

Согласно полученным данным были установлены следующие критерии пригодности хроматографической системы: число теоретических тарелок — не менее 25000; коэффициент асимметрии пика I — не более 1,2; относительное время удерживания примеси II — $0,59 \pm 0,01$ и относительное стандартное отклонение результатов отдельных измерений площадей пика I — не более 2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований была разработана методика определения посторонних примесей в серийных образцах таблеток I методом градиентной ВЭЖХ, позволяющая полностью разделить I, II, III, IV, а также другие неидентифицированные примеси и компоненты плацебо.

Определены валидационные характеристики методики: линейность и диапазон применения, пределы обнаружения и количественного определения примесей. Установлены критерии пригодности хроматографической системы. На модельных смесях технологических примесей и плацебо показано, что методика обладает приемлемой правильностью и сходимостью.

С помощью разработанной методики был проведен анализ серийных образцов таблеток I, который показал присутствие в образцах примеси III в содержании, не превышающем 0,3 %. Также в образцах были обнаружены другие примеси, идентифицировать которые не удалось. Содержание индивидуальной примеси не превышало 0,35 %, а суммарное содержание примесей — 0,9 %.

УДК 617.3:615.477

ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСОСКЕЛЕТОВ

**А. А. Воробьев, Ф. А. Андрющенко, О. А. Засыпкина, И. О. Соловьева,
П. С. Кривоножкина, А. М. Поздняков**

*Волгоградский государственный медицинский университет,
кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии, кафедра медицинской реабилитации
и спортивной медицины с курсом медицинской реабилитации, лечебной физкультуры,
спортивной медицины, физиотерапии ФУВ, Волгоградский медицинский научный центр*

В статье представлена разработанная классификация экзоскелетов, вносятся уточнения в терминологию данного понятия.

Ключевые слова: экзоскелет, классификация.

TERMINOLOGY AND CLASSIFICATION OF EXOSKELETON

**A. A. Vorobiev, F. A. Andrutshenko, O. A. Zasypkina, I. O. Solovieva,
P. S. Krivonozhkina, A. M. Pozdnykov**

The article presents a classification of exoskeleton. We make some improvements in relevant terms.

Key words: exoskeleton, classification.

Авторы данной публикации выражают уверенность, что в будущем экзоскелеты могут стать важной частью в жизни любого человека. Но сейчас технологии, связанные с их разработкой, только начинают раз-

ЛИТЕРАТУРА

1. Валидация аналитических методик для производителей лекарств: типовое руководство предприятия по производству лекарственных средств / Под ред. В. В. Береговых — М.: Литерра, 2008. — 132 с.
2. Илларионов А. А., Грушевская Л. Н., Гаевая Л. М. // Хим.-фарм. журн. — 2014. — Т. 48, № 5. — С. 97—102.
3. Руководство по валидации методик анализа лекарственных средств / Под ред. Н. В. Юргеля, А. Л. Младенцева — М. 2007. — С. 32
4. Спасов А. А., Анисимова В. А., Васильев П. М. и др. Средство, обладающее каппа-опиоидной агонистической активностью. Патент РФ 2413512 // Бюл. изобрет. — 2011. — № 7.
5. Спасов А. А., Гречко О. Ю., Васильев П. М., Анисимова В. А. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. — 2011. — № 8. — С. 52—55.
6. Спасов А. А., Гречко О. Ю., Штарева Д. М., Анисимова В. А. // Экспериментальная и клиническая фармакология. — 2013. — Т. 76, № 9. — С. 15—18.
7. Ghulam A. Shabir // Journal of Chromatography A. — 2003. — № 987. — С. 57—66.

Контактная информация

Илларионов Александр Анатольевич — аспирант опытно-технологического отдела ФГБУ «НИИ фармакологии имени В. В. Закусова» РАМН, e-mail: otopharm@mail.ru

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Систематизировать имеющиеся и собственные данные по экзоскелетам конечностей для уточнения терминологии и разработки оригинальной классификации, отвечающей современным требованиям.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на кафедре оперативной хирургии и топографической анатомии ВолгГМУ и в отделе клинической и экспериментальной хирургии Волгоградского научного медицинского центра.

Для аналитической оценки исследуемой проблемы пользовались библиографической базой научных медицинских публикаций MEDLINE, тематическая подборка содержала свыше 2800 источников литературы.

Собственные данные представляют собой опыт разработки и использования пассивного экзоскелета верхней конечности «ЭКЗАР» [2—9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уточнение определения экзоскелет.

Общепринятым является следующее определение. *Экзоскелет* (от греч. *έξω* — внешний и *σκελετος* — скелет) — устройство, предназначенное для увеличения силы человека за счет внешнего каркаса [13]. При всей правильности этого определения в нем упущены некоторые важные моменты, которые мы постарались учесть в нашем понимании значения этого слова.

Экзоскелет (от греч. *έξω* — внешний и *σκελετος* — скелет) — устройство, предназначенное для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счет внешнего каркаса и приводящих элементов.

Анатомическая параметризация — определение.

При разработке пассивного экзоскелета верхней конечности «ЭКЗАР» мы столкнулись с неудачными попытками подгонки аппарата. На протяжении достаточно долгого времени подгонка проводилась в ближайших приближениях посредством апробации нескольких, условно обоснованных, вариантов аппарата к конкретному человеку. Однако устойчивой работы конструкции при этом достигнуть не удалось. В основном, неполадки касались отсутствия возможностей восполнения утраченных функций, недостаточности использования технических возможностей аппарата и поломок отдельных элементов конструкции, связанных с неравномерным распределением усилий. Это обусловило необходимость проведения работ по анатомической параметризации [2]. В связи с отсутствием такого понятия в медицинской литературе мы ввели его в обиход. *Анатомическая параметризация* — это определение соответствий между различными анатомическими характеристиками строения человеческого тела и параметрами механического устройства, обуславливающих оптимальную работу образующейся при этом биомеханической системы.

Классификация. Несмотря на достаточно широкое внедрение экзоскелетов в практическую деятельность, нам не удалось найти полной классификации этих устройств. В основу предлагаемой нами классификации мы положили несколько принципов.

1. По источнику энергии и принципу работы привода:

- б) пассивные экзоскелеты;
- а) активные экзоскелеты.

2. По точке приложения (локализации):

- а) экзоскелет верхних конечностей;
- б) экзоскелет нижних конечностей;
- в) экзоскелет-костюм.

3. По стоимости (условно):

- а) низкой стоимости (доступные): 1000—10000 \$;
- б) средней ценовой категории: 10000—50000 \$;
- в) высокой стоимости — более 50000 \$.

4. По области применения:

- а) военный;
- б) медицинский;
- в) промышленный;
- г) космический.

5. По весу конструкции:

- а) легкие — до 5 кг;
- б) средней весовой категории — от 5 до 30 кг;
- в) тяжелые — более 30 кг.

6. По количеству функций:

- а) экзоскелеты простого назначения;
- б) экзоскелеты двойного назначения;
- в) экзоскелеты с расширенными функциями.

7. По мобильности пациента:

- а) мобильные;
- б) фиксированные (стационарные);

Характеристика каждой группы экзоскелетов.

1. По источнику энергии и принципу работы привода:

- а) активные экзоскелеты — в качестве источника энергии используются внешние устройства, преобразующие электрическую энергию в механическую, приводящую в действие элементы конструкции, закрепленной на теле человека — (электромеханические моторы).

Преимущества: высокая скорость перемещения, значительное увеличение силы и амплитуды движений, регулируемость и возможность программирования позволяют выполнять большой объем работы.

Недостатки: зависимость от источников внешнего питания, дороговизна, массивность конструкции, большая масса, зависимость от климатических условий, необходимость ремонта и обслуживания, отсутствие сервисной службы и привязанность к комплектующим.

Показания: применимы в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов.

Пример. Экзоскелет HULC (США) активный экзоскелет. Позволяет солдату быстро перемещаться

с грузом по пересеченной местности, HULC помогает не только переносить, но и поднимать груз с земли [1, 18].

б) пассивные экзоскелеты — в качестве источника энергии используется перераспределение кинетической энергии и остаточной силы человека, посредством подвижной и адаптированной системы поддерживающих соединений, которая устанавливается на активные суставы и мышцы.

Преимущества: не зависят от источников внешнего питания, небольшая масса конструкции, высокая надежность, низкая стоимость устройства и его обслуживания, включают механизм формирования биологической обратной связи.

Недостатки: невозможность использования при отсутствии остаточной силы мышц, невозможность программирования, относительно низкая скорость перемещения, индивидуальная необходимость в анатомической параметризации, движения с ограниченной амплитудой.

Показания для применения: применимы в военной отрасли, в промышленности, для повышения трудоспособности; в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов.

Примеры: пассивный экзоскелет верхних конечностей WREX — Wilmington Robotic Exoskeleton (Уилмингтонский роботизированный экзоскелет) [25].

Экзоскелет «ЭКЗАР» [4]. Конструкции позволяют осуществлять движения верхней с ограниченной амплитудой в трех плоскостях.

2. По точке приложения (локализации):

а) экзоскелет верхних конечностей — для увеличения силы и амплитуды движений здоровых/пораженных верхних конечностей. Может быть активным, либо пассивным.

Преимущества: незаменим при социальной адаптации, реабилитации и абилитации инвалидов.

Недостатки: применим только при поражении верхних конечностей.

Показания: применим в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом верхнего вялого пара- (моно-) пареза для абилитации и реабилитации инвалидов, в промышленности и военной отрасли для увеличения силы и повышения трудоспособности здоровых людей.

Пример. Активный экзоскелет верхних конечностей Exoskeleton Prototype 3 (EXO-UL3). Благодаря приводам, управляемым нейронными сигналами самого владельца, позволяет перемещать конечность во всех плоскостях благодаря неинвазивной поверхностной электромиографии. Однако система управления («био-порт») несовершенна. По мнению авторов, данная система не совершенна и нуждается в дальнейшей доработке [20, 28, 30].

б) экзоскелет нижних конечностей применяется для увеличения силы и амплитуды движений здоровых/пораженных нижних конечностей, облегчает ходьбу. Может быть активным, либо пассивным.

Преимущества: значительно увеличивает силу нижних конечностей, усиливает работоспособность, способствует возможности самостоятельного передвижения на собственных ногах, социальной адаптации, реабилитации и абилитации инвалидов.

Недостатки: применим только для нижних конечностей; сложен в разработке и эксплуатации, за счет сложной биомеханики движений, необходимости мощной опоры, стойких к износу материалов, зависим от изменения веса пациента.

Показания: применим в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом нижнего вялого пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в промышленной отрасли, для повышения трудоспособности рабочих с длительной статичной нагрузкой и при переносе тяжестей на большие расстояния.

Пример. Активный экзоскелет нижних конечностей ReWalk (ARGO Medical Technologies, Израиль). Позволяет людям с параличом нижней половины тела (нижний парапарез) вставить на ноги и ходить, опираясь на палки. Работа конструкции Re-Walk основана на датчиках, улавливающих наклон тела вперед и передающих сигнал к поддерживающим ноги приборам. Цена аппарата составляет 100 тысяч долларов. Питание осуществляется от аккумулятора, размещенного в специальном рюкзаке за спиной. Применение конструкции возможно только у лиц с сохраненными функциями верхних конечностей [14, 24, 27].

в) экзоскелет-костюм — предназначен для увеличения силы и амплитуды всего тела, как для верхних, так и для нижних конечностей, как правило, активный, применим для увеличения силы и работоспособности, а также обеспечивает надежную защиту от внешних факторов. Может быть активным, либо пассивным.

Преимущества: увеличение силы всего тела, позволяет выполнять больший объем работы, больший объем движений, защита от внешних факторов.

Недостатки: большая масса конструкции, как правило, высокая стоимость, сложность разработки и адаптации к телу человека.

Показания: применим в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, в промышленности и космических исследованиях для повышения трудоспособности.

Пример. Активный экзоскелет-костюм XOS 2 (Sarcos, США). Создан для нужд армии США. Новый Exoskeleton (XOS 2), который был выпущен компанией Raytheon Company, легче, быстрее и сильнее своих предшественников, хотя использует на 50 % меньше энергии. Улучшенная конструкция обеспечивает более надежную защиту от внешних факторов. XOS 2 помогает оператору поднимать большой вес. Оператор, облаченный в экзоскелет, может выполнять работу двух-трех солдат. Костюм состоит из комбинации устройств, датчиков, силовых приводов и контроллеров. Все это приводится в движение гидравликой под высоким

давлением. Он позволяет тому, кто надел костюм, с легкостью поднимать 100 кг несколько сотен раз, и пробивать брусок дерева толщиной в 8 см. И в то же время костюм достаточно быстр и точен, что позволяет ударять по футбольному мячу или по боксерской груше, и взбираться по лестнице или по ступенькам [26].

3. По стоимости (условно):

а) низкой стоимости (доступные): 1000—10000 \$, как правило, отечественные аналоги, либо пассивные экзоскелеты, сертифицированные в РФ, созданные из доступных материалов.

Преимущества: низкая стоимость обуславливает возможность широкого внедрения для различных категорий населения.

Недостатки: для уменьшения стоимости устройства в процессе его создания используется меньше современных технологий и материалов.

Показания: в зависимости от конкретного экзоскелета (применимы в медицинской, военной, промышленной отраслях).

Пример. Активный экзоскелет нижних конечностей HAL, Hybrid Assistive Limb (Япония, Cyberdyne). Предназначен для пожилых людей и инвалидов, испытывающих затруднения в передвижении. Однако общий вес конструкции равен 23 кг, высота — 160 см. Кроме того, аккумуляторная батарея весит 10 кг, а время автономной работы (в условиях максимальной нагрузки) составляет 2,5 часа. Стоимость изделия 4200 долларов [22].

б) средней ценовой категории: 10000—50000 \$, активные/пассивные экзоскелеты, не сертифицированные в РФ.

Преимущества: в процессе разработки используются более современные технологии и материалы.

Недостатки: как правило, экзоскелеты данной ценовой категории не сертифицированы в РФ, не доступны для большинства нуждающихся пациентов.

Показания: в зависимости от конкретного экзоскелета (применимы в медицинской, военной, промышленной отраслях).

Пример. Активный экзоскелет нижних конечностей eLEGS, компании Ekso Bionics, стоимость варьирует от 30 до 50 тысяч \$. Это специальный гидравлический экзоскелет, предназначенный для пациентов с частично парализованными нижними конечностями. Конструкция позволяет им передвигаться с использованием костылей или специальных ходунков. В основе его работы — интерфейс-аппаратно-программный комплекс, который использует естественное человеческое движение, чтобы безопасно перевести его в действие экзоскелета с помощью микрокомпьютера [16, 19].

в) высокой стоимости — более 50000 \$, как правило, активные экзоскелеты.

Преимущества: в процессе разработки используются наиболее современные технологии и материалы.

Недостатки: высокая стоимость и зачастую засекреченные материалы и технологии резко ограничи-

вают внедрение экзоскелетов в практическую медицину, а также в другие отрасли.

Показания: в зависимости от конкретного экзоскелета (применимы в медицинской, военной, промышленной отраслях), но чаще для создания определенного бренда, подчеркивающего статус фирмы разработчика и определения возможностей перспективных исследований.

Пример. Активный экзоскелет нижних конечностей REX (REX Bionics, Новая Зеландия). Обеспечивает дополнительную поддержку тела человека в пространстве при перемещении. Управление осуществляется при помощи джойстика и планшета. Вес экзоскелета 38 кг. Огромный вес аппарата и его высокая себестоимость, 150 000 долларов США, делают его недоступным для массового применения [21].

4. По области применения:

а) в военной отрасли: экзоскелеты данной группы применяются в военной отрасли для здоровых военнослужащих, с целью снижения физических нагрузок и увеличения трудоспособности военнослужащих. Могут быть активными, либо пассивными, для нижних конечностей, либо экзокостюмы.

Преимущества: обеспечивают высокую скорость перемещения, позволяют выполнять больший объем работы, больший объем движений, обеспечивают защиту от внешних факторов.

Недостатки: как правило, применимы исключительно в военной отрасли, так как схемы и технологии засекречены.

Показания: применимы у здоровых военнослужащих, с целью снижения физических нагрузок и увеличения трудоспособности.

Пример. Пассивный экзоскелет нижних конечностей «К-2», ООО «Транспортные шагающие системы». Предназначен для нужд военных и МЧС. Данное устройство поможет человеку переносить тяжести (рюкзак, бронежилет, защита сапера, снаряжение пожарного) массой 50 кг длительное время без больших усилий и нагрузки на собственный опорно-двигательный аппарат. Минимальные размеры и вес устройства (от 2 кг), эргономичность, неприхотливость в обслуживании сделало его незаменимым помощником в длительных экспедициях, военных марш-бросках, в районах с чрезвычайной ситуацией. Основным материалом, из которого сделан экзоскелет, — углепластик, придающий изделию большую прочность и малый вес. Также экзоскелет может использоваться при ранениях опорно-двигательного аппарата, позволяя человеку перемещаться на значительное расстояние с поврежденной нижней конечностью, вплоть до перелома, зафиксировав ее дополнительно бинтами или ремнями выше и ниже повреждения на К-2. При использовании К-2 человек получает дополнительную защиту нижних конечностей и позвоночника от механических повреждений. При этом разработчики этой системы отмечают возможность ее использования у инвалидов с нарушением функции нижних конечностей [12].

б) в медицинской отрасли: экзоскелеты данной группы применяются в практическом здравоохранении для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-/моно-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов. Могут быть активными, либо пассивными, для верхних, либо нижних конечностей.

Преимущества: увеличивает силу и амплитуду движений; способствуют социализации, реабилитации и абилитации инвалидов.

Недостатки: отсутствие специальных программ и целевого финансирования, необходимость дополнительных исследований и дальнейшей разработки, высокая стоимость моделей с активным принципом работы, не способствуют широкому созданию аналогов и оригинальных моделей в нашей стране и их внедрению в практическое здравоохранение.

Показания: применимы у пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов. Потенциальные способы применения экзоскелетов в медицине включают восстановление после травмы, корректировку походки и увеличение физических возможностей человека.

Примеры. [4, 10, 14, 16, 19—25, 27—31].

в) в промышленной отрасли: данная группа является новой ветвью развития экзоскелетов, по сути, представляет собой экзоскелет нижних конечностей, при необходимости принимающий статичное положение и создающий опору, с целью снижения статичной нагрузки работников. Может применяться в промышленной отрасли, на производствах, крупных заводах, машиностроении.

Преимущества: снижает длительную нагрузку на конечности и позвоночник, в разы увеличивает работоспособность, снижает риск развития профессиональных заболеваний, тем самым поддерживает гигиену труда на высоком уровне. Возможность трансформации промышленных разработок в медицинскую отрасль

Недостатки: необходимость дополнительных исследований и дальнейших разработок, отсутствие аналогов в нашей стране.

Показания: применим в промышленной отрасли у здоровых людей для снижения статичной нагрузки работников.

Пример. Экзоскелет Chairless Chair (Швейцария). Данный экзоскелет был создан для людей, которым на работе приходится почти целый день стоять на ногах и длительно испытывать статическую нагрузку. Chairless Chair сделан из алюминия и углеродного волокна. Его вес составляет всего два килограмма. Батарея, емкостью шесть вольт, позволяет экзоскелету работать без подзарядки в течение 24 часов. Когда человек активирует экзоскелетом, срабатывают амортизаторы, превращающие его в удобное кресло, снимающее напряжение в мышцах ног и суставах. Разработчики считают, что данное устройство сможет облегчить людям работу и повысить эффективность. Экзоскелет удерживается на теле человека ремнями. Его вес регулируют крепления на ботинках, являющиеся частью экзоскелета [17, 15].

г) в космической отрасли — данная группа является развивающейся и труднодоступной для знакомства с технологиями и материалами. К ней относится в настоящий момент единственный экзоскелет двойного назначения, который способен как затруднять, так и облегчать движения. Затруднение движений позволит космонавтам получить необходимую физическую нагрузку в условиях невесомости на Международной космической станции или при нахождении в долгом полете. Облегчение движений, увеличение их силы и амплитуды, может использоваться в наземных условиях не только у космонавтов, но и в других отраслях (военной, медицинской, промышленной).

Преимущества: большой спектр действия, охват всех возможных сфер использования.

Недостатки: секретность, большая стоимость, этот экзоскелет все еще находится на стадии исследований и разработки.

Показания: применим в космической отрасли, с целью затруднения движений и увеличения веса космонавтов в условиях невесомости; применим у пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; применим у здоровых военнослужащих, с целью снижения физических нагрузок и увеличения трудоспособности военнослужащих.

Пример. Новый активный экзоскелет-костюм от NASA. Новый костюм X1 весом в 26 кг, способен как затруднять, так и облегчать движения. Затруднение движений используется космонавтами в условиях невесомости, облегчение — в других отраслях (военной, медицинской, промышленной). Этот экзоскелет все еще находится на стадии исследований и разработки. Будущие улучшения могут включать дополнительные суставы в районе лодыжек и бедер, для обеспечения большей свободы движений [10, 23].

5. По весу конструкции:

а) легкие — до 5 кг:

Описание: исключительно пассивные экзоскелеты, за счет использования легких, но прочных материалов, отсутствия зависимости от источников энергии, обладают меньшей массой.

Преимущества: удобны в использовании, пациент становится мобильным, не устаёт от устройства.

Недостатки: те же, что у пассивных экзоскелетов.

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности.

Примеры. Пассивный экзоскелет нижних конечностей «К-2», ООО «Транспортные шагающие системы». Пассивный экзоскелет верхних конечностей WREX — Wilmington Robotic Exoskeleton (Уилмингтонский роботизированный экзоскелет). Вес устройств от 2 кг. Пассивный экзоскелет верхних конечностей «ЭКЗАР-2». Вес устройства от 1 до 2 кг [4, 12, 25].

б) средней весовой категории — от 5 до 30 кг: пассивные либо активные экзоскелеты

Преимущества: более сложная конструкция, больше функциональных возможностей устройства.

Недостатки: возможно развитие усталости от длительного использования тяжелой конструкции.

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в промышленной отрасли у здоровых людей для снижения статической нагрузки работников.

Примеры. Активный экзоскелет нижних конечностей HAL, Hybrid Assistive Limb (Япония, Cyberdyne), вес устройства 23 кг. Активный экзоскелет-костюм от NASA X1, вес устройства 26 кг [10, 22, 23].

в) тяжелые — более 30 кг: активные экзоскелеты для нижних конечностей/экзокостюмы.

Преимущества: более сложная конструкция, больше функциональных возможностей устройства.

Недостатки: возможно развитие усталости от длительного использования тяжелой конструкции

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в промышленной отрасли у здоровых людей для снижения статической нагрузки работников; в космической отрасли, с целью затруднения движений и увеличения веса космонавтов в условиях невесомости.

Пример. Активный экзоскелет нижних конечностей REX (REX Bionics, Новая Зеландия). Вес устройства 38 кг [21].

6. По количеству функций:

а) экзоскелеты простого назначения (для облегчения движений): любые экзоскелеты, главная цель использования которых — увеличение функциональных возможностей человека.

Преимущества: усиление силы и амплитуды движений, восстановление утраченных функций.

Недостатки: в зависимости от вида применяемого экзоскелета.

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в промышленной отрасли у здоровых людей для снижения статической нагрузки работников.

Пример. Активный экзоскелет верхней конечности Titan Arm (проект студентов-инженеров из Университета Пенсильвании). Конструкция компактна, дешева в производстве (элементы экзоскелета напечатаны на 3D-принтере). Система питается от аккумуляторов, которые крепятся на спине, и приводится в действие

с помощью кабелей и тросиков. Устройство предназначено для усиления силы и амплитуды движений, восстановления утраченных функций [29, 31].

б) экзоскелеты двойного назначения (призваны как облегчать, так и затруднять движения): к данной группе относится в настоящий момент единственный экзокостюм двойного назначения, который способен как затруднять, так и облегчать движения. Затруднение движений позволит космонавтам получить необходимую физическую нагрузку в условиях невесомости на Международной космической станции или при нахождении в долгом полете. Облегчение движений, увеличение их силы и амплитуды, может использоваться в наземных условиях не только у космонавтов, но и в других отраслях (военной, медицинской, промышленной).

Преимущества: большой спектр действия, охват всех возможных сфер использования

Недостатки: большая стоимость, этот экзоскелет все еще находится на стадии исследований и разработки.

Показания: применим в космической отрасли, с целью затруднения движений и увеличения веса космонавтов в условиях невесомости; применим у пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича с наличием гиперкинезов, для абилитации и реабилитации инвалидов; применим у здоровых военнослужащих, с целью снижения физических нагрузок и увеличения трудоспособности военнослужащих.

Пример. Новый активный экзоскелет-костюм от NASA. Новый костюм X1 весом в 26 кг, способен как затруднять, так и облегчать движения. Затруднение движений используется космонавтами в условиях невесомости, облегчение — в других отраслях (военной, медицинской, промышленной). Этот экзоскелет все еще находится на стадии исследований и разработки. Будущие улучшения могут включать дополнительные суставы в районе лодыжек и бедер, для обеспечения большей свободы движений [10, 23].

7. По мобильности пациента:

а) мобильные: позволяющие человеку свободно передвигаться в пространстве, так как устройство надето непосредственно на тело человека, либо прикреплено к куртке-жакету.

Преимущества: нет ограничений в передвижении.

Недостатки: не подходят для лиц с полностью утраченной функцией нижних конечностей.

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом вялого (тетра-/геми-) пареза/паралича, для абилитации и реабилитации инвалидов; в военной отрасли, для здоровых военнослужащих, с целью повышения трудоспособности; в промышленной отрасли у здоровых людей для снижения статической нагрузки работников; в космической отрасли, с целью затруднения движений и увеличения веса космонавтов в условиях невесомости.

Пример: пассивный экзоскелет-костюм Fortis от компании Lockheed Martin, США. Fortis способен

переносить вес человека с тяжелым объектом по внешней конструкции в пол, таким образом создавая интерактивную полку, расслабляющую мышцы пользователя [11].

б) фиксированные (стационарные): при использовании экзоскелетов данной группы человек не мобилен, так как устройство фиксировано (к стулу, инвалидному креслу, кровати).

Преимущества: подходят для лиц с полностью утраченной функцией нижних конечностей.

Недостатки: ограничения в передвижении.

Показания: применимы в медицинской отрасли, для пациентов с синдромом верхнего вялого парамонореза, для абилитации и реабилитации инвалидов.

Пример. Стационарная модификация пассивного экзоскелета верхних конечностей WREX — Wilmington Robotic Exoskeleton (Уилмингтонский роботизированный экзоскелет). Данная модель может быть фиксирована к инвалидному креслу [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемые дополнения к терминологии и определениям, а также составленная нами классификация экзоскелетов позволяет, с нашей точки зрения, более полно оценить их как новый продукт в целом ряде отраслей деятельности человека. Особенно важным считаем ее использование в определении наиболее перспективных направлений дальнейшей разработки и внедрения экзоскелетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бедняк С. Г., Еремичева О. С. Роботизированные экзоскелеты HAL (почувствуй себя HAL'ком) // Сборник научных трудов Sworld. — 2014. — Т. 2, № 1. — С. 49—51.
2. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С., Поздняков А. М. Экзоскелет как новое средство в абилитации и реабилитации инвалидов (обзор) // Современные технологии в медицине. — 2015. — Т. 7, № 2. — С. 185—197.
3. Воробьев А. А., Андрющенко Ф. А., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С. К методике определения анатомически зависимых параметров экзоскелета верхней конечности ЭКЗАР // Волгоградский научно-медицинский журнал. — 2015. — №1. — С. 58—61.
4. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С. Клинико-анатомические требования к активным и пассивным экзоскелетам верхней конечности // Волгоградский научно-медицинский журнал. — 2014. — № 1. — С. 56—61.
5. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С. Основные клинико-анатомические критерии для разработки экзоскелета верхней конечности // Журнал анатомии и гистопатологии. — 2014. — Т. 3, № 1. — С. 20—27.
6. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С. Клинико-анатомическое обоснование требований к разработке экзоскелетов верхней конечности // Оренбургский медицинский вестник. — 2014. — Т. 2, № 3. — С. 14—19.
7. Воробьев А. А., Петрухин А. В., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С., Поздняков А. М. Первый опыт клинической апробации пассивного экзоскелета верхней конечности // Вестник Военно-медицинской академии. — 2015. — № 2 (50). — С. 51—52.
8. Воробьев А. А., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С., Петрухин А. В., Поздняков А. М. Экзоскелет — состояние проблемы и перспективы внедрения в систему абилитации и реабилитации инвалидов (аналитический обзор) // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2015. — № 2 (54). — С. 9—18.
9. Воробьев А. А., Засыпкина О. А., Кривоножкина П. С., Петрухин А. В., Поздняков А. М. Экзоскелет — новые возможности абилитации и реабилитации (аналитический обзор) // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. — 2015. — Т. 18, № 2(53). — С. 51—63.
10. Новый экзоскелет двойного назначения от НАСА [Электронный ресурс]. URL: <http://globalscience.ru/article/read/21209/>
11. Новый экзоскелет Fortis от компании Lockheed Martin [Электронный ресурс]. URL: <http://globalscience.ru/article/read/24766/>
12. Транспортные шагающие системы [Электронный ресурс]. URL: <http://twssystem.ru/ru/node/6> (дата обращения: 12.07.2015).
13. Экзоскелет // Википедия. [2015—2015]. Дата обновления: 05.01.2015. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=67717712> (дата обращения: 12.07.2015).
14. A Human Exoskeleton // Washington Post. — 6 May 2008. — Retrieved 24 April 2013.
15. A support that walks with you [Электронный ресурс]. URL: <http://noonee.com/> (дата обращения: 12.07.2015)
16. Berkeley robotics and human engineering laboratory [Электронный ресурс]. URL: <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/elegs%E2%84%A2>
17. Chairless Chair [Электронный ресурс]. URL: <http://globalscience.ru/article/read/24717/>
18. HULC. Lockheed Martin // Retrieved. 2011-08-02
19. Kazerooni, H. Human Augmentation and Exoskeleton Systems in Berkeley // International Journal of Humanoid Research. Vol. 4, N 3, Sep 07.
20. Knaepen K., Beyl P., Duerinck S., Hagman F., Lefeber D., Meeusen R. Human-robot interaction: kinematics and muscle activity inside a powered compliant knee exoskeleton // IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. — 2014. — Nov; 22(6): 1128-37. doi:10.1109/TNSRE.2014.2324153.
21. Meghan Rosen Mind to motion: Brain-computer interfaces promise new freedom for the paralyzed and immobile // Science News. — 2013. — Vol. 184, Issue 10, 16. — P. 22—24.
22. Moreno J., Turowska E. Wearable Lower Limb and Full-Body Robots // Arantes Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons. — 2008. — P. 283—321.
23. NASA developing exoskeleton for astronauts and the earthbound [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gizmag.com/x1-exoskeleton/24525/> (дата обращения: 13.07.2015).
24. Paraplegic Support Suits// Trendhunter Magazine. 4 April 2008. Retrieved 29 January 2013.
25. Rahman T., Sample W., Jayakumar S., King M. M., Wee J. Y., Seliktar R., Alexander M., Scavina M., Clark A. Passive exoskeletons for assisting limb movement // J Rehabil Res Dev. — 2006. — Aug-Sep; 43(5): 583—590.

26. Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit, United States of America // army-technology.com. URL::http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us (дата обращения: 12.07.2015).

27. Rewalk' bionic legs get FDA approval // News.com.au. — 17 January 2011. — Retrieved 13 May 2012; 22.

28. Shamaei K., Cenciarini M., Adams A. A., Gregorczyk K. N., Schiffman J. M., Dollar A. M. Design and evaluation of a quasi-passive knee exoskeleton for investigation of motor adaptation in lower extremity joints // IEEE Trans Biomed Eng. — 2014 Jun; 61(6): 1809-21. doi: 10.1109/TBME.2014.2307698.

29. Titanarm [Электронный ресурс]. URL: http://titanarm.com (дата обращения: 12.07.2015).

30. Wang S., Wang L., Meijneke C., van Asseldonk E., Hoellinger T., Cheron G., Ivanenko Y., La Scaleia V., Sylos-Labini F., Molinari M., Tamburella F., Pisotta I., Thorsteinsson F.,

Ilzkovitz M., Gancent J., Nevatia Y., Hauffe R., Zanow F., van der Kooij. Design and Control of the MINDWALKER Exoskeleton // IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. — 2014. — Oct. 30.

31. Zolfagharifard Ellie The wearable robot that turns anyone into a SUPERHERO: Bionic arm lets users lift an extra 40lb effortlessly // mail online-10. Dec. 2013: URL: http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2521245/Titan-Arm-bionic-exoskeleton-lets-users-lift-extra-40lb-effortlessly.html (дата обращения: 10.07.2015).

Контактная информация

Воробьев Александр Александрович — д. м. н., профессор, зав. кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: cos@volgmed.ru

УДК 616.94:616.379-008.64-089

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ГНОЙНО-СЕПТИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ В АБДОМИНАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ У БОЛЬНЫХ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ ТИПА 2

М. А. Дробков, Н. В. Рогова, А. Н. Акинчиц, О. И. Бутранова

*Волгоградский государственный медицинский университет,
кафедра клинической фармакологии и интенсивной терапии
с курсами клинической фармакологии ФУВ, клинической аллергологии ФУВ,
Клиника № 1 Волгоградского государственного медицинского университета,
Волгоградский медицинский научный центр*

При анализе особенностей течения гнойно-септических осложнений в абдоминальной хирургии у больных с сахарным диабетом 2 типа выявлено, что заболевание у данной категории пациентов протекает на фоне поражения сосудистого русла в виде микро- и макроангиопатий. Это утяжеляет инфекционный процесс, обуславливает возникновение различных осложнений, удлинение сроков госпитализации, что приводит к высокой летальности. У больных с сопутствующей эндокринной патологией маркеры сепсиса остаются высокими и прогрессивно увеличиваются вплоть до двадцати первых суток нахождения в ОРИТ, в то время как положительная динамика у пациентов без диабета намечается уже на четырнадцатые сутки лечения. Подтверждено значительное снижение летальности (4,6—8 %) у пациентов, которым постоянно контролировался и корригировался уровень гликемии.

Ключевые слова: абдоминальный сепсис, гнойно-септические осложнения, особенности течения хирургической инфекции, сахарный диабет типа 2.

SPECIFIC CHARACTERISTICS OF POSTOPERATIVE ABDOMINAL SEPTIC COMPLICATIONS IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS TYPE 2

M. A. Drobkov, N. V. Rogova, A. N. Akinchits, O. I. Butranova

The analysis of postoperative abdominal septic complications in patients with diabetes mellitus type 2 revealed that diabetes complications are associated with microvascular and macrovascular damage. Damage to the small and large blood vessels makes the infection more severe, causes various complications, makes hospital stay longer, all of which can lead to higher mortality rates. Infection markers remain high and progressively increase up to the twenty-first day of stay in the ICU in patients with concomitant endocrine disorders. Positive dynamics of glycemia among non-diabetic individuals can be observed on the fourteenth day of treatment. A significant reduction in mortality rate (4,6—8 %) was confirmed in patients with continuous monitoring and correction of blood glucose levels.

Key words: abdominal sepsis, septic complications, specific characteristics of surgical site infection, diabetes mellitus type 2.

Гнойно-септические осложнения (ГСО) в абдоминальной хирургии являются наиболее тяжелыми и опасными осложнениями повреждений и вмешательств на органах брюшной полости [1]. Актуальность данной про-

блемы в настоящее время определяется ростом заболеваемости, высокой резистентностью к проводимой антибактериальной терапии (АБТ), экономическим ущербом, связанным с трудоспособным возрастом заболевших,