

# Kardiopulmonale Reanimation im Weltall

## Cardiopulmonary resuscitation in space

### Autoren

Jan Schmitz<sup>1,2,3</sup>, Steffen Kerkhoff<sup>1,2,3</sup>, Stefan Braunecker<sup>2,3,4</sup>, Tobias Warnecke<sup>5</sup>, Jochen Hinkelbein<sup>1,2,3</sup>

### Institute

- 1 Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Köln (AöR), Köln
- 2 AG „Notfallmedizin und Luftrettung“, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin (DGLRM) e. V., München
- 3 Space Medicine Group der European Society of Aerospace Medicine, Köln
- 4 Department of Anaesthesia, St George's University Hospital, London, Großbritannien
- 5 Evangelisches Klinikum Niederrhein, Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Notfallmedizin, Duisburg

### Key words

space medicine – CPR – cardiopulmonary resuscitation – emergency medicine – space-related problems

### Bibliografie

DOI 10.1055/a-0655-1579

### Korrespondenzadresse

Jan Schmitz  
Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin  
Universitätsklinikum Köln (AöR)  
50937 Köln  
E-Mail: jan.schmitz\_@uk-koeln.de

### ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der guten medizinischen Selektion, der guten körperlichen Konstitution und der engmaschigen, intensiven Betreuung sind relevante medizinische Probleme bei Astronauten im Weltall vergleichsweise selten. Bisher sind 5 relevante Methoden zur Durchführung von Thoraxkompressionen im Rahmen einer kardiopulmonalen Reanimation (CPR) in Schwerelosigkeit entwickelt worden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Darstellung dieser 5 Techniken sowie das Aufzeigen von möglichen Problemen in Zusammenhang mit einer CPR im Weltall in Zukunft. Bisher liegen keine praktischen Erfahrungen zu einer Reanimation im Weltall vor. Alle bisher publizierten Studien wurden entweder im Parabelflug oder unter simulierten Bedingungen (z.B. Unterwasser oder in einem Aufhängeapparat) auf der Erde durchgeführt. Zukünftig sind, gerade für längere Raumflüge, weitere Analysen und detailliertere Vorgaben notwendig.

### ABSTRACT

Due to carefully selected and healthy astronauts, relevant medical problems in space are rare. Till now, 5 different techniques to perform CPR in microgravity were described. The aim of this paper is to analyse different techniques for CPR during microgravity and provide a review of challenges to perform CPR in space. Yet there was no CPR performed under real-space conditions. However, there are 5 relevant techniques which were tested during parabolic flights and simulated microgravity on earth. Especially for long distance space flights further analysis and more detailed specifications are necessary.

## Einführung

Ein Flug ins All ist für viele Menschen bereits ein Kindheits Traum. In den vergangenen Jahrzehnten ist dieser Traum allerdings nur für wenige Menschen Realität geworden. Seit dem ersten bemannten Raumflug von Yuri Gagarin, am 12. April 1961, sind bis dato mehr als 550 Menschen ins All geflogen und haben über 140 Lebensjahre im Weltall verbracht [1]. Nicht zuletzt verkörpert die menschliche Raumfahrt eine internationale Kooperation der Wissenschaften, welche bisher viele Errungenschaften auf verschiedensten Gebieten hervorgebracht hat. Der bemannte Raumflug wird auch in Zukunft einen hohen (wissenschaftlichen) Stellenwert einnehmen. Darüber hinaus bleibt abzuwarten, wie und wohin überhaupt sich die menschliche Zivilisation in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten weiterentwickeln wird.

Aufgrund dieser Entwicklungen besteht reges Interesse an der Erforschung der Physiologie des Menschen in Schwerelosigkeit (Gravitation  $\approx 0\text{ G}$ ), um etwaige medizinische Pro-

bleme für Astronauten beziehungsweise Menschen im All auszumachen und diesen prophylaktisch entgegenzuwirken [2]. Das Management von ernsthaften Erkrankungen oder Verletzungen von Astronauten ist auch schon in circa 400 hkm, auf der Internationalen Space Station (ISS), aber auch bei zukünftigen Langzeitmissionen eine besondere Herausforderung. Diese prinzipiell lebensfeindliche Umgebung ist komplex und bedarf daher der Entwicklung angepasster Konzepte. Neben vielen Adaptationsvorgängen und potenziellen Problemen durch reduzierte oder nicht vorhandene Schwerkraft sind besonders kardiale Probleme von großer Bedeutung. Aufgrund der immensen Auswirkung auf die gesamte Mission ist der kardiopulmonale Kreislaufstillstand einer der ungünstigsten Ereignisse und bedarf dabei besonderer Beachtung [3].

## Physiologische Veränderungen im All

Kurzzeitige und länger andauernde Schwerelosigkeit hat eine ausgeprägte Wirkung auf den menschlichen Körper

und auf nahezu alle anderen Organsysteme. Hierbei spielen unter anderem die Knochendemineralisierung, die Skelettmuskelatrophie, eine Immundysregulation, eine Reduktion des Plasmablutvolumens und eine Reduktion der Blutzellen, aber auch eine Verringerung der pulmonalen Funktion, eine große Rolle [4]. Wenngleich diese Probleme oft nicht akut den menschlichen Körper in dessen Funktion bedrohen, begünstigen sie dennoch weitere sekundäre Probleme, die wiederum im Verlauf relevant werden können. Zum Beispiel unterliegt der Körper einem relativen Volumenshift nach kranial, welcher deutliche Wirkungen auf das kardiovaskuläre System, aber auch die Hirndurchblutung beziehungsweise Hirnfunktion haben kann [5, 6].

## Kardiale Probleme

Von besonderer Relevanz sind kardiale Probleme während des Aufenthalts in Schwerelosigkeit. Supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen (SVES, VES) wurden bei bis zu 30 % aller Astronauten während anstrengender Aktivitäten beobachtet [7]. Auch potenziell lebenslimitierende Arrhythmien, wie Supra- aber auch ventrikuläre Tachykardien wurden in diesem Zusammenhang beobachtet [7]: Ein Bigeminus mit einhergehender Synkope aufgrund einer Hypokaliämie, ebenso kurze Episoden einer ventrikulären Tachykardie (VT) wurden bereits beschrieben [8]. Auch wenn diese Ereignisse bisher selten waren, stellen sie eine große Bedrohung mit möglichen lebenslimitierenden Folgen und eine Gefahr für die Mission dar [8].

Der akute Myokardinfarkt ist ein Ereignis, welches häufig zu Herz-Kreislauf-Stillständen führt [9]. Derzeit sind die meisten Astronauten Männer mittleren Alters. Sie unterliegen, wenngleich sie sehr genau und kontinuierlich untersucht werden, per se statistisch einem erhöhten kardiovaskulären Risiko [10]. Untersuchungen der letzten Jahre ergaben, dass das Risiko für einen Myokardinfarkt bei Männern im vergleichbaren Alter in der Normalbevölkerung bei ungefähr 0,4 % pro Jahr liegt [11].

## Herz-Kreislauf-Stillstand

Auch wenn das Risiko für ernsthafte medizinische Probleme im All gering ist [3], alle Raumfahrer medizinisch engmaschig und gut untersucht werden, besteht nichtsdestotrotz die Möglichkeit, dass ein Astronaut in Schwerelosigkeit einen Kreislaufstillstand erleidet und reanimiert werden muss [14]. Dieses Risiko begründet sich auch nicht ausschließlich auf (patho)physiologische Änderungen und Vorerkrankungen, sondern wird auch durch unerwartet auftretende Ereignisse (z. B. Trauma) begünstigt. Das Risiko ist sehr gering und bis dato ist kein solcher Fall bekannt. Andererseits kann die spezifische Umgebung das Risiko im Vergleich zur Normalbevölkerung weiter erhöhen (z. B. Unfälle durch Stromschläge, Trauma, Arrhythmien, Volumenshift). Seit Beginn der bemannten Raumfahrt werden deshalb verschiedene Untersuchungen zur not-

fallmedizinischen Versorgung durchgeführt [3]. Dabei dienen besonders Parabelflüge als Basis für neue Erkenntnisse über die Anwendbarkeit und Effektivität von Reanimationstechniken in Schwerelosigkeit [13].

## CPR-Techniken

Während die kardiopulmonale Reanimation unter normalen Schwerkraftbedingungen (also auf der Erde = 1G) sehr gut untersucht und die Technik weit verbreitet und vergleichsweise einheitlich praktiziert wird, entstehen in der reinen Umsetzung der bekannten Technik unter Schwerelosigkeit relevante Probleme [14]. Vor allem bei der Durchführung von Thoraxkompressionen die fehlende Gravitation durch eine mangelnde Gegenkraft einen limitierenden Faktor dar, eine suffizienten kardialen Auswurf oder ein Return Of Spontaneous Circulation (ROSC) zu erreichen [15]. Die aktuellen Leitlinien zur Reanimation haben auch die Bedeutung adäquater Thoraxkompressionen (TK) unterstrichen [16]. Diese ist durch den frühzeitigen Beginn, möglichst wenige Unterbrechungen, einer optimalen Kompressionsfrequenz (100–120/min) und Kompressionstiefe (5–6 cm) definiert [9].

Um diese Effektivität auch in Schwerelosigkeit zu gewährleisten sind bis heute 5 unterschiedliche Methoden für die Reanimation in Schwerelosigkeit beschrieben [17].

### Standard side straddle (STD) und Stradling manoeuvre (SM)

Bei dieser Technik erfolgt die Durchführung der CPR analog zu den auf der Erde verwendeten Methoden. Nach der Beobachtung eines Kreislaufstillstands wird der Patient zunächst mit Gurten angeschnallt. Der Helfer wird je nach Methode entweder kniend an der Seite des Patienten (STD) oder sitzend auf der Hüfte des Patienten (SM) mit weiteren Gurten fixiert. Vorteil dieser Methode ist die gewohnte Durchführung von Thoraxkompressionen, ähnlich der Methode unter 1G-Bedingungen, jedoch ist sie durch den hohen Kraftaufwand in den Oberarmen sehr kräftezehrend. Effektive Thoraxkompressionen setzen das Anschlallen von Patient und Helfer voraus, welches einen vergleichsweise langen Zeitraum beansprucht, sodass diese Methoden im Vergleich zu anderen Techniken unter Realbedingungen aufgrund der erhöhten No-Flow-Time eventuell eine deutlich reduzierte Überlebenschance aufweisen könnten.

### Reverse Bear Hug (RBH)

Ähnlich des Heimlich-Handgriffs erfolgt bei der RBH-Methode ein Umklammern des Patienten mit den Armen von hinten. Die Thoraxkompressionen werden dabei durch Ausübung von Druck durch die umliegenden Arme gegen das Sternum ausgeübt.

Der Vorteil und große Unterschied dieser Technik im Vergleich zur STD/SM liegt in der unmittelbaren Anwend-

barkeit ohne weitere Hilfsmittel und dem damit verbundenen direkten Beginn der CPR. Allerdings ist das Durchführen der Thoraxkompressionen sehr anstrengend, sodass in bisherigen Untersuchungen bereits frühzeitig ein Nachlassen der Reanimationsleistung (kardialer Output) zu sehen ist [18]. Die Technik könnte sich daher für eine kurzzeitige und überbrückende Anwendung anbieten. Auch hinsichtlich der Effektivität ist die RBH-Methode vielen anderen Methoden unterlegen [19].

### Evetts-Russomano (ER)

Bei der ER-Methode platziert sich der Helfer sitzend auf dem Patienten. Dabei wird das linke Bein des Helfers um die rechte Schulter des Patienten und das rechte Bein des Helfers durch die linke Achsel des Patienten gelegt, sodass sich beide Beine des Helfers auf dem Rücken kreuzen und so als Widerlager für die Thoraxkompressionen dienen.

Die Methode nach Evetts-Russomano gehört zu den am meist untersuchtesten Techniken zur Durchführung der CPR in Schwerelosigkeit und wurde ausgiebig auf Parabelflügen untersucht [17]. Vorteil der Methode nach ER ist ebenfalls die unmittelbare Anwendbarkeit ohne die Verwendung von Hilfsmitteln. Allerdings zeigt sich im Vergleich zu anderen Methoden (z. B. Handstand) eine etwas verminderte Kompressionstiefe des Thorax.

Die Technik könnte sich daher analog zur RBH-Methode für eine kurzzeitige und überbrückende Anwendung anbieten. Hinsichtlich der Reanimationsqualität ist sie den meisten anderen Techniken nicht unterlegen.

### Handstand (HS)

Um die HS-Methode durchzuführen, wird der Patient an der gegenüberliegenden Bordwand platziert. Das Ausführen der Thoraxkompressionen erfolgt in gestreckter Körperposition des Helfers. Die dem Patienten gegenüberliegende Bordwand erzeugt dabei den nötigen Gegendruck für das Durchführen von Thoraxkompressionen. Bei kleineren Helfern oder großem Abstand der gegenüberliegenden Bordwände kann es allerdings zu Schwierigkeiten in der Anwendbarkeit kommen. Bei normaler Körpergröße jedoch ist eine Durchführung in den aktuell verwendeten Standardmodulen der ISS möglich. Ebenfalls, wie bei der RBH- oder ER-Methode, benötigt diese Technik kein spezielles Equipment und kann unmittelbar nach Erkennung des Kreislaufstillstands angewendet werden. Unter optimalen Bedingungen wird jedoch auch bei dieser Methode eine Fixierung des Patienten mithilfe eines Fixierungssystems angestrebt.

Untersuchungen zeigen, dass sich bei entsprechender Körpergröße oder Umgebungsgröße mit der HS-Technik die besten Kompressionstiefen und -frequenzen erzielen lassen [19]. Mit ihr ließen sich in den Versuchen nahezu die in den Leitlinien unter 1G-Bedingungen geforderten Kompressionstiefen für die CPR realisieren.

## Mechanische Reanimationshilfsmittel

Bisher existieren nur wenige Untersuchungen, die sich mit dem Einsatz von mechanischen Reanimationshilfen in Schwerelosigkeit beschäftigen [15]. Jedoch würde sich auch hier wieder der Beginn der Reanimation verzögern, sodass die Anwendbarkeit in Schwerelosigkeit weiterer Untersuchungen bedarf. Die Anwendung solcher Geräte im Weltraum ist vor allem aufgrund der aktuell niedrigen Inzidenz für einen Herz-Kreislauf-Stillstand, dem hohen Aufwand der Zulassung für einen Transport und einer Anwendung ins All und der enorm hohen Transportkosten zurzeit nicht umsetzbar [19].

## Probleme

Trotz der extremen Bedingungen, wie zum Beispiel Schwerelosigkeit und limitierte Ressourcen, sollte die Effektivität einer CPR im Weltall ähnlich der auf der Erde sein [20]. Nicht nur die Durchführung adäquater Thoraxkompressionen ist bei einer kardiopulmonalen Reanimation zu gewährleisten, auch die suffiziente Oxygenierung nimmt im Verlauf der Reanimation einen hohen Stellenwert ein [21]. So ist nicht nur die adäquate Atemwegssicherung und Oxygenierung, sondern das gesamte Spektrum des Advanced Life Supports (ALS) wichtig und sollte auch unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit durchgeführt werden.

Ein weiteres Problem stellt die Weiterversorgung des Patienten nach Wiedererlangen eines ROSC dar. Nach Erlangen eines Spontankreislaufs folgt auf der Erde meistens eine maximale und länger andauernde intensivmedizinische Therapie. Ziel ist hierbei die Stabilisierung des Patienten, die Diagnostik und Therapie der zugrunde liegenden Ursache und die kontinuierliche Überwachung [22]. Auch wenn das medizinische Kit an Bord der ISS im Jahr 2011 überarbeitet wurde und nun unter anderem aus circa 190 Medikamenten, einer faltbaren Liege (Crew Medical Restraint System), einem halbautomatischen Defibrillator, einem einfachen Beatmungsgerät und einem Ultraschallgerät besteht, stellt dies eine klare Limitation der Ressourcen für die adäquate Post-ROSC-Therapie dar.

Weitere Limitationsfaktoren sind die extrem teuren Transportkosten ins All bei gleichzeitig unwahrscheinlichem Gebrauch. Unter diesen Umständen ist die Post-ROSC-Therapie (Sedierung, Überwachung, adäquate maschinelle Beatmung, invasive Interventionen, Temperaturmanagement sowie weitere Organunterstützungssysteme) im Weltall zurzeit nicht möglich. Auch der Transport eines kritisch kranken Patienten von der ISS zurück zur Erde ist zurzeit nur bedingt möglich. Einzige Transportmöglichkeit stellt die russische Sojus-Kapsel dar, welche 3 maximal beengte Sitze hat und in der die Astronauten in einem Druckanzug bis zu 9 G ausgesetzt sind. Auf bei zukünftigen meh-

rere Monate oder Jahre andauernden Langzeitmissionen ist der notfallmäßige Transport auf die Erde entsprechend nicht möglich.

## Ausblick

Da gerade Langzeitmissionen einen höheren Einfluss auf die physiologischen Vorgänge im Körper der Astronauten haben, steigt die Wahrscheinlichkeit von medizinischen Komplikationen im Verlauf einer Mission. In diesem Zusammenhang ist die Untersuchung der Möglichkeiten zur kardiopulmonalen Reanimation unter Schwerelosigkeit aber auch unter Gravitationsbedingungen des Mars ( $\approx 0,38\text{ G}$ ) ein wichtiger Bestandteil zukünftiger Studien in der Raumfahrtmedizin. Um die Forschung auch unter Erdbedingungen zu gewährleisten, wird das sogenannte Body Suspension Device genutzt. Hierbei wird der Durchführende einer CPR in das Device eingehängt, um so die Bedingungen in variablen Gravitationsumgebungen simulieren zu können [23].

## Fazit

Besonders der frühzeitige Beginn von Wiederbelebungsmaßnahmen innerhalb der ersten Minuten nach Eintreten des Kreislaufstillstands geht zumindest auf der Erde mit einer hohen Überlebenswahrscheinlichkeit von 49–75 % einher [24]. Methoden wie die STD- oder SM-Technik würden – sofern sie als erstes angewendet werden – in Notfallsituationen mitunter zu einer erheblichen Verzögerung und damit zu einer schlechteren Überlebenswahrscheinlichkeit führen. Hier sind Methoden, welche unabhängig von Hilfsmitteln sind (HS, ER, RBH) deutlich überlegen.

Allerdings unterliegen diese Methoden zum Teil Limitationen, da beispielsweise zur Anwendung der HS-Methode die entsprechenden räumlichen Bedingungen gegeben sein müssen. Bei zu großem oder zu kleinem Raumdurchmesser ist diese Technik unter Umständen nicht realisierbar und führt bei Implementierung in eine Leitlinie zu Problemen in der Durchführbarkeit.

Hinsichtlich der Reanimationsqualität erzielt die HS-Technik die besten Ergebnisse und ist damit anderen Techniken überlegen. Bezüglich der Praktikabilität ist die HS-Technik allerdings auf die räumlich passende Bedingung angewiesen, die unter Umständen nicht überall vorhanden ist. In diesen Fällen stellt die ER-Technik eine gute Alternative bei nur minimal schlechterer Reanimationsqualität dar.

Auch wenn es bis heute keinen Fall eines Kreislaufstillstands und einer kardiopulmonalen Reanimation im All gibt, sollte in Zukunft besonders vor dem Hintergrund von Langzeitmissionen ein Augenmerk auf die Forschung und Ausbildung von Raumfahrern in diesem Bereich gelegt werden. Aufgrund der unterschiedlichen physiologischen Bedingungen in Schwerelosigkeit bedarf es weiterer

Untersuchungen. Nicht nur die Durchführung von Thoraxkompressionen ist hier wichtig, sondern die gesamte Intervention bei einem Herz-Kreislauf-Stillstand in Bedingungen der Schwerelosigkeit ist zu untersuchen. Es zeichnet sich ab, dass die beste Methode für den Basic Life Support die ER-Methode ist, da hier eine unverzügliche CPR begonnen werden kann und so die No-Flow-Time möglichst geringgehalten wird. Für den ALS ist die HS-Methode vorzuziehen, da sich durch diese (nach optimaler Fixierung des Patienten) die beste Reanimationsqualität realisieren lässt.

Hier ist die Erstellung einer allgemein gültigen Leitlinie unbedingt zu empfehlen. So kann im Falle einer Reanimation eine Handlungssicherheit der Durchführenden, eine einheitliche Kommunikation und eine erleichterte Abstimmung mit dem Bodenkontrollpersonal (Ground Control) gewährleistet werden, um größtmöglichen Schaden für den Betroffenen, aber auch für den Helfer abzuwenden.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- [1] Hinkelbein J, Russomano T, Hinkelbein F et al. Cardiac arrest during space missions: Specificities and challenges. *Trends in Anaesthesia and Critical Care* 2018; 19: 6–12
- [2] Komorowski M, Neuhaus C, Hinkelbein J. Emergency medicine in space. *Notfall Rettungsmed* 2015; 18: 268–273
- [3] Summers RL, Johnston SL, Marshburn TH et al. Emergencies in space. *Ann Emerg Med* 2005; 46: 177–184
- [4] West JB. Physiology in microgravity. *J Appl Physiol* (1985) 2000; 89: 379–384
- [5] Schmitz J. Erhöhter intrakranieller Druck bei Astronauten. *Flug u Reisemed* 2018; 25: 53–54
- [6] Roberts DR, Albrecht MH, Collins HR et al. Effects of Spaceflight on Astronaut Brain Structure as Indicated on MRI. *N Engl J Med* 2017; 377: 1746–1753
- [7] Khine HW, Steding-Ehrenborg K, Hastings JL et al. Effects of Prolonged Spaceflight on Atrial Size, Atrial Electrophysiology, and Risk of Atrial Fibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2018; 11: e005959
- [8] Fritsch-Yelle JM, Leuenberger UA, D'Aunno DS et al. An episode of ventricular tachycardia during long-duration spaceflight. *Am J Cardiol* 1998; 81: 1391–1392
- [9] Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 1. Executive summary. *Resuscitation* 2015; 95: 1–80
- [10] Ibanez B, James S, Agewall S et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2018; 39: 119–177
- [11] Hamilton B, Shofer FS, Walsh KM et al. Stress testing in young low-risk patients with potential acute coronary syndromes. *Am J Emerg Med* 2012; 30: 639–642

- [12] Johnston SJ, Marshburn TH, Lindgren K. Predicted incidence of evacuation-level illness/injury during Space Station operation. 71<sup>st</sup> Annual Scientific Meeting of the Aerospace Medical Association, May 2000
- [13] Rehnberg L, Ashcroft A, Baers JH et al. Three methods of manual external chest compressions during microgravity simulation. *Aviat Space Environ Med* 2014; 85: 687–693
- [14] Russomano T, Rehnberg L. Extraterrestrial CPR and its applications in terrestrial medicine. In: Aslanidis T (Ed.). *Critical Care and Emergency Medicine*. InTech; 2017
- [15] Jay GD, Lee P, Goldsmith H et al. CPR effectiveness in microgravity: comparison of three positions and a mechanical device. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74: 1183–1189
- [16] Hinkelbein J, Böttiger BW. The message is clear to save an additional 100,000 lives per year in Europe: 'harder and faster for cardiopulmonary resuscitation'! *Eur J Anaesthesiol* 2011; 28: 817–818
- [17] Braunecker S, Douglas B, Hinkelbein J. Comparison of different techniques for in microgravity—a simple mathematic estimation of cardiopulmonary resuscitation quality for space environment. *Am J Emerg Med* 2015; 33: 920–924
- [18] Kordi M, Cardoso RB, Russomano T. A preliminary comparison between methods of performing external chest compressions during microgravity simulation. *Aviat Space Environ Med* 2011; 82: 1161–1163
- [19] Braunecker S, Hinkelbein J. CPR im Weltall. *Notfall Rettungs-med* 2015; 18: 274–278
- [20] Hamilton B, Shofer FS, Walsh KM et al. Stress testing in young low-risk patients with potential acute coronary syndromes. *Am J Emerg Med* 2012; 30: 639–642
- [21] Dell'Anna AM, Lamanna I, Vincent JL et al. How much oxygen in adult cardiac arrest? *Crit Care* 2014; 18: 555
- [22] Grunau B, Reynolds J, Scheuermeyer F et al. Relationship between Time-to-ROSC and Survival in Out-of-hospital Cardiac Arrest ECPR Candidates: When is the Best Time to Consider Transport to Hospital? *Prehosp Emerg Care* 2016; 20: 615–622
- [23] Dalmarco G, Calder A, Falcão F et al. Evaluation of external cardiac massage performance during hypogravity simulation. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2006; 1: 2904–2907
- [24] Auble TE, Menegazzi JJ, Paris PM. Effect of out-of-hospital defibrillation by basic life support providers on cardiac arrest mortality: a metaanalysis. *Ann Emerg Med* 1995; 25: 642–648