

L'arrêt cardiaque inattendu en réanimation : état des lieux et perspectives

Unexpected Cardiac Arrest in the Intensive Care Unit: State-of-the-Art and Perspectives

O. Lesieur · M. Leloup

Reçu le 12 juillet 2017 ; accepté le 8 août 2017
© SRLF et Lavoisier SAS 2017

Résumé En réanimation et plus généralement en secteur de médecine intensive, l'arrêt cardiaque est un événement rare qui survient dans un environnement favorable à une prise en charge rapide et adaptée. Cependant, les patients hospitalisés dans ce type d'unités souffrent de maladies chroniques et de défaillances d'organes qui réduisent les chances de survie après un tel événement. Près de 50 % des patients souffrant d'un arrêt cardiaque inattendu en réanimation sont initialement réanimés avec succès, mais un grand nombre décède dans les 24 heures suivant la récupération d'une activité circulatoire spontanée. Le taux de survie à la sortie de l'hôpital est d'environ 15 %. Les facteurs pronostiques de l'arrêt cardiaque se répartissent en trois catégories : i) les facteurs liés au patient ; ii) à l'arrêt ; iii) aux suites de l'arrêt. Les facteurs associés à une évolution défavorable sont les infections respiratoires, la pathologie traumatique, le cancer, l'insuffisance rénale, les défaillances d'organes, les comorbidités associées. Une hypotension, un sepsis, une aggravation des scores physiologiques de gravité avant l'arrêt cardiaque sont également de mauvais pronostic. Les arrêts par fibrillation ou tachycardie ventriculaire ont un meilleur pronostic que les arrêts en asystolie ou en dissociation électromécanique. Une réanimation cardiopulmonaire prolongée réduit les chances de survie sans séquelle, même en cas de ressuscitation initiale. Le pronostic de l'arrêt cardiaque peut être amélioré par la détection d'événements précurseurs (hypoxie, hypovolémie, acidose notamment) et par une formation régulière des soignants aux techniques de ressuscitation. Enfin, un projet thérapeutique élaboré au cas par cas, proportionné aux comorbidités et excluant dans certaines circons-

tances toute manœuvre de ressuscitation, permet à l'échelle d'un service de réduire la proportion des arrêts cardiaques inutilement réanimés.

Mots clés Arrêt cardiaque · Soins intensifs · Réanimation cardiopulmonaire · Pronostic

Abstract Unexpected cardiac arrest is a rare event in the Intensive Care Unit (ICU). Despite immediate availability of advanced life support and trained staff, patients suffer from chronic diseases and organ failures that worsen the prognosis for cardiac arrest victims. Although the initial success rate of cardiopulmonary resuscitation may be high, most of the resuscitated patients die soon after restoration of spontaneous circulation. Studies report the percentage of patients surviving to hospital discharge to be about 15%. Factors associated with prognosis are divided into three groups: pre-arrest, intra-arrest, and post-arrest. Preexisting conditions associated with poor outcome are pneumonia, trauma, malignancy, renal insufficiency, organ failures, and comorbidities. Hypotension, sepsis and worsening of Acute Physiology Scores before arrest are more common among the non-survivors. Patients with ventricular tachycardia or fibrillation compared to non-shockable rhythms are more likely to survive. Even though spontaneous circulation is initially restored, the rate of patients discharged alive from hospital declines with the duration of cardiopulmonary resuscitation. However, cardiac arrest is frequently preceded by warning signs of clinical deterioration (hypoxia, hypovolemia, acidosis for instance) that can be identified and treated. Cautious anticipation, regular training, timely initiation of rescue, and selection of patients most likely to benefit from resuscitation are key steps to enhance prognosis and quality of life for cardiac arrest patients in the ICU.

O. Lesieur (✉) · M. Leloup
Intensive Care Unit, Saint-Louis Hospital,
F-17019 La Rochelle, France
e-mail : olivier.lesieur@gmail.com

O. Lesieur
EA4569, université Paris-Descartes, F-75006 Paris, France

Keywords Cardiac arrest · Intensive care units · Cardiopulmonary resuscitation · Prognosis

Abréviations

ACIH : arrêt cardiaque intrahospitalier
 ACIR : arrêt cardiaque inattendu en réanimation
 APACHE : *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation*
 CEE : choc électrique externe
 CPC : *Cerebral Performance Category*
 DEM : dissociation électromécanique
 FV : fibrillation ventriculaire
 GWTG-R : *Get with the Guidelines*[®] Registry
 MCE : massage cardiaque externe
 MPM : *Mortality Probability Model*
 RACS : récupération d'une activité circulatoire spontanée
 RCP : réanimation cardiopulmonaire
 SAPS : *Simplified Acute Physiology Score*
 SOFA : *Sequential Organ Failure Assessment*
 TV : tachycardie ventriculaire
 USI : unité de soins intensifs

Introduction

“To be fully prepared to meet the emergency is to be more than halfway towards its successful management.”

J. Alfred Lee 1957 [1]

L'arrêt cardiaque inattendu survenant en réanimation (ACIR) s'inscrit dans le cadre plus général de l'arrêt cardiaque intrahospitalier (ACIH) dont il se distingue à plusieurs égards. L'environnement de la réanimation réunit les conditions d'une identification et d'un traitement rapides de l'ACIR : monitoring comportant au minimum la surveillance du rythme cardiaque et de la fréquence respiratoire, personnel entraîné aux techniques de réanimation cardiopulmonaire (RCP), proximité des dispositifs de suppléances vitales. Les délais d'intervention sont brefs et le personnel soignant nombreux. Cependant, le patient de réanimation présente une ou plusieurs défaillance(s) organique(s) souvent surajoutée(s) à des pathologies chroniques lourdes. Les techniques de suppléance vitale sont elles-mêmes des procédures à risque pouvant faciliter la survenue d'un ACIR et diminuer l'efficacité de la RCP (effet arythmogène des médicaments, retentissement hémodynamique d'une circulation extracorporelle ou de la ventilation mécanique). Les bénéfices d'un environnement favorable à une prise en charge rapide de l'ACIR pourraient donc être partiellement compensés par la gravité des pathologies ayant motivé l'hospitalisation et les effets indésirables des traitements.

Depuis 1997, un guide méthodologique proposé par l'ILCOR (International Liaison Committee on Resuscitation) est utilisé pour décrire l'épidémiologie de l'ACIH [2-4]. Dans

ce guide intitulé *The in-Hospital Utstein style*, les définitions de l'arrêt cardiaque et de la RCP ont été standardisées. Parmi les informations recueillies, l'*Utstein style* préconise de distinguer le lieu de survenue de l'arrêt cardiaque dans l'hôpital et notamment les secteurs où les patients sont surveillés par monitoring cardiaque et respiratoire, dont la réanimation et les unités de soins intensifs (USI). Cette uniformisation sémantique permet aux établissements de santé de mener des études comparatives intra- et interhospitalières sur l'ACIH et d'apprécier l'impact des politiques d'amélioration mises en place [5-11]. L'incidence de l'ACIH et le taux de survie à la sortie de l'hôpital sont des événements sentinelles souvent utilisés pour le *benchmarking* des hôpitaux nord-américains [10,12-16], britanniques [17] et néerlandais [11]. La plus importante base de données disponible aujourd'hui recense plus de 80 000 ACIH dans près de 500 hôpitaux aux États-Unis et au Canada : plus de la moitié des ACIH surviennent en réanimation ou en USI [14,18-20].

Cet article est une mise à jour de la revue publiée en 2010 dans *Réanimation* [21]. Un certain nombre de définitions et de généralités ont été reproduites.

Définitions

Chez l'adulte, l'arrêt cardiaque correspond à la cessation de toute activité cardiaque mécanique, confirmée par l'absence de pouls (ou arrêt circulatoire), l'abolition de la conscience et l'apnée (ou respiration agonique). L'arrêt cardiaque est dit intrahospitalier si la victime présentait une activité circulatoire spontanée à l'admission dans l'hôpital [2,3]. Par analogie, l'application d'une RCP comportant au minimum un massage cardiaque externe (MCE) et/ou une tentative de défibrillation par choc électrique externe (CEE) sur un patient préalablement admis en réanimation avec une activité circulatoire spontanée définit l'ACIR [21]. Les patients faisant l'objet d'une consigne préalable de non-ressuscitation sont exclus du cadre de l'ACIR, de même que ceux qui ne répondent pas au traitement médical maximal et pour lesquels une RCP, a priori jugée vaine, n'est pas entreprise. L'ACIR est assimilé par convention à un arrêt cardiaque survenant devant témoin puisqu'il survient chez un patient « monitoré » (cela signifie que le patient est au minimum relié à un monitoring cardiaque et respiratoire continu). Le délai entre le constat de l'ACIR et l'analyse du rythme est réduit. Le premier rythme cardiaque observé au moment de l'ACIR peut justifier d'une tentative de défibrillation immédiate par CEE. Les indications de défibrillation immédiate sont la fibrillation ventriculaire (FV) et la tachycardie ventriculaire (TV) sans pouls. Les rythmes dits « non choquables » sont l'asystolie et la dissociation électromécanique (DEM ou activité électrique sans pouls).

En réanimation, le délai entre le constat de l'arrêt cardiaque et le début de la RCP se résume à l'alerte et à l'appel à l'aide par le premier témoin. La RCP regroupe toutes les mesures qui visent à restaurer et à maintenir une activité circulatoire spontanée : CEE, MCE, accès aux voies aériennes, ventilation mécanique, administration de médicaments, entraînement électrosystolique, assistance circulatoire extracorporelle. La défibrillation peut être réalisée au moyen d'un défibrillateur manuel ou semi-automatique disposant d'une fonction d'analyse du rythme cardiaque. La récupération d'une activité circulatoire spontanée (RACS) persistant au moins 20 minutes sans MCE (par convention) consacre l'efficacité immédiate de la RCP [2,3]. À condition d'être mesurée par voie intravasculaire, une pression artérielle systolique supérieure ou égale à 60 mmHg est équivalente par convention à la palpation d'un pouls [2,3]. Un nombre important de patients réanimés avec succès décèdent dans les 24 heures suivant la RACS [22]. Le taux de survie à la sortie de l'hôpital, le taux de survie à long terme (6 à 12 mois) et le score de performance cérébrale (Cerebral Performance Category ou CPC) à distance de la RCP [2] ont une signification pronostique pour l'ACIH comme pour l'ACIR.

Épidémiologie

Parmi les études consacrées à l'épidémiologie de l'ACIR, un peu plus d'une quinzaine (référéncées par la National Library of Medicine au 1^{er} mai 2017) concernent spécifiquement des patients hospitalisés en réanimation chirurgicale [23,24], médicale [23,25,26], médicochirurgicale [27-35] ou pédiatrique [36-40]. Un registre national spécifiquement dédié à l'ACIR centralisé à Kuopio, Finlande, regroupe tous types de réanimations répartis dans 21 centres hospitaliers finnois [41]. Plus nombreux sont les travaux qui décrivent une cohorte d'ACIH et distinguent selon les circonstances de survenue de l'arrêt des sous-groupes de patients hospitalisés en réanimation [6,7,14,15,34,42-57] et/ou en USI cardiologiques [31,48,49,52,53,58,59], de patients avec monitoring cardiaque et respiratoire [48,56,60], traités par assistance respiratoire invasive [61,62]. Abondé spécifiquement en données de réanimation, le registre nord-américain Project IMPACT offre la possibilité d'extraire les séjours des patients ayant présenté un ACIR [34]. Deux revues de la littérature médicale décrivent l'épidémiologie et les facteurs pronostiques de l'ACIH selon le lieu de survenue de l'arrêt cardiaque dans l'hôpital [22,63]. D'une manière générale, les registres d'ACIH excluent les patients hospitalisés dans les suites d'un arrêt cardiaque extrahospitalier, alors que les études portant spécifiquement sur l'ACIR ne disqualifient pas forcément ce motif d'admission de leurs critères d'inclusion.

Incidence

L'incidence de l'ACIH faisant l'objet d'une RCP varie selon les établissements de 1,25 à 8,6 pour 1 000 admissions [17,48,51,64] ou de 0,09 à 0,26 événement par lit et par an [5]. Onze à 33 % des patients souffrant d'un ACIH font l'objet d'une RCP [42,48,52,60,63,65]. Les autres patients sont soit décédés à l'arrivée des secours, soit préalablement attributaires d'une consigne de non-ressuscitation. Plus de 50 % des ACIH faisant l'objet d'une RCP surviennent en secteurs de réanimation ou en USI, chiffre qui tend à augmenter selon le Registre national nord-américain Get with the Guidelines[®] (GWTG-R, anciennement National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation ou NRCPR) qui recense depuis le 1^{er} janvier 2000 une cohorte cumulative d'ACIH avec RCP dans plusieurs centaines d'hôpitaux aux États-Unis et au Canada [5-7,9,15,20,55,66,67].

L'incidence de l'ACIR est comprise entre 0,5 et 5 % des admissions en réanimation adulte [24,27,32,34,41]. Le taux institutionnel le plus élevé est retrouvé dans le registre national finnois (4,8 %), avec une moyenne à 2,9 % sur l'ensemble des centres participants [41]. Les rythmes choquables (FV/TV) ne représentent que 20 à 30 % des ACIR [7,15,28,42,47,52,55,56,61]. Entre 2000 et 2008, le registre GWTG-R répertoriait 49 656 ACIR survenus chez l'adulte [55]. Les patients qui ont présenté un arrêt cardiaque avant l'admission en réanimation sont exclus de la cohorte. Les hommes représentent 58,4 % de la cohorte, dont l'âge médian est de 69 ans. Un rythme choquable est retrouvé dans 18,9 % des cas. Près de la moitié des patients sont traités par assistance ventilatoire invasive, tandis que 44,1 % reçoivent des médicaments vasopresseurs au moment de l'arrêt, lequel survient la nuit ou le week-end dans la moitié des cas [55].

Depuis la création du registre GWTG-R, la proportion d'ACIH survenant en secteur de soins intensifs, comparée à celle des ACIH survenant en unités non monitorées, a progressivement augmenté pour atteindre 90 à 95 % des ACIH chez l'enfant et 50 à 60 % chez l'adulte [9,20,57,66-68]. Nos confrères nord-américains attribuent cette tendance à une politique d'identification des patients à risque et de transfert préventif en unités de médecine intensive dès que la probabilité d'une aggravation clinique est jugée élevée. Corrélativement, ces patients ont fréquemment un monitoring invasif en place au moment de l'arrêt cardiaque et sont plus souvent traités par assistance respiratoire [9]. Toujours d'après ce registre, la survie à la sortie de l'hôpital et le pronostic neurologique après un ACIH s'améliorent avec le temps, mais de manière inégale selon les établissements [9,66]. Parmi les patients présentant un ACIH, la prévalence des arrêts par rythmes choquables, de l'insuffisance cardiaque ou de l'infarctus du myocarde diminuent, tandis que celles de l'insuffisance respiratoire, de l'insuffisance rénale et du sepsis augmentent [9].

Pronostic vital

La RACS après RCP, la survie à 24 heures et la survie à la sortie de l'hôpital sont les critères utilisés pour décrire le pronostic vital de l'ACIR et de l'ACIH [21]. La RACS traduit l'efficacité initiale de la RCP mais ne prédit pas le taux de survie à la sortie de l'hôpital. En effet, 25 à 91 % des patients initialement réanimés décèdent dans les 24 heures suivant la RACS [28,30–32,51,52,69]. Dans la cohorte GWTG-R, 15,9 % des 49 656 patients ayant présenté un ACIR sont sortis vivants de l'hôpital. Ce taux de survie diffère suivant le premier rythme constaté : 34 % pour une FV, 31 % pour une TV sans poulx, 11 % pour une asystolie ou une DEM [55]. Une méta-analyse plus ancienne regroupant les 1 620 ACIR de 98 études retrouve 14,9 % de survivants à la sortie de l'hôpital, taux stable sur les 30 années de la période étudiée [70]. Dans le registre multicentrique finlandais (période 2003–2013, 164 255 admissions, 4 717 ACIR), la mortalité hospitalière après un ACIR est de 55,5 % [41].

Dans les études monocentriques à effectifs faibles, les différences observées (RACS : 38,9 à 100 % ; survie à la sortie de l'hôpital : 0 à 43,7 %) sont essentiellement liées à l'hétérogénéité des pathologies, des définitions employées et des politiques de limitation thérapeutique mises en œuvre [22,26,63,71]. Deux équipes, dont l'efficacité initiale de la RCP est supérieure à 60 %, témoignent d'une mortalité globale très faible dans leur unité (7 et 5,5 %) [24,27]. L'équipe qui réalise un score parfait en matière de RCP (RACS : 100 %) est la même qui déplore 91 % de décès dans les 24 heures suivant l'arrêt et l'absence de survivant à la sortie de l'hôpital [28]. La définition de la RACS dans cette étude (activité circulatoire soutenue plus de cinq minutes sans MCE) n'est pas conforme à l'*Utstein style* qui préconise une durée minimum de 20 minutes pour consacrer le succès initial de la RCP. Les auteurs regrettent une politique insuffisante de limitation des thérapeutiques inutiles dans leur unité. D'autres déplorent l'absence de législation ad hoc dans leur région d'exercice [72].

Facteurs pronostiques

L'*Utstein style* classe les facteurs pronostiques de l'ACIH en trois catégories (Tableau 1) : les facteurs liés au patient, les facteurs liés à l'arrêt (circonstances et environnement, rythme initial, délai de mise en œuvre et durée de la RCP, traitement de l'arrêt) et les facteurs liés aux suites de l'arrêt.

Facteurs liés au patient

À quelques exceptions près [31,34,55,56,73], ni l'âge ni le sexe ne prédisent seuls la mortalité de l'ACIR [23,25,27, 42,45,46,51–53,73]. Le constat dans certaines études d'une

surmortalité chez les patients de race noire [12,34,55,56, 64,73–75] et d'un indice de masse corporelle moins élevé [45] chez les patients décédés traduit probablement en termes de morbidité l'impact de conditions médicosociales défavorables à la fois sur les populations concernées et les structures qui les prennent en charge [13,74].

En l'absence de choc cardiogénique [46], la maladie coronaire prédispose à un meilleur pronostic de l'ACIR comparée aux pathologies non cardiologiques [52,56,58,65,73]. Les circonstances associées à une mortalité élevée de l'ACIR sont les comorbidités multiples [7,34], le cancer [23,42,50,56], la pathologie traumatique [56,73], l'accident vasculaire cérébral [56,73], l'état infectieux grave ou la bactériémie [14,23,25,27,34,50,56,61,76,77], la pneumopathie [42,50,73], l'insuffisance rénale [24,42,50,61,73], l'hypoxie [24,29,44,53], l'œdème pulmonaire lésionnel [24], l'hypotension avant l'arrêt [24,25,32,42,46,50,73], la défaillance hépatique [14,24,56,73], la présence de trois défaillances d'organes ou plus [34], une autonomie fonctionnelle réduite [34,42,73] ou des troubles cognitifs [73] avant l'admission. Une fraction d'éjection du ventricule gauche inférieure à 45 % n'impacte pas le succès initial de la RCP, mais réduit le taux de survie à la sortie de l'hôpital [61].

Les investigateurs du registre GWTG-R ont établi un score (le GO-FAR Score) permettant d'estimer le taux de survie sans séquelle après un ACIH en fonction de 13 variables identifiables avant la survenue de l'arrêt [78]. Ce score prend en compte la tranche d'âge, le lieu de vie (domicile ou structure d'accueil médicalisée) et l'état neurologique (normal ou altéré) avant l'admission, certaines comorbidités (hémopathie ou cancer métastatique), le motif d'admission (accident vasculaire cérébral, polytraumatisme, pneumopathie, sepsis, diagnostic médical non cardiologique) et les défaillances d'organes présentes au moment de l'arrêt (hépatique, rénal, respiratoire et circulatoire). Sur la cohorte étudiée pour construire et valider le modèle (51 240 ACIH), le taux de survie sans séquelle observé est de 10,4 %. Le modèle prédit la survie sans séquelle selon quatre catégories : très bas (< 1 %), bas (1 à 3 %), moyen (3 à 15 %) et au-dessus de la moyenne (> 15 %). L'index de concordance statistique (*C-statistic*) du modèle est de 0,78 [78].

L'intubation ou la ventilation invasive pour une indication médicale avant l'arrêt aggrave le pronostic de l'ACIR [14,23,43,50,56,61,62]. En revanche, si l'ACIR survient au décours d'une chirurgie programmée, alors que le patient n'est pas encore sevré du respirateur, la protection des voies aériennes et l'optimisation des échanges gazeux améliorent l'efficacité de la RCP [28,47]. Plus généralement, les patients admis pour une chirurgie programmée lourde [24,27,34,44,63] en particulier cardiaque [27,41] ont un meilleur pronostic après l'ACIR que les patients médicaux ou opérés en urgence. La prédiction de la mortalité de l'ACIR par les scores de gravité (SAPS II, APACHE III, MPM_O-III, SOFA)

Tableau 1 Facteurs pronostiques de l'ACIR classés selon l' <i>Utstein style template</i>	
Facteurs de mauvais pronostic	
Liés au patient (<i>pre-arrest</i>)	Pathologie non cardiologique (vs cardiologique) Pathologie médicale (vs chirurgicale) Comorbidités associées Insuffisance rénale ou hépatique Cancer métastatique et hémopathie maligne Accident vasculaire cérébral Pathologie traumatique État septique grave, bactériémie, choc septique Pneumopathie, œdème pulmonaire lésionnel, hypoxie Traitement vasopresseur avant l'arrêt cardiaque Ventilation mécanique avant l'arrêt (excepté postopératoire) Défaillances viscérales multiples Handicap fonctionnel et troubles cognitifs Hypotension, tachycardie, polypnée Aggravation récente des scores de gravité
Liés à l'arrêt (<i>intra-arrest</i>)	
Circonstances et environnement	Secteur non monitoré (vs monitoré) Absence de témoin (vs devant témoin) Ratio soignant/patients bas (vs 1 infirmière/2 patients) Nuit et week-end (vs journée en semaine) Survenue tardive dans le séjour (vs dans les premiers jours) Étiologie non identifiée (vs cause rapidement curable)
Rythme initial	Asystolie et DEM (vs FV et TV sans pouls)
Délai et durée de la RCP	Délai d'intervention (<i>no flow</i>) supérieur à 3 minutes Durée de RCP (<i>low flow</i>) supérieure à 15 minutes
Traitement de l'arrêt	Recours à la ventilation endotrachéale pendant la RCP Répétition des chocs électriques externes Injection d'adrénaline, d'atropine, d'isoprénaline, de bicarbonates de sodium pendant la RCP Pression en CO ₂ expiré inférieure à 10 mmHg Pression artérielle diastolique inférieure à 25 mmHg Akinésie du ventricule gauche en échographie
Liés aux suites de l'arrêt (<i>post-arrest</i>)	Acidose métabolique au décours de la RACS Désordre acidobasique ou gazométrique persistant Nécessité de poursuivre la ventilation et/ou les vasopresseurs débutés pendant la RCP Coma persistant ou score CPC 3 ou 4 au décours de l'arrêt si le patient était conscient avant la RCP Aggravation du SAPS II 24 heures après l'arrêt Disparition des variations du flux artériel cérébral au doppler
ACIR : arrêt cardiaque inattendu en réanimation ; DEM : dissociation électromécanique ; FV : fibrillation ventriculaire ; TV : tachycardie ventriculaire ; RCP : réanimation cardiopulmonaire ; RACS : récupération d'une activité circulatoire spontanée ; CPC : <i>Cerebral Performance Category</i> ; SAPS : <i>Simplified Acute Physiology Score</i>	

pourrait être améliorée par l'analyse quotidienne de leur composante physiologique dynamique [79]. Un score qui s'aggrave entre l'admission et le jour de l'ACIR est un facteur de mauvais pronostic [24,25,27,29,30,43]. Les arrêts cardiaques précédés de modifications des paramètres vitaux (pression artérielle, fréquences respiratoires et cardiaques) sont sanctionnés par une surmortalité proportionnelle à l'ampleur des variations observées [80]. Un arrêt cardiaque « réel » inattendu (sans modification préalable des paramètres vitaux) a un meilleur pronostic. Enfin, les systèmes de type *machine learning* pourraient améliorer la performance prédictive des scores de gravité en pronostiquant la mortalité non seulement à l'échelon de la cohorte étudiée (discrimination), mais également à l'échelon individuel (calibration) [81]. La supériorité de ces systèmes comparés aux modèles prédictifs classiques réside dans leur capacité à détecter des interactions non linéaires entre l'événement considéré et les variables explicatives.

Facteurs liés à l'arrêt cardiaque

Circonstances et environnement

Un panel d'experts britanniques a examiné rétrospectivement 118 ACIH, dont 37 ACIR [48]. Dans cette étude, les arrêts cardiaques « évitables » étaient cinq fois plus fréquents en secteur non monitoré qu'en secteur monitoré et 12 fois plus fréquents lorsque le patient est hébergé dans un secteur inadapté faute de place dans l'unité requise. Sur une série cumulative de 36 680 ACIR, seuls 100 événements (2 %) sont qualifiés de « non monitorés et sans témoin », ce qui est effectivement une situation rare, voire surprenante en réanimation [20]. Selon le registre GWTG-R, le taux de survie à la sortie de l'hôpital après un ACIH est de 19 % en secteur monitoré, de 14 % en USI et de 11 % en secteur d'hospitalisation non monitoré [18]. Le succès initial de la RCP est supérieur si l'arrêt survient en secteur monitoré [18,20,43-45,48,51,52,54,56,58,60,65,69] et/ou devant témoin [20,50,52,60,65]. L'identification d'un rythme choquable et sa réversion par un défibrillateur sont plus rapidement réalisées [52,65]. Cependant, si le choc peut être délivré en moins de trois minutes dans tout l'hôpital, le taux de RACS des FV/TV est identique que le patient soit monitoré ou non [8,45]. Les ACIR en asystolie/DEM peuvent également être réanimés avec succès lorsqu'ils relèvent d'une étiologie rapidement curable (tamponnade, hypoxie ou hémorragie) [27,65]. En revanche, le succès à long terme de la RCP (sortie de l'hôpital) dépend moins du lieu de survenue de l'arrêt que des pathologies préexistantes [42,45-47,50,63-65]. Les RCP injustifiées (ou faux arrêts cardiaques) sont beaucoup moins fréquentes en secteur monitoré [60]. Un ratio soignant/patient élevé diminue l'incidence de l'arrêt cardiaque et augmente les chances de succès de la

RCP [14,82]. L'arrivée des nouveaux internes, a priori inexpérimentés, dans les services de réanimation ne modifierait ni les délais de défibrillation (< 1 minute) et d'injection d'adrénaline (1-2 minutes), ni le taux de RACS, ni le pronostic neurologique à la sortie de l'hôpital [15]. Enfin, l'ACIR aurait un pronostic plus favorable quand il survient dans les premiers jours d'hospitalisation [27,45,50]. Par contre, la survenue de l'ACIR la nuit ou le week-end aggraverait le pronostic vital [55].

Rythme initial

Les arrêts par FV/TV (rythme initial), surtout lorsqu'ils relèvent d'une étiologie d'origine cardiaque, ont un meilleur pronostic que les arrêts en asystolie/DEM, indépendamment du secteur (réanimation, USI cardiologique, secteur monitoré ou non) dans lequel il survient [14,17,23,28,29,31,35,45-47,49,52,53,56,58,64,65,69,83]. Cependant, l'environnement d'un service de réanimation ou d'une USI facilite le diagnostic rapide et la RCP des asystolies/DEM dont le taux de RACS n'est pas aussi bas qu'en secteur non monitoré [27,65].

Délai de mise en œuvre et durée de la RCP

Un délai maximum de trois minutes entre l'alerte et la mise en œuvre de la RCP (défibrillation, MCE) est un critère prédictif de RACS [8,51,52,58,60]. En réanimation, les délais d'intervention sont inférieurs [28]. Les arrêts par rythmes choquables sont proportionnellement plus fréquents en secteur monitoré [20]. En secteur non monitoré, un rythme initial choquable non détecté a pu dégénérer au moment de l'analyse en asystolie/DEM dont le pronostic est moins bon [47]. Sur un arrêt par FV/TV, le recours à la ventilation invasive est moins fréquent en réanimation qu'en secteur non monitoré, le choc étant délivré avant l'apparition des troubles de conscience [60]. La rapidité de mise en œuvre de la RCP en réanimation profite essentiellement aux arrêts par asystolie/DEM survenant dans un contexte pathologique non cardiologique [27,65]. Une fois débutée, la durée de la RCP avant RACS est directement corrélée à la mortalité de l'ACIR avec un seuil critique à 15 minutes chez l'adulte normothermique [23,25,27,30,31,33,42,47,50,54,55,58]. Enfin, le fait d'être monitoré au moment de l'événement ne semble pas apporter de bénéfice en termes de survie si l'arrêt survient devant témoin [20].

Traitement de l'arrêt

Les patients qui sont déjà traités par assistance respiratoire invasive et perfusion de médicaments vasopresseurs lorsque survient l'arrêt cardiaque ont un plus mauvais pronostic [32,35,55,56]. Dans la sous-cohorte des ACIR du registre

GWTG-R, le taux de survie sans séquelle neurologique est de 3,3 % (de 21 894 ACIR) si le patient recevait des médicaments vasopresseurs au moment de l'arrêt contre 7 % (de 27 762 ACIR) s'il n'en recevait pas [55]. Les données du registre ne permettant pas l'ajustement aux comorbidités, il est difficile de déterminer si les vasopresseurs ont un effet direct sur la mortalité ou bien s'ils ne sont qu'un simple marqueur de gravité [55]. Pendant les manœuvres de ressuscitation, le recours à la ventilation invasive [42,43,50], la répétition des CEE [47], l'administration d'adrénaline [47,61], d'atropine [61], d'isoprénaline ou de bicarbonates [53] aggravent le pronostic de l'ACIR. En revanche, les patients traités par bêtabloqueurs, inhibiteurs de l'enzyme de conversion et/ou antiarythmiques avant l'arrêt auraient un meilleur taux de survie [61,84]. L'effet délétère apparent de la ventilation, des chocs répétés et des médicaments de l'arrêt n'est peut-être que la traduction d'une RCP prolongée dont on connaît l'issue défavorable. Pendant la RCP, l'efficacité du MCE peut être monitorée par la mesure du CO₂ expiré [85-87] et/ou de la pression artérielle sanglante [88,89]. Des valeurs seuils permettent de prédire la RACS et la survie à la sortie de l'hôpital (10 à 25 mmHg pour la PetCO₂, 25 mmHg pour la pression artérielle diastolique). En cas d'activité électrique sans pouls (DEM), le constat d'une contraction ventriculaire résiduelle en échographie (« pseudo-DEM ») à l'initiation de la RCP serait de meilleur pronostic [90]. La mesure de la vitesse doppler carotidienne est accessible sans interruption de la RCP, mais son intérêt reste à démontrer [91]. Enfin, la mise en place d'une technique d'assistance circulatoire extracorporelle pourrait améliorer le pronostic vital et neurologique des arrêts cardiaques réfractaires, notamment chez les patients qui bénéficient concomitamment d'un geste de revascularisation coronaire [92,93].

Après l'arrêt

Dans les suites immédiates de l'ACIR, les facteurs de mauvais pronostic après la RACS sont un pH inférieur à 7,2 sur le premier gaz du sang [53], un désordre acidobasique ou gazométrique qui se prolonge [53], un coma persistant chez un patient antérieurement conscient [42,43], un SAPS II élevé 24 heures après l'arrêt [27], la nécessité de poursuivre une perfusion d'adrénaline [42,43] ou une assistance respiratoire [43,46] qui n'étaient pas en place avant l'arrêt. Le maintien d'une oxygénation correcte pendant la RCP et après la RACS améliore le pronostic à trois mois de l'événement [29]. La disparition des fluctuations spontanées du flux artériel cérébral observée au doppler serait de mauvais pronostic, car elle témoigne d'une abolition des mécanismes physiologiques d'autorégulation du débit sanguin cérébral [94]. Les patients initialement ressuscités qui décèdent dans les 24 heures suivant l'ACIR ont des caractéristiques proches de celles des

patients non ressuscités lors de la RCP initiale [25]. À notre connaissance, ni les performances prédictives des potentiels évoqués, de l'électroencéphalogramme et de la *neuron specific enolase* plasmatique, ni l'impact du contrôle thermique ou de l'hypothermie induite sur le pronostic de l'ACIR n'ont fait l'objet de travaux spécifiques.

Survie à long terme et pronostic neurologique

Rapportés au nombre de patients sortis vivants de l'hôpital après un ACIR, les taux de survie à long terme sont de 95 % à un mois [45], de 90 % à trois mois [45], de 65 à 82 % à six mois [42,47,51-53], de 53 à 75 % à un an [31,51,52,64]. Une étude taïwanaise rapporte des chiffres très inférieurs (28 % à six mois, 22 % à un an) possiblement dus à une faible incidence du syndrome coronarien et des rythmes choquables (13,6 %) dans la population décrite [62]. Dans trois études, la moitié des patients sortis vivants de l'hôpital le sont toujours plus de quatre ans après l'arrêt [25,31,46]. Le risque de décéder serait plus important dans les 90 jours qui suivent la sortie de l'hôpital, notamment si le patient est transféré en long séjour [95]. L'introduction d'une alimentation entérale précoce après l'ACIR améliorerait le pronostic vital à trois mois de l'événement [29]. Les patients qui vont décéder dans l'année suivant la sortie de l'hôpital étaient plus volontiers hospitalisés (au moment de l'ACIR) en réanimation médicale qu'en USI cardiologique ou en réanimation chirurgicale [53], victimes d'un arrêt en asystolie/DEM [62] ayant nécessité une RCP prolongée [31], évalués CPC 3 et 4 au décours immédiat de l'arrêt cardiaque [52].

Les survivants à un an de l'ACIR auraient un état neurologique quasi identique à celui de la sortie de l'hôpital quel que soit le score CPC avant l'arrêt [60,65]. Cet état neurologique est satisfaisant (CPC 1 et 2) dans 60 à 95 % des cas [6,27,42,45,52,55,60,61,65,70]. Dans la sous-cohorte des ACIR du registre GWTG-R qui regroupe près de 50 000 patients, 83 % des 3 211 patients sortis vivants de l'hôpital ne présentent pas de séquelle neurologique [55]. Au contraire, dans une autre base de données nord-américaine (Project IMPACT), près des deux tiers des patients qui survivent à un ACIR présenteraient à la sortie de l'hôpital une restriction d'autonomie par rapport à leur état antérieur [34]. Recommandée par l'*Utstein style* et utilisée dans le registre GWTG-R, l'échelle CPC ne discerne pas les désordres cognitifs et thymiques qui sont très fréquents après un arrêt cardiaque [42,96]. Les facteurs de bon pronostic neurologique à la sortie de l'hôpital sont l'absence de pathologie respiratoire [45], l'arrêt survenant en secteur monitoré ou devant témoin [20,60], un rythme choquable à l'origine de l'arrêt [49]. L'administration de médicaments vasopresseurs avant la survenue de l'arrêt cardiaque impacte défavorablement le pronostic fonctionnel des patients ayant

survécu à la RCP [55]. Par contre, une fraction d'éjection du ventricule gauche altérée avant la survenue de l'arrêt n'influence pas le pronostic neurologique [61].

Spécificités pédiatriques

Une RCP peut être débutée avant l'arrêt cardiaque en présence d'une bradycardie avec pression de perfusion basse [39,40,97]. Comparé à l'adulte, les rythmes non choquables sont plus fréquents, mais l'efficacité de la RCP en cas d'asystolie/DEM ou de bradycardie est supérieure chez l'enfant [6]. L'incidence de l'ACIR (0,9 à 5,8 %), l'efficacité immédiate de la RCP (RACS : 11,8 à 82 %) et le taux de survie à la sortie de l'hôpital (8,8 à 35 %) varient selon les études, le *case-mix* et la définition employée pour l'ACIR [6,36-39,57,68,98,99]. L'étude prospective multicentrique incluant le plus grand nombre de patients (205 ACIR, incidence : 1,8 %, RACS : 24,3 %, sortie de l'hôpital : 13,7 %) ne prend en compte que les RCP avec MCE de plus de deux minutes [38]. Avec une définition moins restrictive (l'application d'un MCE et/ou l'injection d'adrénaline définissant l'arrêt), von Seggern et al. rapportent une incidence six fois plus élevée de l'ACIR (5,8 %) et une efficacité remarquable de la RCP (RACS : 64 %, 31,4 % de survivants à la sortie de l'hôpital) [39]. De Mos et al. constatent une incidence faible de l'ACIR (0,94 %) et une bonne efficacité de la RCP (RACS : 82 %, survie à la sortie de l'hôpital : 25 %) grâce aux consignes de non-ressuscitation antérieurement attribuées à près de 85 % des enfants présentant un arrêt cardiaque dans leur unité [37].

En termes de RACS, de survie à 24 heures de l'ACIR et de survie à la sortie de l'hôpital, les conditions préalables à l'ACIR prédisposant à un échec de la RCP en réanimation pédiatrique sont les pathologies neurologiques centrales, traumatiques ou associées [16,38-40,57], les maladies oncohématologiques [40,100,101], un diagnostic d'admission médical (vs chirurgical) et non cardiologique (vs cardiologique) [16,40,57,101-103], le sepsis [16,40,104], le nombre de défaillances d'organes [37], l'insuffisance rénale [16,37,101], la survenue d'un premier arrêt cardiaque avant l'admission en réanimation [38], la présence d'une sonde d'intubation trachéale avant la RCP [101], l'administration de vasopresseurs avant l'arrêt cardiaque [16,37,40,100,101,104]. Sur un effectif faible avec une forte mortalité, les scores de gravité pédiatriques ne prédisent pas l'efficacité de la RCP [36]. Au contraire, dans une cohorte prospective multicentrique de 205 ACIR, le Pediatric Risk of Mortality III (PRISM III) est prédictif du taux de survie après l'ACIR [38]. Si le taux de survie décroît comme chez l'adulte avec la prolongation de la RCP [38,40,57], certains patients survivent après plus de 30 minutes de réanimation [39,57]. Le pronostic d'un arrêt cardiaque prolongé diffère selon le contexte pathologique

dans lequel il survient : après 35 minutes de RCP, le taux de survie à la sortie de l'hôpital est de 25 % en chirurgie cardiaque contre 10 % en contexte médical [57]. Pour un arrêt cardiaque d'étiologie respiratoire, les chances de survie décroissent très rapidement avec la prolongation de la RCP (62 % à une minute, 0,2 % à 60 minutes). Au contraire, la probabilité pour un enfant de survivre à un arrêt circulatoire d'origine cardiaque après 1 et 60 minutes de RCP est de 29 et 25 %, respectivement [102]. Les deux tiers des enfants réanimés de manière prolongée en chirurgie cardiaque (RCP > 35 minutes) et survivant à la sortie de l'hôpital ont un statut neurologique jugé satisfaisant [57]. Les ACIH de causes traumatiques ont de loin le plus mauvais pronostic, avec un taux de survie à la sortie de l'hôpital inférieur à 10 % [57]. Le pronostic favorable des ACIH survenant en contexte de chirurgie cardiaque est attribué à l'absence de morbidité autre que cardiologique, à une plus grande fréquence des rythmes choquables chez ces patients et au monitoring dont ils bénéficient en postopératoire, aux abords vasculaires déjà en place au moment de l'arrêt et à la disponibilité des techniques d'assistance circulatoire extracorporelle [6,57,103,105]. Dans ce contexte particulier, la présence d'une assistance ventilatoire invasive au moment de l'arrêt aurait un effet protecteur [103].

En termes de RACS, survie à 24 heures, survie et statut neurologique à la sortie de l'hôpital, les arrêts cardiaques par FV/TV ont un meilleur pronostic que les arrêts par rythme non choquable [105]. En revanche, la survenue d'un trouble du rythme ventriculaire sans pouls (FV/TV dites « de reperfusion ») au cours de la RCP d'un rythme non choquable (asystolie/DEM/bradycardie) aggrave le pronostic vital [105]. Pendant la RCP, l'injection de calcium en bolus et/ou de bicarbonate de sodium serait de mauvais pronostic [36,101,106]. L'utilisation de la capnographie pendant la RCP (23 vs 4,6 %) et le recours à l'hypothermie induite après RACS (13,6 vs 7,6 %) sont plus fréquents chez l'enfant que chez l'adulte [19]. Cependant, ces données issues du registre GWTG-R (mise à jour 2015) sont antérieures à la publication du groupe THAPCA (Therapeutic Hypothermia after Pediatric Cardiac Arrest) relativisant l'intérêt de l'hypothermie après la RCP d'un ACIH pédiatrique [107]. Le recours à l'assistance circulatoire extracorporelle améliorerait le pronostic vital et neurologique des enfants réanimés de façon prolongée pour un ACIH [57,108-111]. Le pronostic neurologique de l'ACIR serait moins bon chez l'enfant que chez l'adulte [6] et corrélé à la durée de la RCP indépendamment de l'étiologie de l'arrêt cardiaque [37,102]. Les troubles du comportement, de l'attention et de la mémorisation sont extrêmement fréquents à distance de l'arrêt [37]. Néanmoins, les trois quarts des enfants qui sortent vivants de l'hôpital après un ACIH conservent un état neurologique jugé satisfaisant [57,101].

Entre 2001 et 2009, 1 031 ACIH pédiatriques (85 % par rythmes non choquables) ont été colligés dans le registre

GWTG-R. En presque une décennie, le taux de survie à la sortie de l'hôpital est passé de 14 à 43 % sans modification du taux de séquelles neurologiques [68]. En 2014, ce taux de survie semblait s'être stabilisé autour de 43 % [19]. Au cours de la décennie 2000–2010, la proportion d'ACIR parmi les ACIH pédiatriques a considérablement augmenté dans le registre GTWG-R [67]. Elle est passée de 87–91 % dans la période 2000–2003 à 94–96 % dans la période 2004–2010. Cette « relocalisation » des RCP dans les secteurs les mieux équipés pour prévenir, détecter et traiter un événement critique s'accompagne d'une amélioration du taux de RACS et du pronostic neurologique de l'ACIH pédiatrique [67,103].

Critères prédictifs de l'ACIR

Le pronostic de l'ACIR peut être amélioré par son anticipation et par un choix argumenté des malades devant être (ou ne pas être) réanimés en cas d'arrêt cardiaque. Depuis notre revue de littérature en 2010 [21], le développement d'une culture de détection et de prévention du risque dans les secteurs de médecine intensive a abouti à la détermination de critères prédictifs de la survenue d'un ACIR. Dans le même temps, la possibilité d'arrêter ou de ne pas mettre en œuvre un traitement jugé « inutile, disproportionné, ou n'ayant d'autre objet que le seul maintien artificiel de la vie » est plus souvent questionnée dans les services de réanimation [112].

Certains critères sont à la fois prédictifs et pronostiques de l'ACIR. Comparés aux arrêts par FV/TV, les arrêts cardiaques par rythmes non choquables sont plus souvent précédés de modifications des variables physiologiques telles que la pression artérielle, la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire [48,51,61,80,113,114]. Plus de 80 % des ACIH seraient précédés de signes cliniques de détérioration dans les 48 heures qui précèdent l'événement [115,116]. Ces signes d'alerte ont été regroupés dans des modèles prédictifs visant à anticiper la survenue de l'arrêt cardiaque par un transfert en secteur de réanimation et par la mise en œuvre de mesures correctrices. Le modèle MEWS (Modified Early Warning Score) utilise la pression artérielle systolique, le niveau de conscience, la température, les fréquences respiratoire et cardiaque, la saturation artérielle en oxygène, la diurèse et enfin l'impression subjective des soignants (*worried concerning a patient condition*) [117,118]. Le score CART (Cardiac Arrest Risk Triage), qui prend en compte l'âge, la pression artérielle diastolique, les fréquences respiratoire et cardiaque, serait plus performant que le score MEWS [119]. Ces modèles ont essentiellement été développés pour détecter les patients « à risque » dans les unités d'hospitalisation non monitorées. Une étude australienne de type avant-après montre que l'implémentation du score MEWS en unité d'hospitalisation conventionnelle dans les 24 heures qui sui-

vent un séjour en réanimation augmente le taux de réadmission en réanimation de 13 à 26 % [117]. En réanimation et en USI, les critères prédictifs de la survenue d'un ACIR sont une fréquence respiratoire élevée chez un patient non ventilé, une pression artérielle basse, une réserve alcaline basse, une hypo- ou une hyperkaliémie, une hypocalcémie, l'administration de noradrénaline [32,120]. Certains médicaments, tels que les antibiotiques (azolés, quinolones, macrolides), ordinairement administrés en réanimation, allongent le segment QT et favorisent la survenue de troubles du rythme potentiellement létaux [76].

En réanimation pédiatrique, une équipe nord-américaine a validé une liste de critères permettant de distinguer les enfants à risque de présenter une détérioration clinique et/ou un arrêt cardiaque avec un taux de faux-positif (« fausse alerte ») relativement faible [121]. Parmi 4 832 enfants, cette check-list distingue 3 % de patients à haut risque de détérioration clinique ou d'arrêt cardiaque, parmi lesquels 17 % présenteront effectivement un événement critique nécessitant intervention thérapeutique et 14 % un arrêt cardiaque. Cette check-list comporte des variables respiratoires (ventilation à pression élevée, inhalation de monoxyde d'azote), circulatoires (perfusion de vasopresseurs, recours à l'ECMO, antécédent récent d'arrêt cardiaque ou d'événements critiques, chirurgie récente de l'hypoplasie ventriculaire gauche), neurologiques (pression intracrânienne élevée chez un traumatisé crânien), métaboliques (pH bas, lactates et potassium élevés, épuration extrarénale initiée en réanimation), procédurales (intubation/extubation d'un patient réputé difficile à intuber, intubation d'un patient présentant une myocardite) et subjectives (ressenti du soignant). La présence d'un seul critère suffit à définir le risque élevé de détérioration clinique ou d'arrêt cardiaque [121]. Comme chez l'adulte, une analyse chronologique des variations de certains paramètres physiologiques (fréquence cardiaque, oxymétrie de pouls, pression artérielle) pourrait encore améliorer la performance prédictive des modèles utilisés en pédiatrie pour anticiper la survenue de l'arrêt cardiaque [116].

Du fait de leur flexibilité, les algorithmes de forêts aléatoires (*random forest*), ou technique dite de *machine learning* exploitant des bases de données de type *big data*, seraient plus performants que les modèles de régression logistique pour détecter les effets non linéaires d'un prédicteur dans son interaction avec l'événement considéré [81,113]. En l'occurrence, ces algorithmes de forêts aléatoires permettraient de réduire le nombre de fausses alarmes (faux-positifs) générées par les modèles de régression logistique [113].

Chaîne de détection et chaîne de survie

La plupart des ACIH, notamment les arrêts par asystolie/DEM, surviennent dans un contexte polypathologique et

sont précédés de signes d'alerte. En réanimation, les procédures à risque sont nombreuses [122]. D'inattendu, l'arrêt cardiaque pourrait être requalifié de « prévisible », voire d'évitable à condition que ces signes d'alerte et ces situations à risque soient résolument appréhendés [48,51,61, 123–127]. Selon le registre GWTG-R, les hôpitaux nord-américains qui déclarent les taux de survie les plus élevés après un arrêt cardiaque sont ceux qui ont les taux d'incidence de l'ACIH les plus faibles, même après ajustement au *case-mix* [82]. Pour partie attribuable à un ratio soignant/patient plus élevé, les performances de ces établissements se traduisent à la fois sur la prévention et sur le traitement de l'ACIH [82]. À l'instar de la « chaîne de survie » s'est développé le concept de « chaîne de prévention » (formation, surveillance, identification, alerte, réponse) visant essentiellement à réduire l'incidence de l'ACIH [128]. Un entraînement périodique des personnels soignants, notamment par simulation, réduit les délais de mise en œuvre du MCE et/ou de la défibrillation en cas d'arrêt cardiaque avéré [8,129]. La mise en place d'un programme de débriefing de l'ACIR pourrait avoir un effet positif sur la survie et le pronostic neurologique à la sortie de l'hôpital [130]. Enfin, une politique de restriction argumentée des techniques de réanimation aux seuls patients ayant une probabilité raisonnable de survivre sans séquelles à la sortie de l'hôpital améliore le taux de succès de la RCP [28,64,131]. Les décès « non réanimés » n'entrant pas dans le champ sémantique de l'ACIH et de l'ACIR [132], il n'est pas surprenant d'observer une corrélation négative entre la fréquence de l'arrêt cardiaque inattendu et le taux de survie sans séquelle après RCP [82].

Conclusion

Le pronostic de l'ACIR peut être amélioré par la détection de signes d'alerte, par un entraînement périodique des soignants à la RCP et par un choix argumenté des patients « à réanimer ». Hypoxie, hypotension et acidose métabolique doivent être détectées et corrigées, car ce sont les anomalies les plus fréquemment observées avant l'arrêt cardiaque, lequel pourrait dans une certaine mesure devenir évitable. La pratique d'une médecine réputée invasive ne se conçoit pas sans une culture d'analyse et de prévention du risque. Un projet thérapeutique a priori proportionné, excluant dans certaines circonstances toute manœuvre de ressuscitation, permet de réduire la proportion de patients indûment réanimés qui décéderont à l'hôpital peu de temps après la RACS. Depuis le 1^{er} janvier 2017, un registre collige les ACIR d'une cinquantaine de services de réanimation français (ClinicalTrials.gov NCT03021564). Une des retombées attendues de ce recueil circonstanciel sera l'élaboration de mesures visant à prévenir l'inattendu, fût-ce au profit de l'inéluctable.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

1. Lee JA, (1957) Cardiac arrest. *The Lancet* 269: 274
2. Cummins RO, Chamberlain D, Hazinski MF, Nadkarni V, Kloeck W, Kramer E, Becker L, Robertson C, Koster R, Zaritsky A, Bossaert L, Ornato JP, Callanan V, Allen M, Steen P, Connolly B, Sanders A, Idris A, Cobbe S, (1997) Recommended guidelines for reviewing, reporting, and conducting research on in-hospital resuscitation: the in-hospital "Utstein style". *American Heart Association. Circulation* 95: 2213–2239
3. Jacobs I, Nadkarni V, Bahr J, Berg RA, Billi JE, Bossaert L, Cassan P, Coovadia A, D'Este K, Finn J, Halperin H, Handley A, Herlitz J, Hickey R, Idris A, Kloeck W, Larkin GL, Mancini ME, Mason P, Mears G, Monsieurs K, Montgomery W, Morley P, Nichol G, Nolan J, Okada K, Perlman J, Shuster M, Steen P, Sterz F, Tibballs J, Timmerman S, Truitt T, Zideman W, International Liaison Committee on Resuscitation, (2004) Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update and simplification of the Utstein templates for resuscitation registries. A statement for healthcare professionals from a task force of the international liaison committee on resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian Resuscitation Council, New Zealand Resuscitation Council, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa). *Resuscitation* 63: 233–249
4. Zaritsky A, Nadkarni V, Hazinski MF, Foltin G, Quan L, Wright J, Fiser D, Zideman D, O'Malley P, Chameides L, (1995) Recommended guidelines for uniform reporting of pediatric advanced life support: the pediatric Utstein style. A statement for healthcare professionals from a task force of the American Academy of Pediatrics, the American Heart Association, and the European Resuscitation Council. Writing Group. *Circulation* 92: 2006–2020
5. Peberdy MA, Kaye W, Ornato JP, Larkin GL, Nadkarni V, Mancini ME, Berg RA, Nichol G, Lane-Truitt T, (2003) Cardiopulmonary resuscitation of adults in the hospital: a report of 14,720 cardiac arrests from the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation. *Resuscitation* 58: 297–308
6. Nadkarni VM, Larkin GL, Peberdy MA, Carey SM, Kaye W, Mancini ME, Nichol G, Lane-Truitt T, Potts J, Ornato JP, Berg RA, National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation Investigators, (2006) First documented rhythm and clinical outcome from in-hospital cardiac arrest among children and adults. *JAMA* 295: 50–57
7. Kayser RG, Ornato JP, Peberdy MA, American Heart Association National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation, (2008) Cardiac arrest in the emergency department: a report from the national registry of cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 78: 151–160
8. Aune S, Eldh M, Engdahl J, Holmberg S, Lindqvist J, Svensson L, Oddby E, Herlitz J, (2011) Improvement in the hospital organization of CPR training and outcome after cardiac arrest in Sweden during a 10-year period. *Resuscitation* 82: 431–435
9. Girotra S, Cram P, Spertus JA, Nallamothu BK, Li Y, Jones PG, Chan PS, American Heart Association's Get With the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2014) Hospital variation in survival trends for in-hospital cardiac arrest. *J Am Heart Assoc* 3: e000871

10. Merchant RM, Berg RA, Yang L, Becker LB, Groeneveld PW, Chan PS, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2014) Hospital variation in survival after in-hospital cardiac arrest. *J Am Heart Assoc* 3: e000400
11. Brunsveld-Reinders AH, Ludikhuizen J, Dijkgraaf MGW, Arbous MS, de Jonge E, COMET Study Group, (2016) Unexpected versus all-cause mortality as the endpoint for investigating the effects of a Rapid Response System in hospitalized patients. *Crit Care* 20: 168
12. Merchant RM, Yang L, Becker LB, Berg RA, Nadkarni V, Nichol G, Carr BG, Mitra N, Bradley SM, Abella BS, Groeneveld PW, American Heart Association Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2012) Variability in case-mix adjusted in-hospital cardiac arrest rates. *Med Care* 50: 124-130
13. Kolte D, Khera S, Aronow WS, Palaniswamy C, Mujib M, Ahn C, Iwai S, Jain D, Sule S, Ahmed A, Cooper HA, Frishman WH, Bhatt DL, Panza JA, Foranow GC, (2015) Regional variation in the incidence and outcomes of in-hospital cardiac arrest in the United States. *Circulation* 131: 1415-1425
14. McHugh MD, Rochman MF, Sloane DM, Berg RA, Mancini ME, Nadkarni VM, Merchant RM, Aiken LH, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2016) Better nurse staffing and nurse work environments associated with increased survival of in-hospital cardiac arrest patients. *Med Care* 54: 74-80
15. Myers L, Mikhael B, Currier P, Berg K, Jena A, Donnino M, Andersen LW, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2017) The association between physician turnover (the "July effect") and survival after in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 114: 133-140
16. Jayaram N, Spertus JA, Nadkarni V, Berg RA, Tang F, Raymond T, Guerguerian AM, Chan PS, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2014) Hospital variation in survival after pediatric in-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 7: 517-523
17. Nolan JP, Soar J, Smith GB, Gwinnutt C, Parrott F, Power S, Harrison DA, Nixon E, Rowan K, National Cardiac Arrest Audit, (2014) Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation* 85: 987-992
18. Perman SM, Stanton E, Soar J, Berg RA, Donnino MW, Mikkelsen ME, Edelson DP, Churpek MM, Yang L, Merchant RM, the American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation (formerly the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation) Investigators, (2016) Location of in-hospital cardiac arrest in the United States — Variability in event rate and outcomes. *J Am Heart Assoc* 5: e003638
19. Writing Group Members, Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, Arnett DK, Blaha MJ, Cushman M, Das SR, de Ferranti S, Després JP, Fullerton HJ, Howard VJ, Huffman MD, Isasi CR, Jiménez MC, Judd SE, Kissela BM, Lichtman JH, Lisabeth LD, Liu S, Mackey RH, Majid DJ, McGuire DK, Mohler ER, Moy CS, Muntner P, Mussolino ME, Nasir K, Neumar RW, Nichol G, Palaniappan L, Pandey DK, Reeves MJ, Rodriguez CJ, Rosamond W, Sorlie PD, Stein J, Towfighi A, Turan TN, Virani SS, Woo D, Yeh RW, Turner MB, American Heart Association Statistics Committee, Stroke Statistics Subcommittee, (2016) Heart disease and stroke statistics-2016 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 133: e38-e360
20. Brady WJ, Gurka KK, Mehiring B, Peberdy MA, O'Connor RE, American Heart Association's Get with the Guidelines® (formerly, NRCPR) Investigators, (2011) In-hospital cardiac arrest: impact of monitoring and witnessed event on patient survival and neurologic status at hospital discharge. *Resuscitation* 82: 845-852
21. Lesieur O, Leloup M, Catherine K, Pambrun T, Duffeffant P, (2010) L'arrêt cardiaque inattendu survenant en réanimation : épidémiologie et facteurs pronostiques. *Réanimation* 19: 69-78
22. Sandroni C, Nolan J, Cavallaro F, Antonelli M, (2007) In-hospital cardiac arrest: incidence, prognosis and possible measures to improve survival. *Intensive Care Med* 33: 237-245
23. Landry FJ, Parker JM, Phillips YY, (1992) Outcome of cardiopulmonary resuscitation in the intensive care setting. *Arch Intern Med* 152: 2305-2308
24. Smith DL, Kim K, Cairns BA, Fakhry SM, Meyer AA, (1995) Prospective analysis of outcome after cardiopulmonary resuscitation in critically ill surgical patients. *J Am Coll Surg* 180: 394-401
25. Peterson MW, Geist LJ, Schwartz DA, Konicek S, Moseley PL, (1991) Outcome after cardiopulmonary resuscitation in a medical intensive care unit. *Chest* 100: 168-174
26. Silva R, Silva B, Silva F, Amaral C, (2016) Cardiopulmonary resuscitation of adults with in-hospital cardiac arrest using the Utstein style. *Rev Bras Ter Intensiva* 28: 427-435
27. Enohumah KO, Moerer O, Kirmse C, Bahr J, Neumann P, Quintel M, (2006) Outcome of cardiopulmonary resuscitation in intensive care units in a university hospital. *Resuscitation* 71: 161-170
28. Myrianthefs P, Kalafati M, Lemonidou C, Minasidou E, Evagelopoulou P, Karatzas S, Baltopoulos G, (2003) Efficacy of CPR in a general, adult ICU. *Resuscitation* 57: 43-48
29. Lee H-K, Lee H, No JM, Jeon YT, Hwang JW, Lim YJ, Park HP, (2013) Factors influencing outcome in patients with cardiac arrest in the ICU. *Acta Anaesthesiol Scand* 57: 784-792
30. Chang SH, Huang CH, Shih CL, Lee CC, Chang WT, Chen YT, Lee CH, Lin ZY, Tsai MS, Hsu CY, Ma MH, Chen SC, Chen WJ, (2009) Who survives cardiac arrest in the intensive care units? *J Crit Care* 24: 408-414
31. Kutsogiannis DJ, Bagshaw SM, Laing B, Brindley PG, (2011) Predictors of survival after cardiac or respiratory arrest in critical care units. *Can Med Assoc J* 183: 1589-1595
32. Rozen TH, Mullane S, Kaufman M, Hsiao YFF, Warrillow S, Bellomo R, Jones DA, (2014) Antecedents to cardiac arrests in a teaching hospital intensive care unit. *Resuscitation* 85: 411-417
33. Tobi K, Amadasun F, (2015) Cardio-pulmonary resuscitation in the intensive care unit: an experience from a tertiary hospital in Sub-Saharan Africa. *Niger Med J* 56: 132
34. Gershengorn HB, Li G, Kramer A, Wunsch H, (2012) Survival and functional outcomes after cardiopulmonary resuscitation in the intensive care unit. *J Crit Care* 27: e9-e17
35. Grigoriyan A, Vazquez R, Palvinskaya T, Bindelglass G, Rishi A, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA, (2009) Outcomes of cardiopulmonary resuscitation for patients on vasopressors or inotropes: a pilot study. *J Crit Care* 24: 415-418
36. Bos AP, Polman A, van der Voort E, Tibboel D, (1992) Cardiopulmonary resuscitation in paediatric intensive care patients. *Intensive Care Med* 18: 109-111
37. de Mos N, van Litsenburg RRL, McCrindle B, Bohn DJ, Parshuram CS, (2006) Pediatric in-intensive-care-unit cardiac arrest: incidence, survival, and predictive factors. *Crit Care Med* 34: 1209-1215
38. Slonim AD, Patel KM, Ruttimann UE, Pollack MM, (1997) Cardiopulmonary resuscitation in pediatric intensive care units. *Crit Care Med* 25: 1951-1955
39. von Seggern K, Egar M, Fuhrman BP, (1986) Cardiopulmonary resuscitation in a pediatric ICU. *Crit Care Med* 14: 275-277
40. Del Castillo J, López-Herce J, Cañadas S, Matamoros M, Rodríguez-Núñez A, Rodríguez-Calvo A, Carrillo A, Iberoamerican Pediatric Cardiac Arrest Study Network RIBEPICI, (2014) Cardiac arrest and resuscitation in the pediatric intensive care unit: a prospective multicenter multinational study. *Resuscitation* 85: 1380-1386

41. Efendijev I, Raj R, Reinikainen M, Hoppu S, Skrifvars MB, (2014) Temporal trends in cardiac arrest incidence and outcome in Finnish intensive care units from 2003 to 2013. *Intensive Care Med* 40: 1853–1861
42. Bedell SE, Delbanco TL, Cook EF, Epstein FH, (1983) Survival after cardiopulmonary resuscitation in the hospital. *N Engl J Med* 309: 569–576
43. Bialecki L, Woodward RS, (1995) Predicting death after CPR. Experience at a nonteaching community hospital with a full-time critical care staff. *Chest* 108: 1009–1017
44. Burns R, Graney MJ, Nichols LO, (1989) Prediction of in-hospital cardiopulmonary arrest outcome. *Arch Intern Med* 149: 1318–1321
45. Danciu SC, Klein L, Hosseini MM, Ibrahim L, Coyle BW, Kehoe RF, (2004) A predictive model for survival after in-hospital cardiopulmonary arrest. *Resuscitation* 62: 35–42
46. Di Bari M, Chiarlone M, Fumagalli S, Boncinelli L, Tarantini F, Ungar A, Marini M, Masotti G, Marchionni N, (2000) Cardiopulmonary resuscitation of older, in-hospital patients: immediate efficacy and long-term outcome. *Crit Care Med* 28: 2320–2325
47. Gwinnutt CL, Columb M, Harris R, (2000) Outcome after cardiac arrest in adults in UK hospitals: effect of the 1997 guidelines. *Resuscitation* 47: 125–135
48. Hodgetts TJ, Kenward G, Vlackonikolis I, Payne S, Castle N, Crouch R, Ineson N, Shaikh L, (2002) Incidence, location and reasons for avoidable in-hospital cardiac arrest in a district general hospital. *Resuscitation* 54: 115–123
49. Patrick A, Rankin N, (1998) The *in-Hospital Utstein style*: use in reporting outcome from cardiac arrest in Middlemore Hospital 1995–1996. *Resuscitation* 36: 91–94
50. Rozenbaum EA, Shenkman L, (1988) Predicting outcome of in-hospital cardiopulmonary resuscitation: *Crit Care Med* 16: 583–586
51. Sandroni C, Ferro G, Santangelo S, Tortora F, Mistura L, Cavallo F, Caricato A, Antonelli M, (2004) In-hospital cardiac arrest: survival depends mainly on the effectiveness of the emergency response. *Resuscitation* 62: 291–297
52. Skrifvars MB, Rosenberg PH, Finne P, Halonen S, Hautamäki R, Kuosa R, Niemelä H, Castrén M, (2003) Evaluation of the in-hospital Utstein template in cardiopulmonary resuscitation in secondary hospitals. *Resuscitation* 56: 275–282
53. Suljaga-Pechtel K, Goldberg E, Strickon P, Berger M, Skovron ML, (1984) Cardiopulmonary resuscitation in a hospitalized population: prospective study of factors associated with outcome. *Resuscitation* 12: 77–95
54. Skrifvars MB, Varghese B, Parr MJ, (2012) Survival and outcome prediction using the APACHE III and the out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) score in patients treated in the intensive care unit (ICU) following out-of-hospital, in-hospital or ICU cardiac arrest. *Resuscitation* 83: 728–733
55. Tian J, Kaufman DA, Zarich S, Chan PS, Ong P, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA, American Heart Association National Registry for Cardiopulmonary-Resuscitation Investigators, (2010) Outcomes of critically ill patients who received cardiopulmonary resuscitation. *Am J Respir Crit Care Med* 182: 501–506
56. Larkin GL, Copes WS, Nathanson BH, Kaye W, (2010) Pre-resuscitation factors associated with mortality in 49,130 cases of in-hospital cardiac arrest: a report from the National Registry for Cardiopulmonary Resuscitation. *Resuscitation* 81: 302–311
57. Matos RI, Watson RS, Nadkarni VM, Huang HH, Berg RA, Meaney PA, Carroll CL, Berens RJ, Praestgaard A, Weissfeld L, Spinella PC, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation (Formerly the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation) Investigators, (2013) Duration of cardiopulmonary resuscitation and illness category impact survival and neurologic outcomes for in-hospital pediatric cardiac arrests. *Circulation* 127: 442–451
58. Cooper S, Cade J, (1997) Predicting survival, in-hospital cardiac arrests: resuscitation survival variables and training effectiveness. *Resuscitation* 35: 17–22
59. Ratcliffe JA, Wilson E, Islam S, Platsman Z, Leou K, Williams G, Lucido D, Moustakakis E, Rachko M, Bergmann SR, (2014) Mortality in the coronary care unit. *Coron Artery Dis* 25: 60–65
60. Herlitz J, Bång A, Aune S, Ekström L, Lundström G, Holmberg S, (2001) Characteristics and outcome among patients suffering in-hospital cardiac arrest in monitored and non-monitored areas. *Resuscitation* 48: 125–135
61. Gonzalez MM, Berg RA, Nadkarni VM, Vianna CB, Kern KB, Timerman S, Ramires JA, (2008) Left ventricular systolic function and outcome after in-hospital cardiac arrest. *Circulation* 117: 1864–1872
62. Huang CH, Chen WJ, Ma MHM, Chang WT, Lai CL, Lee YT, (2002) Factors influencing the outcomes after in-hospital resuscitation in Taiwan. *Resuscitation* 53: 265–270
63. Ballew KA, Philbrick JT, Caven DE, Schorling JB, (1994) Differences in case definitions as a cause of variation in reported in-hospital CPR survival. *J Gen Intern Med* 9: 283–285
64. Karetzky M, Zubair M, Parikh J, (1995) Cardiopulmonary resuscitation in intensive care unit and non-intensive care unit patients. Immediate and long-term survival. *Arch Intern Med* 155: 1277–1280
65. Andréasson AC, Herlitz J, Bång A, Ekström L, Lindqvist J, Lundström G, Holmberg S, (1998) Characteristics and outcome among patients with a suspected in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 39: 23–31
66. Girotra S, Nallamothu BK, Spertus JA, Li Y, Krumholz HM, Chan PS, American Heart Association Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2012) Trends in survival after in-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 367: 1912–1920
67. Berg RA, Sutton RM, Holubkov R, Nicholson CE, Dean JM, Harrison R, Heidemann S, Meert K, Newth C, Moler F, Pollack M, Dalton H, Doctor A, Wessel D, Berger J, Shanley T, Carcillo J, Nadkarni VM, (2013) Ratio of PICU versus ward cardiopulmonary resuscitation events is increasing. *Crit Care Med* 41: 2292–2297
68. Girotra S, Spertus JA, Li Y, Berg RA, Nadkarni VM, Chan PS, American Heart Association Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2013) Survival trends in pediatric in-hospital cardiac arrests: an analysis from Get with the Guidelines®-Resuscitation. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 6: 42–49
69. Tunstall-Pedoe H, Bailey L, Chamberlain DA, Marsden AK, Ward ME, Zideman DA, (1992) Survey of 3,765 cardiopulmonary resuscitations in British hospitals (the BRESUS Study): methods and overall results. *BMJ* 304: 1347–1351
70. Schneider AP, Nelson DJ, Brown DD, (1993) In-hospital cardiopulmonary resuscitation: a 30-year review. *J Am Board Fam Pract* 6: 91–101
71. Eastwood GM, Bellomo R, (2015) Comments on Efendijev et al: temporal trends in cardiac arrest incidence and outcome in Finnish intensive care units from 2003 to 2013. *Intensive Care Med* 41: 382
72. Gulacti U, Lok U, (2016) Influences of “do-not-resuscitate order” prohibition on CPR outcomes. *Turk J Emerg Med* 16: 47–52
73. Ebell MH, Afonso AM, (2011) Pre-arrest predictors of failure to survive after in-hospital cardiopulmonary resuscitation: a meta-analysis. *Fam Pract* 28: 505–515
74. Chan PS, Nichol G, Krumholz HM, Spertus JA, Jones PG, Peterson ED, Rathore SS, Nallamothu BK, American Heart Association National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation (NRCPR) Investigators, (2009) Racial differences in survival after in-hospital cardiac arrest. *JAMA* 302: 1195–1201
75. Razi RR, Churpek MM, Yuen TC, Peek ME, Fisher T, Edelson DP, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2015) Racial disparities in outcomes following PEA and asystole in-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 87: 69–74

76. Leoni D, Rello J, (2016) Cardiac arrest among patients with infections: causes, clinical practice and research implications. *Clin Microbiol Infect* [ahead of print]
77. Morgan RW, Fitzgerald JC, Weiss SL, Nadkarni VM, Sutton RM, Berg RA, (2017) Sepsis-associated in-hospital cardiac arrest: epidemiology, pathophysiology, and potential therapies. *J Crit Care* 40: 128–135
78. Ebell MH, Jang W, Shen Y, Geocadin RG, Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2013) Development and validation of the good outcome following attempted resuscitation (GO-FAR) score to predict neurologically intact survival after in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *JAMA Intern Med* 173: 1872–1878
79. Keegan MT, Gajic O, Afessa B, (2011) Severity of illness scoring systems in the intensive care unit. *Crit Care Med* 39: 163–169
80. Andersen LW, Kim WY, Chase M, Berg KM, Mortensen SJ, Moskowitz A, Novack V, Cocchi MN, Donnino MW, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2016) The prevalence and significance of abnormal vital signs prior to in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 98: 112–117
81. Pirracchio R, Petersen ML, Carone M, Rigon MR, Chevret S, van der Laan MJ, (2015) Mortality prediction in intensive care units with the Super ICU Learner Algorithm (SICULA): a population-based study. *Lancet Respir Med* 3: 42–52
82. Chen LM, Nallamothu BK, Spertus JA, Li Y, Chan PS, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation, (formerly the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation) Investigators, (2013) Association between a hospital's rate of cardiac arrest incidence and cardiac arrest survival. *JAMA Intern Med* 173: 1186–1195
83. Meaney PA, Nadkarni VM, Kern KB, Indik JH, Halperin HR, Berg RA, (2010) Rhythms and outcomes of adult in-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 38: 101–108
84. Bloom HL, Shukrullah I, Cuellar JR, Lloyd MS, Dudley SC, Zafari AM, (2007) Long-term survival after successful in-hospital cardiac arrest resuscitation. *Am Heart J* 153: 831–836
85. Pantazopoulos C, Xanthos T, Pantazopoulos I, Papalois A, Kouskouni E, Iacovidou N, (2015) A review of carbon dioxide monitoring during adult cardiopulmonary resuscitation. *Heart Lung Circ* 24: 1053–1061
86. Hartmann SM, Farris RWD, Di Gennaro JL, Roberts JS, (2015) Systematic review and meta-analysis of end-tidal carbon dioxide values associated with return of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation. *J Intensive Care Med* 30: 426–435
87. Sheak KR, Wiebe DJ, Leary M, Babaeizadeh S, Yuen TC, Zive D, Owens PC, Edelson DP, Daya MR, Idris AH, Abella BS, (2015) Quantitative relationship between end-tidal carbon dioxide and CPR quality during both in-hospital and out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 89: 149–154
88. Sutton RM, Friess SH, Maltese MR, Naim NY, Bratinov G, Weiland TR, Garuccio M, Bhalala U, Nadkarni VM, Becker LB, (2014) Hemodynamic-directed cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 85: 983–986
89. Sainio M, Hopppu S, Huhtala H, Eilevstjønn J, Olkkola KT, Tenhunen J, (2015) Simultaneous beat-to-beat assessment of arterial blood pressure and quality of cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital and in-hospital settings. *Resuscitation* 96: 163–169
90. Flato UAP, Paiva EF, Carballo MT, Buehler AM, Marco R, Timerman A, (2015) Echocardiography for prognostication during the resuscitation of intensive care unit patients with non-shockable rhythm cardiac arrest. *Resuscitation* 92: 1–6
91. Adedipe AA, Fly DL, Schwitz SD, Jorgenson DB, Duric H, Sayre MR, Nichol G, (2015) Carotid Doppler blood flow measurement during cardiopulmonary resuscitation is feasible: a first in man study. *Resuscitation* 96: 121–125
92. Chen YS, Lin JW, Yu HY, Ko WJ, Jerng JS, Chang WT, Chen WJ, Huang SC, Chi NH, Wang CH, Chen LC, Tsai PU, Wang SS, HwangJJ, Lin FY, (2008) Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet* 372: 554–561
93. Ouweneel DM, Schotborgh JV, Limpens J, Sjaaw KD, Engström AE, Lagrand WK, Cherpanath TGV, Driessen AHG, de Mol BAJM, Henriques JPS, (2016) Extracorporeal life support during cardiac arrest and cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42: 1922–1934
94. van den Brule JMD, Vinke EJ, van Loon LM, van der Hoeven JG, Hoedemaekers CWE, (2017) Low spontaneous variability in cerebral blood flow velocity in non-survivors after cardiac arrest. *Resuscitation* 111: 110–115
95. Feingold P, Mina MJ, Burke RM, Hashimoto B, Gregg S, Martin GS, Leeper K, Buchman T, (2016) Long-term survival following in-hospital cardiac arrest: a matched cohort study. *Resuscitation* 99: 72–78
96. Balouris SA, Raina KD, Rittenberger JC, Callaway CW, Rogers JC, Holm MB, (2015) Development and validation of the cerebral performance categories-extended, (CPC-E). *Resuscitation* 94: 98–105
97. Donoghue A, Berg RA, Hazinski MF, Praestgaard AH, Roberts K, Nadkarni VM, American Heart Association National Registry of CPR Investigators, (2009) Cardiopulmonary resuscitation for bradycardia with poor perfusion versus pulseless cardiac arrest. *Pediatrics* 124: 1541–1548
98. Gupta P, Yan K, Chow V, Dao DT, Gossett JM, Leong K, Franzon D, Halamek LP, Reddy S, Berg RA, Roth SJ, Nadkarni JM, (2014) Variability of characteristics and outcomes following cardiopulmonary resuscitation events in diverse ICU settings in a single, tertiary care children's hospital. *Pediatr Crit Care Med* 15: e128–e141
99. Gupta P, Tang X, Gall CM, Lauer C, Rice TB, Wetzel RC, (2014) Epidemiology and outcomes of in-hospital cardiac arrest in critically ill children across hospitals of varied center volume: a multi-center analysis. *Resuscitation* 85: 1473–1479
100. Wu ET, Li MJ, Huang SC, Wang CC, Liu YP, Lu FL, Ko WJ, Wang MJ, Wang JK, Wu MH, (2009) Survey of outcome of CPR in pediatric in-hospital cardiac arrest in a medical center in Taiwan. *Resuscitation* 80: 443–448
101. Meert KL, Donaldson A, Nadkarni V, Tieves KS, Schleiin CL, Brill RJ, Clark RSB, Shaffner DH, Levy F, Statler K, Dalton HJ, van der Jagt EW, Hackbarth R, Pretzlaff R, Hernan L, Dean JM, Moler FW, Pediatric Emergency Care Applied Research Network, (2009) Multicenter cohort study of in-hospital pediatric cardiac arrest. *Pediatr Crit Care Med* 10: 544–553
102. Berens RJ, Cassidy LD, Matchey J, Campbell D, Colpaert KD, Welch T, Lawson M, Peterson C, O'Flynn J, Dearth M, Tieves KS, (2011) Probability of survival based on etiology of cardiopulmonary arrest in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 21: 834–840
103. Ortmann L, Prophan P, Gossett J, Schexnayder S, Berg R, Nadkarni V, Bhutta A, American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation Investigators, (2011) Outcomes after in-hospital cardiac arrest in children with cardiac disease: a report from Get with the Guidelines®-Resuscitation. *Circulation* 124: 2329–2337
104. Rodríguez-Núñez A, López-Herce J, García C, Carrillo A, Domínguez P, Calvo C, Delgado MA, Spanish Study Group for Cardiopulmonary Arrest in Children, (2006) Effectiveness and long-term outcome of cardiopulmonary resuscitation in paediatric intensive care units in Spain. *Resuscitation* 71: 301–309

105. Samson RA, Nadkarni VM, Meaney PA, Carey SM, Berg MD, Berg RA, American Heart Association National Registry of CPR Investigators, (2006) Outcomes of in-hospital ventricular fibrillation in children. *N Engl J Med* 354: 2328–2339
106. Srinivasan V, Morris MC, Helfaer MA, Berg RA, Nadkarni VM, American Heart Association National Registry of CPR Investigators, (2008) Calcium use during in-hospital pediatric cardiopulmonary resuscitation: a report from the National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation. *Pediatrics* 121: e1144–e1151
107. Moler FW, Silverstein FS, Holubkov R, Slomine BS, Christensen JR, Nadkarni VM, Meert KL, Browning B, Pemberton VL, Page K, Gildea MR, Scholefield BR, Shankaran S, Hutchinson JS, Berger JT, Ofori-Amanfo G, Newth CJL, Topjian A, Bennett KS, Koch JD, Pham N, Chanani NK, Pineda JA, Harrison R, Dalton HJ, Alten J, Schleien CL, Goodman DM, Zimmerman JJ, Bhalala US, Schwarz AJ, Porter MB, Shah S, Fink EL, McQuillen P, Wu T, Skellett S, Thomas NJ, Nowak JE, Baines PB, Pappachan J, Mathur M, Lloyd E, van der Jagt EW, Dobyns EL, Meyer MT, Sanders RC, Clark AE, Dean JM, THAPCA Trial Investigators, (2017) Therapeutic hypothermia after in-hospital cardiac arrest in children. *N Engl J Med* 376: 318–329
108. Lasa JJ, Rogers RS, Localio R, Shults J, Raymond T, Gaies M, Thiagarajan R, Laussen PC, Kilbaugh T, Berg RA, Nadkarni V, Topjian A, (2016) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (E-CPR) during pediatric in-hospital cardiopulmonary arrest is associated with improved survival to discharge: a report from the American Heart Association's Get with the Guidelines®-Resuscitation (GWTG-R) registry. *Circulation* 133: 165–176
109. Turek JW, Andersen ND, Lawson DS, Bonadonna D, Turley RS, Peters MA, Jaggars J, Lodge AJ, (2013) Outcomes before and after implementation of a pediatric rapid-response extracorporeal membrane oxygenation program. *Ann Thorac Surg* 95: 2140–2146
110. Tajik M, Cardarelli MG, (2008) Extracorporeal membrane oxygenation after cardiac arrest in children: what do we know? *Eur J Cardiothorac Surg* 33: 409–417
111. Prodhon P, Fiser RT, Dyamenahalli U, Gossett J, Imamura M, Jaquiss RDB, Bhutta AT, (2009) Outcomes after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) following refractory pediatric cardiac arrest in the Intensive Care Unit. *Resuscitation* 80: 1124–1129
112. Lesieur O, Leloup M, Gonzalez F, Mamzer MF, EPILAT study group, (2015) Withholding or withdrawal of treatment under French rules: a study performed in 43 intensive care units. *Ann Intensive Care* 5: 56
113. Churpek MM, Yuen TC, Winslow C, Meltzer DO, Kattan MW, Edelson DP, (2016) Multicenter comparison of machine learning methods and conventional regression for predicting clinical deterioration on the wards. *Crit Care Med* 44: 368–374
114. Oh H, Lee K, Seo W, (2016) Temporal patterns of change in vital signs and Cardiac Arrest Risk Triage scores over the 48 hours preceding fatal in-hospital cardiac arrest. *J Adv Nurs* 72: 1122–1133
115. Ludikhuijze J, Smorenburg SM, de Rooij SE, de Jonge E, (2012) Identification of deteriorating patients on general wards; measurement of vital parameters and potential effectiveness of the Modified Early Warning Score. *J Crit Care* 27: 424.e7-13
116. Kennedy CE, Aoki N, Mariscalco M, Turley JP, (2015) Using time series analysis to predict cardiac arrest in a PICU. *Pediatr Crit Care Med* 16: e332–e339
117. Hammond NE, Spooner AJ, Barnett AG, Corley A, Brown P, Fraser JF, (2013) The effect of implementing a modified early warning scoring (MEWS) system on the adequacy of vital sign documentation. *Aust Crit Care* 26: 18–22
118. Alam N, Hobbink EL, van Tienhoven AJ, van de Ven PM, Jansma EP, Nanayakkara PWB, (2014) The impact of the use of the Early Warning Score (EWS) on patient outcomes: a systematic review. *Resuscitation* 85: 587–594
119. Churpek MM, Yuen TC, Park SY, Meltzer DO, Hall JB, Edelson DP, (2012) Derivation of a cardiac arrest prediction model using ward vital signs. *Crit Care Med* 40: 2102–2108
120. Desbiens NA, (2008) Simplifying the diagnosis and management of pulseless electrical activity in adults: a qualitative review. *Crit Care Med* 36: 391–396
121. Niles DE, Dewan M, Zebuhr C, Wolfe H, Bonafide CP, Sutton RM, DiLiberto MA, Boyle L, Napolito N, Morgan RW, Stinson H, Leffelman J, Nishisaki A, Berg RA, Nadkarni VM, (2016) A pragmatic checklist to identify pediatric ICU patients at risk for cardiac arrest or code bell activation. *Resuscitation* 99: 33–37
122. Valentin A, Capuzzo M, Guidet B, Moreno RP, Dolanski L, Bauer P, Metnitz PGH, Research Group on Quality Improvement of European Society of Intensive Care Medicine, Sentinel Events Evaluation Study Investigators, (2006) Patient safety in intensive care: results from the multinational Sentinel Events Evaluation (SEE) study. *Intensive Care Med* 32: 1591–1598
123. De Meester K, Verspuy M, Monsieurs KG, Van Bogaert P, (2013) SBAR improves nurse–physician communication and reduces unexpected death: a pre- and post-intervention study. *Resuscitation* 84: 1192–1196
124. Davis DP, Graham PG, Husa RD, Lawrence B, Minokadeh A, Altieri K, Sell RE, (2015) A performance improvement-based resuscitation programme reduces arrest incidence and increases survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 92: 63–69
125. Maharaj R, Raffaele I, Wendon J, (2015) Rapid response systems: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 19: 254
126. De Jong A, Jung B, Daurat A, Chanques G, Mahul M, Monnin M, Molinari N, Jaber S, (2016) Effect of rapid response systems on hospital mortality: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42: 615–617
127. Jung B, Daurat A, De Jong A, Chanques G, Mahul M, Monnin M, Molinari N, Jaber S, (2016) Rapid response team and hospital mortality in hospitalized patients. *Intensive Care Med* 42: 494–504
128. Smith GB, (2010) In-hospital cardiac arrest: is it time for an in-hospital “chain of prevention”? *Resuscitation* 81: 1209–1211
129. Sullivan NJ, Duval-Arnould J, Twilley M, Smith SP, Aksamit D, Boone-Guercio P, Jeffries PR, Hunt EA, (2015) Simulation exercise to improve retention of cardiopulmonary resuscitation priorities for in-hospital cardiac arrests: a randomized controlled trial. *Resuscitation* 86: 6–13
130. Wolfe H, Zebuhr C, Topjian AA, Nishisaki A, Niles DE, Meaney PA, Boyle L, Giordano RT, Davis D, Priestley M, Apkon M, Berg RA, Nadkarni VM, Sutton RM, (2014) Interdisciplinary ICU cardiac arrest debriefing improves survival outcomes. *Crit Care Med* 42: 1688–1695
131. Rozen T, Butt W, (2016) Rapid response teams: how are they best used? *Crit Care* 19: 253
132. Morrison LJ, Neumar RW, Zimmerman JL, Link MS, Newby LK, McMullan PW, Hoek TV, Halverson CC, Doering L, Peberdy MA, Edelson DP, American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Clinical Cardiology, and Council on Peripheral Vascular Disease, (2013) Strategies for improving survival after in-hospital cardiac arrest in the United States: 2013 consensus recommendations: a consensus statement from the American Heart Association. *Circulation* 127: 1538–1563