

在室颤猪模型中测试新开发小型机械胸外按压机的心肺复苏效果

目的：当心脏骤停持续的时间加长，成功复苏最重要的干预手段是通过有效的胸外按压以实现重要器官的再灌注。我们研究了一种新开发的小型胸部按压机心肺复苏的结果。

设计：前瞻性，随机的，对照实验研究。

设置：大学附属动物研究实验室。

主题：30 只国内雄性家猪。

干预措施：30 只体重在 35 ± 2 公斤的国内雄猪诱发室颤。心室颤动 7 分钟未经处理后才开始心肺复苏。动物随机接受小型化的胸部按压机，LUCAS 或萨勃设备的机械胸外按压。心肺复苏按压 5 分钟后，给予 150-J 除颤。如果复苏未成功，心肺复苏按压持续 2 分钟后再予以除颤。整个过程一直持续到复苏成功或心肺复苏术实施了整个 15 分钟。复苏后观察动物 72 小时。

测量和主要结果：与 LUCAS 和萨勃设备相比，小型化胸部按压机通过显著较低的按压深度和更少的肋骨骨折，产生了明显更高的冠状动脉灌注压，呼气末二氧化碳分压，颈动脉血流和胸内负压。与萨勃设备相比，小型化胸部按压机和 LUCAS 设备复苏成功都仅需较低数值的除颤。与萨勃设备相比，小型化胸部按压机再发性心室颤动发生率更低，预后心肌和神经系统功能恢复更好。

结论：小型化胸部按压机提高了血流动力学的有效性以及显著低损伤的成功心肺复苏，同 LUCAS 设备一样有效。它将会成为心肺复苏术的新选择。

关键字：心肺复苏、心脏骤停、血流动力学、小型胸部按压机、生存

当心脏骤停时间在 4-5 分钟左右，高品质的胸外按压以维持最起码的冠状动脉和脑灌注是复苏成功最重要的因素。机械胸部按压机（MCC）提供高品质的胸外按压，实现了恒定的按压频率，保证了按压深度，最大限度减少了按压中断，在心肺复苏术（CPR）（1-4）期间，

它使得冠状动脉介入治疗和其他疗法更加有用。然而，目前市面上大多数机械胸部按压设备都是庞大、笨重的，在心脏骤停和复苏（2，3，5）这样紧急的情况下表现出设置麻烦、操作复杂等问题。

在本研究中，我们比较了新开发的小型胸部按压机和市面上的机械按压设备在猪模型上血流动力学效果和心肺复苏结果。我们的假设是，如果 MCC 设备在形成心肌和脑血流效果同其他机械设备一样有效，相比与其他心肺复苏机械设备，它将产生可观的效果。

材料和方法

遵守“实验室动物爱护原则”和“实验室动物使用和保护指南”，所有的动物都享有人文关怀。“实验室动物爱护原则”是“国家医学研究协会”所制定的。而“实验室动物使用和保护指南”是实验室动物资源研究所编写并由美国国立卫生研究院出版（第 8 版，华盛顿 DC，美国国家学术出版社，2011）。该草案已被急救医学威尔学院委员会的动物爱护和使用委员会机构认可。

MCC 设备

MCC 设备是新开发的自动化和便携性胸部按压机，它重量轻，易于使用，既可使用压缩氧气也可使用空气为动力源。MCC 主要组成部分有如下几种：1) 按压主机，包括一个气动控制器，它能提供周期性压缩气体到活塞上，该活塞通过按压垫作用在病人胸部（图 1A）。2) 绑带组件，它放置于病人胸部下方及周围，以确保按压主机作用与患者胸部，防止胸腔在按压过程中的横向扩张（图 1B）。3) 头枕固定组件，它有两个作用，提供头部休息和确保绑带组件在持续按压过程中位置的稳定性，特别是在运输过程中，防止 MCC 主机位置移动（图 1C）。所有组成部件可见图 1D 中。使用该设备，活塞定位在胸腔第五肋骨空隙的水平位置，通过绑带组件缠绕在胸腔四周，使用尼龙搭扣将其固定

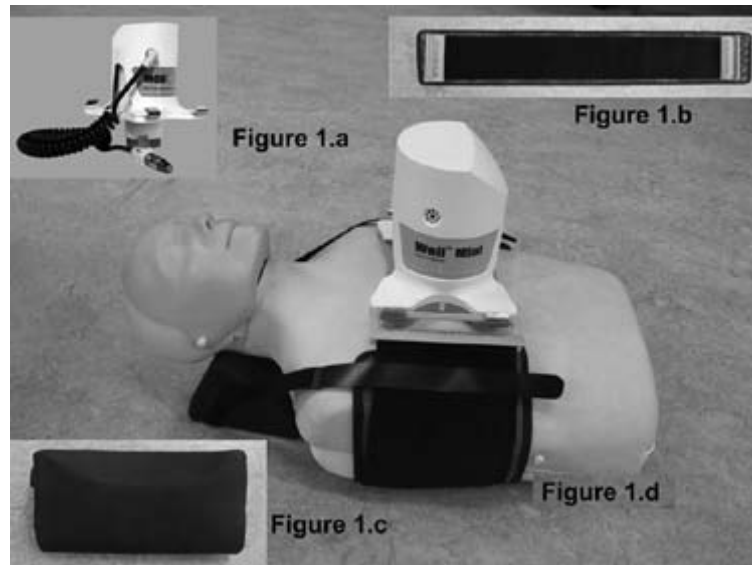


图 1 小型化胸部按压机组成部件(a) 按压主机(b)绑带组件 (c)头枕固定组件 (d) 小型化胸部按压机在假人上使用

动物准备

做试验前，三十只体重为 35 ± 2 千克国内雄猪一整夜除了喝水没吃任何食物。通过肌肉注射氯胺酮（20毫克/千克）和耳静脉注射钠戊巴比妥（30毫克/千克）开始麻醉。其他剂量的钠戊巴比妥（8毫克/千克）注射时动物表现出应力迹象（如心率或平均动脉压力增加）或者在手术准备中运动。将带球囊的气管插管向前插入动物气管，用一个体积受控，潮气量为15毫升/公斤，最大流量为40升/分且供氧浓度为0.21的呼吸设备（型号为MA-1, Puritan-Bennett, Carlsbad, CA)为这些动物提供机械通气。用一个红外二氧化碳监测仪（型号NPB-70, Nellcor Puritan Bennett Inc., Pleasanton, CA)监测呼气末二氧化碳分压（EtPCO₂）。在心脏骤停前调节呼吸频率使得呼气末二氧化碳分压保持在35和40毫米汞柱之间。三个电极片贴在剃过毛的猪皮肤左右近端和上下肢，以记录心电图。一根充满液体的8F血管造影导管（型号 6523, USCI, C.R. Bard, Salt Lake City, UT)从右侧股动脉进入胸主动脉以测量主动脉压。7-Fr pentalumen的一个温度稀释法导管(Abbott Critical Care, Salt Lake City, UT)的尖端先从右股静脉注入右心房以测量右心房压力和血液温度。为了引起室颤,一个5-Fr起搏导管(EP Technologies, Inc., Mountain View, CA)先从右锁骨下静脉进入到右心室。用放置在右侧颈总动脉周围的流量探头(超声血流量计, T420 Transonic Systems, Ithaca, NY) 测量颈动脉血流(CBF)。5F导管传感器头(型号 SPC-450S, Millar Instruments, Houston, TX)从门牙进入食道，其距离大约为35cm以测量胸内压。用形态学特征压力和/或荧光透视

法确定所有导管的位置，并由线性电位计测量按压深度。绑带组件产生的两边胸壁按压力通过放置在绑带组件和腋中线水平线第五空隙之间的充水球囊导管测量。按压主机活塞被放置在第五肋骨空隙的中间水平位置，并且这个位置的确定优先于随意位置的确定。在整个动物准备过程中使用毛毯(Blanket ROL, Cincinnati Sub-Zero Products, Cincinnati, OH)将公猪体温维持在 $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ 。

实验步骤

在诱发心室颤动之前，使用封存动物实验号的方法随机抽取实验动物，使用MCC(复苏国际, Scottsdale, AZ)，LUCAS(型号 100250-00, Jolife, Lund, Sweden)和萨勃(型号 1004, Michigan Instruments, Grand Rapids, MI)任一种按压。用1mA的交流电流导致室颤并传到右心室心内膜。室颤出现后停止向动物进行机械通气。7分钟室颤后，随机选取按压设备进行机械胸外按压。所有胸部按压均设置成能提供一样的按压—弛豫时间，即50%的占空比。所有设备的按压频率均为100次/分钟。调节MCC和萨勃初始按压深度，以获得一分钟大于12mmHg冠状动脉灌注压。LUCAS按压深度根据设备设计要求设定在5cm。同时开始前胸按压，给实验动物进行机械通气，其潮气量为15毫升/公斤，供氧量浓度为1.0，并且其呼吸频率为10次/分钟。2.5分钟胸外按压后注射20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 肾上腺素。心肺复苏术进行5分钟后，试着用一个双相150J进行电击心脏除颤，电击传送到常规的右锁骨下电极和心尖处Heart-XL除颤电极之间。(飞利浦医疗系统, Andover, MA)。如果自主循环没有恢复，在随后的心脏除颤之前，在使用相同按压设备和供气设备的情况下，恢复胸部按压并使其持续2分钟。持续相同心肺复苏过程直到成功复苏或已达到最长复苏进行时间15分钟。如果自主循环恢复(ROSC)中，平均动脉压超过50mmHg，且持续间隔时间超过5分钟，则判定该动物复苏成功。当自主循环恢复后发生，则再给予150J双向波电击。复苏后，30分钟内供氧浓度从1.0降低到0.5，1小时后降低到0.21。复苏两小时后，拔出动物体内的气管插管，取出动物身上的所有导管，并将他们送回笼子，进行70小时的观察。观察期间，如发现公猪们有任何疼痛迹象，则给予布托啡诺(0.1毫克/千克)肌肉注射。经过72小时观察后，在公猪体内注射氯胺酮(20mg/kg)，然后通过静脉注射(150 mg / kg)的戊巴比妥使其死亡。进行常规尸检以判断公猪胸骨，胸部或腹部内脏是否有任何损伤。

测量

如前面所述，连续测试血流动力学数据，呼出末CO₂分压(ETCO₂)，颈动脉血流和心

电图，并将其记录在基于PC的数据采集系统上，该数据采集系统受到WinDaq硬件或软件支持。根据同步动脉舒张压和右心房压力的不同计算出冠状动脉灌注压（CPP）并将其实时显示。胸腔内压，按压深度和绑带按压力在心肺复苏期间实时监测。在诱发心室颤动前15分钟，复苏后1小时，使用斯达谱分析仪(pHOX plusL, Nova Biomedical, Waltham,MA)测量动脉血气，包括动脉血氧分压和乳酸浓度。射血分数通过超声心电图测量（型号 HD11XE，飞利浦医疗系统，Bothell, WA），自主循环恢复2小时后，运用二维超声心电图（改良的Simpson定律），在基准线或每隔1小时从正交顶端视角上计算左心室容积。72小时每间隔24小时使用我们组开发的神经机敏评分对神经功能恢复情况进行评估。在自主循环恢复后72小时记录存活时间。

数据分析

若连续测量的实验数据是正态分布用平均值±标准差表示，但非连续测量的实验数据是非正态分布则用中位数+从第一到第三位数的四分位数表示。正态分布数据使用柯尔莫哥罗夫-斯米尔诺夫检验。使用方差分析和雪费检验技术进行测量组间的比较。通过克鲁斯克尔和威尔科克森检验比较室颤前戊巴比妥剂量、肾上腺素管理、除颤次数、再发性室颤发生率、骨折数和持续抢救时间。p值小于0.05被视为有意义的。

结果

在三组数据（表1）中基线心率、平均动脉压、呼末二氧化碳分压、颈动脉血流、射血分数、动脉氧分压、室颤前戊巴比妥乳酸剂量和动物准备持续时间没有明显差异。

表1 基线特征

Table 1. Baseline characteristics

	Mechanical Chest Compressor	LUCAS	Thumper
Body weight, kg	34.9 ± 1.4	34.8 ± 1.7	34.6 ± 1.1
Heart rate, beats/min	120 ± 24	111 ± 30	117 ± 25
Mean aortic pressure, mm Hg	103 ± 13	107 ± 20	107 ± 14
End-tidal carbon dioxide, mm Hg (kPa)	38.5 ± 2.5 (5.1 ± 0.3)	39.3 ± 1.6 (5.2 ± 0.2)	39.1 ± 3.9 (5.2 ± 0.5)
Carotid blood flow, mL/min	215.3 ± 36.2	217.0 ± 64.5	224.4 ± 31.7
Ejection fraction, %	64.9 ± 3.8	63.9 ± 6.1	63.2 ± 5.0
Pao ₂ , mm Hg (kPa)	109 ± 17 (14.5 ± 2.3)	106 ± 10 (14.1 ± 1.3)	107 ± 18 (14.3 ± 2.4)
Arterial lactate, mmol/L	1.2 ± 0.5	1.4 ± 0.6	1.4 ± 0.6
Pentobarbital before ventricular fibrillation, mg	1035 (1020-1101)	1065 (990-1110)	1038 (1020-1156)
Interval of intubation to ventricular fibrillation, mins	122 ± 28	106 ± 20	121 ± 18

结果用平均值±标准差或中位数加四分位距表示。通过克鲁斯克尔-威尔科克森检验比较心室纤颤前注射戊巴比妥剂量 (P =0.8815)。

心肺复苏期间, MCC绑带机制在胸腔两边创造了显著的按压力 (31mm Hg/cm²)。正因为如此, MCC比较组中达到冠状动脉灌注压要求阈值的按压深度明显较浅 (表2)。

表2 心肺复苏结果

	Mechanical Chest Compressor	LUCAS	Thumper
Chest compression depth, cm	3.3 ± 0.5 ^{ab}	5.0 ± 0	5.6 ± 0.6
Epinephrine administration, mg	0.69 (0.69-0.71)	0.71 (0.68-0.73)	1.05 (0.70-2.12)
Numbers of defibrillation for ROSC	1.0 (1.0-1.0) ^a	1.0 (1.0-2.0) ^a	2.5 (1.0-6.0)
Duration of cardiopulmonary resuscitation, mins	5.4 ± 0.8 ^a	5.6 ± 1.0 ^a	9.9 ± 5.0
Prevalence of recurrent ventricular fibrillation	0 (0-1) ^a	0 (0-0) ^a	8 (0-16)
Pao ₂ 1 hr after ROSC, mm Hg (kPa)	83 ± 12 (11.1 ± 1.6)	87 ± 8 (11.6 ± 1.1)	80 ± 13 (10.7 ± 1.7)
Arterial lactate 1 hr after -ROSC, mmol/L	2.5 ± 0.7 ^{ab}	4.7 ± 2.3	4.0 ± 1.6
Ribs fracture, number	0 (0-0) ^{ab}	0 (0-1) ^a	1.5 (0-3)

ROSC, 自主循环恢复

ap<.05 VS萨勃组; bp<.05 VS LUCAS组

结果用平均值±标准差或中位数加四分位距表示。通过克鲁斯克尔-威尔科克森检验比较肾上腺素管理、自主循环恢复除颤次数、经常性室颤发病率、骨折数 (P 分别=0.109,

0.048, 0.021和0.003)

心肺复苏期间，MCC和LUCAS设备产生的冠状动脉灌注压，呼末二氧化碳分压，颈动脉血流和胸内正压明显比萨勃设备好(图2-5)。心肺复苏第三分钟开始，相比LUCAS设备，MCC设备产生更显著的冠状动脉灌注压,呼末二氧化碳分压, 和颈动脉血流(图 2-4)。有趣的是，与另两组数据相比，我们发现MCC实验组能够产生更加显著的胸内压（图5）。

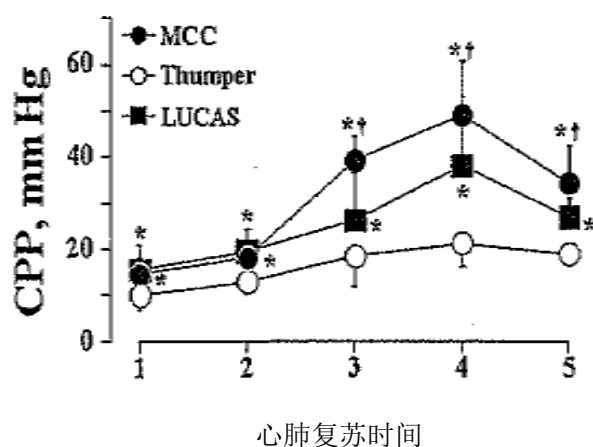


图2 在心肺复苏（CPR）期间的冠状动脉灌注压。P <0.05 VS 萨勃组；†P <0.05 VS LUCAS组。

CPP，冠状动脉灌注压； MCC，机械胸部按压机。

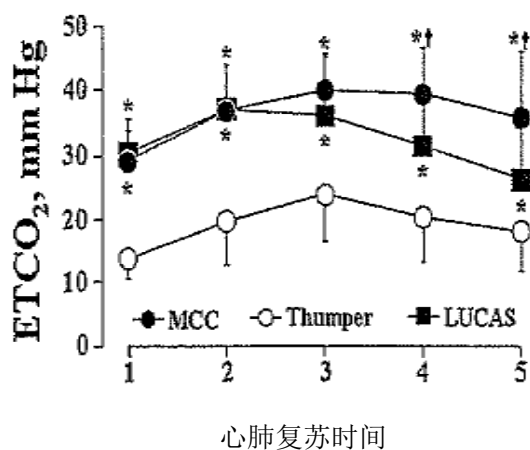


图3 在心肺复苏（CPR）期间的呼末二氧化碳分压。P <0.05 VS 萨勃组；†P <0.05 VS LUCAS组。ERCO2，呼末二氧化碳分压； MCC，机械胸部按压机。

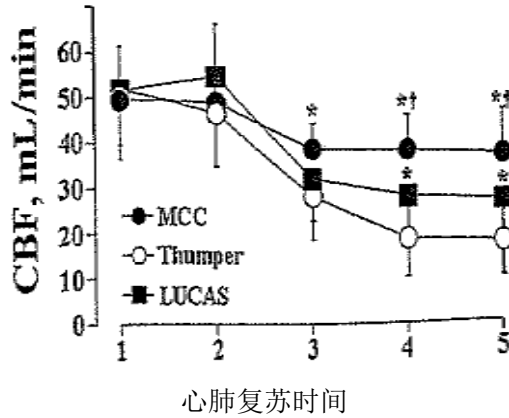


图4 在心肺复苏（CPR）期间的颈动脉血流。P < 0.05 VS 萨勃组；†P < 0.05 VS LUCAS组。CBF，颈动脉血流；MCC，机械胸部按压机。

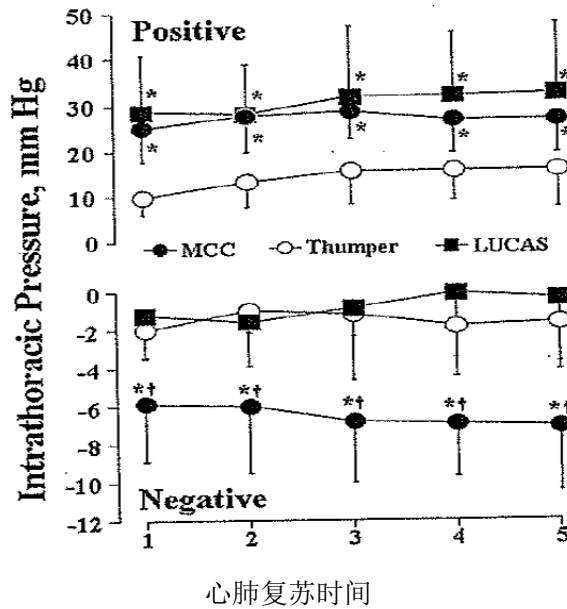


图5 在心肺复苏（CPR）期间的胸腔内正压和负压。P < 0.05 VS 萨勃组；†P < 0.05 VS LUCAS组。MCC，机械胸部按压机。

萨勃组除了3只公猪外均复苏成功。相比于萨勃组，MCC和LUCAS组自主循环恢复所需除颤次数明显较低，再发性室颤发病率也明显较低，心肺复苏持续时间也较短（表2）。

复苏1小时候，动脉氧分压在三组实验组中没有明显的差异（表2）。但是，相比于LUCAS和萨勃组，MCC组动脉乳酸数值明显较低（表2）。

相比于萨勃组，MCC和LUCAS组预后心肌功能明显较好（表3）。相比于萨勃组，MCC和LUCAS组复苏24小时后神经功能明显较好。复苏48小时后，只有使用MCC设备的动物实

验组神经功能更好（表3）。相比于萨勃组，MCC和LUCAS组的抢救时间更短。但是这个差异无统计学意义（表3）。

表3 存活时间（72小时），神经机敏评分和射血分数

Duration of survival, hrs	Postresuscitation Ejection Fraction, %		Postresuscitation Neurological Alertness Score			
	1 hr	2 hrs	24 hrs	48 hrs	72 hrs	
Mechanical chest compressor	72 (72/72)	56.9 ± 8.9*	56.3 ± 6.6*	94.5 ± 6.7*	100 ± 0.0*	100.0 ± 0.0
LUCAS	72 (72/72)	56.3 ± 7.7*	57.8 ± 8.3*	93.7 ± 5.3*	99.4 ± 1.7	100.0 ± 0.0
Thumper	72 (0/72)	47.3 ± 8.6	49.4 ± 5.4	73.9 ± 25.3	83.6 ± 25	94.1 ± 11.0

结果用平均值±标准差或中位数加四分位距表示。通过克鲁斯克尔-威尔科克森检验比较存活时间（P=.067）

尸检过程中，相比于使用萨勃设备的动物，使用MCC和LUCAS设备的动物肋骨骨折率明显较低。使用MCC设备的动物未发现骨折。（表2）。

讨论

本研究中我们发现，进行胸部按压期间，MCC设备通过它特有的设计在胸壁两边产生了明显的按压力。相比于LUCAS和萨勃设备，在胸壁两边产生的额外按压力只要较浅的肋骨按压深度就能产生显著的冠状动脉灌注压，呼末二氧化碳分压，颈动脉血流和胸内负压。相比于萨勃设备，MCC和LUCAS产生了更好的初步复苏成功、预后心肌功能和神经功能恢复。最重要的是，使用MCC设备的动物成功复苏和预后恢复胸骨损伤最小。

我们开发MCC设备的原则是高效率、重量轻、体积小和容易操作。在我们之前的研究中，MCC工程样机和传统萨勃设备相同程度的改善了心脏和脑的血流量(5, 8)。在本研究中，美国食品药品监督管理局批准了该产品的应用，它与工程样机完全不同，特别是绑带组件部分。这一独特的绑带设计不仅能固定MCC主机位置而且进一步增强了血流动力学的功效。在按压阶段，MCC活塞按压在胸骨上，同时通过绑带挤压胸腔，在胸壁两边产生横向拉力。正是由于绑带产生的横向拉力，相比于另两组设备，MCC设备产生了相当甚至更好的胸内正压，并且只需要较浅的按压深度。按压深度的减小将最小限度降低胸骨骨折。使用MCC设备的动物未发现一例骨折，这一原因最有可能的解释是由于较浅的按压深度和胸壁的侧压力作用而成。在泄压状态，绑带剩余拉力作用在胸壁两边，提供了全面快速的胸部后挫力，这样就能解释

本研究中MCC设备能产生更好的胸内负压的原因。在泄压状态下绑带提供的胸壁支持提高了胸内负压这一现象也被Hwang和他的同事证实（9）。心肺复苏期间增强胸腔负压有助于心脑灌注，提高存活率，改善神经功能。结合了活塞和胸腔挤压运动，MCC设备形成了更好的胸腔内正负压。在本研究中，我们发现这将会产生更好的冠状动脉灌注压、呼末二氧化碳分压和颈动脉血流。预后心肌功能和神经功能的恢复取决于心肺复苏和间隔缺血的有效性

（14-16）。在本研究中，MCC和LUCAS设备在心肺复苏期间均产生了更好的心肌和脑灌注，复苏成功所需的心肺复苏时间较短，相比于萨勃设备，产生了更好的预后心肌和神经系统功能。在本研究中，我们有趣的发现，在心肺复苏期间，LUCAS设备未能产生更强的胸腔内负压。LUCAS设备设计了一个吸盘可以与胸骨相吸，通过泄压应该会产生更好的胸腔内负压（17）。但是，这个吸盘太宽了（直径13.5厘米），以至于无法紧贴本研究中的动物心前区。动物的上部胸腔太窄，在按压状态下无法实现真正的抽真空。Steen和他的同事（18）观察到了同样的现象。他们发现给猪胸部按压时间大于20分钟，当猪胸部变软，变得更加扁平依然无法形成真空。

局限性

我们意识到本研究存在局限性，第一，我们的猪模型没有冠心病或其他心脏疾病，他们在预后心功能恢复通常都比较复杂。第二，我们意识到，我们的研究是在动物完整的胸骨上完成的。然而，在临床使用上，人工按压通常早于机械按压设备，这将增加使用机械设备肋骨骨折内在风险。此外，在本研究中，是通过一个密闭定容呼吸机通气而不是开放气道。这些情况是否会影响本研究中MCC产生良好胸内负压还有待于进一步研究。第三、就研究本身而言，研究者并不了解设备。但是，为了避免研究人员的偏见，所有测试均由与本研究不相关的其他研究人员进行审核确认。最后，由于MCC设备是气动气控的，当压缩空气或氧气不足时，使用可能受限制。

结论

与另两个机械按压设备相比，MCC设备改善了血流动力学效果。它与LUCAS在自主循环恢复显著低损伤的效果相当。在心肺复苏期间，MCC是一个新的选择。

参考文献

1. Bonnemeier H, Simonis G, Olivecrona G, et al: Continuous mechanical chest compression during in-hospital cardiopulmonary resuscitation of patients with pulseless electrical activity. *Resuscitation* 2011; 82:155–159
2. Wang HC, Chiang WC, Chen SY, et al: Videorecording and time-motion analyses of manual versus mechanical cardiopulmonary resuscitation during ambulance transport. *Resuscitation* 2007; 74:453–460
3. Cave DM, Gazmuri RJ, Otto CW, et al: Part 7: CPR techniques and devices: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010; 122(18 Suppl 3):S720–S728
4. Larsen AI, Hjørnevik A, Bonarjee V, et al: Coronary blood flow and perfusion pressure during coronary angiography in patients with ongoing mechanical chest compression: A report on 6 cases. *Resuscitation* 2010; 81:493–497
5. Ristagno G, Castillo C, Tang W, et al: Miniaturized mechanical chest compressor: A new option for cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2008; 76:191–197
6. Li Y, Wang H, Cho JH, et al: Defibrillation delivered during the upstroke phase of manual chest compression improves shock success. *Crit Care Med* 2010; 38:910–915
7. Tang W, Weil MH, Sun S, et al: A comparison of biphasic and monophasic waveform defibrillation after prolonged ventricular fibrillation. *Chest* 2001; 120:948–954
8. Castillo C, Young C, Bisera J, et al: Miniaturized chest compressor. *Crit Care Med* 2004; 32:S366–S368.
9. Hwang SO, Lee KH, Cho JH, et al: Simultaneous sternothoracic cardiopulmonary resuscitation: A new method of cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2001; 48: 293–299
10. Shultz JJ, Coffeen P, Sweeney M, et al: Evaluation of standard and active compression-decompression CPR in an acute human model of ventricular fibrillation. *Circulation* 1994; 89:684–693
11. Aufderheide TP, Alexander C, Lick C, et al: From laboratory science to six emergency medical services systems: New understanding of the physiology of cardiopulmonary resuscitation increases survival rates after cardiac arrest. *Crit Care Med* 2008; 36(11 Suppl):S397–S404

12. Lurie KG, Coffeen P, Shultz J, et al: Improving active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation with an inspiratory impedance valve. *Circulation* 1995; 91: 1629–1632
13. Aufderheide TP, Frascone RJ, Wayne MA, et al: Standard cardiopulmonary resuscitation versus active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation with augmentation of negative intrathoracic pressure for out-of-hospital cardiac arrest: A randomised trial. *Lancet* 2011; 377:301–311
14. Rogove HJ, Safar P, Sutton-Tyrrell K, et al: Old age does not negate good cerebral outcome after cardiopulmonary resuscitation: Analyses from the brain resuscitation clinical trials. The Brain Resuscitation Clinical Trial I and II Study Groups. *Crit Care Med* 1995;23:18–25
15. Gisvold SE, Sterz F, Abramson NS, et al: Cerebral resuscitation from cardiac arrest: Treatment potentials. *Crit Care Med* 1996;24(2 Suppl):S69–S80
16. Berek K, Jeschow M, Aichner F: The prognostication of cerebral hypoxia after out-of-hospital cardiac arrest in adults. *Eur Neurol* 1997; 37:135–145
17. Steen S, Sjöberg T, Olsson P, et al: Treatment of out-of-hospital cardiac arrest with LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation* 2005; 67:25–30
18. Steen S, Liao Q, Pierre L, et al: Evaluation of LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation* 2002; 55:285–299