна. Кроме этого, любая опора снижает подвижность рук хирурга.

Зачастую микрохирургу приходится выполнять микрохирургические вмешательства стоя, не имея возможности использовать кресло с подлокотниками.

Попытки вести борьбу с тремором медикаментозными средствами (неселективные бета-блокаторы в малых дозах, ингибиторы

карбо-ангидразы, противосудорожные препараты и анксиолитики) не решали этой проблемы, а иногда и противопоказаны хирургам перед операцией, из-за их тормозящего влияния на ЦНС. Предпринимаются первые попытки борьбы с тремором рук хирурга посредством противотреморных устройств. В частности, в предложенное американскими авторами устройство можно вставить любой хирургический инструмент и отслеживать его положение в пространстве с помощью сканеров SMART, с последующей коррекцией этого инструмента [10].

При этом авторы не приводят данные об использовании этого устройства микрохирургами, что наводит нас на мысль о том, что эта разработка пока не внедрена в практику микрохирургии.

Нет сомнений, что дальнейшее развитие микрохирургических технологий напрямую зависит не только от анатомической обоснованности оперативных пособий, но и от технической оснащенности оперирующих хирургов (инструментарий, микроскопы, шовный материал и другие средства обеспечения операций). Среди них логичным было бы иметь приспособление, снимающее статическую нагрузку и облегчающее труд хирургов.

Разработанная нами классификация предусматривает использование экзоскелетов, облегчающих труд хирургов [6]. По своей сути таковым является хирургический комплекс «ДА Винчи», однако последний не предназначен для нужд микрохирургии.

Выполнив подробный аналитический обзор по использованию экзоскелетов в медицине [7], мы не нашли аналогичных устройств, поэтому сочли необходимым сформулировать требования,

предъявляемые к экзоскелетам микрохирурга, исходя из строения здоровых верхних конечностей и их функций в момент выполнения микрохирургических вмешательств.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить клинико-анатомические требования к пассивному экзоскелету верхней конечности для использования его в микрохирургии, как средства обеспечивающего стабильность и точность выполнения микрохирургических манипуляций, снимающего статическое напряжение с рук микрохирурга и облегчающее его труд при выполнении длительных вмешательств.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положен анализ материала по типичным активным движениям верхней конечности микрохирурга, при выполнении им микрохирургических операций с использованием видеосюжетов различных этапов оперативных вмешательств и фундаментальных источников литературы по биомеханике движений верхних конечностей [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными суставами рук являются плечевой, локтевой и лучезапястный, пястно-фаланговые и межфаланговые сочленения, позволяющие осуществлять базовые движения при выполнении хирургических манипуляций. Результаты анализа характера движений и их необходимой амплитуды при выполнении оперативных вмешательств представлены в таблице.

Типовая хирургическая манипуляция	Характер допустимой амплитуды активных движений (максимально используемый сектор активных движений)			
	В плечевом суставе в град.	В локтевом суставе	В лучезапястном суставе	В пястно-фаланговых и сочленениях
Разрез	Сгибание – 15 Разгибание – 15 Осевая ротация – 15	Сгибание – 90 ± 15 разгибание – 0 Ротация: Осевая супинация – 90 Осевая пронация 85 Конусная ротация – 150	Отведение – 10 Приведение – 30 Сгибание – 40 Разгибание – 40	Отведение – 10 Приведение – 10 Сгибание – 50 Разгибание – 0
Манипулирование с целью достижения цели операции	Сгибание – 15 Разгибание – 15 Осевая ротация – 15	Сгибание – 90 ± 15 разгибание – 0 Ротация: Осевая супинация – 90 Осевая пронация 85 Конусная ротация – 150	Отведение – 10 Приведение – 30 Сгибание – 40 Разгибание – 40	Отведение – 10 Приведение – 10 Сгибание – 50 Разгибание – 0
Соединение тканей	Сгибание – 15 Разгибание – 15 Осевая ротация – 15	Сгибание – 90 ± 15 разгибание – 0 Ротация: Осевая супинация – 90 Осевая пронация – 85 Конусная ротация – 150	Отведение – 10 Приведение – 30 Сгибание – 40 Разгибание – 40	Отведение – 10 Приведение – 10 Сгибание – 50 Разгибание – 0

Примечание: 1. Исходное положение кисти в физиологическом состоянии полной пронации. 2. Движения в межфаланговых суставах не рассматривались, как неимеющие отношения к разрабатываемой конструкции.

Из представленного анализа ясно, что кисть при выполнении операций является исполнительным органом, принимающим определенное положение для выполнения конкретной хирургической манипуляции с помощью взаимодействия с остальными суставами руки. Для хирурга элементы кисти играют еще одну немаловажную роль – тактильного распознавания – рельеф, размеры, подвижность, консистенция тканей в зоне операции. Полноценную работу кисти обеспечивают лучезапястный и пястнофаланговые суставы, плечевой и локтевой суставы имеют меньшее значение, но ответственны за положение кисти при операциях.

Из приведенного анализа основных типовых движений верхней конечности при выполнении хирургических манипуляций, представляются следующие клинично-анатомические требования к экзоскелету микрохирурга.

Разрабатываемый нами экзоскелет верхней конечности для микрохирургов должен:

- обладать объемом движений, приближенным к показателям здорового человека (в идеале) или позволяющий обеспечить свободное движение рук при выполнении исследованного объема движений хирурга;
- фрагменты конструкции должны повторять строение верхней конечности человека;
- поддерживать конечность в нужном положении без применения усилий и без ограничения движений кисти;
- иметь легкую и прочную конструкцию;
- иметь возможность анатомической параметризации [4, 9];
- иметь возможность индивидуальной настройки в зависимости от характера выполняемой операции и положения хирурга во время нее;
- быть изготовлен из биологически инертных материалов;
- иметь возможность стерилизации и (или) отграничения от зоны операции стерильным барьером;
- иметь возможность замены элементов конструкции экзоскелета по мере износа и включения дополнительных опций (модульный принцип);
- быть доступным по цене;
- иметь мобильную версию, размещенную на несущем жакете, и стационарную, размещенную на рабочем месте микрохирурга;
- быть независимым от источников питания;

– быть независимым от зарубежных комплектующих.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеющийся опыт разработки и внедрения пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР» [5] у больных с верхним вялым парезом (моно) парезом позволяют предположить, что при введении дополнительных опций, отвечающих к изложенным выше клинично-анатомическим требованиям к экзоскелету микрохирурга, такая инновация реальна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Байтингер В. Ф., Селянинов К. В., Байтингер А. В. Введение в микрохирургию. – Томск: D-Print, 2012. – 120 с.
2. Байтингер В. Ф., Синичев Д. Н. Справочник кистевого хирурга. – Томск: Дельтаплан, 2012. – 168 с.
3. Капанджи А. И. Верхняя конечность. Физиология суставов. – М.: Эксмо, 2014. – 368 с.
4. Особенности анатомической параметризации пассивного экзоскелета верхней конечности «ЭКЗАР» / А. А. Воробьев, Ф. А. Андриященко, О. А. Засыпкина и др. // Оренбургский медицинский вестник. – 2015. – Т. 3, № 4 (12). – С. 9–12.
5. Разработка и клиническая апробация пассивного экзоскелета верхних конечностей «ЭКЗАР» / А. А. Воробьев, Ф. А. Андриященко, О. А. Засыпкина и др. // Современные технологии в медицине. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 59–63.
6. Терминология и классификация экзоскелетов / А. А. Воробьев, Ф. А. Андриященко, И. О. Соловьева и др. // Вестник ВолгГМУ. – 2015. – № 3 (55). – С. 71–78.
7. Экзоскелет как новое средство в реабилитации и реабилитации инвалидов (обзор) / А. А. Воробьев и др. // Современные технологии в медицине. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 185–197.
8. Экзоскелет. Википедия 2016: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=75908091>.
9. Этапы анатомической параметризации экзоскелета верхней конечности «ЭКЗАР» / А. А. Воробьев, Ф. А. Андриященко, О. А. Засыпкина и др. // Журнал анатомии и гистопатологии. – 2015. – Т. 4, № 2. – С. 27–30.
10. Active tremor cancellation by a «Smart» handheld vitreoretinal microsurgical tool using swept source optical coherence tomography: [Electronic resource]. – Optics Express, 27.09.2012. – DOI: 10.1364/OE.20.023414
11. Passive exoskeletons for assisting limb movement / T. Rahman, W. Sample, S. Jayakumar, et al. // J. Rehabil. Res. Dev. – 2006. – Vol. 43 (5). – P. 583–590.