

УДК 615.47

*А.Е. Иванов, А.Д. Юхнев,
К.Ю. Сенчик, Ф.Г. Ушаков*

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПЕРЕНОСНОГО МЕХАТРОННОГО КАРДИОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ЗАКРЫТОГО МАССАЖА СЕРДЦА

Осуществление процедуры ручной компрессии грудной клетки сегодня является стандартом оказания первой помощи при остановке сердца, происходящей в виде асистолии или фибрилляции желудочков. Эта процедура применяется с конца шестидесятых годов XX-го века в комплексе мероприятий сердечно-легочной реанимации (СЛР) [1, 4].

Тем не менее проведение «закрытого массажа сердца» во внегоспитальных условиях приводит к сохранению жизни только у незначительного процента больных и пострадавших (не более 5 % [2]), что в основном объясняется невозможностью осуществления эффективной компрессии грудной клетки за счет физических усилий реаниматора на протяжении длительного отрезка времени [3].

В настоящее время в мировой практике для оптимизации процесса СЛР разработаны и используются механические (с электрическим или пневматическим приводом) устройства, заменяющие человека при проведении ручных манипуляций — кардиокомпрессоры (КК).

Передовые разработки в этой области на сегодняшний день — это устройства «ZOLL AutoPulse» и «LUCAS». КК «AutoPulse» сжимает грудную клетку пневматическим способом с использованием бандажного пояса, охватывающего грудную клетку, в то время как в системе «LUCAS» используется альтернативный способ, называемый активной компрессией/декомпрессией (ACD-CPR). При применении данного подхода к осуществлению СЛР устройство за счет плотного прилегания к груди гибкой полусферы и разрежения воздуха под ней осуществляет активное расправление грудной клетки, тем самым снижая внутригрудное давление и улучшая венозный приток к сердцу.

Основной недостаток подобных систем — отсутствие средств контроля эффективности

компрессии грудной клетки и оценки состояния пациента. Для повышения эффективности процедуры СЛР предлагается использовать мехатронное устройство, способное не только осуществлять компрессию и декомпрессию грудной клетки с заданными параметрами (как существующие КК), но и автоматически управлять параметрами компрессии на основе данных о физиологических показателях кровообращения пациента.

Предлагаемый подход предполагает создание универсального мехатронного наружного кардиокомпрессора (МНК), способного функционировать в нескольких режимах работы, различающихся степенью автоматизации процесса выполнения СЛР.

В первом режиме работы МНК, условно называемом «поддержкой», осуществляется наружный массаж сердца с целью обеспечения перфузии органов пациента-донора при констатированной остановке кровообращения и смерти мозга для последующей их аппаратной реабилитации и трансплантации. В этом случае параметры компрессии, а именно частота выполнения циклов компрессии — декомпрессии и глубина компрессии (длина хода штока исполнительного устройства), фиксированы и не изменяются во время работы.

В период времени (начиная с момента констатации смерти потенциального донора), необходимый трансплантационной команде для прибытия на место и оформление официальных заключений, органы (печень, почки, сердце) получают необратимые повреждения из-за недостатка кислорода и накопления продуктов метаболизма. Существуют объективные предпосылки к тому, что применение МНК в данном случае позволит сохранить жизнеспособность донорских органов. Стоит отметить, что идея применения КК для поддержания жизнедея-

тельности донорских органов — новаторская и ранее в мировой практике не применялась.

В «обычном» режиме работы МНК производит процедуру СЛР с заданными параметрами компрессии. Отличительной особенностью данного режима является то, что, несмотря на сбор информации о состоянии пациента в полном объеме, она носит исключительно информационный характер, в то время как параметры компрессии (глубина и частота компрессии) задаются оператором. Автоматической адаптации параметров не производится. Несмотря на копирование в данном режиме возможностей существующих КК, предполагается, что эффективность выполнения реанимации будет выше благодаря снабжению медицинского персонала информацией о состоянии пациента. Для вывода записанных данных можно использовать информационный жидкокристаллический экран пульта управления кардиокompрессора либо же персональный компьютер, подключенный к интерфейсному порту МНК.

Предусматривается несколько режимов компрессии: полностью непрерывный; с паузой для осуществления процесса вентиляции легких с помощью мешка Амбу или искусственного дыхания «рот в рот» (с возможностью выбора периодичности остановок — 30 компрессий, затем пауза на 3–4 секунды, либо же 15 компрессий, затем пауза).

Наконец, в «адаптивном» режиме работы МНК автоматически производит изменение и адаптацию параметров компрессии для достижения максимальных значений артериального давления крови пациента по показаниям неинвазивного датчика артериального давления. За счет этого происходит лучшее удаление продуктов распада из тканей организма, прежде всего головного мозга, и более интенсивное снабжение его кислородом, что в результате приводит к повышению эффективности процедуры СЛР. В «адаптивном» режиме оператор не имеет возможности вручную менять параметры компрессии, они устанавливаются только системой управления МНК на основе показаний сенсорной системы.

Вышеупомянутая сенсорная система МНК включает в себя две петли обратной связи, в том числе с организмом пациента. Тензометрический датчик силы, размещенный в оконечном элемен-

те штока, и оптический датчик положения составляют первую петлю обратной связи, контролирующую параметры компрессии — частоту компрессии (в диапазоне 40–120 комп./мин.) и длину хода штока исполнительного устройства (до 100 мм) при развиваемом усилии сжатия грудной клетки до 500 Н.

Вторую петлю обратной связи образуют модуль неинвазивного измерения (то есть без нарушения целостности сосудов) артериального давления (НИАД) пациента и пульсоксиметрический датчик, служащий для измерения насыщения гемоглобина крови кислородом и определения частоты пульса по пику насыщения с помощью сенсора, закрепляемого на пальце или на мочке ушной раковины пациента.

Модуль НИАД управляется командами системы управления МНК и не требует участия человека в процессе измерения, за исключением необходимости закрепить измерительную манжету на предплечье пациента.

Использование подобной комплексной системы очувствления позволяет минимизировать травматичность работы кардиокompрессора. В частности, анализ показаний тензометрического датчика позволяет снизить вероятность повреждения костной структуры грудной клетки пациента (перелом ребер — достаточно распространенная ситуация при выполнении ручного массажа сердца).

Кроме того, наличие пульсоксиметрического датчика позволяет кардиокompрессору фиксировать момент возникновения собственного пульса у пациента и извещать медицинский персонал о факте успешного выполнения процедуры сердечно-легочной реанимации.

В противоположном случае по истечении двух часов функционирования МНК медицинский персонал будет информирован (сообщением на информационном дисплее) о необходимости проведения исследования и оценки для подтверждения жизнеспособности головного мозга пациента. Если смерть мозга пациента констатирована, оператор может остановить работу МНК или же отдать команду на продолжение работы в режиме «поддержка» для сохранения внутренних органов потенциального асистолического донора.

Предлагаемый мехатронный кардиокompрессор включает в себя (рис. 1):

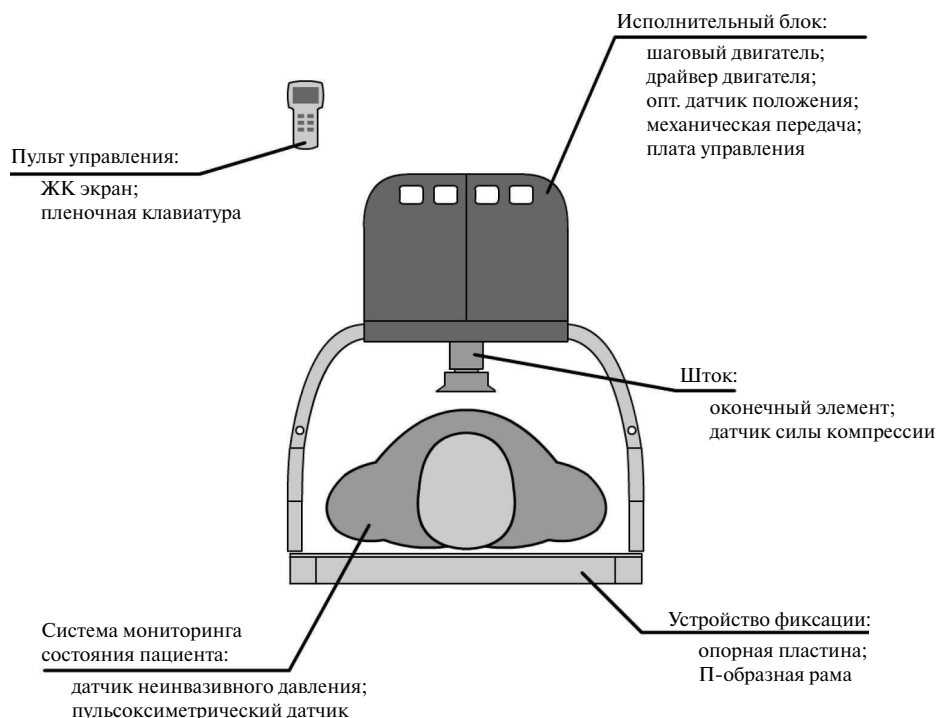


Рис. 1. Состав мехатронного кардиокомпрессора

устройство фиксации пациента внутри МНК, состоящее из опорной пластины и П-образной складной рамы, на которой установлен исполнительный блок устройства;

исполнительный блок МНК, имеющий в своем составе шаговый двигатель, контроллер управления двигателем, механизм преобразования вращательного движения двигателя в поступательное движение штока (шариико-винтовая передача и зубчатый ремень), оптический датчик положения хода штока и плату управления;

оконечный элемент штока, обеспечивающий не вызывающее травм нажатие штока на грудную клетку на стадии компрессии и сохраняющий силовое взаимодействие с грудной клеткой на стадии декомпрессии, с размещенным на нем тензометрическим датчиком силы;

систему мониторинга состояния пациента, включающую в себя датчик неинвазивного измерения давления и пульсоксиметрический датчик;

выносной пульт управления МНК, оснащенный жидкокристаллическим экраном и клавиатурным блоком.

Описанная конструкция мехатронного кардиокомпрессора, состав сенсорных систем и алгоритмическая логика его работы позволяют реализовать высокоэффективное многофункциональное устройство для проведения процедуры СЛР, превосходящее по своим характеристикам имеющиеся образцы КК.

Предложенная концепция кардиокомпрессора воплощена в виде экспериментального образца МНК, который был подвергнут испытаниям на гидродинамическом стенде (рис. 2), имитирующем жесткость ребер грудной клетки, работу левого желудочка сердца и системы кровообращения пациента, с целью определения характеристик, обеспечиваемых конструкцией МНК.

Было установлено: МНК может создать минутный расход крови до 30 % от минутного расхода здорового взрослого человека в состоянии покоя организма, что соответствует рекомендациям по проведению сердечно-легочной реанимации (рис. 3)

Стоит заметить, что высокой перспективностью обладает возможность наделяния МНК такими свойствами, как портативность. Использование МНК в полевых условиях (например,

во время техногенных и природных катастроф, террористических актов), при перевозке пациентов в машинах или вертолетах скорой помощи позволит существенно повысить качество оказания первой помощи.

Для реализации этих свойств необходимо снизить массогабаритные показатели устройства (на данный момент вес экспериментального образца МНК — 18 кг) за счет более плотной компоновки элементов и использования материалов, обладающих сравнительно меньшим весом (алюминиевые сплавы, композитные пластики), предусмотреть возможность разборки или складывания элементов рамы устройства фиксации. Дополнительно следует заменить опорную пластину на более компактный разборный вариант и предусмотреть возможность быстрого крепления МНК к каркасу жестких медицинских носилок. Необходимо также добавить возможность питания МНК от аккумуляторных батарей или бортовой сети транспортного средства.

Кроме того, имеется возможность дальнейшего повышения адаптивности МНК к индивидуальным анатомическим особенностям разных пациентов, отличающихся друг от друга не только размерами грудной клетки, но и анатомическими особенностями скелета.

Для этого в конструкцию МНК могут быть внесены следующие изменения: на опорной пластине в зоне, на которую опирается плечелопаточная область спины пациента в положении лежа, размещается дополнительный поддерживающий элемент, а в конструкцию корпуса КК в зонах сопряжения опорной пластины и П-образной рамы вводятся элементы, позволяющие наклонить приводной модуль так, чтобы направление хода штока совпадало с направлением смещения опорной зоны грудины.

При этом дополнительная адаптация устройства к разным пациентам обеспечивается за счет возможности смещения и фиксации поддерживающего элемента на опорной пластине вдоль позвоночника, осуществления регулировки высоты поддерживающего элемента, изменения наклона непосредственно соприкасающейся со спиной пациента контактной площадки. Предусматривается также возможность изменения наклона приводного модуля в вертикальной плоскости для совмещения направления хода штока и смещения грудины в соответствии с анатомическими особенностями деформации грудной

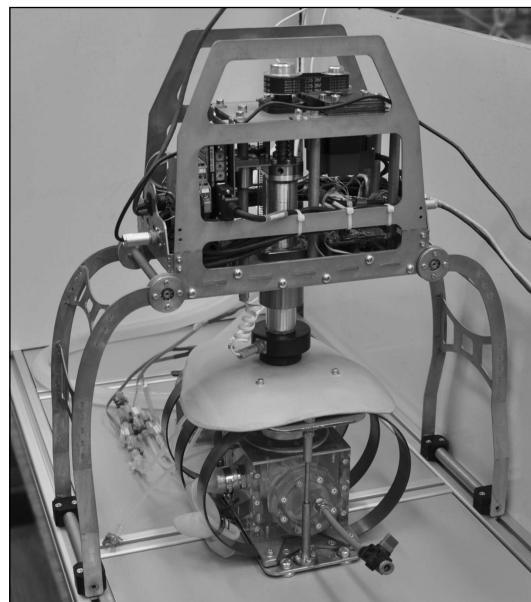


Рис. 2. Экспериментальный образец мехатронного кардиокомпрессора на испытательном стенде

клетки пациента под действием силы сжатия при выполнении непрямого массажа сердца.

Q , мл/мин

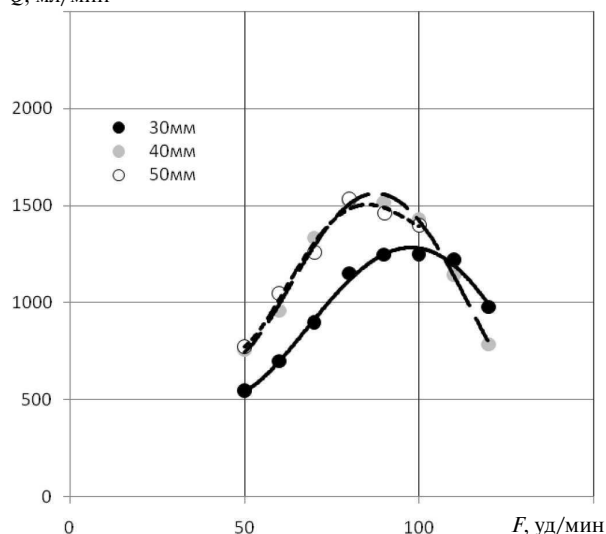


Рис. 3. Зависимость минутного расхода крови от частоты компрессии в случае работе МНК при глубине компрессии 30–50 мм и среднем артериальном давлении 80 мм рт. ст.

Статья подготовлена в ходе работ по государственному контракту от 25 февраля 2011 г. № 16.512.11.2122 с Минобрнауки России на выполнение НИР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kouwenhoven, W.B.** Closed-chest cardiac massage [Текст] / W.B. Kouwenhoven, J.R. Jude, G.G. Knickerbocker // J. Am Med Assoc.— 1960. Vol. 173.— P. 1064–1067.

2. **Plaisance, P.** A comparison of standard cardiopulmonary resuscitation and active compression/decompression resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest [Текст] / P. Plaisance, K.G. Lurie, E. Vicaut [et al.] // N. Engl. J. Med.— 1999. Vol. 341.— P. 569–575.

3. **Hightower, D.** Decay in quality of closed-chest compressions over time [Текст] / D. Hightower, S.H. Thomas, C.K. Stone [et al.] // Ann Emerg Med.— 1995. Vol. 26. P. 300–303.

4. **Cooper, J.A.** Cardiopulmonary Resuscitation. History, Current Practice and Future Direction [Текст] / J.A. Cooper, J.D. Cooper, J.M. Cooper // Contemporary Reviews in Cardiovascular Medicine. Circulation.— 2006. Vol. 114.— P. 2839–2849.