

Optimisation du massage cardiaque externe

B. GARRIGUE - IADE Cadre de Santé - SAMU 91- CH Sud Francilien- Evry (91)

Ph. DOMINGUES - IADE Cadre de Santé - Service d'Anesthésie - CH André Grégoire - Montreuil (93)

1 Les grands principes de la réanimation cardio-pulmonaire au travers de l'histoire

L'arrêt cardio-respiratoire (ACR) a de tout temps rimé avec mort irréversible, le cœur qui s'arrête, et éteint avec lui la vie biologique qu'il animait depuis le début-même de la vie intra-utérine. Les tentatives de réanimation ou de ressuscitation remontent aussi loin que l'homme tenta d'empêcher l'inéluctable et furent particulièrement utilisées dans les cas de noyades où l'on essaya diverses actions pour faire sortir les excédents d'eau et réinsuffler la vie.

Le massage cardiaque est indissociable de la réanimation. Ainsi, avant même toute logique thérapeutique, le simple fait de secouer un être cher en train de mourir, voir même déjà décédé, suffit à constituer non seulement un massage mais aussi une pratique destinée à le ramener à la vie. L'homme ne pouvait se contenter de ces pratiques primitives et spontanées sans élaborer, par empirisme, à force d'observation, d'imagination, des techniques dont certaines restent actuelles.

L'histoire de la réanimation de l'arrêt cardiaque est déjà décrite dans l'ancien testament, le prophète Elie ressuscitant un enfant en état de mort apparente : « alors il se leva et s'allongea à côté de l'enfant, appuyant sa bouche contre sa bouche...la peau de l'enfant redevint chaude... ».

C'est au XVIII^e siècle que débutent les balbutiements de la réanimation cardio-pulmonaire (RCP) et leur essor démarre au milieu du XIX^e siècle¹. Dès 1740, l'académie des sciences de Paris émet des recommandations sur l'utilisation du bouche-à-bouche pour la réanimation des nouveau-nés. 4 ans plus tard, Tossach² utilise cette technique avec succès chez l'adulte. Dès le milieu du XIX^e siècle, le développement de la chirurgie et de l'anesthésie par chloroforme (pourvoyeuse de graves effets secondaires comme des asphyxies et ACR inopinés) permettent d'essayer différentes techniques de réanimation. Ainsi, en 1848, il fut décrit des manœuvres d'insufflation respiratoires seules chez un patient en ACR. Cela est dû au fait qu'il existait une confusion entre asphyxie et effet cardiaque direct de l'anesthésie : l'absence de ventilation n'était pas reconnue comme symptôme de l'ACR. C'est en 1867 que Von Bertzold décrit les premières expériences de massage cardiaque. En 1874, Shiff associe pour la première fois massage cardiaque interne et ventilation par trachéotomie et permet de redonner conscience à des animaux victimes d'un ACR. La technique du massage cardiaque externe (MCE) par pressions rythmiques externes sur le thorax de chats fut ensuite développée par Boehm en 1878.

Par la suite, en 1882, le Dr AR Piot rédige une thèse sur la ressuscitation des animaux asphyxiés³. Expérimentée sur des chiens, il propose une muselière étanche reliée à un soufflet actionné en association avec « *une pression énergétique au niveau du cœur coïncidant avec l'expiration* ».

Les allemands Kônig et Maass semblent être les premiers à réaliser un MCE chez un enfant victime d'un arrêt cardiaque au cours d'une anesthésie par chloroforme en 1892⁴.

La confusion règne alors souvent entre asphyxie et arrêt cardiaque. Restaurer une ventilation efficace doit rétablir la circulation⁵. Ce n'est qu'après l'observation d'arrêts primitifs du cœur lors d'interventions chirurgicales que les recherches portèrent sur les techniques de massage cardiaque.

De nombreuses publications font état de massages cardiaques internes par diverses voies d'abord. Théodore Tuffier, en 1898, pratique ce geste avec un succès momentané sur un patient qui, victime d'une embolie massive, décédera peu après.

Outre les diverses méthodes et théories avancées, le délai entre l'arrêt du cœur et la réanimation apparaît déjà comme fondamental pour la réussite de ce geste avec succès⁶.

Il faut attendre les années 1960 pour que le Dr Kouwenhoven pose les bases scientifiques de la technique du MCE que nous connaissons aujourd'hui. Il pense à l'époque que l'efficacité de ce geste était due à l'unique compression du cœur entre les vertèbres et le thorax. C'est le mécanisme de la pompe cardiaque⁷.

Il faut attendre les années 1980 pour comprendre que ce mécanisme à lui seul ne suffisait pas à rétablir une circulation efficace. La notion de pression intra thoracique est alors évoquée.

Figure 1 : théorie de la pompe cardiaque

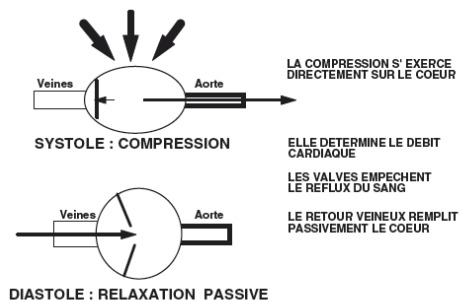
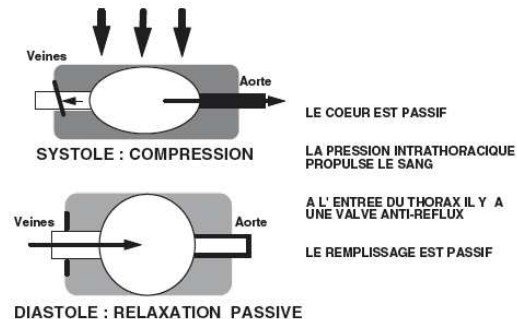


Figure 2 : théorie de la compression thoracique



A la fin du XIX^e siècle, le développement de l'utilisation de l'électricité (réseaux publics et domestiques) produit une augmentation des électrocutions. Prevost et Battelli démontrent sur des animaux que le courant électrique peut provoquer des fibrillations ventriculaires réversibles par l'application d'un second courant : c'est le début de la défibrillation⁸. C'est en 1947, que cette technique est utilisée pour la première fois chez l'homme par Carl Beck qui réalise une défibrillation interne chez un patient opéré⁹.

Réalisée une première fois par Zoll en 1956 la défibrillation externe¹⁰, tout d'abord manuelle, évolue vers des dispositifs automatiques permettant la mise à disposition du grand public de matériels sûrs et efficaces.

En 1992 l'American Heart Association (AHA) et l'European Council (ERC) créent le concept de chaîne de survie. Les travaux sont régulièrement actualisés. Tous les 5 ans, les recommandations sont réévaluées. Ainsi les fréquences du MCE ont évolué pour aboutir à une fréquence actuelle de 100/mn. Le MCE doit être effectué avec le minimum d'interruption. Le massage doit être favorisé par rapport à la ventilation, abandonnant même celle-ci pour les premiers témoins. L'algorithme de défibrillation est également en constante évolution.

Dans les années 2000, nous assistons à un retour du massage cardiaque interne avec la société ThéraCardia[®] qui commercialise un dispositif de massage cardiaque interne mini invasif utilisable en extra hospitalier après une mini thoracotomie au niveau du quatrième espace intercostal.¹¹ La compression du cœur est indirecte car extra-péricardique. Le ventricule gauche est compressé par l'intermédiaire du ventricule droit. Ce dispositif, testé en SMUR, semblait améliorer la perception du pouls carotidien pendant le massage, et permettait la défibrillation in situ mais il a été abandonné faute de résultats probants, et par arrêt de la fabrication du dispositif.

En 2007, Leslie Geddes, Professeur Émérite Russe à la Purdue's Weldon School of Biomedical Engineering propose une autre alternative intéressant la communauté scientifique, l'OAC pour *only rhythmic abdominal compression* en utilisant une planche placée sur l'abdomen sur laquelle on imprime une pression en direction du cœur¹².

L'innovation est toujours présente dans la prise en charge de l'arrêt cardiaque et malgré tout la survie oscille seulement entre 4 et 5% pour les ACR en pré hospitalier.

Le massage cardiaque manuel n'assure qu'une faible proportion d'un débit sanguin normal. De plus, il induit une fatigue importante des sauveteurs. Certains massages cardiaques doivent se prolonger dans le cas des hypothermies, des intoxications médicamenteuses dans l'attente d'une solution thérapeutique hospitalière. La « non » interruption du massage est primordiale : ainsi des dispositifs permettant de mécaniser et/ou optimiser le massage ont été inventés.

2 Aides instrumentales et techniques améliorant l'efficacité du massage cardiaque

2-1 La contention abdominale

En 1967 : Harris montre qu'une compression abdominale associée au MCE améliore le débit sanguin carotidien. Il invente une technique à deux sauveteurs qui alternent compressions thoraciques et abdominales¹³. Ohomoto propose une machine comportant un piston abdominal et un piston thoracique en 1976. Malheureusement aucune étude n'a pu démontrer une amélioration en termes de survie¹⁴

Plusieurs études tenterons de prouver que la contention abdominale améliore la survie mais sans succès.

2-2 La veste pneumatique

Dispositif simple, mais encombrant, inventé dans les années 1980. Une veste reliée à une source de gaz comprimé se gonfle et se dégonfle à une fréquence de 60/mn. Ceci permet d'augmenter uniformément la pression intra-thoracique et par ce biais, permet au cœur d'éjecter du sang vers la périphérie¹⁵. Des patchs de défibrillation peuvent être collés avant la mise en place de la veste. Cette veste a été retravaillée, permettant une réelle amélioration sur le plan hémodynamique mais sans influence sur la survie.

2-3 La compression décompression active.

La fameuse observation publiée en 1990 concernant une tentative de réanimation réussie avec un « débouche évier » consacre le concept de décompression active¹⁶. La société Ambu[®] commercialise un dispositif appelé Cardio Pump[®] permettant, grâce à une ventouse adhérent au thorax, une décompression active. Des études montrent une amélioration de la pression de perfusion coronaire. Du fait de la décompression, le dispositif montre également une action sur la ventilation¹⁷.

Plusieurs études française montrent une amélioration significative de récupération et même de survie à la sortie de l'hôpital¹⁸, ¹⁹. Deux méta-analyses ne retrouvent pas ces mêmes résultats²⁰.

2-4 La compression phasique abdomino-thoracique : le Lifestick®

C'est un dispositif qui associe les effets de la compression / décompression active et de la compression abdominale alternée. Deux ventouses sont reliées par un axe. Une ventouse thoracique et une ventouse abdominale sont actionnées alternativement par le secouriste placé parallèlement au patient. Une étude randomisée chez l'animal a montré un bénéfice en terme de survie, par contre chez l'homme aucun bénéfice n'a pu être prouvé^{21, 22}.

2-5 La valve d'impédance inspiratoire

Le principe est d'occlure totalement ou partiellement les voies aériennes lors de la phase de décompression pour induire une baisse de la pression intra thoracique et favoriser le retour veineux. Cette valve s'intercale entre le ballon auto remplisseur et la sonde d'intubation (ou le masque). L'élément intermédiaire comprend un diaphragme en silicone de très grande compliance, une capsule fenêtrée et une valve anti-retour s'ouvrant quand la pression intra-thoracique devient inférieure à - 22 cm H₂O. Ainsi, à la fin de la phase de décompression du MCE, cette valve empêche l'arrivée de gaz frais. Son fonctionnement est donc basé sur le principe de la manœuvre de Muller (inspiration forcée à glotte fermée qui crée une dépression) connue pour augmenter le retour veineux. Elle permet, en association éventuelle avec le Cardio Pump®, une amélioration significative des paramètres hémodynamiques, mais aussi de la survie chez l'animal et chez l'homme^{23, 24, 25}.

Une méta-analyse a mis en évidence une amélioration de la récupération d'une activité circulatoire spontanée et de la survie initiale mais pas d'amélioration en terme de survie à la sortie de l'hôpital ou en terme de pronostic neurologique²⁶. Ainsi, en l'absence de données suffisamment contributives, la valve d'impédance respiratoire n'est pas recommandée en routine²⁷.

3 Dispositifs automatisés de massage cardiaque

A ce jour, essentiellement, deux dispositifs se partagent le marché du massage cardiaque automatisé : le Lucas® commercialisé par la société Physio Control® et l'Autopulse® par la société Zoll®.

3-1 L'Autopulse®

Il s'agit d'un système de massage circonférentiel du thorax par l'intermédiaire d'une sangle qui s'enroule autour d'un axe animé par un moteur alimenté par des batteries. Le patient est positionné sur une planche rigide incluant l'ensemble du dispositif (d'où le nom fréquemment utilisé de planche à masser). L'alternance compressions / ventilations peut être réglée par l'utilisateur (30/2 ou continu), par contre la fréquence des compressions est fixe à 60/mn.

Des études sur modèle animal ont montré une nette amélioration hémodynamique allant jusqu'à restaurer 100% du débit cardiaque « pré-arrêt »²⁸. Sur l'homme, une amélioration de la survie à l'arrivée à l'hôpital a été démontrée²⁹. Deux autres travaux ont montré des résultats contradictoires^{30, 31}. Ce dispositif trouve son intérêt lors des indications de massage prolongé en attente d'une solution thérapeutique ou dans le cas des prélèvements d'organe à cœur arrêté.

Du point de vue logistique, la gestion des batteries peut poser des problèmes lors de transports prolongés. D'autre part, ce dispositif impose l'utilisation de consommables à « patient unique » (la sangle et la housse de protection).

3-2 Le Lucas[®] (Lund University Cardiac Arrest System) de MedTronic[®]

Ce système, inventé en suède, allie les principes de la compression / décompression active par l'intermédiaire d'une ventouse identique au dispositif manuel et actionnée par un piston pneumatique (mû par de l'air ou de l'oxygène) ou électrique (entraîné par un moteur fonctionnant sur batteries). Un arceau amovible supporte le piston qui vient appuyer sur le thorax du patient.

Des études sur l'animal montrent un bénéfice en terme d'hémodynamique et de survie a court terme par rapport au massage traditionnel^{32, 33}. Par contre chez l'homme les résultats sont décevants³⁴.

Ce dispositif n'engendre pas plus de problème traumatique que le massage manuel³⁵. Au niveau logistique le problème de gestion des batteries peut être contourné par un adaptateur électrique 12 volts permettant une alimentation supplémentaire. La consommation en gaz (50 à 70 l/mn) réserve plutôt le modèle pneumatique à l'intra hospitalier, en l'alimentant sur les prises murales.

A noter, la difficulté rencontrée pour le chargement de patients dans les hélicoptères de type EC 135 du fait de la hauteur du dispositif. Ce dispositif ne nécessite pas de consommables.

Son intérêt réside également dans les indications de massage cardiaque prolongé.

3-3 Le Thumper 1007 CCV[®] de Michigan Instrument[®]

Appareil permettant des compressions thoraciques mécaniques (100/mn), par un piston pneumatique comportant au bout une ventouse, associées ou non à une ventilation du patient sur un ratio de 5:1. Cet appareil n'est pas à ce jour commercialisé en France

Ces 3 appareils peuvent également permettre de réaliser un choc électrique externe sans interrompre le massage cardiaque. Mais la recommandation de leur utilisation dans le cadre d'indications élargies nécessite de réaliser des évaluations complémentaires.

4 Les autres dispositifs optimisant la prise en charge des ACR

Nous avons cité les dispositifs permettant une aide à la prise en charge du Massage Cardiaque, mais d'autres dispositifs peuvent contribuer à une meilleure prise en charge de l'ACR en permettant une optimisation de la ventilation.

4-1 Le système RCP de Boussignac[®]

Ce dispositif original, développé par la société Vygon[®], permet de réaliser une ventilation automatique à un seul sauveteur (sans nécessité d'un dispositif de ventilation manuelle ou mécanique). L'injection d'oxygène à 15 l/mn dans les 5 micro-canaux de la paroi d'une sonde endotrachéale (Ø interne 7,0 à 8,0) génère une pression continue de 10 cm H₂O en intra-thoracique (effet CPAP). Cela favorise l'élimination du CO₂ et diminue l'espace mort. Ce dispositif permet un massage continu sans risque de barotraumatisme (extrémité proximale de la sonde endotrachéale ouverte à l'air libre) et est compatible avec les appareils de massage cardiaque automatisé.

4-2 Abord vasculaire :

Indispensable, il doit être mis en place le plus précocement possible afin de pouvoir flusher les médicaments administrés avec au moins 20 ml de soluté. Le cathéter veineux périphérique court est préférable, mais devant une difficulté de pose, il faut privilégier les nouveaux dispositifs de perfusion intra-osseuse au cathéter central car leur mise en œuvre est plus rapide. Tel est le cas avec le BIG (Bone Injection Gun) commercialisé par Waismed[®] ou l'EZ-IO[®] de la société Vidacare[®].

4-3 Médicaments :

Nous ne développerons pas ce point car tel n'est pas notre propos aujourd'hui.

5 Quels sont les moyens d'évaluer l'efficacité d'une RCP ?

Dès 2010, l'AHA énonce dans ses recommandations que la qualité de la réanimation cardio-pulmonaire est un critère pouvant influencer le taux de reprise d'une activité cardiaque spontanée³⁶. Différentes études ont montré que même des professionnels entraînés ne réussissaient pas à optimiser en permanence les manœuvres de réanimation. Une autre étude a démontré que des signaux audiovisuels guidant le sauveteur permettait d'optimiser la qualité des compressions thoraciques³⁷.

Depuis quelques années, des dispositifs sont proposés par les industriels pour obtenir un retour d'information immédiat sur l'efficacité du massage cardiaque. Certains peuvent s'utiliser dans un but formatif sur mannequin permettant ainsi une évaluation des apprenants et une correction des gestes. D'autres sont utilisables lors de la réanimation de patients et permettent une réadaptation des gestes afin d'obtenir un massage cardiaque optimum en évitant un certain nombre d'effets secondaires comme les fractures de côtes, fréquentes lors de ce geste³⁸.

5-1 Le Pocket CPR

Ce dispositif s'intercale entre les mains du secouriste et le thorax du patient. Il diffuse des messages vocaux résumant la chaîne de survie. Il permet également de visualiser en temps réel l'efficacité du massage en termes de rythme et de profondeur et possède une fonction métronome.

La société Zoll[®] commercialise également des applications pour smartphones qui ont les mêmes fonctions audio (versions iPhone et Android).

5-2 Le Q-CPR

Ce dispositif a été mis au point par la société Philips[®]. Il est posé sur le thorax du patient (à l'emplacement habituel des mains du sauveteur) et est relié à un moniteur multi-paramétrique. Il permet d'avoir un feedback de la qualité du MCE (amplitude, fréquence, pression persistante lors du relâchement) et de la ventilation (volume et fréquence), ainsi qu'un enregistrement des données pour une utilisation ultérieure. Aucune étude sur l'utilisation de ce dispositif et son effet sur l'amélioration du taux de survie n'a été publiée à ce jour.

5-3 Real CPR Help

Développés par la société Zoll[®], des capteurs intégrés aux électrodes de défibrillation permettent un contrôle de la profondeur et de la fréquence du MCE. Ce qui est conforme à un souhait des

recommandations de l'ERC 2005³⁹. Ce dispositif peut s'utiliser en formation ou lors d'une réanimation réelle.

5-4 Le TrueCPR

Ce dispositif original est commercialisé par la société Physio Control[®]. Il permet un retour d'informations immédiat et un enregistrement de données informatiques exploitable sur un logiciel dédié, via une connexion USB. Il mesure la distance réelle parcourue dans l'axe entre le sternum et la colonne vertébrale. Il ne repose pas, contrairement aux précédents dispositifs, sur un accéléromètre mais sur une technologie de champ d'action triaxial TFI[®].

5-5 La mesure de l'EtCO₂

Il existe une relation directe entre le débit cardiaque et la valeur de PetCO₂, et avec le débit coronaire et le débit pulmonaire, notamment dans les dissociations électromécaniques. La remontée de la PetCO₂ (vers 15 mm Hg) signe une efficacité du massage cardiaque. Certains auteurs en ont fait un indicateur pronostique⁴⁰. Cette mesure est effectuée en routine lors de la prise en charge médicalisée des ACR.

5-6 Le cathétérisme artériel

Un cathétérisme artériel permet de monitorer en temps réel le débit sanguin périphérique et donc de s'assurer de l'efficacité du massage cardiaque. Cette technique ne fait pas partie des recommandations de prise en charge de l'ACR. Certaines équipes ont montré la faisabilité de la pose d'artères en pré hospitalier.

5-7 Le monitoring de la SpO₂

Ce monitoring classique durant la réanimation n'est pas fiable en raison de la vasoconstriction due à l'adrénaline, à l'hypothermie, et au faible débit capillaire obtenu même avec un massage de qualité⁴¹.

6 Quels sont les moyens de remplacer la RCP ?

6-1 Les méthodes de circulation extra corporelles :

Une étude française montre la faisabilité d'utiliser des dispositifs d'ECLS (Extra corporal life support) ou d'ECMO (Extra corporal membran oxygenation) en extra hospitalier. Les faibles bénéfices dans l'ACR réservent ces méthodes à des patients extrêmement ciblés⁴² et nécessitent la mobilisation d'équipes spécialisées et une logistique extrêmement lourde.

7 Conclusion

Nous l'avons vu au travers de la découverte de ces différents dispositifs, les résultats en termes d'amélioration du pronostic vital sont essentiellement dus à la précocité de l'intervention (10% de mortalité supplémentaire par minute passée) et à la qualité de quelques gestes simples comme le massage cardiaque et l'emploi de défibrillateurs semi-automatiques ou automatiques.

La formation et l'apport de la simulation sont essentiels dans l'apprentissage des gestes de survie. Nous assistons à l'émergence sur le marché de mannequins, offrant via une interface informatique, un réalisme impressionnant (Laerdal[®], Ambu[®], METI[®])

Le maintien des compétences, quelque soit sa fonction, est le gage d'une prise en charge optimale afin d'être conforme aux recommandations, qui, nous l'avons vu, évoluent sans cesse.

Bibliographie

- ¹ Leveau P. Le massage cardiaque : évolution des techniques. Histoire des sciences médicales. 1998. P. 151-60
- ² Tossach WA. A man in appearance recovered by distending the lungs with air. Med Essays and Obs Soc Edinb, 1744; v (part 2): 605-608
- ³ Piot AR. La mort apparente dans l'asphyxie et son traitement par un procédé nommé respiration artificielle au moyen de l'appareil de Laborde. Thèse Paris n°117. 1892
- ⁴ Mass S. Die methodes der wiederbelebung bei Herztold nach chloroform inatmung. Bln Klin Wchschr. 1892; 12:265
- ⁵ Leveau .P- « l'histoire de la réanimation respiratoire vue à travers celle des noyés ».Ann Fr Anesth. Rea, 1996,15 : 86-100
- ⁶ Lefevre - "Un cas de réanimation du cœur par le massage par voie thoracique", Bull. Soc. Chir., 1918,44: 1942-51.
- ⁷ Kouwenhoven W., Ing D., Jude J . - "Closed-chest cardiac massage", J.A.M.A., 1960,173 : 1064-7.
- ⁸ Dreiffus J., Prevost et Batelli. L'électrochoc et le massage qui réaniment le cœur. Rev Med Suisse. 2011
- ⁹ Beck CS. Resuscitation for cardiac standstill and ventricular fibrillation occurring during operation. Am J Surg. 1941; 54: 273-279.
- ¹⁰ Zoll PM, Limenthal AJ, Norman LR et al. Treatment of unexpected cardiac arrest by external électric stimulation of the heart. N Engl J Med 1956; 254:541-6.
- ¹¹ Rozenberg A, Incagnoli P, Delpech P, Spaulding C, Vivien B, Kern KB, Carli P - Prehospital use of minimally invasive direct cardiac massage (MID-CM): a pilot study. Resuscitation 2001;50:257-262
- ¹² Geddes LA, Rundell A, Lottes A, Kemeny A, Otlewski M. - A new cardiopulmonary resuscitation method using only rhythmic abdominal compression: a preliminary report. Am J Emerg Med. 2007 Sep;25(7):786-90
- ¹³ Harris LC Jr, Kirimli B, Safar P. Augmentation of artificial circulation during cardiopulmonary resuscitation. Anesthesiology 1967;28 :730-4.
- ¹⁴ Chandra N, Rudikoff M, Weisfeldt ML. Abdominal binding during cardiopulmonary resuscitation in man. JAMA 1981;246 :351-3.
- ¹⁵ Halperin HR, Tsitlik JE, Gelfand M, et al. A preliminary study of cardiopulmonary resuscitation by circumferential compression of chest with use of a pneumatic vest. N Engl J Med 1993; 329:762-768
- ¹⁶ Lurie KG, Lindo C, Chin J. The P Stands for plumber's Helper. JAMA 1990;264:1661.
- ¹⁷ Shultz JJ, Coffeen P, Sweeney M et al. Evaluation of standard and active compression-decompression CPR in acute model of ventricular fibrillation. Circulation 1994;88(2):684-693.
- ¹⁸ Plaisance P, Lurie KG, Vicaut E et al. A comparaison of standard cardiopulmonary resuscitation and active compression-decompression resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. N Engl J Med 1999;341:569-575.
- ¹⁹ Plaisance P, Adnet F, Vicaut E, et al. Benefit of active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation as a prehospital advanced cardiac life support. A randomized multicenter study. Circulation 1997 ;95:955-961.
- ²⁰ Lafuente-Lafuente C, Melero-Bascones M. Active chest compression-decompression for cardiopulmonary resuscitation. Cochrane Database Syst Rev 2004(2)(CD002751).

-
- ²¹ Tang W, Weill MH, Schock RB et al. Phased chest and abdominal compression-decompression. *Circulation* 1997;95 :1335-1340.
- ²² Arntz HR, Agrawal R, Richter H, et al. Phased chest and abdominal compression-decompression versus conventional cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2001;104:768-72.
- ²³ Plaisance P, Lurie KG, Payen D. Inspiratory impedance during active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation: a randomized evaluation in patients in cardiac arrest. *Circulation* 2000;101:989-994.
- ²⁴ Wolcke BB, Mauer DK, Schoefmann MF et al. Comparison of standard cardiopulmonary resuscitation versus the combination of active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation and an inspiratory impedance threshold device for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2003;108:2201-5.
- ²⁵ Plaisance P, Lurie KG, Vicaut E, et al. Evaluation of an impedance threshold device in patients receiving active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2004 Jun;61(3):265-71
- ²⁶ Cabrini L, Beccaria P, Landoni G, et al. Impact of impedance threshold devices on cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Crit Care Med* 2008;36:1625-32.
- ²⁷ P-Y. Gueugniaud*, P-Y. Dubien - Nouvelles recommandations sur l'arrêt cardiaque - SFAR 2011 - Conférence d'actualisation
- ²⁸ Halperin HR, Paradis N, Ornato JP, et al. Cardiopulmonary resuscitation with a noel chest compression device in a porcine model of cardiac arrest: improved hemodynamics and mechanisms. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:2214-20.
- ²⁹ Casner M, Anderson D et al. Preliminary report of the impact of a new CPR assist device on the rate of return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Med* 2005;9:61-7.
- ³⁰ Hallstrom A, Rea TR, Sayre MR, et al. Manual chest compression vs use of an automated chest compression device during resuscitation following out-of-hospital cardiac arrest. A randomized trial. *JAMA* 2006;295:2629-37.
- ³¹ Eng Hock Ong M, Ornato JP, Edwards DP, et al. Use of an automated, load-distributing band chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation. *JAMA* 2006;295:2629-37.
- ³² Steen S, Liao Q, Pierre L, Paskevicius A, et al. Evaluation of LUCAS, a new device for automatic mechanical compression and active decompression resuscitation. *Resuscitation* 2002;55:285-289.
- ³³ Rubertsson S, Karlsten R. Increased cortical cerebral blood flow with LUCAS®; a new device for mechanical chest compressions compared to standard external compression during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2005;65:357-363.
- ³⁴ Axelsson C, Nestin J, Svensson L et al. Clinical consequences of the introduction of mechanical chest compression in the EMS system for treatment of out-of-hospital cardiac arrest. A pilot study. *Resuscitation* 2006;71:47-55.
- ³⁵ Smekal D, Johansson J, Huzevka T, Rubertsson S. No difference in autopsy detected injuries in cardiac arrest patients treated with manual chest compressions compared with mechanical compressions with the LUCAS device--a pilot study. *Resuscitation* 2009;80(10) :1104-7.
- ³⁶ 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science - *Circulation*, November 2, 2010, Volume 122, Issue 18 suppl 3
- ³⁷ Benjamin S. Abella, Dana P. Edelson, Salem Kim et al - CPR quality improvement during in-hospital cardiac arrest using a real-time audiovisual feedback system - *Resuscitation* April 2007, Volume 73, Issue 1, p 54-61
- ³⁸ RESUSCITATION, DOI: 10.1016/j.resuscitation.2013.02.01
- ³⁹ Charles P. Deacon, et Jerry Nolan, ERC Guidelines for Resuscitation 2005, page S26.
- ⁴⁰ Katja Lah, Miljenko Križmarić and Štefek Grmec - The dynamic pattern of end-tidal carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation – difference between asphyxial cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest. *Critical Care* – January 2011 – 15:R13 doi:10.1186/cc9417

⁴¹ Rozenberg A, Carli P, Bousquet M, Barrier G. Capnographie et oxymétrie pulsée au cours de la réanimation des arrêts cardiaques à l'extérieur de l'hôpital [abstract]. *Ann Fr Anesth Réanim* 1989 ; 8 Suppl : R78

⁴² Morgan Le Guen, Armelle Nicolas-Robin, Serge Carreira, Mathieu Raux, Pascal Leprince, Bruno Riou and Olivier Langeron - Extracorporeal life support following out-of-hospital refractory cardiac arrest. *Critical Care – January 2011 – 15:R29 doi:10.1186/cc9976*

⁴² Thèse de physiologie-P Incagnoli 2011 Grenoble 2011