

© Коллектив авторов, 2015
УДК 616-036.882-08:615.816

С. Ф. Багненко¹, А. В. Лопота², О. Н. Резник¹, М. Ю. Шиганов¹, Н. А. Грязнов²,
К. Ю. Сенчик², В. В. Харламов², А. С. Ширин²

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ АППАРАТНЫХ МЕХАТРОННЫХ СРЕДСТВ НАРУЖНОЙ КОМПРЕССИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕРДЕЧНО-ЛЁГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

¹ ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ректор — академик С. Ф. Багненко); ² ГНЦ России «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (дир. — канд. эконом. наук А. В. Лопота), Санкт-Петербург

Ключевые слова: сердечно-легочная реанимация, массаж сердца, кардиокompректор, мехатронный, адаптивный, анатомический

Внезапная сердечная смерть составляет 15–20% всех ненасильственных случаев смерти среди жителей развитых стран. Пострадать может даже абсолютно здоровый человек без признаков заболеваний сердечно-сосудистой системы. Исчерпывающего ответа на вопрос о причинах данного явления до сих пор не существует. Около 75% случаев внезапной остановки сердца происходят дома, на работе, в местах отдыха и только 25% — в лечебных учреждениях. Без оказания первой помощи около 91% пострадавших от внезапной остановки сердца умирают прежде, чем поступают в больницу [10].

Сердечно-легочная реанимация (СЛР) — это медицинская процедура, выполняемая пациентам для поддержания функций кровообращения и дыхания на определенном уровне, когда у пациентов функции кровообращения и дыхания ограничены или вообще отсутствуют. Обычно СЛР включает в себя компрессию грудной клетки пациента с определенной частотой и проведение искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Для качественного выполнения СЛР компрессионные сжатия должны выполняться [2]: с надлежащей частотой и глубиной вдавливания, с полным расправлением грудной клетки после каждого сжатия, с минимальными интервалами

между сжатиями, с отсутствием избыточной вентиляции легких.

Выдержать необходимые параметры непрямого массажа сердца (НМС) без применения средств контроля сложно даже опытному медицинскому работнику. По статистике, после проведения СЛР выживают лишь 5% пострадавших [22]. Это связано с неэффективностью ручного выполнения НМС, так как не удается значительно повысить артериальное давление пациента (до 90 мм рт. ст. и выше). Поэтому актуальным является введение в практику проведения СЛР технических средств, обеспечивающих контроль производимых действий НМС, позволяющих корректировать компрессию в режиме реального времени.

Официальным источником по обучению и проведению СЛР в России являются рекомендации Европейского Совета по реанимации (ERC), которые согласованы с Министерством здравоохранения и Национальным советом по реанимации (Россия). Последние рекомендации ERC по проведению СЛР были приняты и опубликованы в 2010 г. [1].

Важнейшей задачей СЛР является восстановление собственного нормального ритма сердца, что осуществляется с применением наружных дефибрилляторов [6, 11, 13]. Без сомнения, будущее развитие аппаратов для наружной компрессии грудной клетки связано с их интеграцией с дефибрилляторами на основе адаптивных алгоритмов взаимодействия. В качестве примера можно указать эволюцию технологии BLS+AED (базовая СЛР+автоматический

Сведения об авторах:

Багненко Сергей Фёдорович (e-mail: rector@1spbgnu.ru), Резник Олег Николаевич (e-mail: onreznik@gmail.com),

Шиганов Михаил Юрьевич (e-mail: orlanmaa@rambler.ru), ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский медицинский университет им. акад. И. П. Павлова», 197022, Санкт-Петербург, ул. Л. Толстого, 6–8;

Лопота Александр Витальевич (e-mail: a.lopota@rtc.ru), Грязнов Николай Анатольевич (e-mail: gna@rtc.ru),

Сенчик Константин Юрьевич (e-mail: senkoy@inbox.ru), Харламов Вячеслав Валентинович (e-mail: v.harlamov@rtc.ru),

Ширин Александр Сергеевич (e-mail: a.shirin@rtc.ru), Федеральное государственное автономное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики», 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21

наружный дефибрилятор). Стратегическая линия новых практических рекомендаций при данном протоколе — обеспечение максимально ранней электрической дефибрилляции [11], которое может быть достигнуто за счет широкого распространения общественно доступных автоматических наружных дефибрилляторов [3, 16].

Таким образом, можно констатировать, что безаппаратные методы СЛР в настоящее время являются хорошо разработанными и рутинно применяемыми в практике оказания экстренной помощи больным и пострадавшим, взрослым и детям [27]. Универсальность и доступность этого вида медицинской помощи служит основанием к рекомендациям повсеместного его применения, обучению протоколам проведения не только медиков, но и всего населения [27]. Тем не менее, безаппаратная СЛР имеет один существенный недостаток, значительно снижающий, по мнению многих авторов [9, 11, 13], результаты ее применения, особенно на догоспитальном этапе. Таким недостатком является невозможность осуществлять эффективную компрессию грудной клетки человека, проводящим массаж сердца, ввиду его быстрого утомления (эффективная работа по компрессии грудной клетки 3 мин) [7, 8, 14, 15]. Быстрая смена персонала в большинстве случаев неосуществима. Ограничением применимости ручной компрессии грудной клетки являются проблемы, возникающие при транспортировке больного или пострадавшего.

В связи с вышесказанным, создание и освоение в производстве отечественной медицинской промышленностью механических средств эффективной компрессии грудной клетки в настоящее время является важнейшей технической и гуманитарной задачей.

В настоящее время в мировой практике для оптимизации процесса СЛР разработаны и используются механические кардиокомпрессоры — устройства, заменяющие человека при проведении ручных манипуляций. В то же время, существует потребность в создании недорогого и эффективного кардиокомпрессора, обладающего способностью автоматического управления параметрами компрессии в зависимости от физиологических показателей пациента, так как существующие изделия не обладают подобными системами «очувствления» и, как следствие, недостаточно эффективны [5, 17].

На сегодняшний день на мировом рынке автоматические устройства для осуществления компрессий грудной клетки пациента при проведении СЛР представлены крайне скудно. Фактически, существуют два таких устройства: «ZOLL AutoPulse» («ZOLL Medical Corporation», США) и «LUCAS» («Jolife AB / Physio-Control Lund», Швеция).

«ZOLL AutoPulse» — система для проведения механического массажа сердца (рис. 1), ритмичная, щадящая компрессия грудной клетки обеспечивается двумя большими с мягкой обивкой накладками, которые закрепляются на одном компрессионном ремне с правой и левой стороны. Компрессионный ремень крепится на штифте, который соединяется с приводным валом, расположенным на нижней поверхности платформы. Благодаря перекачиванию ремня по этому валу (с частотой 80 в 1 мин) происходит компрессия грудной клетки. Накладки фиксируются на теле пациента при помощи застежек-липучек.

Комплект ремней для компрессии грудной клетки называется «LifeBand». Применение этого устройства обеспечивает постоянные компрессии, улучшающие кровоснабжение сердца и головного мозга при остановке сердца.

Преимуществами системы «ZOLL AutoPulse» являются [19, 20, 26, 29]: 1) непрерывные компрессии на протяжении продолжительного времени или компрессии в режиме 30:2 при проведении СЛР; 2) в любых условиях обеспечивается стабильно высокое качество компрессий и исключаются ошибки пользователя; 3) возможность продолжать компрессии во время других реанимационных мероприятий или транспортировки; 4) не требуется прерывать СЛР для осуществления дефибрилляции; 5) не требуется прерывать СЛР при катетеризации левых отделов сердца; 6) щадящая продолжительная СЛР для пациентов с сильной гипотермией до восстановления нормальной температуры тела; 7) обеспечена щадящая продолжительная СЛР до достижения положительных результатов тромболизиса (введение специальных препаратов для рассасывания тромба в коронарной артерии); 8) обеспечена щадящая продолжительная СЛР для пациентов с интоксикацией до достижения детоксикации; 9) по сравнению с ручной СЛР создается лучший приток крови к головному мозгу и к сердцу.

Коронарное перфузионное давление при использовании «ZOLL AutoPulse» улучшается на 33% благодаря технологии оптимального распределения давления [20]. Комплект ремней гарантирует щадящие, ритмичные и высокоэффективные компрессии, распределяя давление по грудной клетке пациента. Кроме того, во время пауз в момент декомпрессии максимально увеличивается коронарная перфузия [12].

В то же время, система «ZOLL AutoPulse» не лишена ряда недостатков. В первую очередь следует отметить недостаточную высокую частоту компрессий грудной клетки — 80 в 1 мин, что не соответствует современным требованиям к СЛР [1]. Кроме того, комплект «LifeBand» закрывает собой практически всю переднюю поверхность грудной клетки у взрослого человека, что существенно затрудняет применение наружного дефибриллятора, при том, что проведение дефибрилляции с минимальной задержкой времени является одним из базисных требований современной СЛР. Также не были изучены возможность, эффективность и безопасность применения системы «ZOLL AutoPulse» в операционных [21].

Система компрессии грудной клетки «LUCAS» (рис. 2) предназначена для обеспечения непрерывных компрессий грудной клетки с постоянными частотой и глубиной продавливания грудины.

Кардиокомпрессоры «LUCAS» производят в двух вариантах: пневматический «LUCAS» и электрический «LUCAS-2». Первой была разработана система «LUCAS», которая работает от переносного пневмокомпрессора. Такой пневмокомпрессор обладает большой массой и является неудобным для транспортирования. Более современный кардиокомпрессор «LUCAS-2» работает от встроенной модульной аккумуляторной батареи, которую можно вынимать из кардиокомпрессора и заряжать отдельно от него. В ряде исследований [4, 23] система «LUCAS» показала эффективность и безопасность, сравнимые с ручным непрямым массажем сердца. Конструктивные особенности системы «LUCAS» не препятствуют проведению мероприятий по поддержанию жизни пациента при проведении СЛР: дефибрилляции и ИВЛ. Система «LUCAS» проницаема для рентгеновских лучей (кроме входящих в систему кожуха и штока). Следовательно, система «LUCAS» применима в операционных, если существует необходимость в проведении СЛР во время процедур.

Провести высококачественные рандомизированные исследования у пациентов с внезапной остановкой серд-

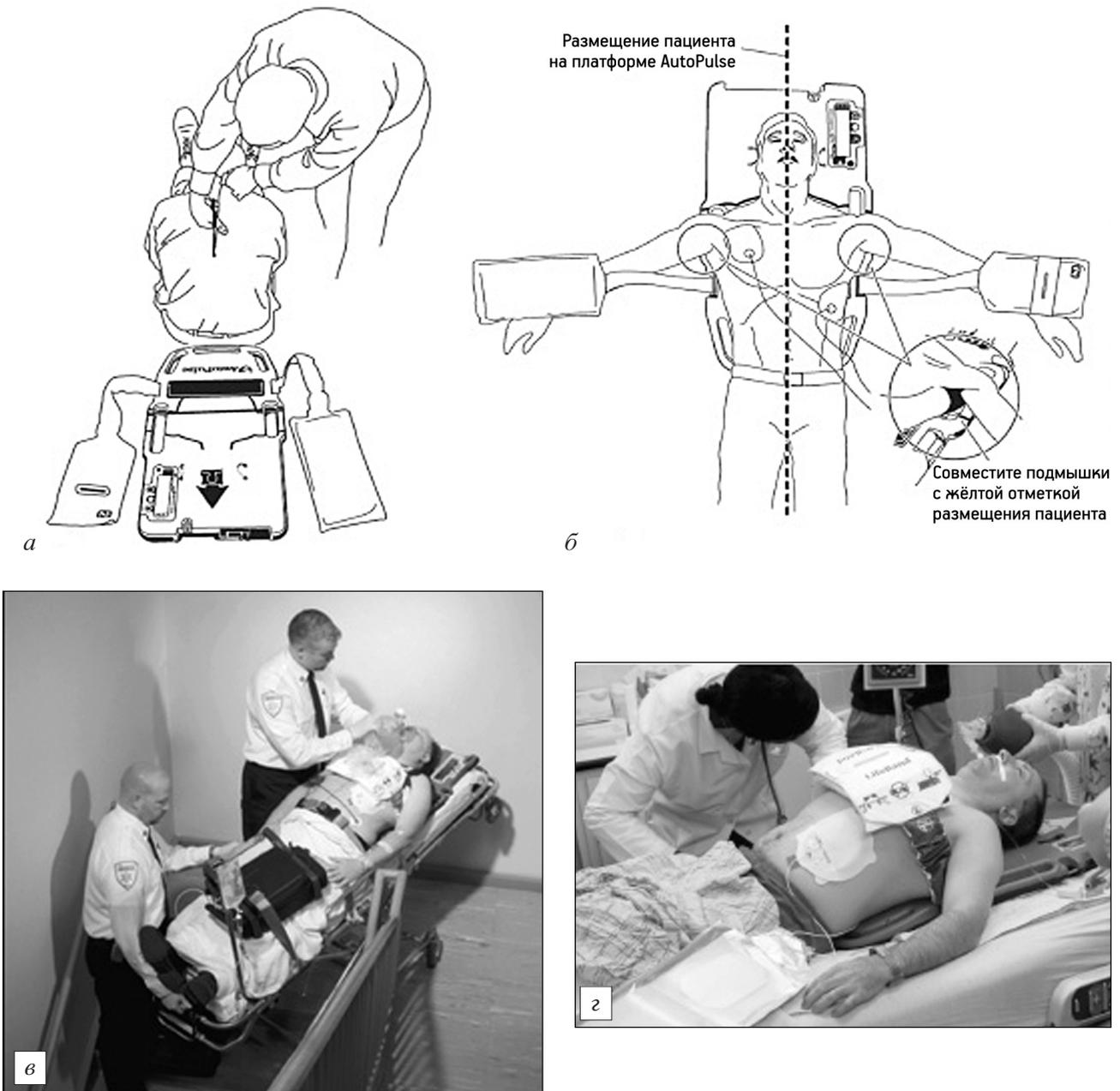


Рис. 1. Реанимационная система «AutoPulse».

а — укладка пациента на платформу; б — правильное размещение пациента на платформе и закрепление ремней; в — перенос пациента; г — возможность проведения дефибрилляции без прерывания компрессии грудной клетки

ца довольно сложно, так как осуществление подобных исследований ограничено рядом соображений как методологического, так и этического характера. Тем не менее, существуют ряд исследований, подтверждающих эффективность и безопасность механического массажа сердца при помощи системы «LUCAS» по сравнению с ручным непрямой массажем сердца. В двучетном рандомизированном пилотном исследовании СЛР с помощью системы «LUCAS» по сравнению с ручной СЛР у пациентов с внебольничной остановкой сердца, проведенном S.Rubertsson и соавт. [23], не было выявлено значимых различий в частоте восстановления самостоятельного кровообращения — у 30 (43,5%) и у 22 (31,9%) пациентов соответственно ($p=0,22$), в числе

пациентов, госпитализированных живыми — 18 (26,1%) и 15 (21,7%), соответственно ($p=0,69$), а также в числе пациентов, выписанных из больницы живыми — 6 (8,7%) и 7 (10,1%) соответственно ($p>0,05$). Однако была отмечена тенденция к увеличению ранней выживаемости при использовании системы «LUCAS».

Y.Maule [18] проанализировал данные, полученные при проведении СЛР с помощью «LUCAS» ($n=123$) и ручной СЛР ($n=27$) 150 пациентам с внебольничной остановкой сердца. Частота восстановления спонтанного кровообращения при использовании «LUCAS» (57,7%) более чем в 2 раза превышала данный показатель в группе, где проводилась ручная СЛР (25,9%). В дополнение к этому устройство «LUCAS»

предоставляло возможность транспортировать пациента на фоне эффективной СЛР и сконцентрировать внимание реаниматоров на других проблемах, связанных со спасением жизни.

Система «LUCAS» позволяет продолжать процедуру, обеспечивая непрерывные компрессии грудной клетки, и, следовательно, кровообращение и поступление кислорода к жизненно важным органам. Кроме того, данная система позволяет поддерживать кровообращение при одновременном выполнении планового чрескожного коронарного вмешательства и катетеризации. Медицинский персонал может выполнять процедуру катетеризации без ущерба для выполнения компрессий, что позволяет снизить стресс и облегчить принятие решений. Аппарат «LUCAS» прозрачен для рентгеновского излучения (за исключением кожуха и поршня), что позволяет выполнять рентгеноскопию в большинстве проекций (левой передней косой, краниальной/каудальной косой, правой передней косой, краниальной/каудальной косой, прямой каудальной, прямой латеральной и прямой краниальной) без удаления аппарата. Таким образом, устраняется необходимость проведения СЛР медицинским персоналом в области действия рентгеновских лучей [13].

В ряде публикаций [10, 24, 28] подчеркивается безопасность применения системы «LUCAS» для непрямого массажа сердца при проведении СЛР. В исследовании, выполненном D. Smekal и соавт. [25], получены результаты, которые позволили сделать вывод, что использование системы «LUCAS» сопряжено с таким же числом и видом повреждений, что и применение ручной СЛР (проспективное контролируемое исследование у 85 пациентов, не выживших после остановки сердца). У большинства пациентов развилась остановка сердца на догоспитальном этапе. Пациенты были рандомизированы в группы СЛР с помощью «LUCAS» (n=38) — 1-я группа и ручной СЛР (n=47) — 2-я группа. Вскрытие не выявило повреждений у 42,1% пациентов в 1-й группе и у 55,3% пациентов во 2-й группе (p=0,28). Частота и виды повреждений вследствие СЛР в различных группах значительно не различались, и ни одно из повреждений вследствие СЛР не было расценено как опасное для жизни. Множественные переломы рёбер (более трёх) были выявлены у 17 (44,7%) из 38 пациентов в 1-й группе «LUCAS» и у 13 (27,7%) из 47 пациентов во 2-й группе (p=0,12). Переломы грудины определялись у 29% пациентов в 1-й группе и у 21,3% пациентов — 2-й группы (p=0,46).

Таким образом, система «LUCAS» имеет ряд преимуществ по сравнению с ручным массажем сердца [24]: уменьшается утомляемость проводящего реанимацию; возможность задействовать меньшее число медицинских работников при проведении СЛР (во время работы «LUCAS» медицинский персонал занимается другими аспектами СЛР — установка дефибриллятора, выполнение ИВЛ); при проведении исследований в операционных (одновременно с СЛР) персонал ограждается от рентгеновского излучения.

К недостаткам можно отнести отсутствие у системы «LUCAS» силомоментного «очувствления». Это важный фактор, так как необходимо не допускать перелома ребер при проведении СЛР. Менее очевидным, но значительным недостатком аппарата «LUCAS» является жесткое требование к высокой точности позиционирования поршня на груди. Небольшое смещение поршня относительно правильного его положения на груди вызывает снижение качества СЛР и может привести к травме грудной клетки. Позиционировать



Рис. 2. Кардиокомпрессор «LUCAS» в рабочем положении

поршень необходимо по центральной оси грудины, не допуская смещения вправо и влево [25].

Таким образом, специалист, осуществляющий СЛР, должен обладать навыками по оценке адекватности как клинического статуса больного или пострадавшего, так и своевременности и адекватности выполняемых мероприятий по СЛР, и при этом выполнять очень тяжелую физическую работу. В условиях большого числа больных или пострадавших эти действия становятся затруднительными, а иногда и невыполнимыми. Решение данной техно-гуманитарной проблемы лежит в плоскости создания принципиально новой, комплексной интегрированной аппаратуры для СЛР на основе современных достижений кибернетики и мехатроники. Разработка отечественного аппарата для наружной компрессии сердца представляется чрезвычайно важной.

Статья подготовлена при поддержке Министерства образования и науки в ходе выполнения работ по Соглашению от 17.06.2014 г. № 14.575.21.0014 о предоставлении субсидии в целях реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мороз В.В., Бобринская И.Г., Васильев В.Ю. Сердечно-легочная и церебральная реанимация. М.: НИИ ОР РАМН, ГОУ ВПО МГМСУ, 2011. С. 14–15.
2. Нестеренко И.В., Селищев С.В., Тельшев Д.В. Автоматический мониторинг параметров компрессии грудной клетки человека при сердечно-легочной реанимации // Мед. техника. 2012. № 4. С. 1–3.
3. Abella B.S., Alvarado J.P., Myklebust H. et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest // JAMA 2005. Vol. 293. P. 305–310.
4. Axelsson C., Nestin J., Svensson L. et al. Clinical consequences of the introduction of mechanical chest compression in the EMS system for treatment of out-of-hospital cardiac arrest — a pilot study // Resuscitation. 2006. Vol. 71. P. 47–55.
5. Chang M.W., Coffeen P., Lurie K.G. et al. Active compression-decompression CPR improves vital organ perfusion in a dog model of ventricular fibrillation // Chest. 1994. Vol. 106. P. 1250–1259.
6. Cobb L.A., Fahrenbuch C.E., Walsh T.R. et al. Influence of cardiopulmonary resuscitation prior to defibrillation in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation // J. Am. Med. Assoc. 1999. Vol. 281. P. 1182–1188.

7. Cohen T.J., Goldner B., Maccaro P. et al. A comparison of active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation with standard cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrests occurring in the hospital // *N. Engl. J. Med.* 1993. Vol. 329. P. 1918–1921.
8. Cohen T.J., Tucker K.J., Lurie K.G. et al. Active compression-decompression. A new method of cardiopulmonary resuscitation. Cardiopulmonary Resuscitation Working Group // *JAMA.* 1992. Vol. 267. P. 2916–2923.
9. Cooper J.A., Cooper J.D., Cooper J.M. Cardiopulmonary resuscitation. History, current practice and future direction. Contemporary reviews in cardiovascular medicine // *Circulation.* 2006. Vol. 114. P. 2839–2849.
10. Field J.M., Hazinski M.F., Sayre M.R. et al. American Heart Association Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science. Part 1: Executive Summary // *Circulation.* 2010. Vol. 122. P. 640–656.
11. Frascone R.J., Bitz D., Lurie K. Combination of active compression decompression cardiopulmonary resuscitation and the inspiratory impedance threshold device: state of the art // *Curr. Opin. Crit. Care.* 2004. Vol. 10. P. 193–201.
12. Halperin H.R., Paradis N., Ornato J.P. et al. Cardiopulmonary resuscitation with a novel chest compression device in a porcine model of cardiac arrest: improved hemodynamics and mechanisms // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004. Vol. 44. P. 2214–2220.
13. Hightower D., Thomas S.H., Stone C.K. et al. Comparing CPR during ambulance transport. Manual vs. mechanical methods // *JEMS.* 1991. Vol. 16. P. 63–68.
14. Kouwenhoven W.B., Jude J.R., Knickerbocker G.G. Closed-chest cardiac massage // *J. Am. Med. Assoc.* 1960. Vol. 173. P. 1064–1067.
15. Levine R.L., Wayne M.A., Miller C.C. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest // *N. Engl. J. Med.* 1997. Vol. 337. P. 301–306.
16. Lurie K.G., Shultz J.J., Callahan M.L. et al. Evaluation of active compression-decompression CPR in victims of out-of-hospital cardiac arrest // *JAMA.* 1994. Vol. 271. P. 1405–1411.
17. Maier G.W., Tyson G.S., Olsen C.O. et al. The physiology of external cardiac massage: high impulse cardiopulmonary resuscitation // *Circulation.* 1984. Vol. 70. P. 86–101.
18. Maule Y. L'assistance cardiaque externe: nouvelle approche dans la RCP // *Urgences Accueil.* 2007. Vol. 29. P. 4–7.
19. Ong M.E., Ornato J.P., Edwards D.P. et al. Use of an automated, load-distributing band chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation // *JAMA.* 2006. Vol. 295. P. 2629–2637.
20. Ong M.E., Sultana P., Fook-Chong S. et al. Comparison of load-distributing band and standard cardiopulmonary resuscitation in patients presenting with cardiac arrest to the emergency department // *Prehospital Emergency Care.* 2011. Vol. 15. P. 106–112.
21. Paradis N., Young G., Lemeshow S. et al. Inhomogeneity and temporal effects in AutoPulse Assisted Prehospital International Resuscitation — an exception from consent trial terminated early // *Am. J. Emerg. Med.* 2010. Vol. 28. P. 391–398.
22. Plaisance P., Lurie K.G., Vicaut E. et al. Evaluation of an impedance threshold device in patients receiving active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation for out of hospital cardiac arrest // *Resuscitation.* 2004. Vol. 61. P. 265–271.
23. Rubertsson S., Huzevka T., Smekal D., Johansson J. Early survival after cardiac arrest in a pilot study using the LUCAS device compared to manual chest compressions during CPR // *Circulation.* 2007. Vol. 116. P. 386.
24. Rubertsson S., Lindgren E., Smekal D. et al. Mechanical chest compressions and simultaneous defibrillation vs conventional cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: the LINC randomized trial // *JAMA.* 2014. Vol. 311, № 1. P. 53–61
25. Smekal D., Johansson J., Huzevka T., Rubertsson S. No difference in autopsy detected injuries in cardiac arrest patients treated with manual chest compressions compared with mechanical compressions with the LUCAS device — a pilot study // *Resuscitation.* 2009. Vol. 80, № 10. P. 1104–1107
26. Wagner H., Terkelsen C.J., Friberg H. et al. Cardiac arrest in the catheterization laboratory: a 5-year experience of using mechanical chest compressions to facilitate PCI during prolonged resuscitation efforts // *Resuscitation.* 2010. Vol. 81. P. 383–387.
27. Wigginton J.G., Miller A.H., Fernando L. et al. Mechanical devices for cardiopulmonary resuscitation // *Curr. Opin. Crit. Care.* 2005. Vol. 11. P. 219–223.
28. Wik L. Rediscovering the importance of chest compressions to improve the outcome from cardiac arrest // *Resuscitation.* 2003. Vol. 58. P. 267–271.
29. Wirth S., Korner M., Treitl M. et al. Computed tomography during cardiopulmonary resuscitation using automated chest compression devices — an initial study // *Eur. Radiol.* 2009. Vol. 19. P. 1857–1866.

Поступила в редакцию 28.01.2015 г.