

Самоперемещающийся многофункциональный вакуумный массажер на базе активного треугольного модуля параллельной структуры

Аннотация

Представлена новая концепция многофункционального самоперемещающегося баночного массажера, построенного на базе активного треугольного модуля параллельной структуры. Описаны конструктивные принципы и функциональные возможности массажера, позволяющие автоматизировать процесс скользящего баночного массажа.

Для лечения и профилактики развития лимфостаза после мастэктомии, лапаротомии, холецистэктомии и других полостных операций, а также при простудных заболеваниях, бронхите, пневмонии, миозитах, люмбаго, остеохондрозе позвоночника широко применяется баночный массаж (БМ), сочетающий в себе воздействующие факторы банок и массажа [1]. Массажные вакуумные банки (МВБ) могут устанавливаться на теле пациента как неподвижно, так и с возможностью совершения ими скользящих массажных движений без их разгерметизации и отрыва от тела [1]. В первом случае МВБ оказывают лишь локальное воздействие на кожу пациента и присутствие массажиста не требуется. Во втором случае повышается эффективность БМ за счет скользящих массажных движений МВБ, осуществляемых непосредственно массажистом. На рис. 1а изображены скользящий баночный массаж и основные движения МВБ. При выполнении скользящего БМ массажист испытывает непрерывную физическую нагрузку, возникающую в результате преодоления сопротивления перемещению МВБ по телу пациента. Это неизбежно приводит к его утомляемости и снижению производительности. Кроме того, массажист способен производить скользящий БМ одновременно только одному пациенту и не более чем двумя МВБ, что снижает количество обслуживаемых пациентов. Таким образом, автоматизация процесса проведения скользящего БМ без участия массажиста является актуальной задачей реабилитационной медицины.

Автоматизировать процесс скользящего БМ возможно с помощью манипуляционных робототехнических комплексов (РТК) последовательной [2], [3] или параллельной структуры [3], [4]. Примерами РТК последовательной структуры могут быть массажный РТК с одним антропоморфным манипулятором с 6 степенями свободы (рис. 1б) [2] и робото-хирургичес-

кий комплекс «Da Vinci» (рис. 1в) [3], каждый из четырех манипуляторов которого имеет 7 степеней свободы. Примером манипуляционного РТК параллельной структуры может служить РТК, предназначенный для проведения китайского медицинского массажа (рис. 1г) [4]. Манипулятор комплекса выполнен в виде пространственного механизма параллельной структуры, платформа которого имеет 4 степени свободы относительно основания.

Траектория движений РТК может задаваться управляющей программой, не требующей непосредственного участия массажиста. Однако в процессе проведения скользящего БМ пациент должен находиться в неподвижном положении, так как траектория движений рабочего органа манипулятора, в отличие от адаптивных движений массажиста, строго «привязана» к исходно занятому пациентом положению. Кроме того, отсутствие у РТК дистанционной связи с массажистом, находящимся вне массажного кабинета, может привести не только к снижению эффективности массажа, но и к возникновению нештатных ситуаций, угрожающих здоровью пациента. Подобные РТК из-за своих массогабаритных характеристик не являются переносными и пригодными для использования в домашних или полевых условиях.

Таким образом, создание роботизированных малогабаритных переносных массажных устройств, способных работать автономно, без присутствия массажиста, является актуальным направлением. В рассматриваемой работе предлагается новая концепция самоперемещающегося многофункционального баночного массажера (СМБМ), построенного на базе активного треугольного модуля параллельной структуры [5], характеризующейся высокой удельной жесткостью, несущей способностью и низкой удельной массой [3].

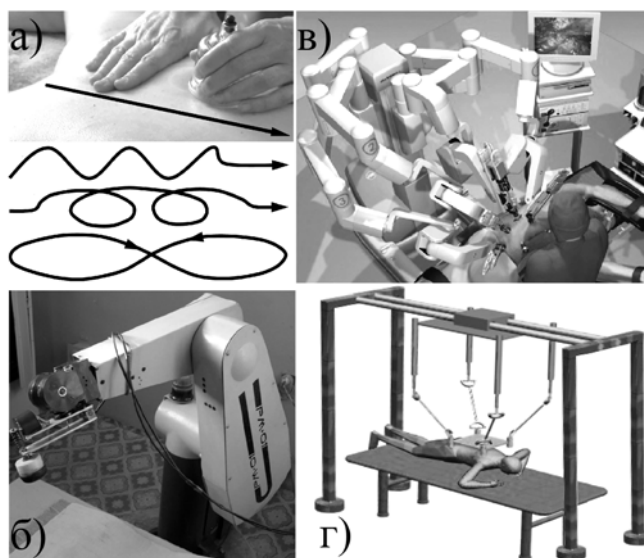


Рис. 1. Основные движения МВБ при скользящем БМ (а) и манипуляционные РТК последовательной (б), (в) и параллельной структуры (г)

СМБМ (рис. 2) содержит массажное устройство в виде активного треугольного модуля АВС (далее – модуль АВС), образованного тремя однотипными стержнями, концы которых шарнирно соединены с МВБ 1.

Каждый из стержней снабжен линейным приводом 2 с датчиками силы 3, относительного перемещения 4 и относительной скорости 5. МВБ 1 герметично соединены гибкими шлангами 6 с соответствующими каналами воздухораспределителя 7 системы вакуумирования, снабженной датчиком давления 8 и вакуумным насосом 9, электрически связанными с системой управления (СУ) 10 в виде компьютера 11 с аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями (АЦП и ЦАП). Входы СУ 10 через шины данных АЦП подключены к выходам АЦП 12, 13, 14 и 15 датчиков силы 3, датчиков относительного перемещения 4, датчиков относительной скорости 5 и датчиков давления 8 соответственно, а выходы СУ 10 через шины выходных данных ЦАП 16 подключены к входам последовательно соединенных усилителей мощности 17 и линейных приводов 2, клапанов воздухораспределителя 7 и вакуумного насоса 9. При этом СУ 10 обеспечивает оперативный контроль и управление в реальном режиме времени.

СМБМ работает следующим образом. На подготовленную массируемую поверхность тела пациента [1] накладывают модуль АВС с МВБ 1 в его вершинах (рис. 3). Затем включают вакуумный насос 9 (рис. 2) и, после индивидуального присасывания МВБ 1, закрывают соответствующий клапан воздухораспределителя 7 и фиксируют величину минимально допустимого давления с помощью датчиков давления 8. Величина стягивания кожи, при которой обеспечивается надежная фиксация МВБ 1 и исключается травматизм кожи пациента, определяется визуально. После этого с помощью соответствующих клапанов воздухораспределителя 7 производят разгерметизацию МВБ 1 до максимально допустимого давления внутри клапанов, которое обеспечивает возможность их скользящей подвижности по телу пациента без отлипания от него. В этот момент указанные клапаны воздухораспределителя 7 перекрывают и с помощью датчиков давления 8 фиксируют величины максимально допустимых давлений внутри МВБ 1. Далее в СУ 10 вводят данные, которые включают в себя контуры массируемых участков тела, связанные с базовой системой координат, и координаты участков тела, недопустимых для массажных воздействий, таких как родинки, чувствительные и поврежденные участки кожи, послеоперационные раны и др. Затем

подают команду на вакуумирование двух выбранных МВБ 1 до достижения в них минимально допустимого давления. В результате две МВБ 1 модуля АВС становятся неподвижными, а одна – перемещаемой. После этого относительно базовой системы координат вводят координаты центров двух неподвижных МВБ 1. На рис. 3а, б показаны схемы установки БМ на теле пациента и проведения БМ при различных заболеваниях: а – при остеохондрозе позвоночника и люмбаго; б – при пневмониях и бронхитах; с – при миозитах и пояснично-крестцовом радикулите; д – при колитах и гипертонической болезни [1]. Модуль АВС может быть установлен в начальное положение таким образом, что каждая из его МВБ 1 будет способна поочередно совершать скользящее массажное движение по различным траекториям движений в без его перестановки (рис. 3б).

Закончив подготовительные операции, массажист включает команду на выполнение запрограммированных массажных движений. После поступления команды в СУ 10 в компьютере 11 вычисляются (с учетом введенных ранее данных) первоначальные координаты МВБ 1 для проведения массажных движений перемещаемой МВБ 1, например дугообразных движений в (рис. 3а, б), из условия обеспечения минимального количества перестановок МВБ 1.

Движение МВБ 1 по телу пациента осуществляется путем соответствующего изменения длин линейных приводов 2, контролируемых датчиками относительного перемещения 4. При этом требуемая скорость движения МВБ 1 по телу пациента обеспечивается регулированием скоростей осевых перемещений линейных приводов 2 по сигналам от соответствующих датчиков относительной скорости 5. Геометрическая неизменяемость модуля АВС и текущая привязка координат МВБ 1 к базовой системе координат (на рис. 3 подвижные стержни изображены штрих-двойными пунктирными линиями) позволяют в процессе массажа однозначно определять текущие координаты перемещаемой и неподвижных МВБ 1 относительно базовой системы координат и связанных с ней контура массируемого участка тела пациента и участков тела, на которых массаж недопустим. Геометрическая неизменяемость модуля АВС позволяет определять координаты его вершин путем измерения с помощью датчиков относительного перемещения 4 длин всех стержней и управлять их перемещениями аналогично организации пространственных перемещений l -координатного манипулятора [6]. При этом показания датчиков

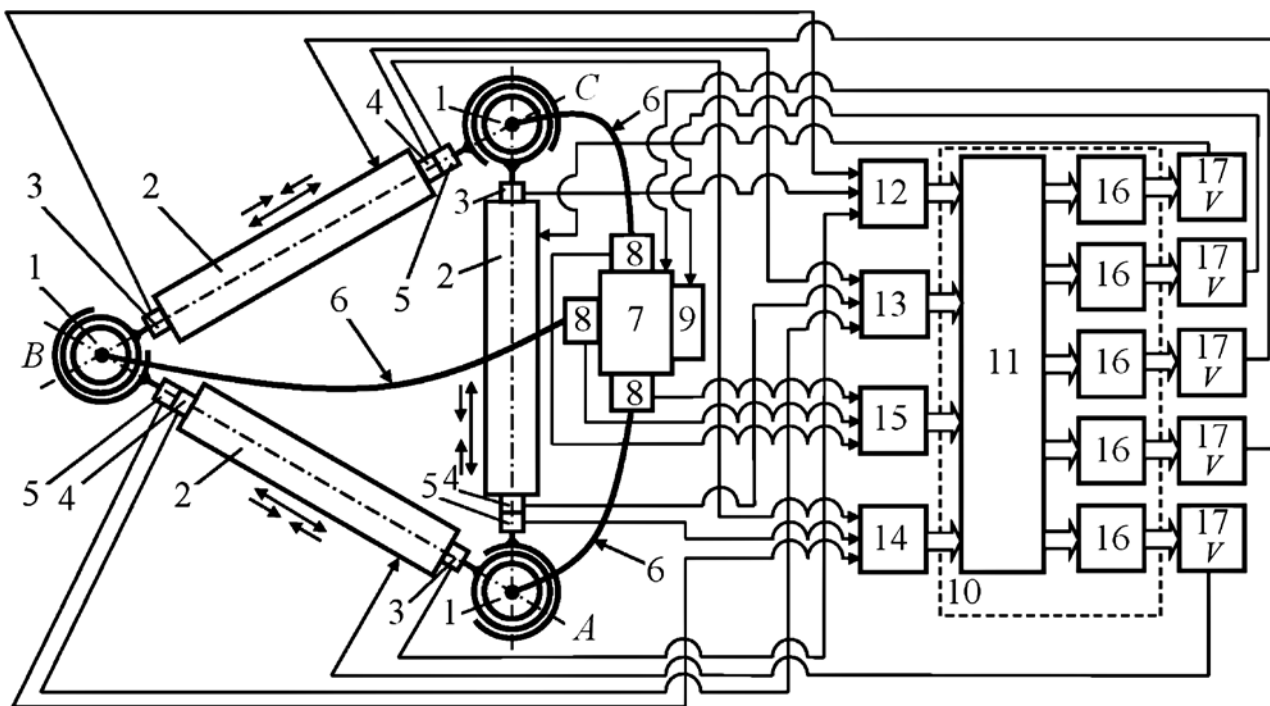


Рис. 2. Структурная схема СМБМ (пояснения – в тексте)

относительной скорости 5 позволяют управлять скоростью движения перемещаемой на данном этапе МВБ 1 в соответствии с допустимыми значениями, определенными для данного вида массажных движений и введенными в СУ 10. Следует отметить, что все МВБ 1 в процессе их перестановок с помощью скользящих движений по массируемой поверхности тела пациента поочередно становятся перемещаемыми и неперемещаемыми. При этом процесс их перестановок производится следующим образом. В модуле АВС одна из МВБ 1 (наиболее близкая к месту своего перемещения) и две остальные делают перемещаемой и неперемещаемыми соответственно. При этом в перемещаемой МВБ 1 устанавливается максимально допустимое давление воздуха, а в неперемещаемых – минимально допустимое давление воздуха. После этого система управления подает команду на включение линейных приводов 2, соединенных с перемещаемой МВБ 1, и производится согласованное изменение их длин с заданной скоростью, контролируемой датчиками относительной скорости 5. После перемещения МВБ 1 в заданную конечную (или промежуточную) точку, определяемую с помощью датчиков относительного перемещения 4 связанных с ней линейных приводов 2, подается команда на их выключение. Затем перемещенная МВБ 1 делается неперемещаемой, а одна из двух неперемещаемых МВБ 1 – перемещаемой. При этом давление в перемещаемой МВБ 1 устанавливается минимально допустимым, а в другой – максимально допустимым. Далее, аналогично предыдущему циклу, от СУ 10 подается команда на включение линейных приводов 2, соединенных с перемещаемой МВБ 1, и производится согласованное изменение их длин с заданной скоростью, контролируемой датчиками относительной скорости 5. После этого аналогично совершают перемещение третьей МВБ 1 в конечную или промежуточную точку. После перемещения всех МВБ 1 в расчетные первоначальные координаты две из МВБ 1 делают неперемещаемыми, а третью, лежащую на траектории массажного движения, например дуги *b* (рис. 3б), делают перемещаемой и совершают ей массажные движения. В зависимости от требуемых массажных движений расчетные первоначальные координаты МВБ 1 могут быть вычислены таким образом, что все МВБ 1 окажутся на траекториях требуемых массажных движений, например на дугах *b* (рис. 3б). В этом случае массаж может выполняться как последовательно, так и поочередно. Перестановки модуля АВС можно организовать таким образом, что траектории движений всех МВБ 1 в процессе перестановок будут совпадать с заданными траекториями массажных движений, т. е. не будет «паразитных» проходов МВБ 1.

С помощью СМБМ можно производить также локальный вакуум-массаж и массаж сдвиганием и растяжением мышечных тканей (рис. 3в) [1]. Локальный вакуум-массаж производят при зафиксированных на теле пациента МВБ 1 путем разряжения в них воздуха до давления, значение которого находится в диапазоне от максимально допустимого до минимально допустимого давления. Для его осуществления по командам от СУ 10 (рис. 2) в МВБ 1 с установленными частотой и амплитудой изменяют давление от минимально допустимого до максимально допустимого и наоборот. Управление поочередным повышением и понижением давления осуществляется с помощью воздухораспределителя 7 и вакуумного насоса 9 по командам от системы управления 10, формируемым в результате обработки сигналов от датчиков давления 8. Расстояние между втянутой поверхностью кожи при максимальном давлении внутри банки и втянутой поверхностью кожи при минимальном давлении составляет Δ (рис. 3в). При этом расстояние Δ соответствует максимальному значению амплитуды при проведении локального вибромассажа путем изменения давления в МВБ 1.

Массаж сдвиганием и растяжением мышечных тканей производят при неподвижно зафиксированных на теле пациента МВБ 1 путем разряжения в них воздуха до минимально допустимого давления. При этом возможно проведение данного вида массажа как поочередным движением линейных приводов 2, так и одновременным движением двух и более линейных приводов. После фиксации МВБ 1 на массируемом участке тела пациента (рис. 3а, б) в положении, при котором длины линейных приводов 2 соответствуют их средним значениям, от СУ 10 (рис. 2) подается команда линейному приводу 2 на уменьшение (увеличение) его длины на заданную величину, по достижении которой линейный привод 2 останавливается и включается на реверс, увеличивая (уменьшая) свою длину до установленной величины. Далее процесс повторяется требуемое количество циклов с заданной скоростью. При этом максимальное изменение длины линейного привода 2 соответствует заданной амплитуде колебательных массажных движений сжатия-растяжения. Изменение длины линейного привода 2 и амплитуду контролируют с помощью датчика относительного перемещения 4, а скорость движения – с помощью датчика относительной скорости 5. Усилия механического воздействия МВБ 1 на мышечную ткань пациента при проведении всех видов массажа контролируют с помощью датчиков силы 3. В случае превышения заданного значения усилия при проведении скользящего баночного массажа, по команде от СУ 10 производят повышение давления в МВБ 1 на величину уста-

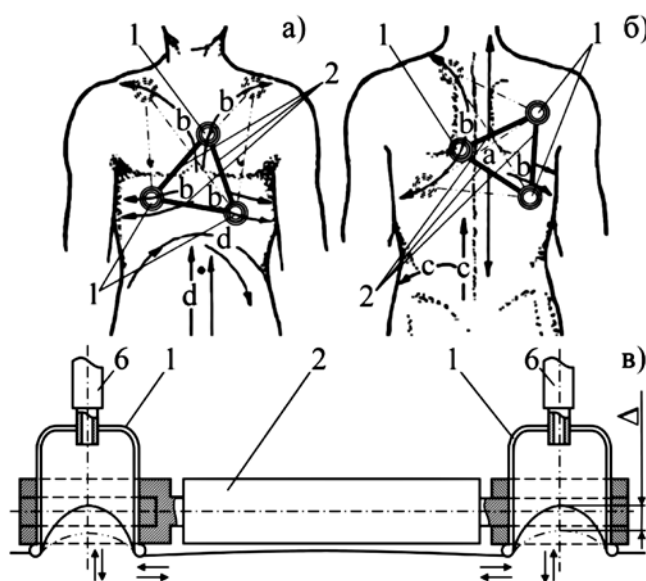


Рис. 3. Схемы скользящего БМ (а), (б), локального вакуум-массажа (в) и массажа сдвиганием и растяжением мышц (в) (пояснения – в тексте)

новленного шага и принимают его за максимально допустимое значение давления, после чего продолжают массаж. В случае превышения заданного значения усилия при проведении массажа сдвиганием и растяжением мышечных тканей СУ 10 уменьшает величину амплитуды, которая устанавливается по допустимым усилиям в крайних положениях линейного привода 2, и продолжают массаж. В случае самопроизвольного отлипания одной из МВБ 1 от тела пациента в процессе проведения массажа произойдет незапланированное повышение в ней давления, о чем в СУ 10 поступит сигнал от соответствующего датчика давления 8. В ответ на возникшую ситуацию СУ 10 подаст соответствующую команду на клапан воздухораспределителя 7 и вакуумный насос 9. При этом следует отметить, что опирание модуля АВС на массируемый участок тела пациента происходит на три точки в виде МВБ 1, поэтому в случае горизонтального положения пациента силы тяжести от 1 / 3 веса модуля АВС будет достаточно для плотного прилегания к поверхности тела разгерметизированной МВБ 1 и ее последующего присасывания к телу после понижения давления в ней до минимально допустимого значения. Это будет означать, что МВБ 1 вновь зафиксирована на теле пациента и массаж будет продолжен в соответствии с установленной программой. В случае, если понижение давления в МВБ 1 не произойдет, от СУ 10 поступит сигнал о перемещении данной МВБ 1 на новое место и повторении процедуры вакуумирования. В случае повторной неудачной попытки от СУ 10 поступит сигнал массажисту о нештатной ситуации, для исправления которой требуется его участие. После ликвидации массажистом нештатной ситуации процедура массажа будет продолжена в автономном режиме.

Предлагаемая концепция СМБМ может быть использована в физиотерапевтических отделениях лечебных учреждений, в реабилитационных, спортивных и оздоровительных центрах, а также в домашних условиях для проведения автономного самомассажа труднодоступных участков тела. Применение СМБМ позволит автоматизировать процесс БМ и повысить его эффективность за счет увеличения количества одновременно перемещаемых МВБ до трех, а также существенно увеличить количество одновременно обслуживаемых пациентов одним массажистом и снизить его физическую нагрузку и утомляемость. При этом в вершинах активного треугольного модуля АВС возможна дополнительная установка датчиков, например ультразвуковых, что позволит расширить функциональные возможности СМБМ.

Список литературы:

1. Дубровский В.И., Дубровская А.В. Лечебный массаж. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2004. 505 с.
2. Разумов А.Н., Головин В.Ф., Архипов М.В., Журавлев В.В. Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. 2011. № 4. С. 31-38.
3. Габутдинов Н.Р., Глазунов В.А., Духов А.В., Пушкарь Д.Ю., Шептунов С.А. Хирургические роботы. Возможность использования манипуляторов последовательной и параллельной структуры // Медицина и высокие технологии. 2015. № 1. С. 45-50.
4. Guo Z. et al. Analysis of Mechanism and Application Research for 4-PTT Parallel Mechanism Manipulator / In Book: Intelligent Robotics and Applications: First International Conference / C. Xiong et al. (Eds): ICIRA 2008, Wuhan, China, October 15-17, 2008. Proceedings. Part I. PP. 547-555.
5. Саятин С.Н., Саятина М.С. Перемещающийся массажер и способ осуществления массажа с его помощью / Патент РФ на изобретение № 2551939. Оpubл. 10.06.2015. Бюл. № 16.
6. Колискоp А.Ш. Разработка и исследование промышленных роботов на основе l-координат // Станки и инструмент. 1982. № 12. С. 21-24.

*Сергей Николаевич Саятин,
д-р техн. наук, профессор,
гл. научный сотрудник,
Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Мария Сергеевна Саятина,
аспирант,
РОИЦ им. Н.Н. Блохина РАМН,
г. Москва,
e-mail: S.Sayapin@rambler.ru*

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ, РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!

ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ «МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА»

НА 2017 ГОД.

Индекс по каталогу «Роспечать» – 72940.

**В редакции можно оформить и оплатить льготную подписку с любого месяца.
Стоимость подписки : 1200 руб. – за один номер,
3600 руб. – на первое полугодие 2017 года (3 номера), 7200 руб. – на 2017 год (6 номеров).**

Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.