



**HAL**  
open science

# Évaluation de l'efficacité du massage cardiaque externe en décubitus ventral : étude physiologique expérimentale sur corps anatomiques formolés. protocole MaC DV

Marion Roux

## ► To cite this version:

Marion Roux. Évaluation de l'efficacité du massage cardiaque externe en décubitus ventral : étude physiologique expérimentale sur corps anatomiques formolés. protocole MaC DV. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04269152

**HAL Id: dumas-04269152**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04269152v1>

Submitted on 3 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)

Année : 2023

**ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DU MASSAGE CARDIAQUE  
EXTERNE EN DÉCUBITUS VENTRAL : ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE  
EXPÉRIMENTALE SUR CORPS ANATOMIQUES FORMOLÉS :  
PROTOCOLE MaC DV**

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ : MÉDECINE INTENSIVE ET RÉANIMATION

SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le 13/10/2023

Par Mme Marion ROUX

*[Données à caractère personnel]*

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury :

Mme le Pr Carole SCHWEBEL

Membres :

M le Pr Guillaume DUMAS

M. le Pr Nicolas TERZI

M. le Dr Florian SIGAUD (directeur de thèse)

*L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

CORPS	NOM Prénom	DISCIPLINE UNIVERSITAIRE
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	ARVIEUX-BARTHÉLÉMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
MCU-PH	BAILLIEUL Sébastien	Physiologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PR Attaché	BARTH Johannes	Chirurgie de l'épaule et du genou
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
PR Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BÉTRY Cécile	Nutrition
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BIOULAC-ROGIER Stéphanie	Pédopsychiatrie ; addictologie
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH émérite	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH émérite	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PU-PH	BOUDISSA Mehdi	Chirurgie orthopédique et traumatologique
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Épidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH émérite	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
MCU-PH	CASPAR Yvan	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
PU-PH émérite	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDÈS Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie

CORPS	NOM Prénom	DISCIPLINE UNIVERSITAIRE
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	CHEVALLIER Marie	Pédiatrie
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
MCU-PH	CLIN CHERPEC Rita	Nutrition
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Attaché	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
PU-PH	DJAILEB Loïc	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	DONDE-COQUELET Clément	Psychiatrie d'adultes
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DREVET Sabine	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	DUMAS Guillaume	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	DUMESTRE PÉRARD Chantal	Immunologie
PU-PH	ÉPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
MCU-PH	EVAIN Jean-Noël	Anesthésiologie-réanimation et médecine périopératoire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH émérite	FAGRET Daniel	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FIARD Gaëlle	Urologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH émérite	FRANÇOIS Patrice	Épidémiologie, économie de la santé et prévention
PR Ass. Méd.	FREY Gil	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale

CORPS	NOM Prénom	DISCIPLINE UNIVERSITAIRE
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
MCU-PH	GAUTIER-VEYRET Elodie	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GIAI Joris	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCF Ass.MG	GIRARD Pauline	Médecine Générale
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	HODAJ Hasan	Thérapeutique-médecine de la douleur
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	JOUVE Thomas	Néphrologie
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
PU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
MCU-PH	KHERRAF Zine-Eddine	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARÈRE José	Épidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	LABLANCHE (CORNALI) Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOUL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LAURENT-COSTENTIN Charlotte	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	LE GOUËLLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH	LE MARÉCHAL Marion	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
PR Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH émérite	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique

CORPS	NOM Prénom	DISCIPLINE UNIVERSITAIRE
MCU-PH	MEONI Sara	Neurologie
MCU-PH	MEONI Sara	Neurologie
MCU-PH	MEUNIER Mathieu	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MICHY Thierry	Gynécologie-obstétrique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH émérite	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
PR Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHÉ Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIÈRES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PÉPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PÉRENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation
PAST	PICARD Julien	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
MCF	PINSAULT Nicolas	Sciences de la rééducation et de réadaptation
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH émérite	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH émérite	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH émérite	POLACK Benoît	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
MCU-PH	RABATTU Pierre-Yves	Anatomie
PU-PH émérite	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

CORPS	NOM Prénom	DISCIPLINE UNIVERSITAIRE
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VÉRICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Épidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	SPEAR Rafaëlle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	THEVENON Julien	Génétique
PU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANO Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VIGLINO Damien	Médecine d'urgence
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH	Professeur des universités - Praticien hospitalier
MCU-PH	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
PU-PH émérite*	Professeur des universités - Praticien hospitalier émérite
MCU-PH émérite*	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier émérite
PU-MG	Professeur des universités de médecine générale
MCU-MG	Maître de conférences des universités de médecine générale
MCF	Maître de conférences des universités
PR Ass. Med.	Professeur des universités associé (à mi-temps)
PR Ass. MG	Professeur des universités de médecine générale associé (à mi-temps)
MCF Ass.MG	Maître de conférences des universités de médecine générale associé (à mi-temps)
PAST	Professeur associé en service temporaire
PR Attaché	Professeur Attaché



# TABLE DES MATIERES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
<b>II.</b>	<b>DÉFINITIONS ET ANALYSE DE LA LITTÉRATURE. ....</b>	<b>22</b>
1)	ARRÊT CARDIO-RESPIRATOIRE .....	22
a)	<i>Définition</i> .....	22
b)	<i>Epidémiologie</i> .....	23
c)	<i>Recommandations</i> .....	24
2)	SYNDROME DE DETRESSE RESPIRATOIRE AIGUE .....	29
a)	<i>Définition et physiopathologie</i> .....	29
b)	<i>Prise en charge et recommandations</i> .....	31
c)	<i>Décubitus ventral</i> .....	32
3)	ACR EN DECUBITUS VENTRAL .....	34
a)	<i>Hypothèse physiologique</i> .....	35
b)	<i>Etudes non interventionnelles</i> . ....	39
c)	<i>Etudes interventionnelles</i> . ....	44
d)	<i>Préconisations des sociétés savantes</i> .....	46
e)	<i>Perspectives</i> .....	48
4)	MODELES EXPERIMENTAUX SUR MODELES ANATOMIQUES .....	50
a)	<i>Définition</i> .....	50
b)	<i>Performances</i> .....	51
<b>III.</b>	<b>PROTOCOLE MAC DV .....</b>	<b>56</b>
<b>IV.</b>	<b>PREMIERS RÉSULTATS.....</b>	<b>70</b>
1)	MANIPULATION SUR CADAVRE FRAIS .....	70
2)	PREMIER CADAVRE FORMOLE .....	77
3)	DISCUSSION.....	84
<b>V.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>86</b>

## REMERCIEMENTS

Je souhaiterais tout d'abord exprimer ma reconnaissance,

Au Professeur Carole Schwebel. Tu me fais l'honneur de présider ce jury. Je te remercie pour ton soutien au cours de ma formation et de ta relecture et ton aide à la traduction de ce travail.

Au Professeur Nicolas Terzi. Je te remercie sincèrement de faire partie de mon jury malgré la distance. Je te suis reconnaissante de m'avoir fait expérimenter l'humanitaire en Mauritanie et aussi pour ton accompagnement dans le cadre de notre DES.

Au Professeur Guillaume Dumas, tu me fais l'honneur de juger ce travail. J'espère qu'il saura susciter ton intérêt.

À mon directeur de thèse, le docteur Florian Sigaud. Un immense merci pour tout ton temps passé sur ce projet, pour tes corrections et re-corrrections. Nous avons commencé ensemble à Grenoble. Et cela à une valeur très particulière que tu m'aies guidée à la réalisation de ce projet.

À l'équipe du LADAF, Dr Bellier, Pr Debaty et Nicolas pour votre aide et conseils dans la réalisation de ce projet.

## *A mes Amis & partenaires d'heures de travail,*

Je tiens sincèrement à toutes et tous vous exprimer ma gratitude

Tout d'abord à toi **Sam**, 20 ans d'amitié, de covoiturette, de fou-rires, de chasse au cafard à 4h du mat. Un grand merci à ta/ma famille et toi. A **Léa**, mon boudin bleu des mers du Sud et à son mari gardois tout aussi énergétique **Julien**, préparez-vous je vais avoir du temps libre pour venir vous rendre visite. A la bande, **Co, Nono, Meagan, Joy** les années passent et j'apprécie toujours autant nos retrouvailles.

A mes années d'externe à Nîmes (ON CHYYYYYME) et cette **promo de l'ambiance** 2014-2019 ! Aux **gueux**, parce qu'on était le meilleur groupe, aux **mexiconos** et tous les **autres** ! A tous ces séminaires périodiques, d'hiver ou d'été, de féria ou ferium où nous éduquions nos palais et nous ouvrons à des styles de musiques saugrenus. A mes diverses compagnons d'orga **Roman Geo, Lionel, Matthieu, Aymerick, Youss** etc.. Aux vieux, **Tarik, Léo, Zbouby, Flo, Jeff, Clément, Justine, Laura, Thibaud**, et à la relève, **Bistour, Ness, Julie** qui ont suivi. Jolie transmission de l'esprit carabin nîmois !

A mes **3 tocards** et l'**Embuscadade**. A **Chris**, notre belge rigoureux tant dans les taches administratives que la festoyerie. Merci pour ces moments où le sol n'était pas palpable. Au **Romino** et ces heures de cuisines sous fond de Kaamelott (faut bien s'instruire), merci pour tes mauvaises bonnes idées (pattes au vin rouge à 4h du mat) mais surtout ta joie de vivre. A **Seb**, ton oreille attentive, tes solides épaules pour me supporter et ces heures à refaire le monde ! A **Hubble** qui aimait Seb sans réciprocité, mon petit chat qui a été accusé d'avoir boucher la gouttière d'évacuation avec ses défécations. Nous avons fait trembler Nîmes par la hauteur de notre stupidi... intelligence. Cela me manque énormément et je compte bien changer ça !!

Aux **Ragocytes** et notre dispatchement. A **Jess**, notre FBI préférée, une vraie cheffe d'orchestre de l'orga, au rire communicateur. A **Marie**, notre surfeuse du Sud-Ouest maintenant, toujours là pour nous soutenir et défendre. A **Caly**, l'aventurière de haute voltige, de l'extrême. Je souhaite à vous 3 tout pleins de courage pour la soutenance. A **Hannah**, dans les contrées Nancéennes, auquel le rôle de tata va parfaitement avec ton immense gentillesse. A toi **Elena**, merci pour ces colocations, ton soutien inconditionnel, à nos soirées « posage de cerveau » devant des émissions neuronalement peu recommandables. Aux organisations de nos divers ragocall, raghollidays ! A **Thibaut et Louis** qui rejoignent malgré eux la troupe. A toi **Killian** et ta famille. Merci pour ces belles années et cette belle relation. Courage pour ta thèse.

Puis arrive, finalement assez rapidement, l'internat.

Merci les Nîmois, Grenoble 2e diaspora tmtc **Alexandra, Réda, Seb, Elena, Thibaut, Reynier, Granier...**

Merci à l'internat de Grenoble et tout d'abord au personnel : **Eric, Denis, Fred, Louise, Linda...** Merci pour votre accueil et d'avoir pris soin de nous/de moi. Vous avez été la base solide de mon internat. Merci à « l'internat Grobid » et ces soirées talentueuses et virevoltantes d'ingéniosité. Merci le Covid pour cette colocation de 40 joyeux lurons. Merci à **Thibaut, Alicia, Olivier, Victoria, Julien, Seb (team 8h07), Raia, Romain, Nordine, Guillaume, Marion, Justine, Blaise, Amaury, Valentine, Fanny, Audrey, Adrian, Schowing** pour tous ces moments. Merci au 400L de terreau, matériel de première nécessité du Carrefour Meylan. A mon petit **Steinmetzzzz**, ta légèreté et douceur sont toujours un plaisir à côtoyer.

A mon tout premier service, la **MIR**. La réa, quoi que c'est ? c'est vous tous. Merci aux (vieux cointernes) **David, Maxime, Mathilde, Wass, Simon, Antoine, Justine, Briac, Lou et fœtus**. Aller Dhaussy va, tu m'as supportée un semestre de plus. Merci aux chefs de ce temps-là **Bastien, Florian, LMG, Guillaume, Anaïs, Charlotte, Clara**. Au paramed et nos apéro, **Benoit, Priscillia, Marlène**. Le retour bientôt dans l'équipe !

A ma **Raiou**, belle et combattante, maman d'Alexandre. Je te souhaite tout le bonheur possible à vous 3,5.

A la Malinf en plein Covid et **Kevin** qui terrorise la secrétaire. Impossible de ne pas penser à toi quand c'est cordon bleu à l'internat. Et qui dit Kevin dit **Simonet**, ancien voisin du 13<sup>e</sup> toujours partant pour une bière ou une petite sieste sur les canap de l'internat et puis par la suite en Haute-Savoie.

A mes 3 semestres à Annecy et les copains de l'internat : **Marjo, Grégoire, Romain, Cédric Mehdi, Huttin, Julia, Marine, Diane, Scherer, Elise, Bastien, Jodie, Giulia, Saut, Guillaume C., Andréa, Juliette, Adrien**. Sacrés semestres avec vous tous ! Parties de volley, de paddle, de rando, d'escalade, de soirées : merci !!

A **theeee team cardio-vasc-neuro-speculos** ! Des bars de (chocolat et de) rires avec vous dans un service de cardiologie incroyable. Merci **Ami** le sourire incarné, **Selim** le futur papa, **Alejandro** le musicien du groupe, **Pauline** tes magnifiques punchline, **Elena** (encore toi ? <3), **Camille** la grande pille toute enjolivée et **Sarah** la plus neuronale du groupe. Et aussi les chefs, **Allan Océane, Arnaud, Victor, Julien** et les paramed **Marceu, Laurie, Laure, Lucie, Sabah, Alex etc ....**

A la team Réa Annecy ! Merci à mes cointernes d'avoir rendu ce semestre incroyable !: **Amaury** l'amateur de CO2, **JC** le pioupiou créole, **Nils** le tombeur, **Chifflet** la maxi athlète, **Yoyo** le papa le + chaud que je connaisse et ma **Marina** nos aventures ne font que

commencer (t'auras ta dose de spritz comme promis !) Aux best Assistants avec la retrouvaille de **Paul** et (maman) **Cécile** et bien sûr à tous les chefs ! A cette équipe paramed d'exception, ma géniale **Julie** +++, **Théo, Marion, Franck, Marie, Cyril** etc. Je vous rejoint bientôt pour une année qui sera koikil riche !

A la team Rognons, merci à (papa) **Antoine, Ivona** et à **Guillaume, Julia, Hélène, Manaf, Céline, Jenny, Coralie, Mathilde, Sullivan** etc.. pour avoir rendu haut en couleur ce semestre où la médiane d'âge des patients était au plus bas à 82 ans (c'est discrettement élevé pour une MIR). Je fais très bon usage de votre poncho.

Et qui dit Annecy dit colooooooooocS. **Olivianne** et **Laurier** votre vélo, nos repas et toutes vos attentions ! **Boullouz** aller je te l'accorde mon MAR parasite pref. **Adriouz** visiblement ça ne t'a pas suffi que je te martyrise en malinf. **Aliciouz** la best des yogueuses et future capichef mon colonel gaaaaarde à vous ! A **Marine**, maman des MAR et de nous tous, cuisiniere hors pairs et **Guillaume** mon cassé pas cassé pref.

A ce retour en Nouvelle-Calédonie, mon caillou, mon chez moi. Mais surtout à ce stage d'anthologie ! La team cointernes avec **Camille, Sonia** (ne vous avisez pas de les confondre), **Antoine, Martinus, Mathys**. Les maxiiii chef avec **Docteur Elsa** et **Docteur Camille, Guillaume, Thomas Anne-Cha, Jorys, Marc, Mathieu, Manu, Nicolas** etc... Et puis à vous, les incroyables : **Vincent, Arthur** et nos soirées fléchettes, à **Tiff, Coco, Nathalie, Alan, Lucie, Gael, Selim, Johnatan, Alexandre**. A the team AS, **Mack, Léon, JP, Greg, Lavé, Ivona**... Vous me manquez mais on se retrouve bientôt. Tal toul ! Aux super copains qui sont venus me rendre visite : Steinmetz, Charavoile, Boullouz, Aliciouz, Marina !!!

Et puis retour à Greu, retour au CHU et débarquement au PAR et surtout la réa cœur. Mais cœur sur vous en fait !! A cette rencontre des cointernes, les 2 best DJ **Marjo** la Tailleferienne que j'admire, à **Théo** notre Grenoblo-Marseillais musicien chat noir de l'extreme, à **Julien** l'alpiniste envoyeur de punchline (révissez vos classiques, âmes sensibles s'abstenir), à **Laura** qui je sais trouvera sa voie, à **Benoit** le futur meilleur tuyoteur des coronaires, aux pioupiou **Anne** mon boulet cramé et **Adrien** le plus gentil. A la rencontre des externes, **Thibaut, LuCapucine, Helena**. A cette incroyable équipe de chefs : **Laura, Bebouche, Papi Durost, Lucie, Quentin, Myriame, Amélie**. Et particulièrement à toi **Géraldine** pour ton soutien Abstracrial, à toi **Sophie** pour ton discours mélioratif et boostant et toi **Daniel** pour ton soutien Houblonesque. Et cette génialissime team paramed ... **Lorraine, Bouclette** (jai pas dit Didine), **Alexia, les Quentin, Charlène, les Nicolas, Ro(ro)nan, les Pauline, Clémence, Deborah, Perrine, Mag, Coco, Yann, Laurence, Fabien** vraiment tous. Vous savez comme j'aimerais rester avec vous. Je compte sur vous pour m'accepter au futurs staffs éth(yl)ique des lundis !

A toi **Clément**, tu as été et es d'un grand soutien, comme un second souffle dans cette dernière ligne droite de ces longues années d'étude. A tes super coloc, **Jorys** et **Clarisse**.

AUX MIR !! A ma cointerne **Trenchouille**, cette année de DJ va être dantesque et caféinée ! A **Charlotte** ma Marseillaise pref et **Cindy** la survivante de la trottinette, vous commencez à être bien grandes maintenant, proud of youu ! A **Léa** et **Arnaud** vous ne serez pas bien loin pour aller boire des coups. Et aux tout nouveau Bryan et Naél ! Une jolie team prend forme !!

A la référence des internes de spécialités médicales. Mama miiiiia. **Lucile** top du top du chef d'orchestre du tétis et **Ritux** ! A Mami **Marie**, Docteur Vangouuuuteuh, que vais-je faire sans toi à proximité. A **Flo** le premier du titre, merci pour ton amitié, ton soutien, ta gentillesse et ta compréhension. A **ALICIAAAA**, ta joie de vivre, ton humour, notre « j'écris comme je parle okey ?! ». Je monte notre service Réa-MPR en NC et je t'accueille, **Mominette et toi** quand vous voulez !! A nos super soirées « potit verreS référents spé med ». Un grand merci et respect à **Eugenia**, **Debibi** et **Boubou** de nous supporter années après années.

Merci au café, à Deepl, Sci-Hub

J'en ai oublié et je ne vous ai pas tous cité (désolé mais elle est déjà longue cette thèse) mais pour une sauvage Calédonienne comme moi, vous avez tous été d'un grand soutien !!

### A ma Famille :

A Jacques Florence et les triplets de Sauzet merci pour ces dimanches en famille. A ma tite Mami Nady, qui se plie en quatre à chaque fois pour faire 36 menus, et ton accueil chaleureux à chacune de mes venues. A papi Roland qui est responsable de mes talents de pilotes grâce au vieux Lada.

A Jean-Jacques qui s'inquiète toujours de me voir pied nus et Françoise avec mes cheveux mouillés. Merci pour votre soutien immuable tout au long de ces années.

Aux couuuuz Gravelaaaaxxx. Ma belle et joyeuse Salomé aux talents de danseuse, d'œnologie et de surtout de spriiiiitz. A la Jibouille, ton humour et ta gentillesse immense. Ta potentialisation de blague avec Arthur notre musicien émérite, promis on ne refait pas comme à tes 18 ans. A Charlzouille, il est loin le temps où j'étais ta babysitter. A Caro et Xavier, merci pour tous ces jolis moments en famille à Ouiné, La Rosière !! A bientôt en PARNAKY.

A Mami Claude et ton amour ainsi que ta patience pour notre apprentissage. Ton poulet du mercredi midi sacré, tes quiches et grolaquiche. Le « peuh » « a » « paaaa » résonnent toujours en moi. A toi mon papi Gil, ta protection et tes valeurs m'accompagnent chaque jour.

A toi mon Milou, mon Mumitte Mumitte, mon grand petit frère, mon compagnon de bêtise de toutes époques révolue, actuelle et future. Tu me gonfles de fierté et de joie. T'es la meilleur Tortillette du monde !

A toi Jean, Touille, celui qui nous montre un peu le chemin, qui desherbe en tout cas (futur transPacifique en famille). Ton soutien me pousse à essayer de toujours donner le meilleur. A Elisou, the maxi belle-sœur qui me/nous supporte contre vents et marées.

A ma Mômmon, ça y (presque) est, tes 3 garnements sont (presque) tous diplômés ! C'est tout toi qui fait que je suis moi aujourd'hui. Tu es mon « one-up », celle qui me montre que tout est toujours surmontable.

A mon papa, c'est à *toi* que je dédie ce travail, toi qui es auprès de moi chaque jour, dans mon sourire, mon regard et mon cœur.

Je vous aime plus que tout.

## **RÉSUMÉ**

**Rationnel** : La réanimation cardio-pulmonaire (RCP) constitue la pierre angulaire de la prise en charge de l'arrêt cardiaque (AC) pour la survie et le pronostic neurologique. Les recommandations ont été mises à jour en 2021. Lorsque l'AC survient chez un patient positionné en décubitus ventral (DV), ce qui peut être le cas lors de la prise en charge d'un syndrome de détresse respiratoire aigu en réanimation, il est recommandé d'initier la RCP en DV. Cependant, les données de la littérature dans ce contexte sont limitées. L'objectif principal de notre étude est d'évaluer l'efficacité du massage cardiaque externe (MCE) en DV par comparaison des volumes de compression et de décompression thoraciques au cours de la RCP en décubitus dorsal (DD) et en DV.

**Methodes** : nous avons conduit une étude expérimentale, en cross-over, sur modèles anatomiques humains formolés au sein du Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises. Le critère de jugement principal est le volume de compression et de décompression thoracique généré lors de la RCP. Les critères de jugements secondaires sont des paramètres hémodynamiques (pression aortique) et respiratoires (pression des voies aériennes, volume courant, pression transpulmonaire, compliance pulmonaire) ainsi que les complications mécaniques (pneumothorax, fractures costales ou vertébrales, déplacement de la sonde d'intubation)

Dix cadavres seront utilisés et trois techniques de RCP seront testées pour chaque cadavre. L'ordre des trois modalités de RCP ; RCP en DV 1 (mains sur chaque scapula), RCP en DV 2 (mains jointes sur la colonne vertébrale thoracique) ou RCP standard en DD, sera randomisé. Pour chaque modalité les mesures seront réalisées selon 3 séquences et dans l'ordre suivant : ventilation seule (1 minute), MCE seul (2 x 1 minute) puis ventilation et MCE combinés (2 x 1 minute). Les deux mêmes opérateurs expérimentés réaliseront le MCE pendant 1 minute lors de la 2<sup>e</sup> et de la 3<sup>e</sup> séquence. Les données sont mesurées en continu à l'aide d'un pneumotachographe et enregistrées à l'aide du logiciel Labchart Pro. Les volumes de compression et de décompression sont calculés à partir des intégrales négatives et positives



des courbes de débit et analysés à l'aide d'un modèle mixte linéaire. La puissance statistique est fixée à 80 % et un risque- $\alpha$  bilatéral fixé à 0,05 pour détecter une différence de 5 % entre les variations de volume.

**Conclusion :** Des données pertinentes concernant les performances de la RCP en DV sont attendues de cette étude expérimentale basée sur des cadavres humains formolés.

**Mots-clés :** réanimation cardio-pulmonaire, modèle anatomique humain, position couchée

## **ABSTRACT**

**Background:** Cardiopulmonary resuscitation (CPR) remains the cornerstone for cardiac arrest management for survival and neurological outcome. Guidelines have been updated in 2021. When cardiac arrest occurs on prone position as in severe acute respiratory distress syndrome patient, it is recommended to initiate prone cardiopulmonary resuscitation. However, there is insufficient knowledge on how to perform. We aim to compare efficacy of CPR in prone and supine position.

**Methods:** We conducted a cross-over experimental study in Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises using a human formaled cadaver model. The primary co-outcome is the thoracic compression and decompression volume generated during CPR. Secondary outcomes are hemodynamic (intra-aortic pressure) and respiratory (airway pressure, tidal volume, transpulmonary pressure, lung compliance) parameters and mechanical complications (ribs or spinal fracture, pneumothorax, endotracheal tube dislodgment).

Ten cadavers will be enrolled and three CPR techniques for each cadaver will be tested. Order of 3 different CPR modalities: prone 1 CPR (hands on each scapula), prone 2 CPR (hands bounded on middle thoracic spine) or standard supine CPR will be randomly assigned. Each cadaver is ventilated through tracheal intubation for 1 minute, then twice 1-minute external compressions only by two providers and finally twice 1-minute ventilation with compressions by two providers. Data are continuously reported using pneumotachograph and recorded using Labchart Pro software. Compression and decompression volumes are calculated from respectively negative and positive integrals from flow curves and analyzed using a a linear mixte model. The statistical power is set to 80% and a two-sided  $\alpha$  level is set to 0,05 to detect a 5% difference between the volume variations.

**Conclusion:** Relevant data respected to prone CPR performance are expected from this originally experimental study based on formalin embalmed human cadavers.

**Keywords:** cardiopulmonary resuscitation, human cadaver model, prone position

## **ABREVIATIONS**

### Françaises:

AC: arrêt cardiaque

ACIH: arrêt cardiaque intra-hospitalier

AHA: American Heart Association

DD: décubitus dorsal

DV: décubitus ventral

ERC: European Resuscitation Council

MCE : massage cardiaque externe

PEP: pression expiratoire positive

RACS : retour d'une activité cardiaque spontanée

RCP: Réanimation cardio-pulmonaire

SDRA: syndrome de détresse respiratoire aigue

VM : ventilation mécanique

Vt : volume courant

### Anglaises:

ARDS: Acute Respiratory Distress Syndrome

AUC: Area Under the Curve

BMI : Body Mass Index

CA: Cardiac Arrest

CC: Chest Compression

COVID: Coronavirus-19 Disease

CPR : Cardiopulmonary Resuscitation

DBP: Diastolic blood pressure

ETCO2: End-tidal Carbon dioxide partial

FiO2: Fraction of Inspired Oxygen

ICU: Intensive Care Unit

IHCA: In-hospital Cardiac Arrest

LADAF: Laboratoire D'Anatomie des Alpes Françaises

MAP : Mean arterial pressure

Pao : Intra-aortic pressure

PaO<sub>2</sub>: Partial Pressure of arterial oxygen

Paw: Airway pressure

PEEP: Positive End-expiratory Pressure

Pes: Esophageal pressure

Pl: Transpulmonary pressure

PP: Prone position

ROSC: Return of spontaneous circulation

SBP: Systolic blood pressure

SP: Supine position

Vc: Compression volume

Vd: Decompression volume

Vt: Tidal volume

# I. INTRODUCTION

L'un des éléments pronostiques de la prise en charge de l'arrêt cardio-circulatoire (AC) est la précocité d'initiation du massage cardiaque externe (MCE). Celui-ci permet de maintenir une activité circulatoire et de limiter les conséquences ischémiques avant la mise en place des mesures de réanimation avancées (1–3). Les recommandations de la prise en charge de l'arrêt cardiaque, appelée réanimation cardio-pulmonaire (RCP) sont mises à jour régulièrement sous l'égide de l'*International Liaison Committee on Resuscitation*.

Le positionnement de patients en décubitus ventral (DV) est une mesure nécessaire au bloc opératoire pour la réalisation de certaines chirurgies (neurochirurgie notamment) mais également comme moyen thérapeutique dans le cadre de la prise en charge des formes les plus sévères de Syndrome de Détresse Respiratoire Aiguë (SDRA) en réanimation (4).

Lors de la pandémie de SARS-CoV-2, les services de réanimation du monde entier ont fait face à la prise en charge d'un grand nombre de patients atteints de SDRA. Ces patients ont nécessité la mise en place de techniques de réanimation complexes associant ventilation mécanique invasive (VM), sédation profonde, curarisation et mise en décubitus ventral (4–6). Le recours au DV s'est alors largement démocratisé et l'incidence des complications survenant au cours des séances de DV s'est logiquement également vue augmenter. Parmi ces complications, la survenue d'un AC (7,8) a mis en lumière de nouvelles problématiques concernant la conduite optimale des mesures de RCP.

En effet, lorsque l'AC survient chez des patients en ventilation mécanique invasive positionnés en DV, le repositionnement en décubitus dorsal (DD) en urgence peut se révéler impossible ou être réalisé dans des conditions non optimales et non anticipées (personnels soignants en nombre insuffisant, absence de sécurisation des divers équipements préalable).

Ces conditions particulières exposent d'une part à un allongement de la durée d'absence totale de flux sanguin, appelée *No-Flow* mais également à la survenue de nouvelles complications pouvant compromettre l'efficacité des mesures de réanimation : extubation accidentelle, déconnexion des lignes vasculaires, exposition des soignants à des aérosolisations accidentelles. Les conséquences sont principalement le décès ou l'aggravation du pronostic à court, moyen et long terme.

Il existe peu de données objectives évaluant l'efficacité du MCE lorsqu'il est réalisé en DV. Néanmoins, des case report au bloc opératoire et en réanimation rapportent des cas d'initiation du MCE en DV au cours de RCP ayant permis ; un retour à une activité cardiaque spontanée (RACS) avec une absence de séquelle neurologique à la sortie de l'hôpital. Les données prospectives sont toutefois peu nombreuses. Elles sont principalement issues de modèles de simulation sur mannequins (9) et de deux études non randomisées chez l'humain (10,11) toutes deux émaillées de biais.

Malgré cela, l'*American Heart Association* (AHA) (3) et l'*European Resuscitation Council* (ERC) (1) suggèrent dans la situation de débiter le MCE en DV si les conditions de sécurité ne permettent pas le positionnement du patient en décubitus dorsal de façon sécuritaire et faisant courir le risque d'un allongement de la durée de *no flow* et la survenue d'autres complications pouvant émailler la réanimation.

Dans ce contexte, en 2020, l'*International Liaison Committee on Resuscitation* (ILCOR) *Advanced Life Support* (ALS) et *Basic Life support* (BLS) a déterminé qu'il y avait un besoin d'établir la meilleure approche de prise en charge de l'AC survenant en DV, et qu'un nouveau consensus sur les recommandations scientifiques et thérapeutiques (CoSTR) devrait être élaboré. Une nouvelle revue de la littérature était alors réalisée l'ILCOR, la *BLS Tasks Forces* et la *Paediatric Life Support Task Force* (12) et concluait une nouvelle fois au manque d'études comparatives de niveau de preuve suffisant. Il était noté que la réalisation de la réanimation en

décubitus dorsal reste la meilleure option chaque fois que possible. Toutefois, les quelques données existantes suggèrent que le MCE en DV permet de maintenir une activité circulatoire adéquate. Ainsi débuter la réanimation en décubitus ventral est jugé raisonnable dans le cas où le retournement en urgence serait jugé difficile ou faisant encourir des risques non acceptables au patient.

La réalisation d'études prospectives de haut niveau de preuve comparant la RCP en DV versus en DD paraît, en l'état actuel des connaissances, non réalisable en recherche clinique compte tenu des enjeux éthiques et des difficultés expérimentales qui y sont associées (incidence faible, mise en œuvre). Une étude expérimentale sur modèle anatomique pourrait en revanche constituer une première étape exploratoire des mécanismes physiologiques impliqués.

Notre protocole est basé sur un modèle de corps anatomiques formolés, validé pour les études fonctionnelles pré-cliniques dans la thématique. Il vise à comparer l'efficacité du MCE au cours de différentes modalités de RCP en DV et DD par l'analyse de paramètres respiratoires.

## II. DÉFINITIONS ET ANALYSE DE LA LITTÉRATURE.

### 1) Arrêt Cardio-Respiratoire

#### a) Définition

L'arrêt cardiocirculatoire, ou arrêt cardiaque (AC), est l'arrêt de l'activité mécanique cardiaque spontanée conduisant à un débit cardiaque nul avec absence de perfusion des organes.

Il s'agit de l'une des rares pathologies à bénéficier de recommandations internationales sous l'égide de l'*International Liaison Committee on Resuscitation* (ILCOR). Les recommandations sont mises à jour tous les 5 ans en se basant sur la revue de la littérature scientifique actualisée. Elles sont ensuite déclinées et diffusées par les sociétés savantes continentales et nationales telles que l'*American Heart Association* (AHA) pour les États-Unis, l'*European Resuscitation Council* (ERC) pour l'Europe dont fait partie le Conseil Français de Réanimation Cardiopulmonaire (CFRC). Ces sociétés ont pour objectif d'adapter les recommandations internationales aux spécificités locales de leurs systèmes de santé. Les recommandations détaillent la prise en charge de l'arrêt cardiaque, aussi nommée réanimation cardio-pulmonaire (RCP). Cette dernière est fondée sur le principe de la chaîne de survie décrit dans les années 1990. Il s'agit d'un ensemble d'actions à mettre en œuvre immédiatement après la survenue d'un AC. En effet, après un AC, chaque minute compte, et la mise en place de cette suite de gestes le plus rapidement possible permet d'augmenter au maximum les chances de survie de la victime. Cette chaîne de survie s'articule autour de deux volets, le *Basic Life Support* et l'*Advanced Life Support*.

Le *Basic Life Support* (BLS) est l'ensemble des actions destiné à tout témoin d'une personne victime d'un arrêt cardiaque afin d'initier la réanimation.



L'*Advanced Life Support* (ALS) est l'ensemble des actions constituant une réanimation cardio-pulmonaire spécialisée, réalisable par tout professionnel de santé formé et entraîné à la prise en charge d'un patient en situation critique.

L'arrêt cardiaque peut survenir dans deux localisations distinctes : en communauté ou dans un hôpital. Il est alors respectivement appelé arrêt cardiaque extra-hospitalier (ACEH) ou intra-hospitalier (ACIH). L'ACEH et l'ACIH diffèrent par leur incidence, leur facteurs de risques et les conditions de réalisation de la chaîne de survie.

#### b) Epidémiologie

L'arrêt cardiaque est l'une des premières causes mondiales de morbidité, la troisième en Europe (13,14).

L'*European Registry of Cardiac Arrest* évalue l'incidence annuelle de l'ACEH à environ 89 (67 à 170) pour 100 000 habitants soit 50 000 ACEH par an. En France, le BLS est entrepris par les témoins dans environ 49% des cas. Dans 63% des cas, une équipe médicale initie ou poursuit la réanimation. Le pronostic de l'ACEH dépend :

- De facteurs liés au patient : le sexe, l'âge, les comorbidités cardiaques, respiratoires ou encore rénales
- De facteurs liés à la RCP : la localisation de l'arrêt (lieu privé ou publique), la survenue de l'arrêt devant témoin, l'initiation par un témoin d'une RCP (standard ou MCE uniquement), le rythme cardiaque lors de l'arrêt (asystolie, dissociation électromécanique, fibrillation ou tachycardie ventriculaire), l'utilisation d'un défibrillateur par les témoins et le temps de retour en activité cardiaque spontanée.

Le taux de survie des ACEH est d'environ 8% (jusqu'à 18%) en Europe mais est inférieur dans d'autre continent comme l'Asie ou l'Océanie (14–17).

L'arrêt cardiaque intra hospitalier survient entre 1,5 à 9,7 par 1000 admissions hospitalières, respectivement en Europe et aux États-Unis (14,18–20). Environ 11 à 30% des ACIH surviennent en unité de réanimation ou soins intensif (19,21). Les facteurs pronostics sont le sexe, l'âge, les comorbidités, l'étiologie de l'arrêt, le service où survient l'arrêt, le degré de surveillance et de monitoring (électrocardiogramme), le rythme initial. La probabilité de retour d'une activité cardiaque spontanée (RACS) varie de 36 à 54%. La survie au trentième jour ou à la sortie de l'hôpital fluctue entre 15 et 34% (14,15).

### c) Recommandations

Les premières recommandations de la réanimation cardiopulmonaire ont été publiées en 1966 en réponse à la demande de plusieurs sociétés savantes sur le besoin d'organiser et de standardiser la prise en charge de l'arrêt cardiaque (22). La réanimation cardio-pulmonaire a pour objectif de maintenir un flux sanguin oxygéné jusqu'au retour d'une activité cardiaque spontanée. La prise en charge de l'arrêt cardiaque est divisée en deux volets : les soins basiques (BSL) et la réanimation avancée, spécialisée (ALS).

#### *Basic Life Support (2)*

Ce volet des recommandations est destiné à toute personne amenée à prendre en charge un arrêt cardiocirculatoire à la phase initiale : grand public, personnels soignants formés ou non à la réanimation spécialisée (figure 1 et 2)

Les objectifs principaux sont :

- la reconnaissance de l'arrêt cardiaque et l'initiation de la RCP.
- l'appel à l'aide.
- la réalisation du massage cardiaque externe (MCE).
- la défibrillation précoce à l'aide d'un défibrillateur semi automatisé si disponible
- l'apprentissage.

La réanimation cardiopulmonaire doit être commencée devant toute personne inconsciente ne réagissant pas à la stimulation et présentant une respiration anormale, agonique (lente et laborieuse) ou absente.

Il faut alors alerter immédiatement un service médical d'urgence par téléphone, en composant le 112 (numéro européen) ou le 15 (Service d'Aide Médicale Urgente, SAMU en France).

Les compressions thoraciques, ou massage cardiaque externe demeurent la pierre angulaire de la prise en charge de l'arrêt cardiaque (1,3). L'initiation la plus précoce possible des compressions est primordiale pour la survie et le pronostic neurologique. Le massage cardiaque externe est réalisé sur le moitié inférieure du sternum, au centre du thorax. Celui-ci doit atteindre 5 cm de profondeur sans dépasser 6 cm afin d'éviter la survenue de lésions supplémentaires des organes intrathoraciques. Il est réalisé à un rythme de 100 à 120 par minutes avec le moins d'interruptions possible. L'intervenant ne doit pas rester appuyer sur la poitrine afin de permettre une décompression passive et complète du thorax. Les compressions sont réalisées sur une surface solide, sous peine d'une efficacité moindre.

Dans la mesure du possible, il faut alterner 30 compressions et 2 respirations de secours. Si le témoin n'est pas formé à la respiration de secours ou s'il ne peut pas les réaliser, les compressions thoraciques seules sont à poursuivre.

Un défibrillateur externe automatique doit être recherché et positionné sur la victime le plus précocement possible. Les intervenants suivent les instructions orales du défibrillateur. Celui-ci permet de délivrer un choc électrique externe en cas d'arrêt cardiocirculatoire secondaire à rythme choquable avant l'arrivée du personnel formé.

Enfin les sociétés savantes recommandent un apprentissage des soins basiques de la réanimation cardiopulmonaire, que celui-ci vise le grand public par des campagnes d'informations ou le personnel qualifié via entre autres, la simulation ou les formations.

# BASIC LIFE SUPPORT

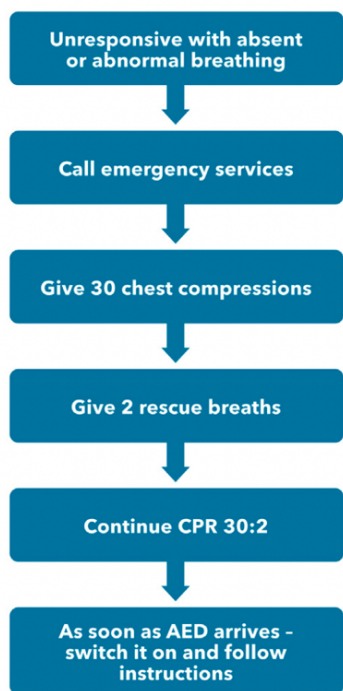


Figure 1 : Algorithme du Basic Life Support (2)



# BASIC LIFE SUPPORT STEP-BY-STEP



SEQUENCE/ACTION	TECHNICAL DESCRIPTION
<b>SAFETY</b> Check for a response	<ul style="list-style-type: none"> <li>Make sure that you, the victim and any bystanders are safe</li> </ul>
<b>AIRWAY</b> Open the airway	<ul style="list-style-type: none"> <li>If there is no response, position the victim on their back</li> <li>With your hand on the forehead and your fingertips under the point of the chin, gently tilt the victim's head backwards, lifting the chin to open the airway</li> </ul>
<b>BREATHING</b> Look, listen and feel for breathing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Look, listen and feel for breathing for <b>no more than 10 seconds</b></li> <li>A victim who is barely breathing, or taking infrequent, slow and noisy gasps, is not breathing <b>normally</b></li> </ul>
<b>ABSENT OR ABNORMAL BREATHING</b> Alert emergency services	<ul style="list-style-type: none"> <li>If breathing is absent or abnormal, ask a helper to call the emergency services or call them yourself</li> <li>Stay with the victim if possible</li> <li>Activate the speaker function or hands-free option on the telephone so that you can start CPR whilst talking to the dispatcher</li> </ul>
<b>SEND FOR AED</b> Send someone to get an AED	<ul style="list-style-type: none"> <li>Send someone to find and bring back an AED if available</li> <li>If you are on your own, <b>DO NOT</b> leave the victim, but start CPR</li> </ul>
<b>CIRCULATION</b> Start chest compressions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kneel by the side of the victim</li> <li>Place the heel of one hand in the centre of the victim's chest - this is the lower half of the victim's breastbone (sternum)</li> <li>Place the heel of your other hand on top of the first hand and interlock your fingers</li> <li>Keep your arms straight</li> <li>Position yourself vertically above the victim's chest and press down on the sternum at least 5 cm (but not more than 6 cm)</li> <li>After each compression, release all the pressure on the chest without losing contact between your hands and the sternum</li> <li>Repeat at a rate of 100-120 min<sup>-1</sup></li> </ul>

# BASIC LIFE SUPPORT STEP-BY-STEP



# BASIC LIFE SUPPORT STEP-BY-STEP



SEQUENCE/ACTION	TECHNICAL DESCRIPTION
<b>COMBINE RESCUE BREATHING WITH CHEST COMPRESSIONS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>If you are <b>trained to do so</b>, after 30 compressions, open the airway again, using head tilt and chin lift</li> <li>Pinch the soft part of the nose closed, using the index finger and thumb of your hand on the forehead</li> <li>Allow the victim's mouth to open, but maintain chin lift</li> <li>Take a normal breath and place your lips around the victim's mouth, making sure that you have an airtight seal</li> <li>Blow steadily into the mouth whilst watching for the chest to rise, taking about 1 second as in normal breathing. This is an effective rescue breath</li> <li>Maintaining head tilt and chin lift, take your mouth away from the victim and watch for the chest to fall as air comes out</li> <li>Take another normal breath and blow into the victim's mouth once more to achieve a total of two rescue breaths</li> <li>Do not interrupt compressions by more than 10 seconds to deliver the two breaths even if one or both are not effective</li> <li>Then return your hands without delay to the correct position on the sternum and give a further 30 chest compressions</li> <li>Continue with chest compressions and rescue breaths in a ratio of 30:2</li> </ul>
<b>COMPRESSION-ONLY CPR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>If you are <b>untrained, or unable to give rescue breaths</b>, give chest-compression-only CPR (continuous compressions at a rate of 100-120 min<sup>-1</sup>)</li> </ul>
<b>WHEN AED ARRIVES</b> Switch on the AED and attach the electrode pads	<ul style="list-style-type: none"> <li>As soon as the AED arrives switch it on and attach the electrode pads to the victim's bare chest</li> <li>If more than one rescuer is present, CPR should be continued whilst the electrode pads are being attached to the chest</li> </ul>
<b>FOLLOW THE SPOKEN/VISUAL DIRECTIONS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Follow the spoken and visual directions given by the AED</li> <li>If a <b>shock is advised</b>, ensure that neither you nor anyone else is touching the victim</li> <li>Push the shock button as directed</li> <li>Then <b>immediately</b> resume CPR and continue as directed by the AED</li> </ul>

SEQUENCE/ACTION	TECHNICAL DESCRIPTION
<b>IF NO SHOCK IS ADVISED</b> Continue CPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>If <b>no shock is advised</b>, immediately resume CPR and continue as directed by the AED</li> </ul>
<b>IF NO AED IS AVAILABLE</b> Continue CPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>If no AED is available, <b>OR</b> whilst waiting for one to arrive, continue CPR</li> <li>Do not interrupt resuscitation until:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>A health professional tells you to stop <b>OR</b></li> <li>The victim is definitely waking up, moving, opening eyes, and breathing normally</li> </ul> </li> <li><b>OR</b></li> <li>You become exhausted</li> <li>It is rare for CPR alone to restart the heart. Unless you are certain that the victim has recovered continue CPR</li> <li>Signs that the victim has recovered                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Waking-up</li> <li>Moving</li> <li>Opening eyes</li> <li>Breathing normally</li> </ul> </li> </ul>
<b>IF UNRESPONSIVE BUT BREATHING NORMALLY</b> Place in the Recovery Position	<ul style="list-style-type: none"> <li>If you are certain that the victim is breathing normally but still unresponsive, place them in the recovery position <b>SEE FIRST AID SECTION</b></li> <li>Be prepared to restart CPR immediately if the victim becomes unresponsive, with absent or abnormal breathing</li> </ul>

Figure 2 : Instruction étapes par étapes des soins basiques de la réanimation cardio-pulmonaire. (2)

## *Advanced Life Support (1)*

Ce volet des recommandations est destiné aux professionnels de santé formés à la prise en charge de patients critiques. Il définit la réanimation spécialisée de l'ACR (figure 3 et 4). L'ALS inclut :

- la prévention et le traitement des arrêts cardiaques intra et extrahospitaliers
- la défibrillation manuelle
- la gestion des voies aériennes et ventilation.
- l'administration de médicaments d'urgence.
- la recherche et la correction du facteur causal de l'arrêt cardiaque.
- un algorithme

Lors de la mise en œuvre de ces mesures, les soins basiques précédemment décrits sont poursuivis.

En secteur extrahospitalier, l'ALS est débutée à l'arrivée de l'équipe médicale.

Au cours d'un arrêt cardiaque intra-hospitalier, le BLS et l'ALS sont rapidement réalisés conjointement. L'ERC recommande que tout personnel travaillant dans un hôpital devrait être capable de reconnaître précocement l'arrêt cardiaque, de réaliser des compressions thoraciques de haute qualité et de réaliser une défibrillation précoce (dans les 3 minutes du début de la RCP) si nécessaire. Les recommandations font état d'un algorithme pour systématiser et guider la RCP spécialisée. Après la reconnaissance de l'ACR, une équipe dédiée à la réanimation spécialisée au sein de l'hôpital est alertée. La prise en charge reprend les compressions thoraciques mais qualifiées de haute qualité car réalisées par un personnel formé et entraîné, associées à l'administration d'oxygène et au changement d'intervenant à chaque analyse de rythme. La recherche et le traitement des causes réversibles sont une des priorités dans l'ALS tout comme l'analyse précoce du rythme cardiaque initial et l'adjonction de médicaments d'urgence tels que l'Adrénaline, l'Amiodarone (si rythme choquable).

# ADVANCED LIFE SUPPORT

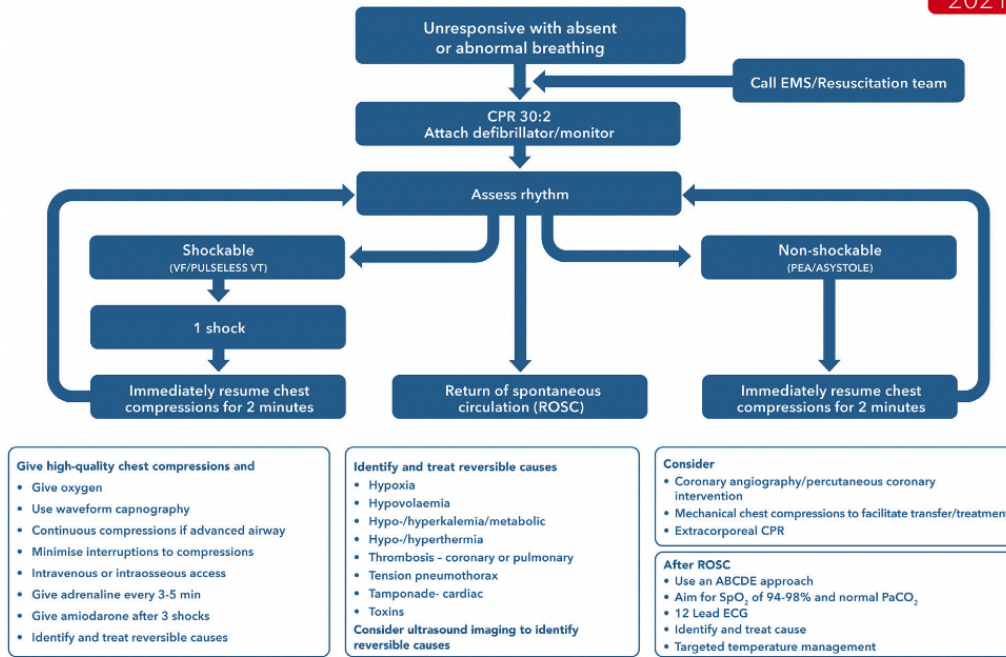
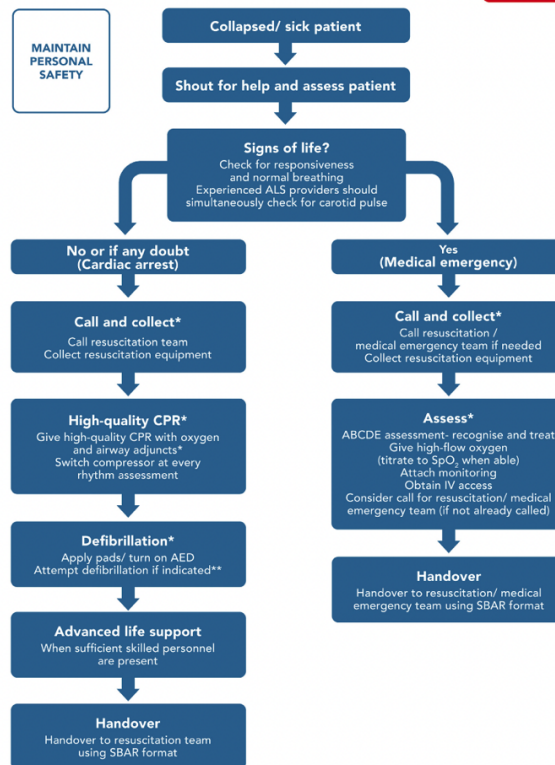


Figure 3: Algorithm de l'advanced life support. (1)

# IN-HOSPITAL RESUSCITATION



\* Undertake actions concurrently if sufficient staff available  
\*\* Use a manual defibrillator if trained and device available

Figure 4 : Algorithm de l'advanced life support de l'arrêt cardiaque intrahospitalier. (1)

## 2) Syndrome de Détresse Respiratoire Aiguë

### a) Définition et physiopathologie

Le syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) est un processus inflammatoire atteignant les poumons (figure 5, (23)), causé par un spectre varié d'étiologies, partageant le même schéma physio-pathologique qui associe (5,24):

- Une augmentation de la perméabilité alvéolo-capillaire responsable d'un œdème pulmonaire inflammatoire, non hydrostatique.
- Une augmentation du tissu pulmonaire non aéré entraînant une élastance pulmonaire plus élevée (ou baisse de la compliance).
- Une augmentation du shunt intra-pulmonaire et de l'espace-mort responsable d'une hypoxémie et d'une hypercapnie.

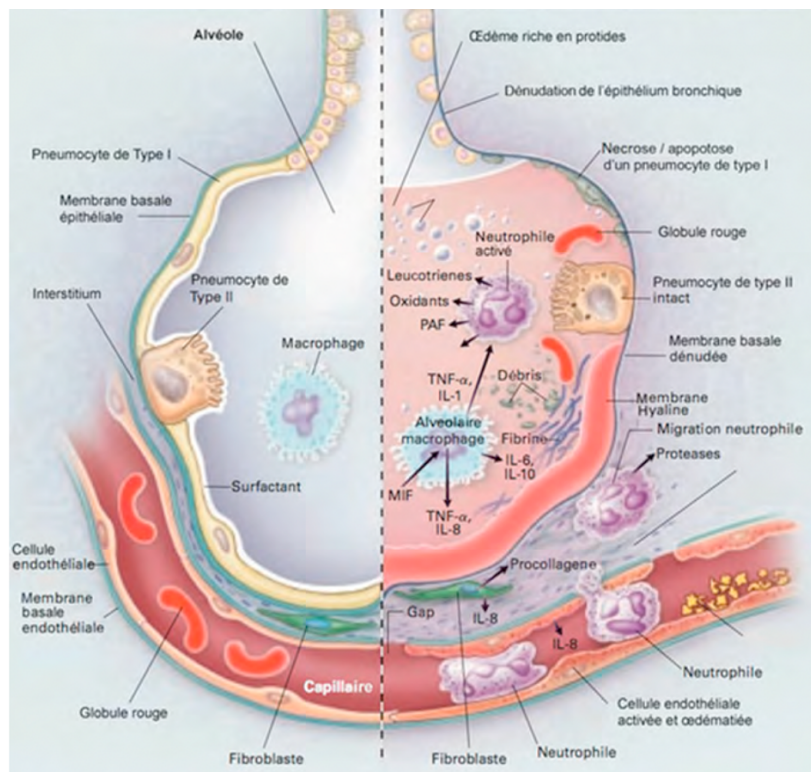


Figure 5 : Alvéole normale (fenêtre de gauche) et lésion alvéolaire à la phase initiale du SDRA (fenêtre de droite). La phase initiale du SDRA est caractérisée par une atteinte épithéliale avec mise à nue de la membrane basale et formation de membranes hyalines, et par une atteinte endothéliale. Les polynucléaires neutrophiles (PNN) adhèrent à l'endothélium capillaire activé et lésé, puis migrent vers l'alvéole à travers l'interstitium pulmonaire. Au sein de l'alvéole, les macrophages activés sécrètent des cytokines pro-inflammatoires qui attirent et activent les PNN. Les PNN présents dans l'alvéole libèrent de nombreux médiateurs pro-inflammatoires. Le liquide d'œdème riche en protéases contribue à l'inactivation du surfactant. (23)

Le SDRA n'est donc pas une maladie mais un regroupement syndromique. Il est défini par des variables cliniques et paracliniques selon les critères dits de Berlin (25,26) associant :

- Une insuffisance respiratoire aiguë évoluant depuis une semaine ou moins
- Des opacités bilatérales visibles sur l'imagerie thoracique non expliquées entièrement par des épanchements, des nodules ou des atélectasies.
- Une insuffisance respiratoire aiguë non entièrement expliquée par une insuffisance cardiaque ou une surcharge hydrosodée (objectivée en échocardiographie).
- Une hypoxémie, chez un patient ventilé avec une pression télé-expiratoire positive (PEP) d'au moins 5 cmH<sub>2</sub>O, définie à partir du rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, < 300 mmHg où PaO<sub>2</sub> est la pression artérielle en oxygène et FiO<sub>2</sub> la fraction inspirée d'oxygène dans l'air insufflé par le respirateur.

Le rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> permet de classer les patients atteints de SDRA en 3 stades :

- Léger :  $200 < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300$  mmHg
- Modéré :  $100 < \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 200$  mmHg
- Sévère :  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100$  mmHg

En 2014, avant la pandémie COVID-19, l'étude internationale prospective LUNG-SAFE, ayant inclus plus de 29 000 patients admis en réanimation a été conduite dans le but de décrire l'incidence du SDRA. Les objectifs secondaires étaient l'évaluation de la reconnaissance du SDRA par les cliniciens, de l'utilisation de thérapeutiques complémentaires et les résultats des patients atteints de SDRA admis en réanimation (26).

Le SDRA était responsable de 10,4 % des admissions en réanimation. Il concernait 23% des patients sous ventilation mécanique. La prévalence du SDRA sévère était de 23,4% parmi les SDRA [intervalle de confiance (IC) à 95%, 21,7%-25,2%]. La mortalité hospitalière était estimée à 40% et augmentait en fonction de la sévérité du SDRA. Elle atteignait 45% pour les



formes les plus graves, principalement en lien avec une défaillance multi-viscérale plutôt qu'une hypoxémie réfractaire (26,27).

Un des objectifs secondaires était d'évaluer la reconnaissance du diagnostic de SDRA par les cliniciens. La méthodologie alors utilisée était une reconnaissance automatique et électronique du diagnostic de SDRA à partir de données gazométrique ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 300$  mmHg) et radiographique à l'inclusion des patients. Cette reconnaissance électronique était comparée à l'identification par les cliniciens de l'existence d'un SDRA. L'étude a objectivé un défaut de reconnaissance du SDRA par les cliniciens dans 40,8 % des cas. Cette reconnaissance variait de 51,3% des patients (IC 95%, 47.5%-55.0%) pour les formes légères à 78,5% des patients (IC 95%, 74,8%-81,8%) pour les atteintes sévères. Cette sous-reconnaissance était significativement associée de manière générale à un retard et ou un défaut de prise en charge comme l'utilisation de plus grands volumes courants ou de plus faibles niveaux de PEP.

#### b) Prise en charge et recommandations

La prise en charge de ce syndrome s'organise autour d'un ensemble de traitements pharmacologiques et mesures « mécaniques » protectrices.

Un patient en SDRA présente une réduction du volume pulmonaire « ventilable » à cause de l'œdème inflammatoire alvéolaire. De plus, le patient est susceptible de présenter des lésions pulmonaires supplémentaires induites par la ventilation mécanique (*ventilator-induced lung injury, VILI*) ou auto-infligées (*patient self-inflicted lung injury, P-SILI*). Ces risques ont conduit à la stratégie de ventilation dite « protectrice » destinée à (5,24):

- limiter le volume courant à 6 mL par kilogramme de poids idéal prédit par la taille.
- limiter la pression de plateau : reflet de la pression alvéolaire en fin d'insufflation.
- éviter les ouvertures et les fermetures répétées des alvéoles.
- tout en assurant une oxygénation et en permettant une hypercapnie dite permissive.

S'ajoute à cette stratégie, la recherche de la pression expiratoire positive (PEP) optimale.

L'utilisation de curares et le positionnement en décubitus ventral (DV) constituent les mesures recommandées pour les SDRA modéré à sévère. La membrane extra-corporelle d'oxygénation constitue l'ultime recours pour les patients les plus graves (Figure 6).

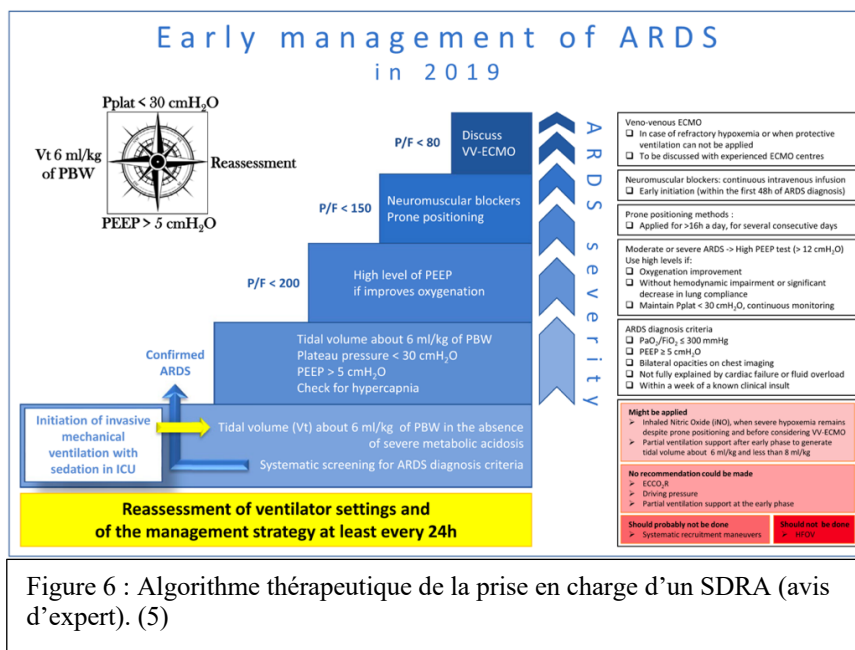


Figure 6 : Algorithme thérapeutique de la prise en charge d'un SDRA (avis d'expert). (5)

### c) Décubitus ventral

Le décubitus ventral a été proposé dans la prise en charge du SDRA pour la première fois dans les années 1970. Initialement ponctuellement réalisée sous forme d'observation clinique, cette technique s'est aujourd'hui imposée.

En 2013, l'essai PROSEVA a participé à l'essor de cette technique en démontrant un effet protecteur du DV dans les SDRA modéré à sévère sur la mortalité à J28 et J90 (4). La mortalité à J28 passait de 32,8% dans le groupe décubitus dorsal (DD) à 16% dans le groupe en décubitus ventral avec un hazard ratio de 0,39 (IC à 95%, 0,25-0,63). La mortalité à J90 passait de 41% dans le groupe DD à 23,6% dans le groupe DV avec un hazard ratio de 0,44 (IC 95%, 0,29-0,67). Par la suite, l'étude LUNG-SAFE a rapporté une sous-utilisation du DV malgré les recommandations en vigueur. Le DV était réalisé chez 8% des patients en SDRA et chez 16,3% des patients en SDRA sévère.

En 2018, l'étude APRONET a relevé une utilisation plus importante du DV. Il était pratiqué chez 15 % des patients en SDRA et jusqu'à 33% des patients en SDRA sévère (28).

La pandémie COVID-19 a été responsable d'un afflux important de patient en SDRA dans les services de réanimation du monde entier. Par la force de l'évènement, une grande proportion de centres, experts ou non dans le SDRA, ont développé des compétences concernant la prise en charge des SDRA lié à la COVID-19. Par exemple, la mise en décubitus ventral a été initiée de manière plus fréquente et plus précoce lors de cette pandémie. En effet, le DV était pratiquée chez 61% des patients en SDRA et chez 77% des patients en SDRA sévère (29).

D'un point de vue physiologique, le décubitus ventral permet une amélioration de l'oxygénation par augmentation de la ventilation des régions pulmonaires postérieures, réduisant ainsi le shunt intra-pulmonaire (30). Ce recrutement pulmonaire fonctionnel a été mis en évidence au scanner chez des patients en insuffisance respiratoire aigue par l'équipe de Galiatsou en 2006 (31). De plus, la mise en décubitus ventral entraîne une réduction de la compliance de la cage thoracique (le rachis dorsal rigide et la paroi antérieure du thorax contrainte par la position) entraînant ainsi une homogénéisation de la distribution de la ventilation et de la perfusion pulmonaire (32,33). Les contraintes mécaniques s'exerçant sur le poumon (*stress*) à la suite de la déformation induite par le volume courant (*strain*) sont donc mieux réparties. Cela permet d'harmoniser la pression transpulmonaire et de prévenir les lésions induites par la ventilation mécanique. Le DV peut aussi avoir des conséquences hémodynamiques bénéfiques. En effet chez le patient pré-charge dépendant, le DV permet d'augmenter le débit cardiaque en majorant le retour veineux.

Ainsi, chez un patient en SDRA modéré à sévère, cette technique doit être mise en place le plus précocement possible après l'intubation et stabilisation (optimisation des réglages ventilatoires et de l'hémodynamique). Il est recommandé de réaliser des séances prolongées de 16 heures ou plus (24). Cette manœuvre est réalisée par une équipe de soignants entraînée et sous couvert d'un protocole de service.

### 3) ACR en décubitus ventral

McNeil est le premier à avoir décrit la RCP en DV, appelée « méthode modifiée de Schafer » en 1989 dans le but d'améliorer la prise en charge de l'arrêt cardiaque (34).

Initialement, l'ACR survenant chez un patient positionné en décubitus ventral se rencontrait principalement au bloc opératoire pour des chirurgies nécessitant ce positionnement (neurochirurgie principalement). Les équipes soignantes faisaient alors face à une urgence thérapeutique nécessitant une prise en charge immédiate. Cependant, elles se heurtaient à une RCP non familière, peu appuyée sur de preuves scientifiques solides, sans entraînement au préalable et avec l'impossibilité quasi constante de remise du patient en décubitus dorsal (champ chirurgical stérile, colonne vertébrale ouverte et non stabilisée).

Les études récentes ont objectivé l'augmentation du recours au DV chez les patients de réanimation, notamment du fait de la pandémie COVID-19. Plusieurs rapports ont indiqué que les patients atteints de la COVID-19, par la fréquence des multiples comorbidités, étaient plus à risque de présenter un arrêt cardiaque (7,32). Selon la méta-analyse de Mir et al, sur 2891 patients hospitalisés pour COVID-19, 621 ont présenté un arrêt cardiaque (prévalence cumulée de 8%). Seulement 52 ont survécu jusqu'à la sortie de l'hôpital (prévalence cumulée de 3%) (7,8). Ainsi, avec la majoration brutale du nombre de patients atteints de SDRA et le large recours à la mise en décubitus ventral, le risque d'arrêt cardiaque en DV a été plus fréquent. Cela a conduit à se poser de nouveau la question de la réanimation cardiopulmonaire en décubitus ventral.

a) Hypothèse physiologique

Deux modèles physiologiques expliquant l'efficacité du massage cardiaque sont décrits. Historiquement, en 1960, l'efficacité des compressions sternales est justifiée par le modèle de la pompe cardiaque. Cette manœuvre entraîne une dépression du sternum, comprimant le cœur contre la colonne vertébrale. De plus, la compression du cœur entraîne la fermeture des valves cardiaques mitrale et tricuspide. Le sang ne peut donc pas refluer et est ainsi éjecté dans l'aorte et les artères pulmonaires (35) (figure 7).

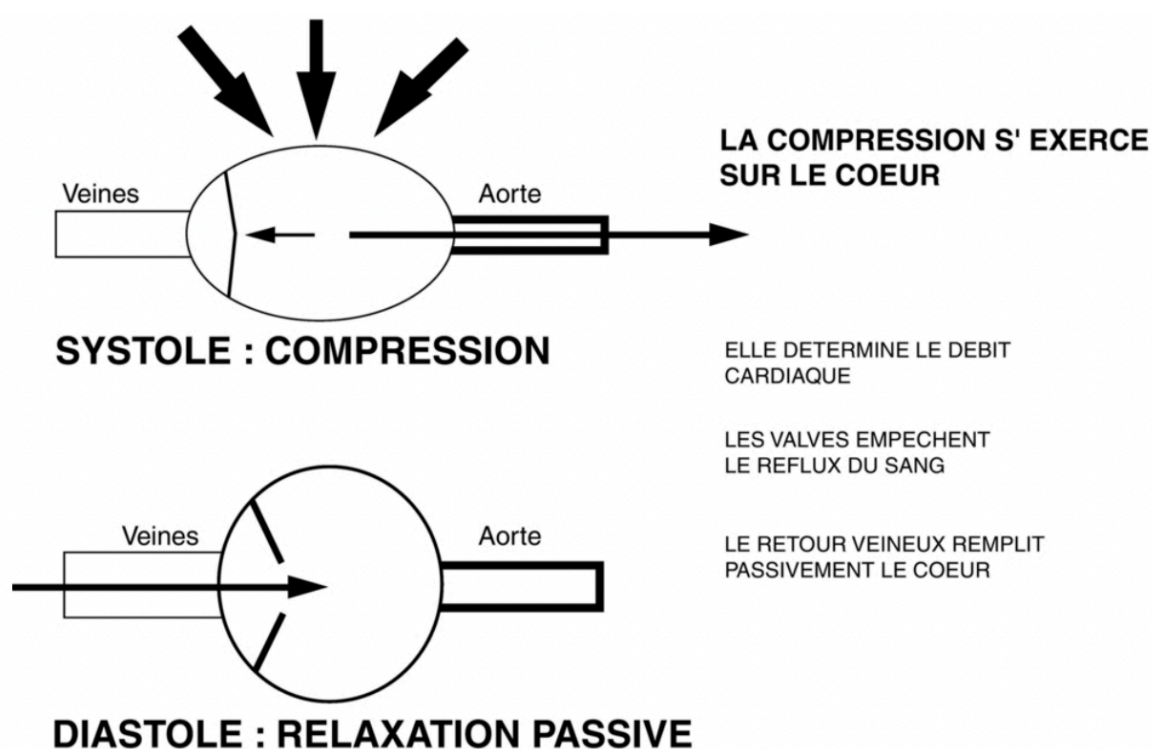


Figure 7 : modèle physiologique de la pompe cardiaque. Les compressions thoraciques miment la systole cardiaque par fermeture des valves atrio-ventriculaires et ouvertures des valve aortique et pulmonaire. La décompression passive du sternum entraîne une relaxation du cœur mimant la diastole se résultant par un retour veineux. (1)

Arrive ensuite le modèle physiologique de la pompe thoracique (figure 8). La circulation du sang est rendue possible par la création d'un gradient de pression. Les compressions sternales diminuent le volume thoracique, augmentant ainsi la pression intrathoracique. Au niveau des veines extra-thoraciques, le reflux veineux est contraint par les valvules veineuses

dans le territoire cave inférieur et par le collapsus veineux jugulaire dans le territoire cave supérieur. Par conséquent, l'augmentation de la pression intrathoracique et le reflux veineux contraint sont responsables d'un gradient de pression entre le système veineux extra et intrathoracique. Celui-ci favorise le flux sanguin antérograde.

De la même manière, dans l'aorte proximale, l'association de la valve aortique avec l'augmentation de la pression intrathoracique crée un gradient de pression entre la portion intra et extra thoracique de l'aorte et des troncs artériels brachio-céphaliques. Le flux artériel est donc favorisé vers les carotides permettant ainsi une perfusion cérébrale (36,37).

Finalement, les deux théories sont complémentaires et leur prédominance varie à l'échelon individuel.

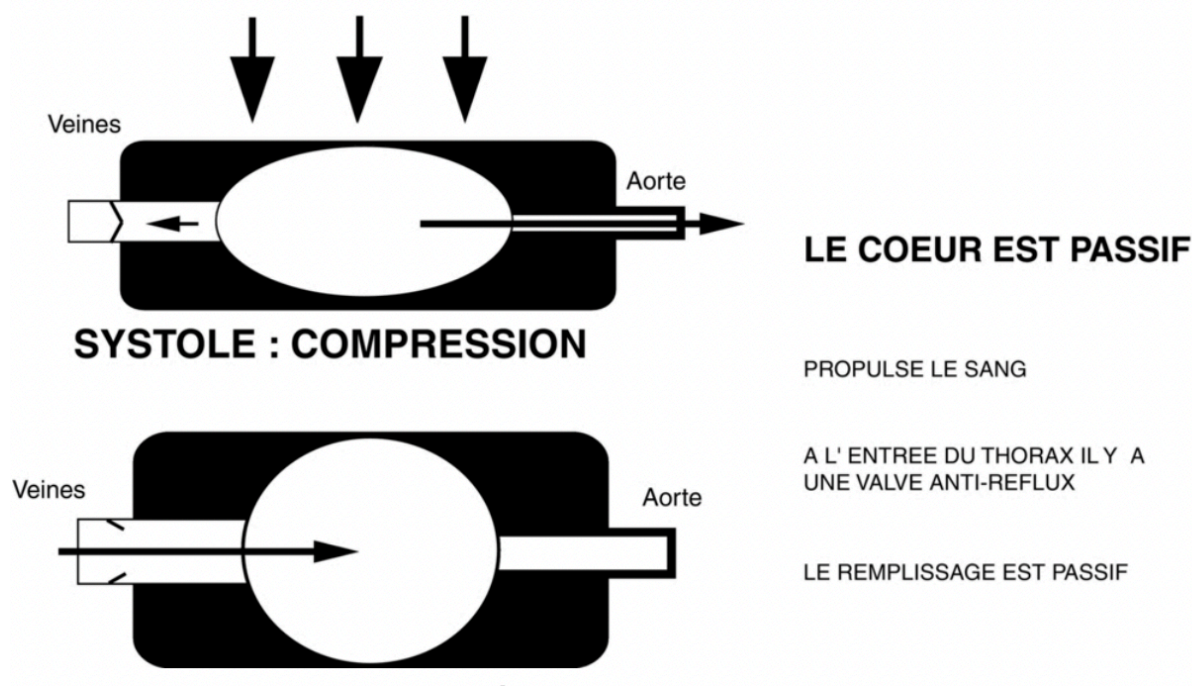


Figure 8 : modèle physiologique de la pompe thoracique. La compression sternale entraîne un gradient de pression conduisant à un flux sanguin antérograde. Le remplissage se déroule lors de la décompression sternale. (1)

Plusieurs hypothèses physiologiques expliqueraient la potentielle efficacité d'une RCP en DV, aussi appelée « reverse CPR ».

Le massage cardiaque serait rendu plus efficace par la rigidité de la jonction costo-vertébrale. En effet, étant moins fragile et flexible que la jonction costo-sternale, la jonction costo-vertébrale autorise l'application d'une plus grande force lors des compressions et donc un gradient de pression plus conséquent (10,34,38). De plus, parce que la paroi abdominale antérieure n'est pas rigide, le diaphragme et les viscères abdominaux sont déplacés caudalement lors des compressions sternales standards. Une partie de la force transmise lors des compressions se dissipe ainsi dans la région abdominale. Lors d'une RCP en décubitus ventral, l'efficacité des compressions se retrouverait augmentée due à la restriction de mouvement des structures abdominales, si la paroi abdominale est au contact d'une surface dure (39). Par ailleurs, les compressions postérieures déprimerait le sternum plus efficacement car celui-ci est contre une surface solide, augmentant la force délivrée au ventricule (modèle de pompe cardiaque) et concourant à la réduction rapide du volume intrathoracique (modèle de pompe thoracique).

L'équipe de Kwon est allé s'interroger sur la localisation optimale des mains de l'intervenant pour générer des compressions dorsales de haute-qualité (40). Elle a ainsi identifié, en 2016, le niveau vertébral corrélé à la plus grande section transversale du ventricule gauche. L'étude rétrospective a analysé les clichés thoraciques de 100 scanners de patients positionnés en DV lors de l'imagerie. Le niveau vertébral avec la plus grande section transversale du ventricule gauche en DV se situe au niveau des vertèbres T8 et T9 chez 79 % des patients (IC 95 %, 67-88 %). Cela correspond, en repère anatomique, entre 0 à 2 segment vertébral en dessous de l'angle inférieur de la scapula chez 95 % des patients, avec un intervalle de confiance à 95 % de 86 à 98 % (figure 9).

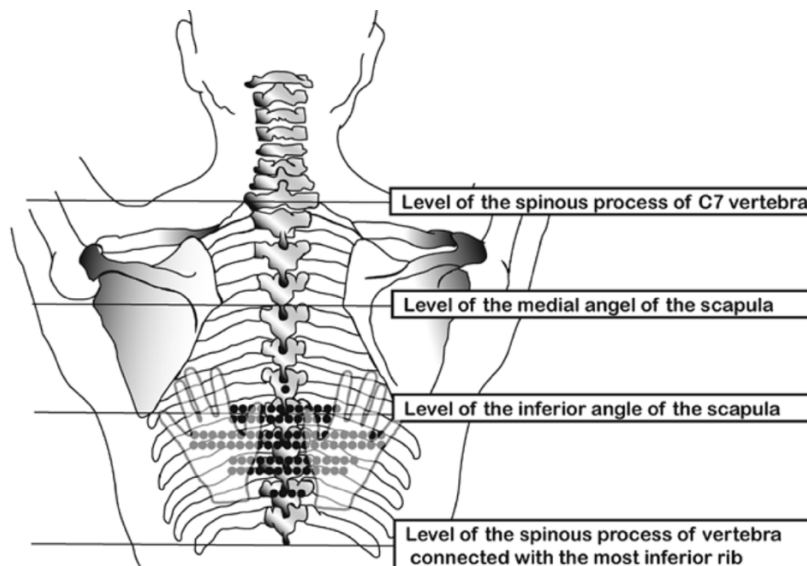


Figure 9 : Position optimale des mains pour les compressions dorsales au décours d'une RCP en décubitus ventral. Répartition des niveaux de la plus grande section transversal du ventricule gauche. Chaque point noir représente la plus grande section transversale du ventricule gauche d'un patient. (40)

Plusieurs arguments liés à la dangerosité d'un retournement non anticipé et en urgence sont avancés afin de justifier l'initiation d'une RCP en DV. La remise en décubitus dorsal en urgence expose le patient et les intervenants à de potentiels risques. Le changement de position peut s'avérer difficile et chronophage chez cette population de patients souvent en surpoids. Cela prend entre 30 secondes et 5 minutes à réaliser, retardant ainsi l'initiation des compressions et allongeant de ce fait la durée où il n'y a aucune circulation sanguine (no-flow). Cette manœuvre requière plusieurs intervenants, 5 soignants en moyenne qui se retrouvent de fait indisponible pour les différentes tâches nécessaires à la bonne conduite de la RCP (8–10). Le retournement précoce d'un patient peut modifier brutalement ses conditions d'hématoses. En effet, chez un patient hypoxémique, cette manœuvre peut être responsable de la perte de la pression expiratoire positive et d'un dé-recrutement alvéolaire conduisant à l'aggravation de l'hypoxémie (8,39). Une remise imprévue et précipitée en DD peut aussi s'accompagner d'un déplacement ou retrait accidentel de la sonde d'intubation, des lignes veineuses ou artérielles invasives. Enfin, le personnel soignant peut être exposé à des aérosolisations accidentelles par déconnexion du circuit ventilatoire.



b) Etudes non interventionnelles.

La RCP en DV, a été reportée pour la première fois par Tobias et al en 1992 (41). L'arrêt cardiaque est survenu au décours d'un bloc opératoire chez un patient de 12 ans. Celui-ci ne pouvait pas être remis en décubitus dorsal. Le chirurgien a donc commencé des compressions de part et d'autre de l'incision chirurgicale. Les compressions dorsales ont généré une pression systolique de 80 à 90 mmHg visualisée sur le monitoring invasif de la pression artérielle ainsi qu'une courbe de dioxyde de carbone expiré et de saturation pulsée d'oxygène. Le retour à une activité cardiaque spontanée est obtenu au bout de 7 minutes de réanimation. La procédure chirurgicale a été complétée. Il n'y avait pas de défaillance d'organe en post-réanimation ni séquelle neurologique.

Sur les trente années qui ont suivi cette publication, la plupart des données publiées sur la RCP en DV sont sous forme d'étude de cas (41–72). Quelques revues systématiques de la littérature les ont rassemblées (45,73). La plupart des RCP en DV sont réalisées lors d'un arrêt cardiaque survenant au bloc opératoire. Il n'existe qu'un seul rapport de cas chez un patient en réanimation. Au total, il y a 37 rapports de cas intéressant 20 RCP en DV réalisées chez des adultes et 17 chez des enfants. Parmi ces RCP, il y a eu 31 (83 %) retours à une activité cardiaque spontanée. 22 patients (59 %) ayant bénéficié d'une RCP en DV sont sortis de l'hôpital. Le tableau ci-dessous résume tous les cas publiés (tableau 1).

Il apparait que la RCP en DV est faisable et peut être une option raisonnable dans des situations particulières. Cependant, des biais de publications doivent exister, participant à la surestimation des résultats de la RCP en DV. Toutes les revues de littératures concluent au manque de données scientifiques robustes dans ce domaine. De plus, elles soulignent que les soignants peuvent être réticents à initier une RCP en DV devant le manque de formation, d'entraînement et de standardisation de la technique.

Tableau 1: Case report des Reverse CPR

PEA: dissociation électromécanique, yo: âge, VT: tachycardie ventriculaire, VF: fibrillation ventriculaire, NA: données indisponibles, non renseignées.

AUTHORS , YEAR	SETTING , COUNTRY	PATIENTS	EVENT & CASE	INTERVENTIONS	PRONE CPR QUALITY ASSESSMENT	OUTCOME
Woo-Ming et al., 1966 (70)	Respiratory tract infection	3 months old child	Airway occlusion, hypovolemia	NA	NA	Survived
Woo-Ming et al., 1966 (70)	Staphylococcal pneumonia	7 weeks old child	NA	NA	NA	Survived
Woo-Ming et al., 1966 (70)	NA, whooping cough	2 yo child	Airway occlusion	NA	NA	Survived
Woo-Ming et al., 1966 (70)	Emergency tracheostomy, stridor due to laryngeal diptheria	3 yo child	NA	NA	NA	Survived without deficits
Kalenda and Greuter., 1982 (55)	Operating room, excision of a cerebellar and fourth ventricle ependymoma The Netherlands	1 yo child	Circulatory arrest	Prone CPR	ETCO2	ROSC, surgery completion Discharge uneventful recovery
Sun et al., 1992 (67)	Operating room, posterior fossa craniectomy for open occipital fracture and left intracerebellar hematoma Taiwan	14 yo child	Bradycardia then PEA due to hemorrhage shock & vrain stem compression	Prone CPR	invasive SBP = 100-160 mmHg	ROSC in 5 minutes, surgery completion Discharge, uneventful recovery
Sun et al., 1992 (67)	Operating room, decompression laminectomy C3 Taiwan	34 yo man	PEA and VF due to endotracheal tube obstruction and hypoxia	Prone CPR	invasive SBP = 120-200 mmHg	ROSC in 6 minutes, surgery completion Discharge, uneventful recovery
Lowenthal et al., 1993 (60)	Operating room, craniotomy for meningioma France	53 yo woman	Asystole due to air embolism	Prone CPR	palpable femoral pulse correlated to CPR	ROSC in 3 minutes, surgery completion then ICU admission, Discharge without sequelea
Tobias et al., 1994 (41)	Operating room, spinal fusion for spastic quadriplegia, progressive scoliosis USA	1.2 yo child	bradycardia to asystole du to hemorrhage shock	Prone CPR	SBP = 80-90 mmHg on arterial line and non-invasive BP cuff, EtCO2, pulse oximeter	ROSC in 7 minutes, surgery completion then ICU admission Discharge, neurologic status unchanged

AUTHORS , YEAR	SETTING , COUNTRY	PATIENTS	EVENT & CASE	INTERVENTIONS	PRONE CPR QUALITY ASSESSMENT	OUTCOME
Gueugniaud et al., 1995 (53)	Operating room, correction scoliosis on Marfan's syndrom France	15 yo child	PEA to asystole probably due to myocardial ischaemia	Prone CPR then standard CPR	No palpable carotid pulse, EtCO2 = 10mmHg on PP	ROSC in 10 minutes, extubation after 18h, full neurologic recovery Discharge
Kelleher et al., 1995 (58)	Operating room, foramen magnum decompression UK	6 months child	1st episode: bradycardia to asystole due to venous air embolism 2nd episode: PEA due to hemorrhage shock	1st episode: Reverse CPR 2nd episode: Standard CPR	Invasive BP = 40 mmHg and waveform correlated to compression, EtCO2	1st episode: ROSC in 7 minutes 2nd episode: ROSC in 4 minutes and ICU admission Discharge ICU at day 7, surgery completion 5 months later, no abnormal neurological sign
Dequin et al., 1996 (50)	ARDS due to pneumonia, ICU France	48 yo man	asystole occurred few minutes after prone positioning	Prone CPR	Invasive BP > 80/35 mmHg	ROSC in 5 minutes, recovery at day 7 Discharge unknown
Sutherland an Winter., 1997 (68)	Operative room, T1-S posterior spinal fusion with sublaminair wiring UK	8 yo child	Asystole due to air embolism	Prone CPR then standard CPR	Central venous waveform No arterial waveform	Intraoperative death
Sutherland an Winter., 1998 (68)	Operating room, T2-S posterior spinal fusion with sublaminair wiring UK	12 yo child	Asystole due to air embolism	Prone CPR then standard CPR	NA	Intraoperative death
Lopez et al., 1999 (61)	Operating room, correcting surgery for scoliosis	15 yo child	Asystole due to gaz embolism	NA	EtCO2	Intraoperative death
Brown et al., 2001 (45)	Operating Room, thoracic spine for T11-L1 invasive tumour UK	60 yo woman	VT probably due to venous air embolism	Defibrillation in PP	EtCO2	ROSC, completion of surgery Discharge without sequelae
Miranda and Newton, 2001 (62)	Operating room, debulking of metastatic tumour at T3 UK	39 yo woman	TEA then VF possibly due to altered potassium levels	Sharp thump in PP then CPR	not describe	ROSC, completion of surgery Discharge at 1 week
Chen et al., 2002 (49)	Operating room, L2-L4 vertebroplasty Taiwan	75 yo woman	PEA probably due to massive pulmonary embolism	Immediately supination then standard CPR	Invasive arterial line, EtCO2	Intraoperative death after 1 hour supine CPR
Smelt et al., 2005 (66)	Operating room, scoliosis correction The Netherlands	16 yo man	VT then pulseless VF	Supination then standard CPR	NA	ROSC, ICU admission Discharge at day 10

AUTHORS , YEAR	SETTING , COUNTRY	PATIENTS	EVENT & CASE	INTERVENTIONS	PRONE CPR QUALITY ASSESSMENT	OUTCOME
Beltran and Mashour., 2007 (43)	Operating room, craniotomy for tumour debulking USA	21 yo woman	PEA due to hemorrhagic shock	Supination then standard CPR	EtCO2	Intraoperative death
Cho et al., 2010 Anesth Pain Med 2012; 7: 41 ~ 44	Operating room, correction and fusion congenital posterior scoliosis	18 yo woman	PEA and VF	Prone CPR	NA	Discharge
Dooney et al., 2010 (71)	Operating room, L4-L5 discectomy, Australia	43 yo man	PEA to asystole	Prone CPR	EtCO2 = 28 mmHg	ROSC Discharge to the hospital
Dumont et al., 2010 (51)	Operating room, arthrodesis C1-C2	38 yo man	asystole due to venous air embolism	Supination then standard CPR	NA	ROSC, surgery completion, ICU admission Discharge without sequelae
Haffner et al., 2010 (54)	Operating room, emergency craniotomy for cerebellar hemorrhage	81 yo man	PEA due to right heart failure	Prone CPR	EtCO2 = 33 mHg, arterial BP waveform correlated with CPR	ROSC, ICU admission, vasopressors weaned day 2, recovered some neurologic function Death at day 28
Brock-Utne et al., 2011 (44)	Operating room, fixation for multiple pelvic fractures Unknown	28 yo man	PEA due to pulmonary embolism	Prone CPR	SBP ≥ 80 mmHg on invasive arterial monitoring	ROSC, ICU admission, surgery completion 3 days later Discharge with intact neurologic status
Gomes and Bersot, 2012 (52)	Operating room, highly vascularized parietal-occipital right meningioma Brazil	77 yo woman	Hemorrhagic shock	Prone CPR	PetCO2 > 15 mmhg, invasive arterial line DBP > 30 mmHg	ROSC in 2 minutes, ICU admission Discharge at day 3
Pan et al., 2012 (64)	Endoscopic room, acute biliary pancreatitis	61 yo woman	venous air embolism during ERCP	Supination then standard CPR	NA	Intraoperative death
Taylor et al., 2013 (69)	Operating room, posterior cranial metastatic melanoma excision New-Zealand	69 yo man	pulseless VT then VF	Prone CPR	Invasive arterial waveform EtCO2 ≥ 15 mmHg	ROSC in 3 minutes, surgery cancelled, ICU admission Discharge with full neurological recovery
Chauhan et al., 2016 (48)	Operating room, lumbar discectomy India	49 yo man	PEA, asystole, unknown etiology	Prone CPR	NA	Discharge
Kaur et al., 2016 (57)	Operating room, correction Koch's spine India	14 yo child	Bradycardia to asystole due to parasympathetic stimulation	Prone CPR	NA	ROSC, ICU admission Death at hours 12 after admission
Burki et al., 2017 (46)	Operating room, ventricle tumour excision, Pakistan	6 yo child	PEA due to hemorrhagic shock	Prone CPR	NA	ROSC in 20 minu, ICU admission Death at day 5 after surgery

<b>AUTHORS , YEAR</b>	<b>SETTING , COUNTRY</b>	<b>PATIENTS</b>	<b>EVENT &amp; CASE</b>	<b>INTERVENTIONS</b>	<b>PRONE CPR QUALITY ASSESSMENT</b>	<b>OUTCOME</b>
Kaloria et al., 2017 (56)	Operating room, tethered cord release and removal bony spur of split cord malformation, India	1 yo child	PEA due to massive venous air embolism	Prone CPR	NA	ROSC, surgery completion Discharge at day 6
Lee-Archer and Chaseling et al., 2017 (59)	Operating room, laminectomy C5 to L4 Australia	10 yo child	possibly venous air embolism	Supination then standard CPR	EtCO2	ROSC, surgery completion at day 4 right-sided brain infarction and left upper limb weakness, recovered after 2 weeks
Pinheiro et al., 2017 (65)	Operating room, esthetic lipoplasty Brazil	25 yo woman	asystole	Supination then standard CPR	NA	ROSC, surgery cancelled, ICU admission Discharge
Mayorga-Buiza et al., 2018 (72)	Operating room, posterior large tumour excision, Spain	10 yo child	Pulseless VT then VF during tumour resection	Prone CPR	EtCO2	ROSC in 8 minutes, an epidural hematoma secondary to resuscitation confirmed by CT scan, surgery drained, Survived without sequelae at 24 months
Mishra et al., 2019 (63)	Operating room, C2-C3 laminectomy, India	35 yo woman	Cardiac tamponnade	1 minute prone CPR followed by supination and 1 minutes standart CPR	EtCO2, invasive arterial line	ROSC, ICU admission negative suction with pericardial catheterism Discharge
Al Harbi et al., 2020 (42)	Operating room, laminectomy, Saudi Arabia	80 yo man	2 episodes of PEA 6h after anesthesia induction, pulmonary embolism and hypovolemia	1st episode: Reverse CPR 2nd episode: Standard CPR	EtCO2 10mmHg in prone CPR but no palpable pulse EtCO2 increased and palpable pulse in standart CPR	1st episode: ROSC 2nd episode: ROSC and ICU admission Discharge to the hospital

c) Etudes interventionnelles.

Trois études interventionnelles portant sur la RCP en DV ont été conduites.

En 2000, Aktinson et al. ont voulu évaluer l'efficacité d'une RCP en DV sur mannequin (9). 36 infirmiers et infirmières ont chacun réalisé 100 compressions dorsales. L'efficacité des compressions était évaluée par un système de mesure de profondeur positionné sur le mannequin. Sur 3376 compressions évaluées :

- 1168 (34,6%) étaient efficaces avec une profondeur mesurée à 4,5 cm
- 1370 (40,6%) étaient partiellement efficaces avec une profondeur de 2,4 cm
- 868 (24,6%) étaient inefficaces car moins de 2 cm de profondeur atteinte.

Seulement 9 infirmier(e)s sur 36 étaient capables de réaliser au moins 70% de compressions adéquates (habituellement considéré le seuil acceptable). Ces résultats évoquent la potentielle difficulté physique à réaliser des compressions dorsales. Atkinson conclue qu'une RCP en DV efficace peut être réalisée sur un mannequin et que cela peut être une manière de s'entraîner à cette RCP atypique. Cependant, les techniques méritent d'être clarifiées et détaillées.

Dans les années 2000, deux études prospectives ont été conduites. Elles révèlent des résultats encourageants (10,11).

En 2003, Mazer et al ont réalisé la première étude pilote sur des patients de réanimation pour lesquels une RCP standard de 30 minutes s'est soldée par un échec. Après que la poursuite de la RCP eut été considérée comme futile par le médecin responsable du patient, le patient était inclus s'il était intubé, équipé d'une pression artérielle invasive et d'une voie veineuse centrale. La RCP était poursuivie de manière standard pendant 15 minutes puis le patient était positionné en décubitus ventral et une RCP en DV de 15 minutes était réalisée. Six patients ont été inclus. La moyenne des pressions systoliques a augmenté de 48 mmHg pendant la RCP standard à 72 mmHg lors de la « reverse CPR » avec une augmentation

moyenne de 23 +/- 14 mmHg avec un risque alpha ( $p < 0,05$ ). La moyenne de la pression artérielle moyenne a augmenté de 32 mmHg lors de la RCP standard à 46 mmHg lors de la RCP en DV avec une augmentation moyenne de 14 +/- 11 mmHg avec  $p < 0,05$ . La variation de la pression diastolique n'était pas statistiquement significative mais avait tendance à augmenter en DV versus en DD. (Figure 10 et Figure 11)

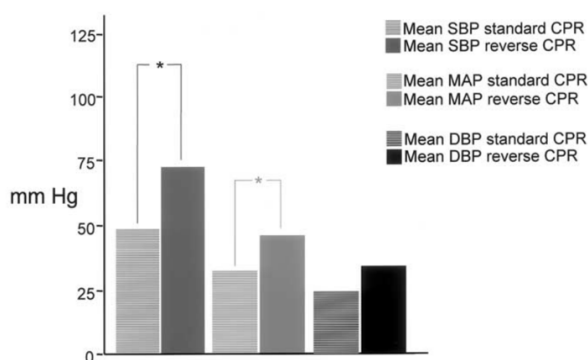


Figure 10 : Moyenne des pressions artérielles systoliques, moyennes (calculées) et diastoliques pour tous les patients enrôlés dans l'étude  
\*: données où la comparaison entre reverse et standard RCP sont significatives avec  $p \text{ value} < 0,05$   
(10)

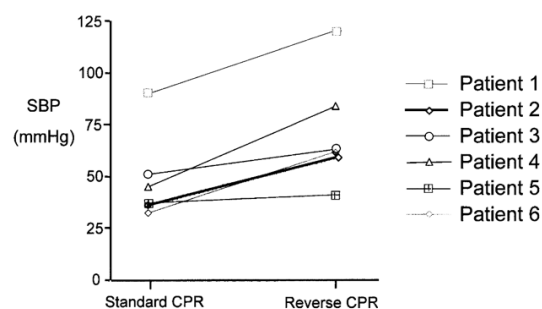


Figure 11 : Pression artérielle systolique avec RCP en DD et DV (10)

La seconde étude a été réalisée par l'équipe de Wei en 2006, avec 11 patients décédés en réanimation. Les pressions artérielles étaient monitorées et enregistrées par un cathéter artériel invasif. Une RCP standard était réalisée pendant 1 minute, puis le patient était mis en décubitus ventral et une « reverse CPR » d'1 minute était conduite. Les compressions étaient réalisées sur la colonne vertébrale thoracique. Les analyses ont objectivé une augmentation de la pression artérielle systolique de 55 +/- 20 mmHg en DD à 79 +/- 20 mmHg en DV, avec une p-value à 0,028 selon le test de Wilcoxon. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative sur la pression artérielle diastolique, seulement une tendance à être plus importante en DV (13 +/- 7 à 17 +/- 10 mmHg) (figure 12). Wei et al ont aussi étudié les effets des compressions dorsales sur le volume courant sur 10 volontaires conscients et sains. Le volume courant était mesuré par un embout buccal connecté à un spiromètre. Il a été demandé aux volontaires de retenir leur respiration spontanée. Un clip nasal était mis en

place. L'équipe a enregistré un support respiratoire jugé correcte avec un volume courant moyen de 399 +/- 110 mL. Les potentiels effets secondaires des compressions dorsales n'étaient pas précisés.

Case No.	Gender	Age	BW, kg	Diagnosis	Procedure	BP, supine mmHg	BP, prone mmHg
1	M	58	60	CAD	CABG x 3	N/A*	110/20
2	M	68	62	CAD + RHD	CABG + AVR	N/A*	70/20
3	F	58	51	RHD	MVR	N/A*	90/20
4	M	60	65	DCMP	Nil	80/25	110/40
5	M	57	67	CAD + ICMP	CABG, HTx	60/10	78/10
6	M	78	75	Ao dissection with rupture	Arch replacement	90/20	90/20
7	M	49	78	CAD, AMI	HTx	55/5	90/10
8	M	57	80	CAD with RV rupture	CABG + RV repair	41/15	66/5
9	M	50	64	DCMP	Nil	39/7	52/4
10	M	75	57	SBE	CABG + AVR	43/11	62/24
11	M	39	60	ICMP	Nil	35/11	55/11
Mean ± SD		59 ± 11	65 ± 9			(55 ± 20)/(13 ± 7)	(79 ± 20)†/(17 ± 10)

AMI = acute myocardial infarction; Ao = aorta; AVR = aortic valve replacement; BW = body weight; CABG = coronary artery bypass grafting; CAD = coronary artery disease; DCMP = dilated cardiomyopathy; HTx = heart transplantation; MVR = mitral valve replacement; RHD = rheumatic heart disease; RV = right ventricle; SBE = subacute bacterial endocarditis.

\*Blood pressure in supine position was not recorded in the first 3 cases.

†Statistically significant (Wilcoxon signed-rank test,  $p = 0.028$ )

Figure 12 : Mesures des pressions artérielles chez des patients décédés en Réanimation au décours d'une RCP standard puis une reverse CPR. (11)

La certitude scientifique de ces données est cependant faible en lien avec le design et la méthodologie de ces études à faible effectif.

#### d) Préconisations des sociétés savantes

En 2020, malgré l'absence de données scientifiquement robustes dans la littérature (74) l'American Heart Association et l'European Resuscitation Council préconisaient dans leurs dernières recommandations de débiter le MCE en DV si les conditions de sécurité (nombre de personnel) ne permettaient pas le positionnement du patient en décubitus dorsal de façon sécuritaire et faisant courir le risque d'un allongement de la durée de no flow et la survenue d'autres complications dues à la manœuvre pouvant émailler la réanimation (3,18). Ces recommandations étaient rejointes par l'*United Kingdom's Faculty of Intensive Care Medicine and Intensive Care Society*. Cependant, les Sociétés Brésiliennes de Cardiologies, d'Unité Intensive, d'Anesthésiologie et d'Urgence ont choisi de privilégier le retournement en



décubitus dorsal devant l'insuffisance de preuves scientifiques. Si la remise en DD était impossible, à l'instar d'une RCP en DD, la RCP en DV était réalisée et se monitorait via l'EtCO<sub>2</sub> (objectif > 10 mmHg) et la pression diastolique (objectif > 20 mmHg) (75).

En 2021, l'ILCOR a déterminé qu'il y avait un besoin d'établir une meilleure approche de la prise en charge de l'AC survenant en DV. Une nouvelle revue de la littérature a alors été réalisée par la *BLS Tasks Forces* et la *Paediatric Life Support Task Force* (76,77). Elle concluait une nouvelle fois au manque d'études comparatives, interventionnelles avec un haut niveau de preuve. La réalisation de la réanimation en décubitus dorsal reste la meilleure option chaque fois que possible. Toutefois, les quelques données existantes suggèrent que le massage cardiaque externe en DV permet de maintenir une activité circulatoire adéquate. Un consensus sur les recommandations scientifiques et thérapeutiques (CoSTR) préconise donc de débiter la réanimation en décubitus ventral, jugé raisonnable dans le cas où le retournement en urgence serait jugé difficile ou faisant encourir des risques significatifs au patient (78).

Il n'y a pas de recommandations précises sur la technique optimale de compressions thoraciques dorsales. Deux techniques sont principalement décrites dans la littérature. La première consiste en une technique où les deux mains de l'intervenant sont positionnées sur la colonne vertébrale au niveau vertébral précédemment décrit (11,40). La deuxième technique consiste à placer les mains de part et d'autre de la colonne vertébrale au niveau précédemment décrit (Figure 13) (10,42,74). Il est recommandé de placer le patient sur une surface dure. Une contre-pression sternale supplémentaire est décrite dans plusieurs rapports de cas (50,67,79). Celle-ci peut être réalisée à l'aide d'un sac de sable ou d'un soluté d'1 litre plutôt que par un point d'un deuxième intervenant (éviter l'utilisation inadéquate d'une ressource humaine) (41,79).



Figure 13 : Proposition du positionnement des mains des intervenants lors d'une RCP en DD. Les figures exposent la position des mains des soignants, décrites dans la littérature. Fenêtre de gauche : position centrale ; Fenêtre du milieu : position latérale; Fenêtre de droite : technique à une main avec contre-pression sternale. (74)

Le rythme à la profondeur de compression sont primordiaux dans le succès d'une RCP. Ils sont identiques à la RCP standard c'est-à-dire un rythme de 100 à 120 compressions par minutes et une profondeur d'au moins 5 cm, sans excéder 6 cm sous peine d'augmenter le risque de lésions cardiaque ou pulmonaire (3). Les interruptions de compressions doivent être minimisées le plus possible. La décompression thoracique doit être complète sous peine d'inefficacité des compressions suivantes.

#### e) Perspectives

La principale difficulté pour obtenir des preuves scientifiques robustes provient de l'impossibilité de réaliser des essais contrôlés randomisés comparant la RCP en DD versus en DV. En effet, conduire de tels essais n'est pas réalisable d'un point de vue éthique. De plus, la mise en décubitus ventral n'est plus un évènement aussi fréquent que lors de la pandémie COVID-19. Le SDRA reste une pathologie peu fréquente dont le DV n'est recommandé que dans les formes les plus graves, soit un peu moins de 70% des SDRA (26). Enfin, parce que l'arrêt cardiaque signifie l'initiation d'une prise en charge urgente, des difficultés législatives (le recueil du consentement) émergent.

Le modèle animal ne paraît pas adéquat à l'étude de la RCP en DV. Principalement réalisé sur des modèles porcins, ce format d'étude a permis quelques découvertes physiologiques mais possède beaucoup de limitations (80,81). La principale étant que la géométrie du thorax du modèle et la présence d'une ventilation collatérale (non existante chez l'humain) rendent les extrapolations de la RCP au modèle humain impossibles (82,83).

Les études interventionnelles expérimentales sur modèle anatomique humain pourraient constituer une première approche pour étudier les mécanismes physiologiques de la RCP.

#### 4) Modèles expérimentaux sur modèles anatomiques

##### a) Définition

Depuis plus de 3000 ans, l'être humain tente d'empêcher la décomposition du corps après la mort. Réalisé initialement à des fins religieuses (la momification par exemple), cette mesure est plus récemment utilisée à des fins pédagogiques (étude de l'anatomie et de la morphologie humaine) (84).

L'embaumement est un processus chimique utilisé dans le but de préserver et désinfecter le corps humain après la mort. Les anatomistes s'efforcent de trouver une technique d'embaumement qui réduit en priorité le risque infectieux. Ensuite, celle-ci doit permettre aux tissus du spécimen embaumé de se rapprocher le plus possible de la qualité des tissus vivants et d'être conservé sur une longue période. L'introduction du formaldéhyde comme conservateur en 1893 a été une étape importante dans l'histoire de la préservation. Une des principales fonctions du formaldéhyde est la réticulation des protéines constituant les tissus. Cela rend le tissu moins accessible aux micro-organismes et prévient la décomposition. Néanmoins, l'embaumement au formol altère grandement les caractéristiques des tissus et organes vivants parmi lesquelles la couleur, la rigidité, la flexibilité, la pulsativité du cœur et des artères ainsi que l'expansion des poumons et voies aériennes (85).

L'embaumement est utilisé dans le monde entier, dans diverses disciplines, pour des objectifs multiples dans différentes langues. Cela a ainsi participé au développement d'une terminologie ambiguë et interchangeable. Balta et al., ont essayé de regrouper les différentes techniques d'embaumement. L'équipe a défini le terme « cadavre frais » comme un cadavre humain qui n'a pas été chimiquement traité (embaumé). Lorsque la solution d'embaumement produit un cadavre dont la flexibilité des articulations et les organes internes sont plus rigides qu'un cadavre frais, celui-ci est décrit comme « *hard fixed* ». Lorsque la solution

d'embaumement produit un cadavre dont la flexibilité articulaire est au moins identique à celle d'un cadavre frais et que les organes internes ne sont pas rigidifiés, le cadavre est dit « *soft preserved* ». Le terme solution à base de formol est utilisé si la solution d'embaumement contient plus de 0% de formaldéhyde (84).

#### b) Performances

Historiquement, les cadavres frais sont utilisés pour l'étude de l'anatomie. Il n'y a pas de processus d'embaumement. Ils sont en général gardés jusqu'à 72 heures dans une pièce réfrigérée et sont utilisés pour la recherche ou l'enseignement. Les inconvénients de ce modèle sont l'usure rapide du cadavre liée à des manipulations prolongées et à l'absence d'embaumement. Il est nécessaire de se décharger du cadavre après la procédure (86).

En 1992, Walter Thiel a développé une nouvelle méthode de préservation qui se focalisait sur la préservation de la couleur du tissu afin de réaliser un nouvel atlas photographique de l'anatomie du corps humain (87). Cette technique d'embaumement utilise une faible quantité de formaldéhyde mélangé avec d'autres sels comme le nitrate d'ammoniac, le nitrate de potassium et le sulfate de sodium (88). Les cadavres embaumés selon la technique de Thiel ont montré des caractéristiques proches de celles de cadavres frais comparés aux cadavres traditionnellement formolés (88,89). L'embaumement selon la technique de Thiel permet une conservation jusqu'à 2 ou 3 ans. Cependant cette technique est relativement onéreuse, chronophage et difficile à réaliser (90,91). Des études ont été nécessaires pour évaluer l'inconvénient majeur de cette technique : les agents chimiques sécrétés après la crémation (conséquence sur la santé des travailleurs inconnu, très peu écologiques) (92).

En 2011, Benkhadra et al. ont objectivé une large utilisation de cadavre *hard fixed* par le formol au sein des cinq continents : 84% en Europe, 87% aux États-Unis et 100% dans les 3

derniers continents (93). L'utilisation de faible concentration de formol mélangée à d'autres sels a émergé, conduisant à un cadavre flexible et conservable pour une petite période. Ces techniques ont été décrites par Woodburne et Lawrence, Anderson ou encore Da Silva (94–96).

Parce que les cadavres humains ne sont pas communément utilisés pour l'entraînement d'une RCP ou pour la recherche dans ce domaine, Duhem et al. ont réalisé la première revue systématique de la littérature. Leur objectif était de répertorier et classer les différents types d'embaumement puis d'évaluer le modèle cadavérique le plus approprié pour les études portant sur la RCP (86). Au total, 29 articles ont été inclus. Seize (55%) études ont utilisé des cadavres frais, six (21%) ont utilisé des cadavres « *newly deceased* », 4 (14%) études ont utilisé des cadavres embaumés selon la technique de Thiel et trois (10%) ont utilisé des cadavres frais congelés. Aucune étude n'a utilisé de cadavres formolés. Le nombre de cadavres par études était de 12 +/- 11. L'équipe de Duhem a brièvement décrit les caractéristiques de chaque modèle (figure 14).

Type of cadavers	Preservative agents	Time between death and use	Storage	Period of use
Fresh	None	A few hours (less than 72 h usually)	4 °C	Days
Fresh-frozen	None	Days	Ca. -18 °C	Days
Thiel-embalmed	Glycol, various salts, boric acid, chlorocresol, formaldehyde, alcohol	A few months (immersion time)	20 °C	Years
Newly deceased	None	Immediately after death	None	Hours
Formalin-embalmed	Formaldehyde ± phenol and glycerine	Hours	20 °C	Years

Figure 14 : Description des modèles cadavériques. (86)

Ils considèrent que l'embaumement selon la technique de Thiel est le modèle le plus approprié pour explorer la ventilation et le conditionnement des voies aériennes au cours d'une RCP. Les cadavres frais sont plus appropriés pour explorer l'hémodynamique. La stabilité du modèle au cours du temps est un critère important dans le choix du modèle. Un cadavre frais a tendance à rapidement se détériorer au fil des heures d'utilisation ce qui est moins le cas pour les cadavres formolés ou embaumés selon la technique de Thiel. De plus, l'étude souligne que près de 60% des études expérimentales sur cadavres humains ont été

réalisées entre 2015 et 2020 soulignant la tendance actuelle à l'utilisation de plus en plus importante du modèle cadavérique humain dans le domaine de la RCP. Ils évoquent la nécessité de standardiser la recherche portant sur l'arrêt cardiaque sur modèle anatomique humain. A l'instar des vivants, l'équipe de Duhem propose d'utiliser les recommandations d'Utstein pour uniformiser les recherches portant sur la RCP en laboratoire (97). Enfin, ils ont identifié le manque de circulation comme le point commun et le principal facteur limitant de tous les modèles cadavériques pour les études portant sur la RCP.

Le cout du modèle cadavérique, peut aussi être un frein à la recherche. Cependant il y a peu de documentation à ce sujet dans la littérature actuelle. Quelques études mentionnent cependant le coût de la préparation : d'environ 30€ pour un cadavre formolé à 300-437€ pour un cadavre embaumé selon la technique de Thiel (90,93). Cette estimation ne prend pas en compte pas le support technique, la conservation, l'équipement ou la ré-utilisation.

L'équipe de Charbonney a comparé les paramètres respiratoires rencontrés lors de RCP chez des patients présentant un arrêt-cardiaque extra-hospitalier et chez des cadavres embaumés selon la technique de Thiel. Les résultats objectivent des compliances pulmonaires et des résistances des voies aériennes similaires (tableau 2). Le cadavre embaumé selon la technique de Thiel présente aussi comme avantage d'avoir une stabilité au cours du temps ( tableau 3)

Measures in Thiel cadavers	N = 11
Vt (mL)	404 ± 40
P <sub>plat</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	22 ± 4.5
P <sub>peak</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	39 ± 8.5
C <sub>RS</sub> (mL/cmH <sub>2</sub> O)	42 ± 12
C <sub>CW</sub> (mL/cmH <sub>2</sub> O)	110 ± 45
Res (cmH <sub>2</sub> O/L/sec)	17.5 ± 7.5
Measures in OHCA patients	N = 9
C <sub>RS</sub> (mL/cmH <sub>2</sub> O)	37.3 ± 10.9
Res (cmH <sub>2</sub> O/L/sec)	20.2 ± 5.3

Tableau 2 : Mécanique respiratoire des ACEH et des cadavres embaumés selon la technique de Thiel. Étude complète des paramètres respiratoires des cadavres embaumés selon la technique de Thiel et comparaison avec la compliance et la résistance pulmonaire mesurées chez les arrêts cardiaques extrahospitaliers. Valeurs rapportées avec la moyenne + /- écart-type. Vt : volume courant, P<sub>plat</sub> : pression de plateau, P<sub>peak</sub> : pression de crête ; C<sub>rs</sub> : compliance du système respiratoire, C<sub>cw</sub> : compliance de la cage thoracique, Res : resistance (83)

Thiel cadavers (N=4)	C <sub>RS</sub> (mL/cmH <sub>2</sub> O)	Res (cmH <sub>2</sub> O/L/sec)
T 45 min	38.3 ± 3.9	10.5 ± 0.5
T 90 min	41.8 ± 5.8	11.3 ± 0.4
T 135 min	44.5 ± 9.3	11.8 ± 0.4

Tableau 3 : Stabilité des paramètres respiratoires au cours du temps. Les mesures de compliance pulmonaire (C<sub>RS</sub>) et résistance (Res) sur les quatre cadavres sont réalisées après 5 minutes de compressions thoraciques à 100/minutes séparée par 45 minutes de ventilation mécanique. Les données sont rendues en moyenne +/- écart-type. (83)

De précédents travaux ont mis en évidence une diminution des volumes courants (V<sub>t</sub>) délivrés en lien avec les compressions thoraciques lorsque la réanimation cardio-pulmonaire (RCP) était conduite en ventilation mécanique invasive (98,99). En effet, les compressions réalisées pendant la ventilation force une sortie d'air hors des poumons, appelée « *reverse airflow* ». Ce phénomène a été décrit et mesuré pour la première fois en 1960 par l'équipe de Safar (100). Ce *reverse flow* est observé chez au moins 69% des compressions thoraciques d'une RCP au cours des arrêts cardiaques extrahospitaliers avec un volume courant d'environ 96 mL par épisode, variant de 90 à 102 mL avec un intervalle de confiance de 95% (98). L'équipe d'Orlob a étudié les volumes de *reverse flow* lors d'une RCP sur cadavre. Ce volume était en moyenne de 0,95 mL/kg de poids idéal prédit par la taille soit des volumes similaires à ceux objectivés lors de RCP chez les ACEH (99).

Segond et al. ont étudié la variation du volume courant pendant une RCP en position horizontale puis avec un certain angle d'inclinaison, selon différents niveaux de PEP, sur des cadavres frais congelés (101). Un pneumotachographe a été utilisé pour évaluer le flux d'air circulant à travers la sonde d'intubation. Le volume courant inspiratoire était défini comme le volume d'air entrant dans les poumons durant la phase inspiratoire. Il été calculé à chaque cycle respiratoire. En dehors de la RCP, le volume courant était calculé comme l'intégral de flux positif pendant la phase d'insufflation. Au décours de la RCP, le volume courant était calculé comme la somme des intégrales positives et négatives pendant la phase inspiratoire. Ils ont défini le volume de compression (*reverse flow*) et le volume de décompression,



respectivement le volume expulsé (intégrale négative) et entrant (intégrale positive) dans le poumon pendant les compressions thoracique durant la phase d'insufflation (figure 15).

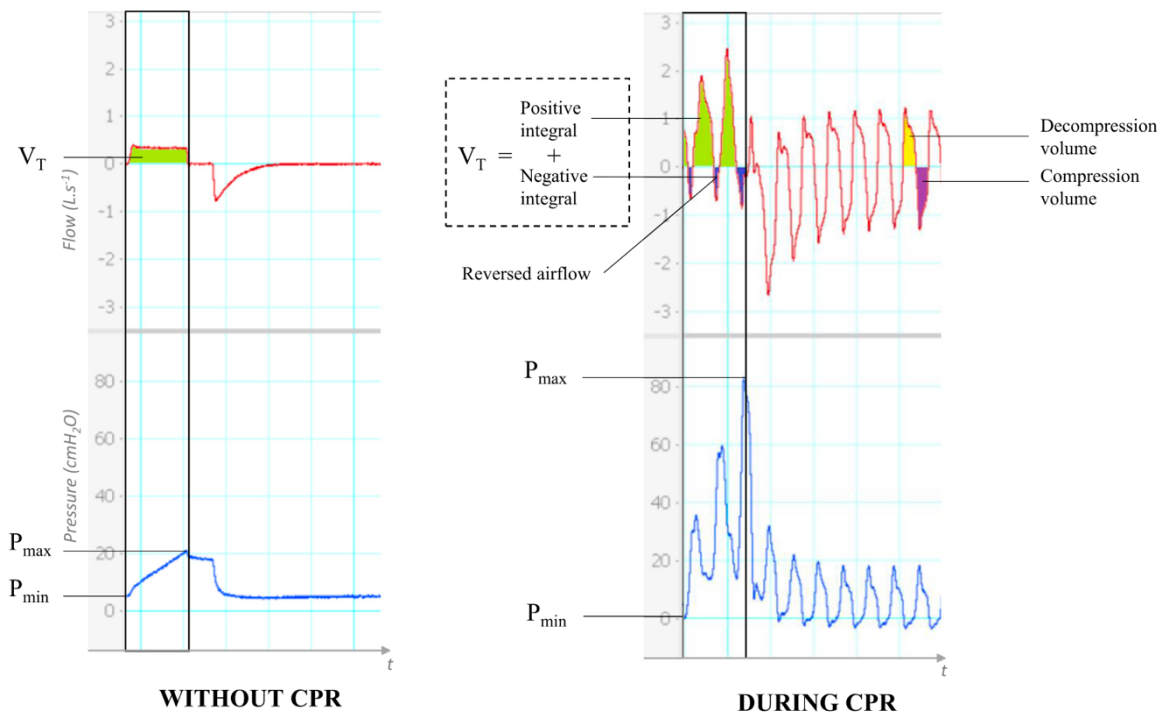


Figure 15 : Définition des mesures. Un cycle respiratoire sans compression thoracique puis avec compression thoracique est représenté. La courbe rouge correspond au débit (L/s) et la courbe bleue à la pression (cmH<sub>2</sub>O). L'encadré noir correspond à la phase d'insufflation.  $V_T$ : volume courant,  $P_{max}$ : pression maximale des voies aériennes,  $P_{min}$ : pression minimale des voies aériennes. (101)

Ces variations de volumes sont aussi présentes lors de la phase expiratoire. La phase expiratoire est la phase du cycle respiratoire où il existe le moins d'interactions entre les compressions externes et la ventilation mécanique. Ces variations peuvent représenter une évaluation quantitative indirecte des variations de pression intra-thoracique et de la qualité du MCE.

### **III. PROTOCOLE MaC DV**

#### **Assessment of external cardiac massage efficacy in prone position: MaC DV protocol as a physiological experimental study on formaldehyde-based cadavers. MaC DV protocol.**

*Marion Roux<sup>1</sup>, Florian Sigaud<sup>1</sup>, Nicolas Segond<sup>2</sup>, Alexandre Bellier<sup>3-4</sup>, Roselyne Collomb-Muret<sup>1</sup>, Guillaume Debaty<sup>2</sup>, Nicolas Terzi<sup>1-5</sup>*

Corresponding author: [mrroux3@chu-grenoble.fr](mailto:mrroux3@chu-grenoble.fr)

1 : Médecine Intensive Réanimation, CHU Grenoble Alpes, Grenoble, France

2 : Structure Mobile d'Urgences et de Réanimation, Service d'Aide Médicale urgente, CHU Grenoble Alpes, Grenoble, France

3 : Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

4 : Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

5 : Médecine Intensive Réanimation, CHU Rennes, Rennes, France

#### **INTRODUCTION**

##### **Background and rationale**

Cardiac arrest (CA) is the third leading cause of morbidity in Europe (14). It's one of the few diseases to benefit from international recommendations according to the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). External compressions remain the cornerstone of CA management for survival and neurological outcome.

COVID-19 pandemic resulted of many patients suffering from Acute Respiratory Distress Syndrom (ARDS) related to COVID-19 induced pneumonia. Prone positioning is part of the treatments recommended for the most severe ARDS in association with protective ventilation strategy, sedation and neuromuscular blocking agent infusion (5,6,24). Therefore, intensive care teams developed skills in ARDS management, especially in displaying prone positioning. Prone position (PP) was more frequently started in COVID-19 ARDS patients than in other previously reported ARDS populations (102). Because CA occurred as a common

complication in Covid-19 induced ARDS, the question about prone cardiopulmonary resuscitation (CPR) has raised (103).

When CA occurs in special circumstances, as on patient in prone position ARDS in intensive care unit, the initiation of external compressions may be delayed. Caregivers are not accustomed to or trained in back compressions. They can be reluctant to start compressions. On the other side, emergency return patient to supine is time consuming (increasing no-flow duration), needing a least 5 care givers, and exposing patient to side effects (tracheal tube dislodgement, alveolar derecruitment, arterial or venous line disconnection) or caregivers' aerosolization.

Data available about prone CPR are mainly case reports, most of them focusing intra-operative patients (41–70). Few prospective data assessing the efficacy of external cardiac compressions in prone position have been reported, mainly derived from two pilot feasibility studies (10,11) carried out on a small number of intensive care unit patients after standard CPR failed or issued from simulation models on mannequins (9).

The optimal target for back compressions is between 0 and 2 vertebral segments below the inferior angles of the two scapulae. This landmark area is correlated with the largest cross-section of the left ventricle (40).

Different back compression techniques have been described in literature: the two hands bounded in an axial position at mid-thoracic level, the two hands disjointed and positioned on the inferior angle of scapulae, and a technique with one hand positioned under the patient at the level of the lower third of the sternum, acting as counter-pressure for the second hand located opposite at thoracic spine level (74).

In 2022, the International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations (CoSTR) considered as a good practice statement to initiate prone CPR on a mechanically ventilated patient if supination is not safely feasible or poses significant risk to the patient (78). However based on

the last systematic review (78), the ILCOR highlight the lack of strong evidence to make prone CPR guidelines.

To date, prospective studies with a high level of evidence comparing PP versus SP CPR are not feasible in clinical research, in relation to ethical considerations and trial difficulties (low incidence, implementation). Experimental study on human cadaver model could provide an initial physiological mechanisms involved data.

## **Study Model and Objectives**

### *Study Model*

Over the past 5 years, CPR studies on human cadavers have been regaining interest. Duhem et al. underwent the first systematic review to assess the most appropriate cadaver model to improve cardiopulmonary resuscitation (86). They considered cadavers, whatever the embalming technique, to be unsuitable for studying hemodynamic CPR parameters. However, cadavers are suitable for studying respiratory parameters encountered in external cardiac compression situations. In the same topic, Brochard et al showed that lung compliance on Thiel-embalmed cadavers was like lung compliance on out-hospital cardiac arrest patient (104). Other studies have demonstrated a decrease in tidal volumes delivered due to chest compressions when CPR was performed with invasive mechanical ventilation (98,99).

The last study in Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises, investigated by Segond et al, observed tele-expiratory flow variations due to chest compressions on fresh mechanically ventilated cadavers (101). They were able to calculate compression volume ( $V_c$ ) and decompression volume ( $V_d$ ) corresponding to, respectively, negative integral flow and positive integral flow in airway at the end of expiratory phase. Those thoracic volume variation assessed during expiratory phase, when there is less interaction between ventilator and external compressions, may represent an indirect quantitative assessment of intra-thoracic pressure variations and thus compression's quality.

We therefore believe that formol-based human cadaver could provide relevant pre-clinical exploratory data concerning first physiological mechanisms then PP CPR efficacy assessment by comparing compression and decompression volume generated by different CPR modalities.

#### *Primary Objective*

To compare external compressions efficacy in prone versus supine position on formalin-based embalming cadaver model.

#### *Secondary Objectives*

The secondary objectives are to assess:

- hemodynamic effects during the different prone versus supine CPR modalities.
- tidal volume variations during the different prone versus supine CPR modalities.
- the intra-thoracic aortic pressure variation during the different prone versus supine CPR modalities.
- the transpulmonary variations during the different prone versus supine CPR modalities.
- the mechanical complication occurrence related to external compressions.

## **METHODS**

### **Study design**

MaC DV is an experimental, monocentric (Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises – LADAF - Université Grenoble Alpes), randomized, three-period crossover study performed on human cadavers.

### **Sample Size**

There is no experimental data in literature to estimate the expected benefit between prone versus supine CPR. However, based on the systematic review of Duhem et al., approximately of 12 +/- 11 anatomical models are used per study.

Futhermore, based on Segond' study, mean tidal volume reported during chest compressions in supine position was 7,4 mL per kilograms of predicted body weight (standard deviation 1,5) with a power of 80% and a two-sided  $\alpha$  level of 0.05. With this volume hypotheses, 10 fresh cadavers would highlight a difference 27% of volume, a 2.0-point volume drop in prone position.

For this study, 10 formalin cadavers are needed to detect a 5% difference between the volume variations, at a two-sided  $\alpha$  level of 0.05 and a statistical power of 80%. Indeed, 12000 to 14000 external cardiac compressions and 600 respiratory cycles will be assessed in our study.

### **Materials**

Targeted and eligible materials are human materials as formaldehyde-based embalmed cadavers, provided by the LADAF.

Exclusion criteria are :

- Cadavers with a body mass index (BMI)  $\geq 40$  kg<sup>2</sup>/m, to be excluded respected of unavailable data and handling.
- Intubation and/or monitoring equipment failure of study materials

## **Outcomes**

### *The primary objective*

The primary co-outcome variable is the comparison of compression volumes and decompression volumes induced by external compressions during prone and supine CPR.

### *The secondary objectives*

In supine and prone CPR, Secondary objectives are:

- intra-aortic pressure's area under the curve (AUC) (positive integral)
- ventilatory flow (L/s). Tidal volume is calculated as the sum of positive flow integral and negative flow integral during inspiratory phase.
- maximal airway pressure ( $P_{aw}$ , cmH<sub>2</sub>O) and minimum airway pressure ( $P_{max}$  and  $P_{min}$ ) during inspiratory phases CPR.
- esophageal pressure as an estimation of pleural pressure. Transpulmonary pressure ( $P_L$ ) calculated as  $P_L = P_{aw} - P_{es}$
- lung compliance variations after each sequence of CPR conditions.
- mechanical complications after each sequence, collected by X-Ray: rib fractures, pneumothorax, spinal fractures, and endotracheal tube dislodgment.

## **Data setting**

Ten formaldehyde cadavers will be available in LADAF premises.

After inclusion, the cadavers will be:

- endotracheally intubated and connected to a ventilator MONNAL T60 (Air Liquid Medical System, France). The ventilator settings, according to guidelines, are in volume control continuous mandatory ventilation mode, respiratory rate 10 breaths per minute, targeted tidal volume at 6 mL per kilograms of predicted body weight, PEEP at 0 cmH<sub>2</sub>O, inspiratory-expiratory ratio of 1:5, maximal pressure limit of 80 cmH<sub>2</sub>O, flow 60 liters per minute. The inspiratory trigger is deactivated.

- monitored by a pneumotachograph, placed after the respiratory filter.
- monitored by a pressure catheter, i.e a Swan-Ganz catheter, inserted in intra-thoracic aorta via carotid or femoral arteries.
- monitored by an esophageal manometry through an oesophageal probe to evaluate pleural pressure. The reference for the catheter length is taken as follow: the distance from the mouth to the ear, added to distance from ear to inter-mammillar line. The correct placement is assessed by a Baydur test.
- received systematic chest X-ray at the end of cadaver equipment to assess the correct position of tracheal tube, intra-aortic pressure and to describe potential pulmonary lesion or pleural effusion.

After completed haemodynamic and respiratory equipment, cadaver is randomized for CPR interventions. The randomization list is created using R software version 4.1.2 by a statistician from the Clinical Investigation Center.

The study assesses three chest compression modalities as follow:

- SP: cadaver in supine position, 0° inclination, arms at its sides, receiving standard middle chest compressions (CC). The CC frequency is set at 100-120 compressions per minute and the depth reaches 5 to 6 cm with complete chest passive decompression.
- PP 1: cadaver in prone position, arms at its sides. The provider's hands are placed on either side of the thoracic spine, at the level of the inferior angle of scapula (T7-T10 vertebral bodies). The CC frequency set at 100-120 compressions per minute and the depth reaches 5 to 6 cm with complete chest passive decompression.
- PP2 cadaver in prone position, arms at its sides. The operator's hands are bound and placed in the midline over the thoracic spine, at the level of T7-T10 vertebral bodies. The CC frequency set at 100-120 compressions per minute, and the depths reaches 5 to 6 cm with complete chest passive decompression.



The CC frequency is driven by a metronom set at 110 beat per minute.

For all modalities, intervention is performed in 3 sequences as follow:

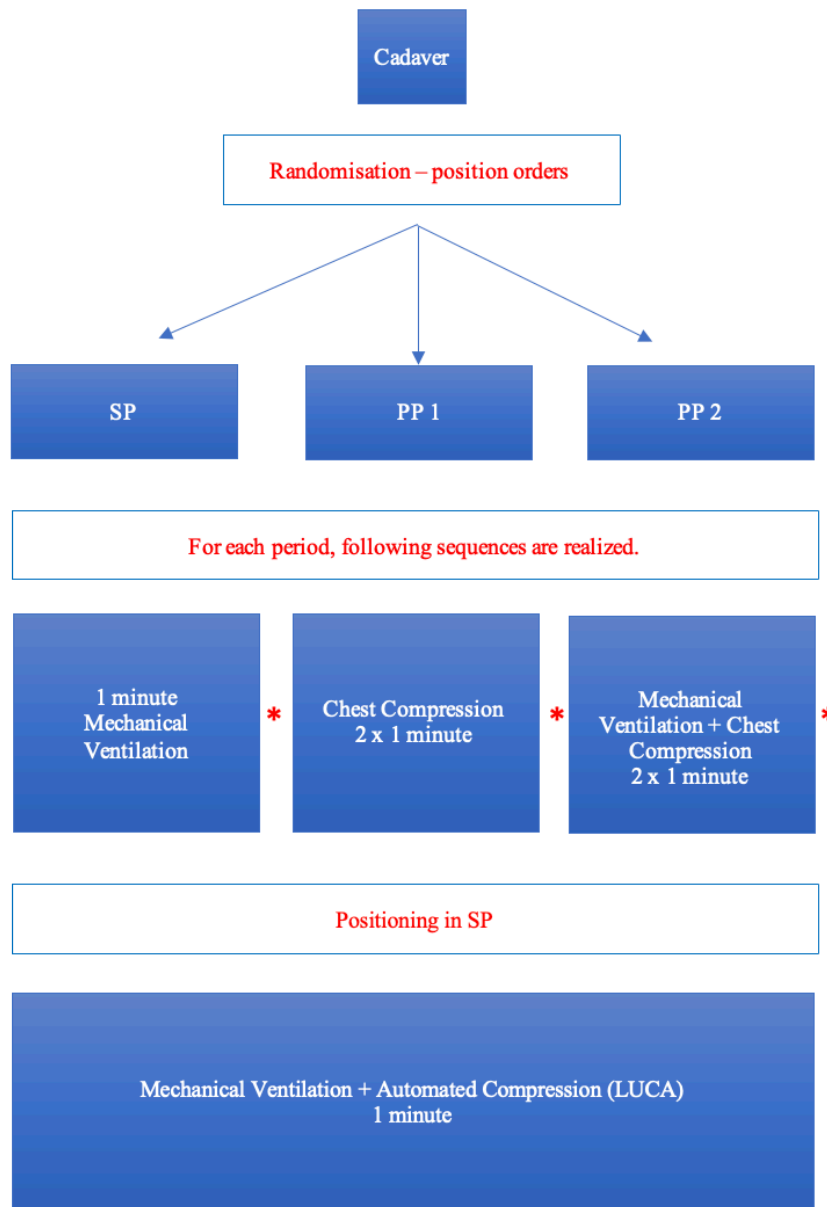
- 1 minute mechanical ventilation only
- then twice 1-minute chest compression only
- then twice 1-minute chest compression with mechanical ventilation.

For the second and third sequences, the chest compressions are performed by two same experienced operators. They are not blind to the CPR position, but they are blind to the ongoing data acquisition.

After each sequence of each period, an X-Ray and a lung ultrasound is performed to assess the potential complications related to compressions. Then, the lung compliance using tidal volume, tele-inspiratory pressure and tele-expiratory pressure.

After positioning and before measurements, the Aorta line is zeroed.

To assess the chest compression quality, a 1-minute supine CPR is performed using an automated chest compression device (LUCAS 20, Physio-Control Operations/Stryker Medical, United States) at the end of all interventions. Chest compression frequency is set at 110 compression/minutes and compression depth at 5 cm. Ventilation setting isn't modified. Finally, the equipment is removed, and the cadaver restituted to LADAF staff (figure 16).



\*: X-Ray

Figure 16 : MaC DV design

### Data collection and management

All data are recorded and centralized in a digital database using Excel 2016 software (Microsoft, United States of America), stored on the CHU Grenoble Alpes servers.

LADAF cadavers already have an anonymization number, specific to their use within the brand. As a part of this research, the data collected will be anonymized by means of a new coding system. The cadaver will be assigned a new anonymization number.

Clinical data as embalming technique, gender, age at death, weight, height, post-mortem delay (time between death and handling) are collected from the LADAF registry. The body mass index and the predicted body weight are calculated.

Intra-aortic pressure, esophageal pressure (as pleural pressure), airway pressure and airway flow are recorded using an analog–digital system (MP150, Biopac System, Goleta, CA, USA), the AcqKnowledge software (version 5.0, Biopac System, Goleta, USA) and the LABCHART Pro software (version 8.1.21, AD instrument, USA).

Displacement of the chest during compression generates gas motion through the endotracheal tube, which is detectable by the pneumotachograph. In line with the previous study of N.Segond et al, the compression volume and decompression volume are defined respectively as the negative integral and positive integral at the end of expiratory phase. Because there are fewer interactions between external compressions and ventilation in expiratory phase, only volumes generated during the last five tele-expiratory compressions are assessed. As the compressions can start at any time of the respiratory cycle, the first respiratory cycle of every sequence is excluded. The transpulmonary pressure ( $P_l$ ) is calculated by subtracting airway pressure and the esophageal pressure ( $P_l = P_{aw} - P_{es}$ ). To calculate the lung compliance, tele-inspiratory and tele-expiratory pauses are realized at the end of each sequence. Lung Compliance is calculated as tidal volume divided by the subtraction of tele-inspiratory pressure and tele-expiratory pressure.

X-ray and lung ultrasound are performed after each sequence to assess the occurrence of pneumothorax, ribs or spinal fractures and intubation tube dislodgment. Both providers must agree on the occurrence of complication.

### **Statistical analysis**

The database will be stored in accordance with the signed investigator commitment.

For continuous variables, we calculated the mean  $\pm$  standard deviation (SD) and minimum and maximum for normally distributed data or median and interquartile range (IQR) for

skewed distributed data. Categorical variables were presented as numbers and percentages.

The estimates were presented with their 95% confidence intervals.

To assess the primary outcome, a linear mixed model was calculated for each AUC measurement (positive integral of pressure curve for Vd and negative integral for Vc at tele-expiratory phase), with the cadaver as the random factor and crossover period, height, sex, position (SP, PP 1 or PP 2) as covariates. Both analyses will be performed with an objective of superiority to the alpha risk threshold set at 5% with statistical significance for both criteria (inseparable statistical conclusion).

The secondary outcomes are assessed by the same model.

All statistical analyses are performed using R software version 4.1.2 by a statistician from the Clinical Investigation Center.

### **Ethic and dissemination**

The human bodies used are issued from individual donation for medical science, provided by the Laboratoire d'Anatomies des Alpes Françaises. Written and witnessed consent for body donation to science for anatomical and teaching purposes was given prior to death. This donation was free, anonymous, and regulated by the Code de la Santé Publique, article L1110-1 à L6441-1.

The study protocol was validated by the Grenoble Alpes University Hospital's as a Not Involving Human Person (RNIPH). Moreover the LADAF ethical committee gave its agreement to this study.

## **DISCUSSION**

### **Strengths**

First, international organizations involved in CA management identified the lack of strong evidence about CPR in prone position. Data are restricted to case report or small prospective studies. No controlled randomized trials have been conducted. It is due to ethical restriction and the rare incidence of the issue.

Until PROSEVA trial in 2013 and COVID-19 pandemic, prone position was recommended but its application in clinical practice appeared variable and inconsistent. However, with the COVID-19 pandemic prone positioning in intensive care teams was more commonly required for ARDS management. In fact, ICU providers have developed and acquired skills in prone positioning so that the procedure is nowadays displayed routinely for moderate to severe ARDS from various etiology. With increasing prone positioning, cardiac arrest in prone position may occur more. We conducted this study to address CPR in prone position.

This study is, to our knowledge, the first experimental study comparing two prone and one supine CPR on formaldehyde-based cadavers. The cadaver description is considered adequate because it specifies at least five out of eight of the following criteria: type of cadaver, storage temperature, number of cadavers used, number of uses per cadaver, age, weight, gender, and postmortem time interval (86). It was conducted with a team trained and skilled to CPR study on cadaver in view of previous studies (101,104). Cadavers seem to be suitable to explore respiratory parameters during CPR. Volumes generated by external cardiac compression are an indirect quantitative assessment of intra-thoracic pressure variations and thus compression's quality. By using cadaver in randomized, cross-over modalities, we overcome the limits of embalming. The volumes related to compressions are compared to volumes generated by mechanical external compressions. On a patient with sudden cardiac arrest, mechanical compressions proved their efficacy. In addition, two trained investigators realized the external compressions limiting the inter-individual variation. This is also the first study to

assess the mechanical complication related to external back compressions and the lung compliance modification after each sequence.

Finally, randomized controlled trials are hampered by ethical and feasibility issues (low incidence). Cadaver-based experimental studies may be a suitable alternative to explore physiological CPR mechanisms.

### **Limitations**

Our experimental cadaver study may have several limitations, known to be related to the model. Indeed, hemodynamic parameters are known to be difficult to assess on cadavers whatever the embalming technique was performed. Moreover, the placement of intra-aortic pressure catheter could be challenging.

We decide to perform our study on formaldehyde-based cadavers whereas other groups studied respiratory parameters using Thiel cadavers or fresh cadavers (86). Nevertheless, the most recent embalming techniques use a reduced percentage of formaldehyde in order to ensure tissue elasticity.

Moreover, insufflations are not synchronized with chest compressions, which could affect tidal volume delivery and so the compliance's calculation.

There is a lack of experimental data on CPR in formaldehyde-based cadavers. We will compare our measurements with others reported from Thiel and fresh cadavers. For example, we will compare our formaldehyde-based cadaver lung compliance to that of Thiel cadavers (83) and compression and decompression volumes to that of fresh cadavers (101).

Two new PP CPR are performed in this study by operators. They may have different degree of expertise in PP CPR, which may improve over interventions. That's why the procedures are carried out by two operators, and we compared the operator's massage efficacy without ventilation, depending on the position.

## **CONCLUSION**

There is a lack of strong evidence about prone CPR, making guidelines impossible to be made by ILCOR. No randomized trial has been conducted in this topic. Human cadaver study can be a reasonable alternative to explore physiological mechanisms and provide relevant pre-clinical outcomes. Our study aims to compare respiratory parameters encountered during prone and supine CPR.

Contributors: all authors participated to the elaboration of the protocol, its correction, and interventions on cadavers.

Fundings: appel d'offer interne du CHU Grenoble Alpes

Disclaimer: There is no industry support or involvement in the trial.

Competing interest: none

## IV. PREMIERS RÉSULTATS

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué notre première manipulation selon le protocole précédemment décrit courant septembre 2023. Avant cela, afin de nous familiariser avec l'environnement (locaux, logistique, logiciels), nous avons réalisés une manipulation préparatoire sur cadavre frais.

### 1) Manipulation sur cadavre frais

Nous avons été conviés par les Docteurs Nicolas Segond et Alexandre Bellier au Laboratoire d'Anatomie des Alpes Françaises (LADA, Université Grenoble Alpes) afin de nous familiariser avec l'environnement (locaux, logistique, logiciels).

Les manipulations prévues ce jour-là concernaient une étude conduite par le Dr Segond, évaluant un autre aspect de la réanimation cardiopulmonaire sur modèle anatomique avec cadavres frais. Nous avons pu à cette occasion recueillir des mesures exploratoires dans les mêmes conditions expérimentales que notre protocole (en dehors de la méthode de conservation du corps anatomique).

Le modèle anatomique était intubé et ventilé. A l'instar de MaC DV, un pneumotachographe était également mis en place. La pression dans les voies aériennes ( $P_{aw}$ ) et le débit ventilatoire sont enregistrés de manière continue via le logiciel Labchart. Les séquences de massage ont duré une minute chacune. Les compressions thoraciques ont d'abord été réalisées par un dispositif automatisé de compression thoracique puis manuellement selon la séquence prévue en DD (cadavre en décubitus dorsal, bras le long du corps, mains de l'intervenant positionnées au niveau de la moitié inférieure du sternum). Le cadavre était ensuite positionné en décubitus ventral et les séquences DV1 puis DV2 étaient réalisées. Ci-après les courbes de mesures représentant :

- Un cycle respiratoire sans intervention sur le modèle positionné en DD (figure 17). La courbe rouge représente le débit ventilatoire (mV sur la courbe au lieu de L/min) au



cours du temps et la courbe bleue la pression dans les voies aériennes (cmH<sub>2</sub>O). Le cycle respiratoire est divisé en deux : la phase inspiratoire et la phase expiratoire. Le volume courant est calculé à partir de l'intégrale positive du débit respiratoire. P<sub>max</sub> et P<sub>min</sub> représente les pressions maximales et minimales relevées au cours du cycle.

- Un cycle ventilatoire au cours d'un MCE en DD réalisé par un dispositif automatique de compression thoracique (figure 18). Le cycle respiratoire est fractionné en volume de compression (intégrale négative) et volume de décompression (intégrale positive). Le volume courant est calculé à partir de la somme des intégrales positives et négatives de la phase d'insufflation. Les volumes de compressions et décompressions sont générés par le massage et sont respectivement calculés à partir des intégrales négatives et positives.
- Un cycle respiratoire au cours d'un MCE en DD réalisé par un intervenant (figure 19). Le calcul des volumes n'est pas disponible.
- Un cycle respiratoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 1 : mains séparées de part et d'autre de la colonne vertébrale et positionnées au niveau de l'angle inférieur de la scapula (figure 20).
- Un cycle respiratoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 2 : mains jointes au niveau de la colonne vertébrale, entre 0 et 2 segments vertébraux sous la ligne joignant les deux angles inférieurs des scapula (figure 21).

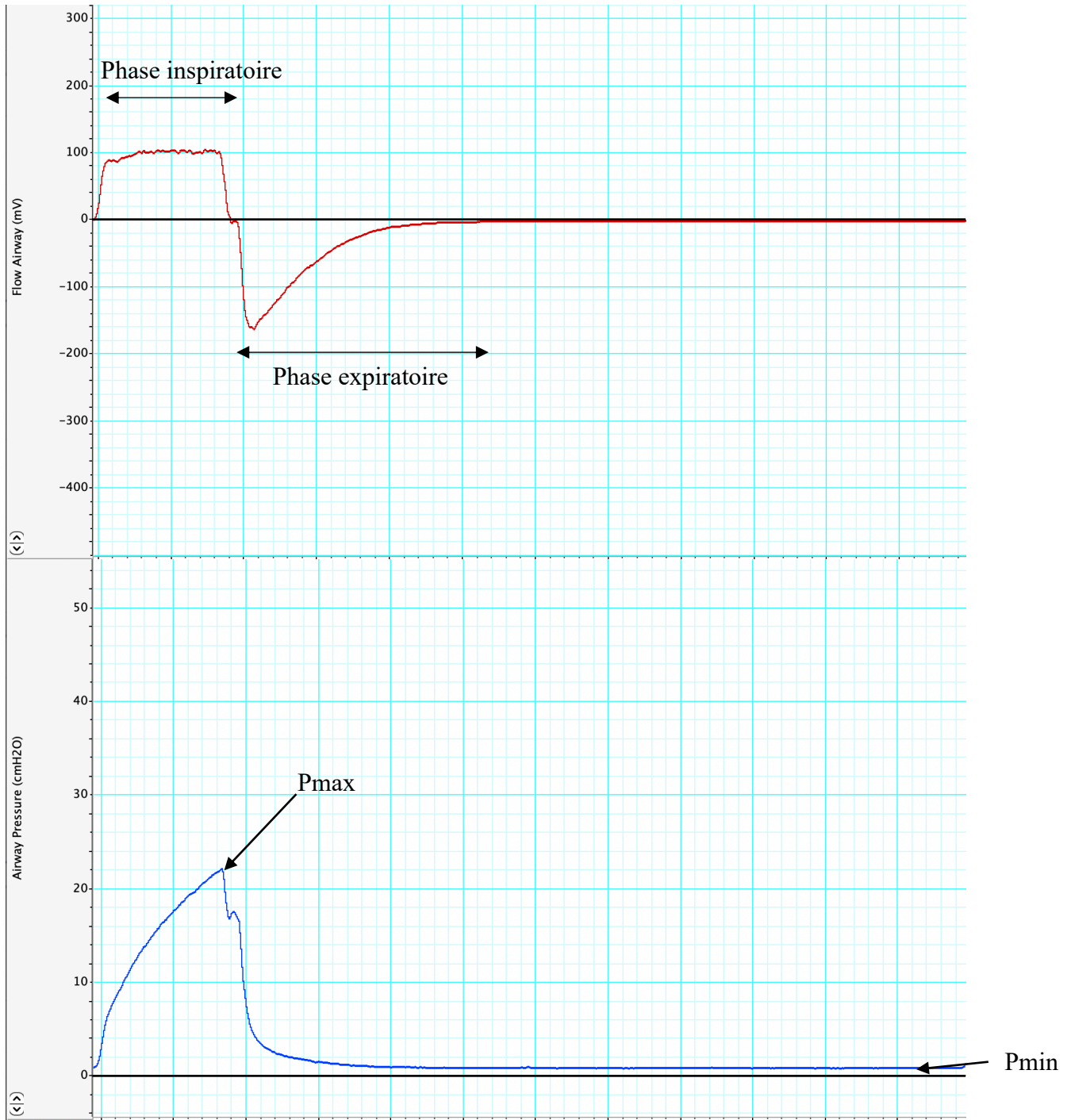


Figure 17 : Cycle ventilatoire sur cadavre frais sans intervention.

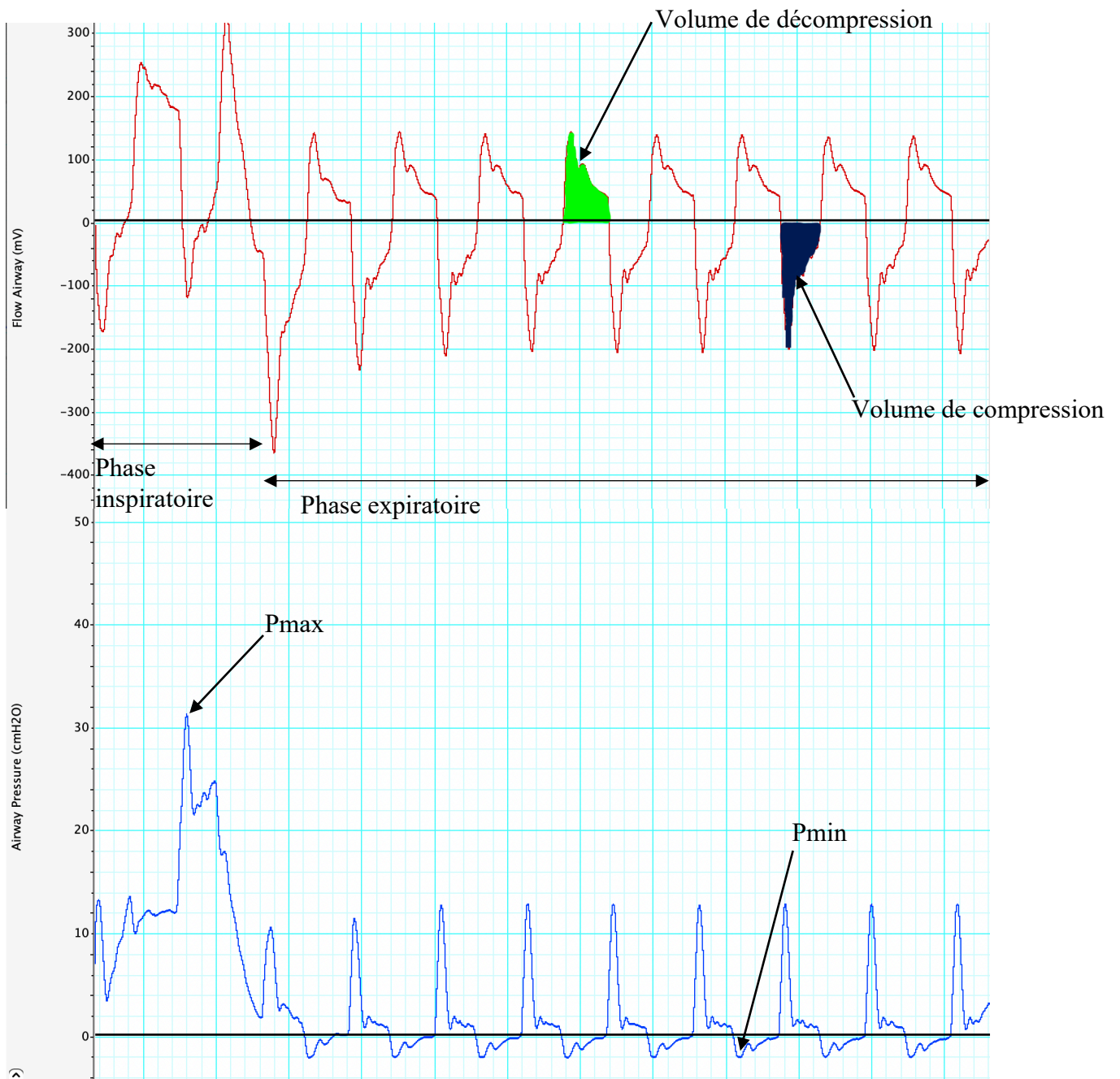


Figure 18 : Cycle respiratoire au décours d'un MCE par un dispositif automatique sur un cadavre frais en DD.

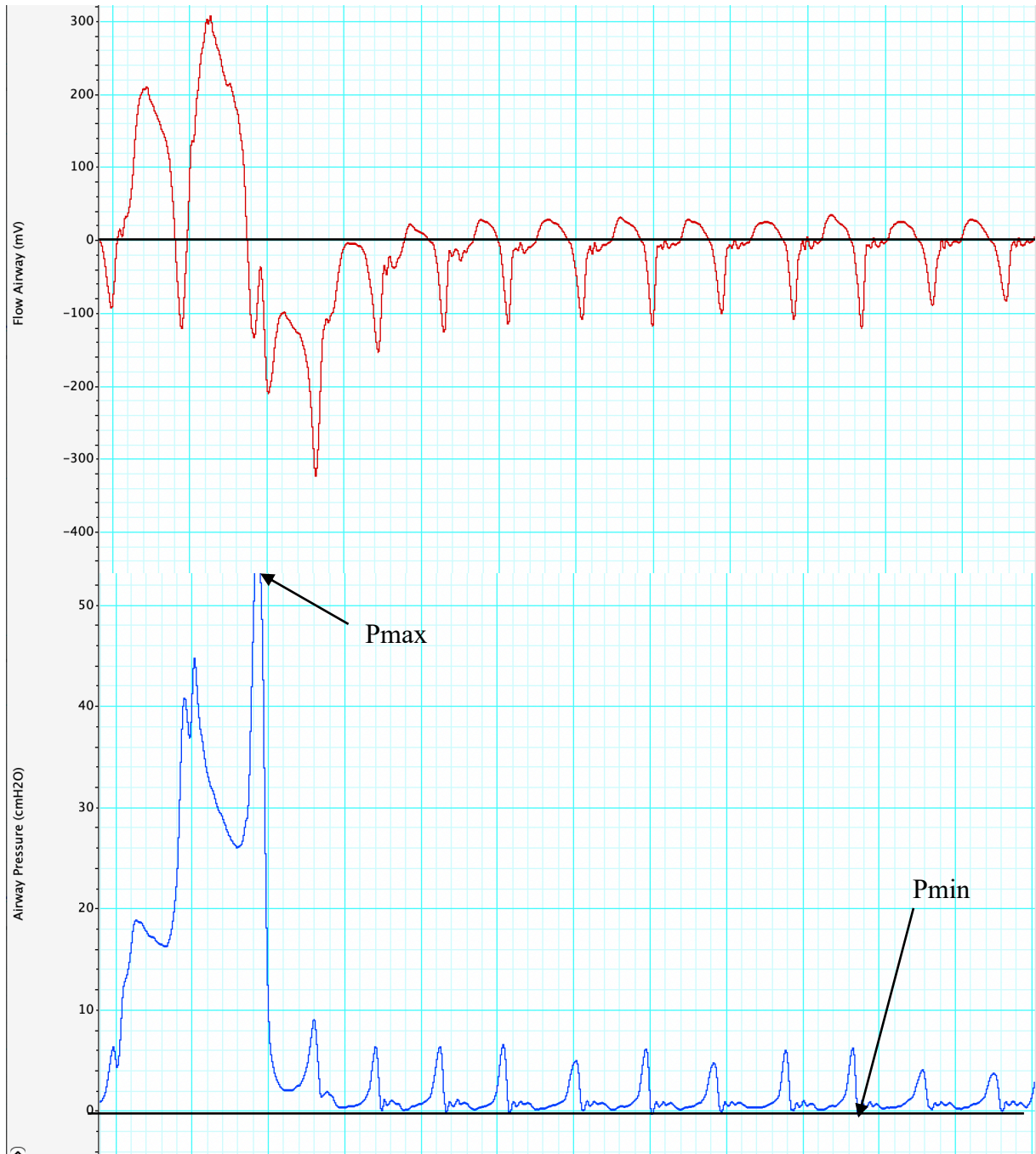


Figure 19 : Cycle respiratoire au décours d'un MCE manuel sur cadavre frais en DD.

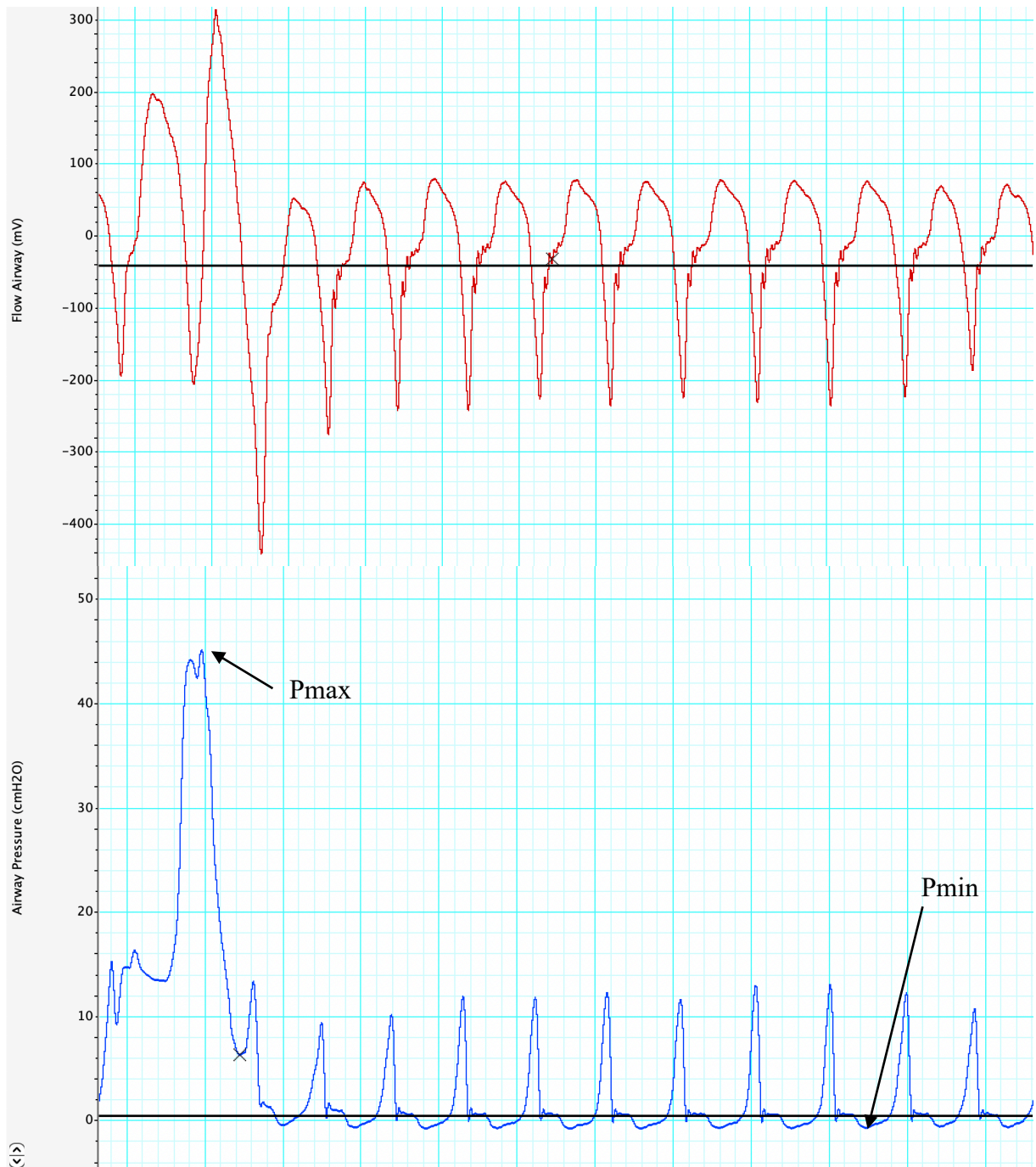


Figure 20 : Cycle respiratoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 1.

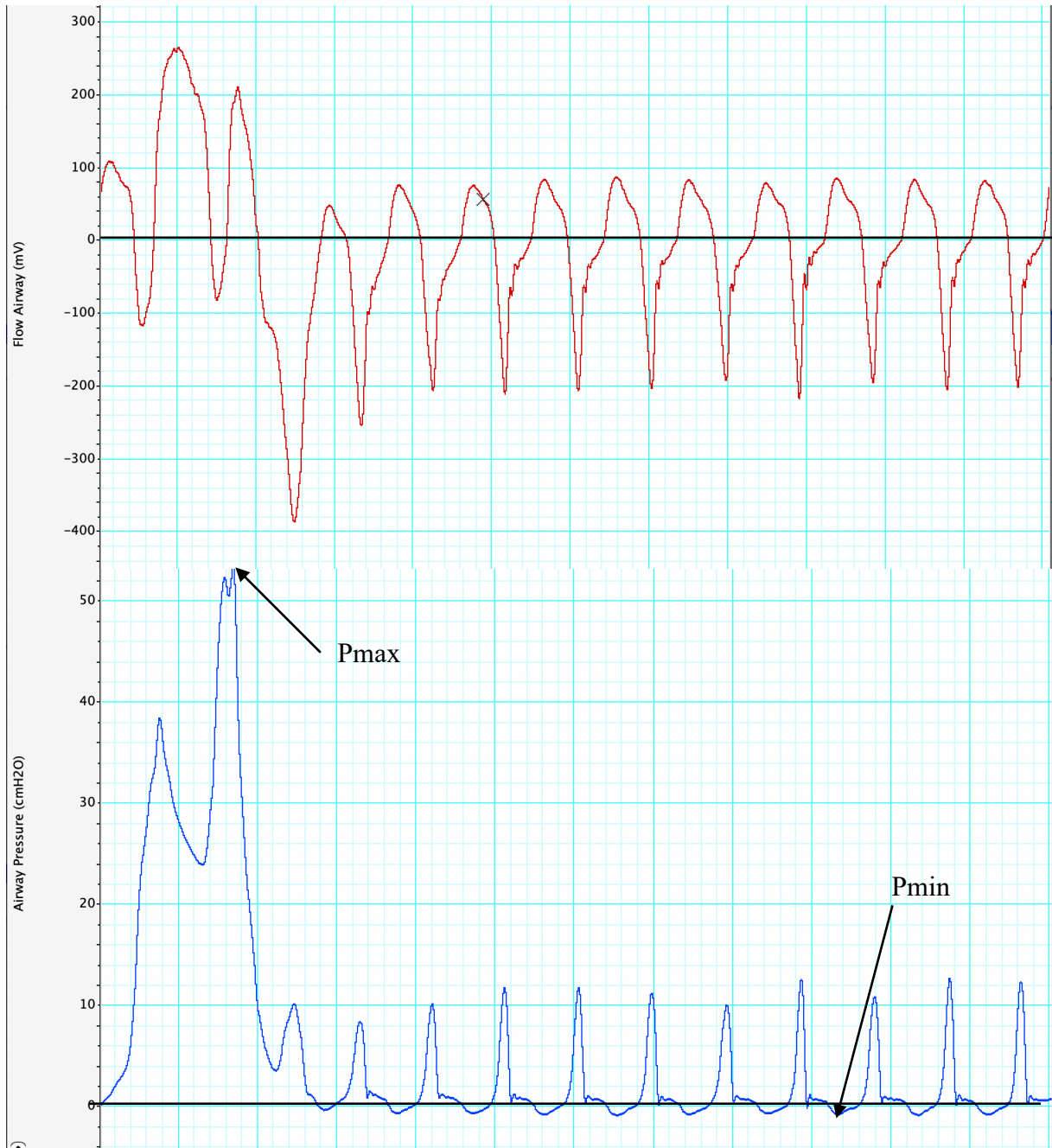


Figure 21 : Cycle respiratoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 2.

Ces mesures furent encourageantes en attendant de commencer MaC DV.

## 2) Premier cadavre formolé

La première manipulation de MaC DV s'est déroulée le 15 septembre 2023 au LADAF.

Il s'agissait d'un cadavre formolé de sexe féminin. L'âge au décès était de 90 ans. La patiente de son vivant mesurait 160 cm pour un poids de 65 kg (soit un index de masse corporelle à 25,4 kg/m<sup>2</sup> et un poids idéal prédit par la taille à 52,4 kg). Le délai entre le décès et le conditionnement était inférieur à 24h. Le délai entre le conditionnement et l'utilisation était de 44 jours. La température de conditionnement était de 4°. Le cadavre était utilisé pour la première fois dans la cadre de l'étude MaC DV. L'état de conservation était satisfaisant. Il était noté une froideur cutanée et une rigidité importante probablement en lien avec une sortie du conditionnement réfrigéré tardive. Les cathéters de mesure des pressions intra-aortique ainsi que de la pression œsophagienne n'ont pas pu être mise en place en raison de cette rigidité. L'intubation s'est déroulée sans difficulté et le bon positionnement de la sonde était contrôlé par scopie. A noter que pendant le temps de l'équipement et de la calibration du pneumotachographe, le cadavre a été ventilé 1h en ventilation assistée contrôlée selon les réglages décrit par le protocole (Vt 6mL/kg soit 320mL pour le cadavre, PEP 0, FR 10 cycles/minute, I/E 1/5, TPI 60% du temps inspiratoire). Visuellement, à l'initiation de la ventilation, la cage thoracique ne se déformait que très peu sous l'influence des insufflations. Les pressions de crêtes atteignaient 80 cmH<sub>2</sub>O pour seulement 200 mL de volume insufflé. Au fur et à mesure que le cadavre se réchauffait, l'ampliation thoracique était meilleure et les pressions de crête moindres. Cependant le Vt insufflé était en moyenne de 274 mL au lieu des 320 mL prescrits. Pour expliquer ceci, il était noté une probable adaptation logicielle du ventilateur lorsque les pressions de crêtes approchaient la Pmax (80 cmH<sub>2</sub>O) conduisant à un asservissement de la valve de débit proportionnelle en débits décélérant dans l'objectif probable de garantir la délivrance du maximum de volume possible sans interrompre le cycle inspiratoire (mais conduisant à la délivrance de volumes inférieurs à ceux prescrits). Compte tenu des paramètres ventilatoire réglés, le débit de pointe était de 48 L/min.

Les deux intervenants étaient le Dr Floch et madame Marion Roux. L'ordre de randomisation était selon les séquences DV 1, DD puis DV 2. Nous fûmes surpris de la rigidité du cadavre lors de la première séquence (DV 1) et donc de la réalisation du massage cardiaque quasi impossible. Après retournement, la réalisation du MCE en DD fut d'une difficulté neutre, semblable à celle rencontrée en situation clinique. Lors de la réalisation de la dernière séquence (DV 2), la paroi thoracique nous a semblé plus souple. La réalisation du MCE était cependant plus physique que celle lors du MCE en DD.

Les courbes obtenues lors de la première manipulation sont reportées ci-dessous :

- Un cycle respiratoire sans intervention sur le cadavre formolé (Figure 22). La courbe bleue représente le débit en L/min et la courbe violette les pressions dans les voies aérienne en cmH<sub>2</sub>O. Le volume courant est calculé à partir de l'intégrale positive du débit ventilatoire. A noter que les pressions dans les voies aériennes sont très élevées, atteignant 78 cmH<sub>2</sub>O et le débit ventilatoire obtenu atteint seulement 44 L/min.
- Une période de MCE seul selon la séquence DV 1 par l'intervenant numéro 1 (figure 23). Les volumes de compressions et décompressions sont peu importants. Le calcul de volume exacte n'est pas encore disponible.
- Un cycle ventilatoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 1 (figure 24). De la même manière ci-dessus, le volume courant est calculé à partir de la somme des intégrales positives et négatives. Les volumes de compressions et décompressions sont calculés à partir des intégrales négatives et positives respectivement des 5 dernières compressions thoraciques du cycle ventilatoire.
- Un cycle ventilatoire au cours d'un MCE selon la séquence DD (figure 25).
- Un cycle ventilatoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 2 (figure 26).
- Un cycle respiratoire au cours d'un MCE par un dispositif automatique (figure 27)



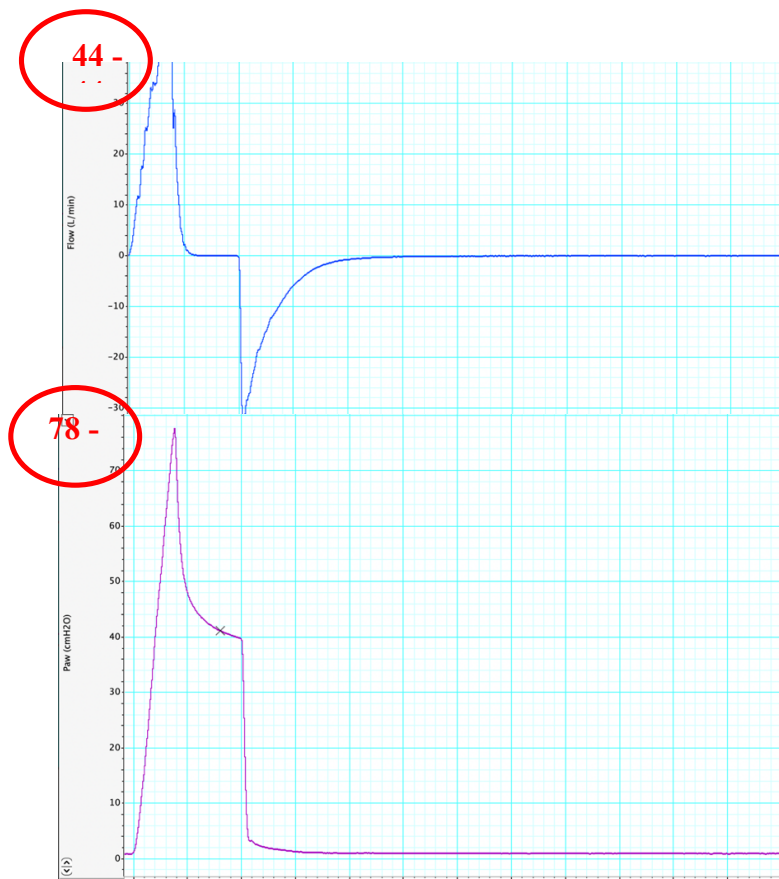


Figure 22 : Cycle ventilatoire en DV sur le premier cadavre formolé du protocole.

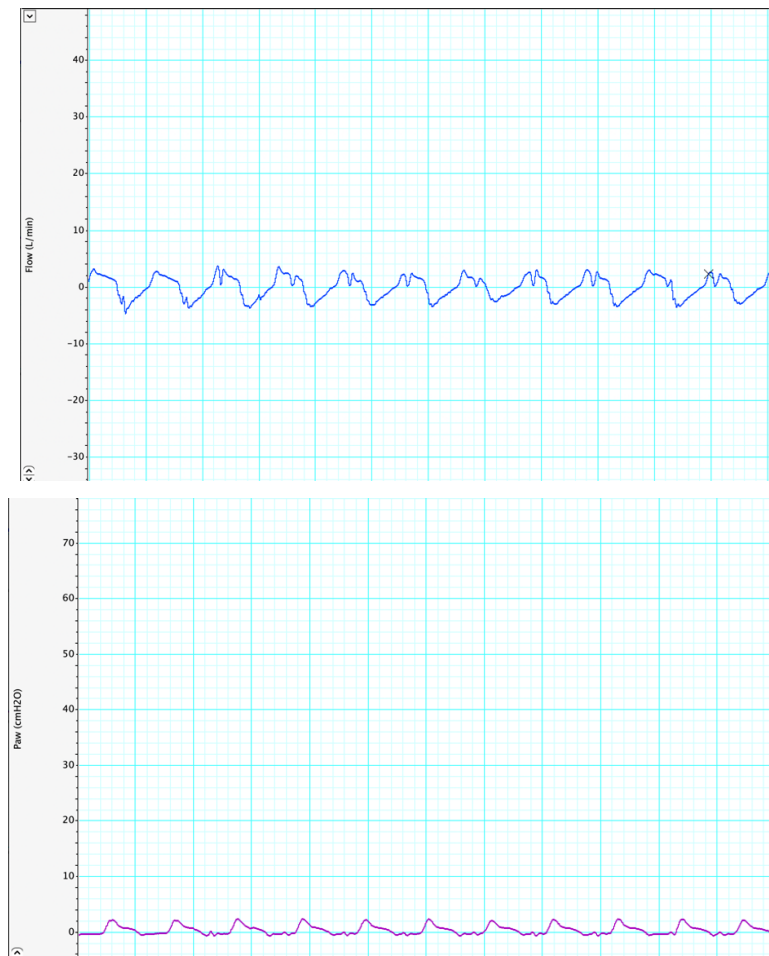


Figure 23 : MCE seul selon la séquence DV 1 par l'intervenant numéro 1.

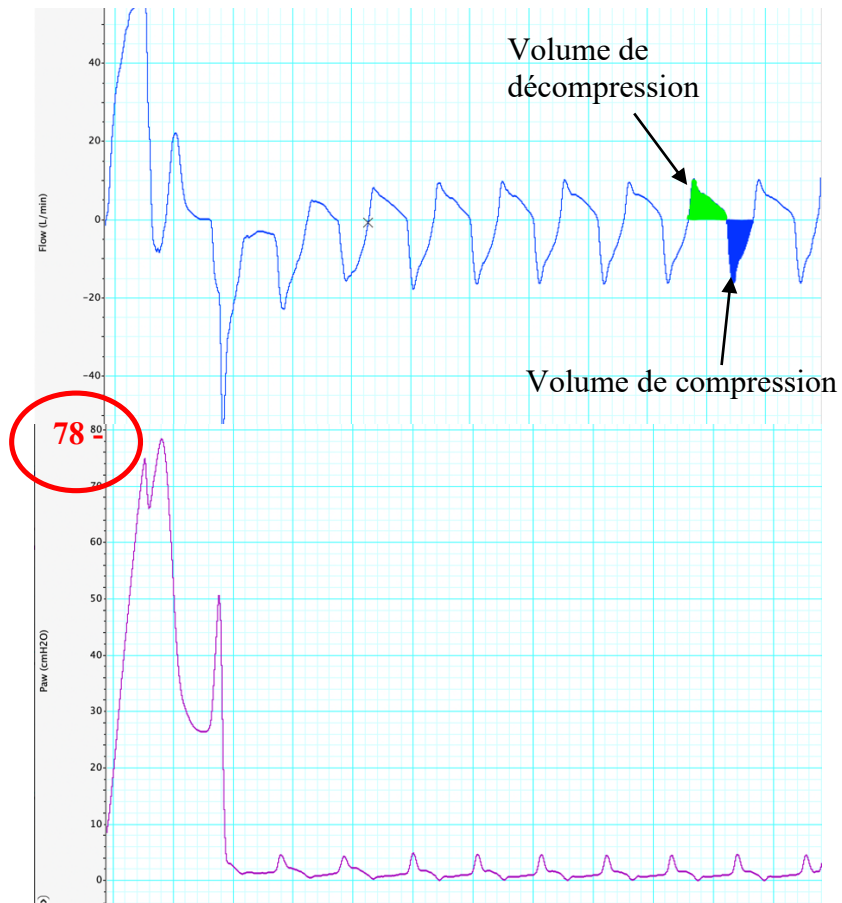


Figure 24 : Cycle ventilatoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 1.

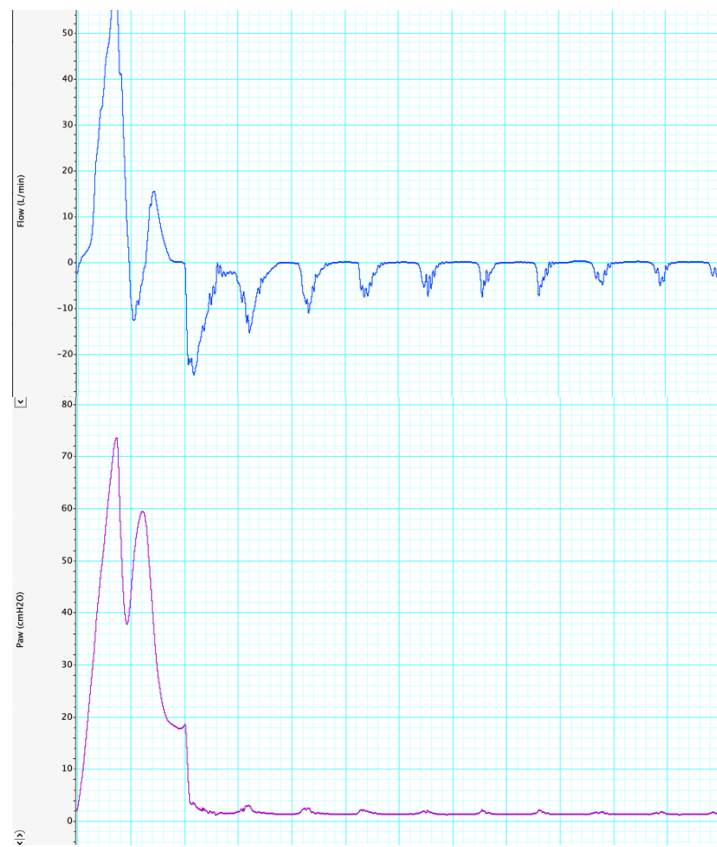


Figure 25 : Cycle respiratoire au cours d'un MCE selon la séquence DD

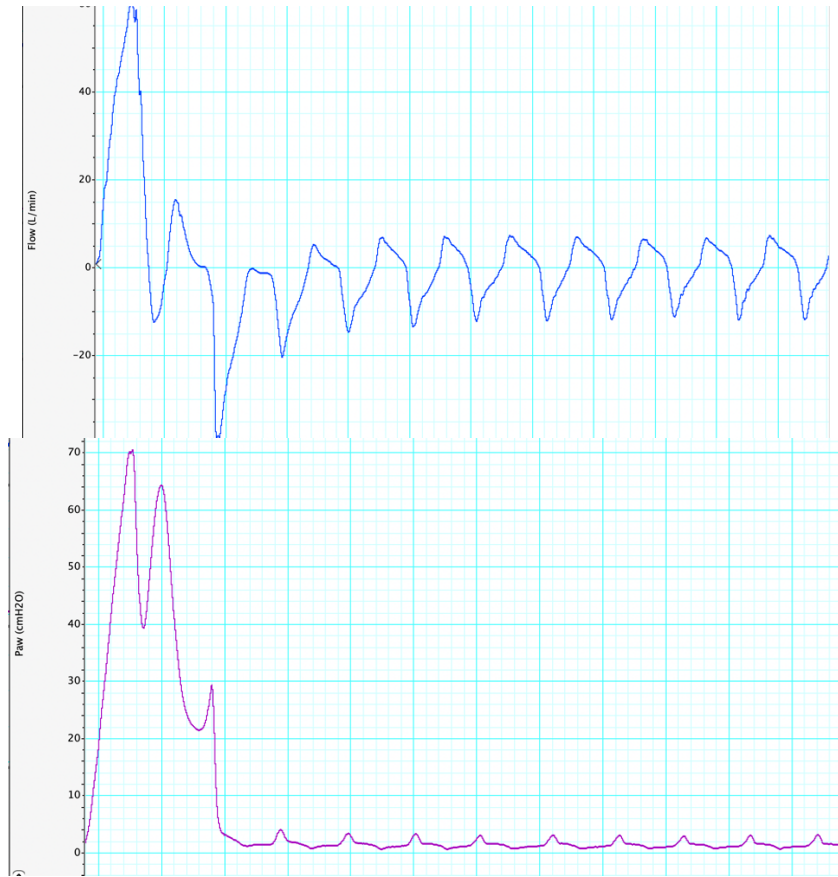


Figure 26 : Cycle ventilatoire au cours d'un MCE selon la séquence DV 2.

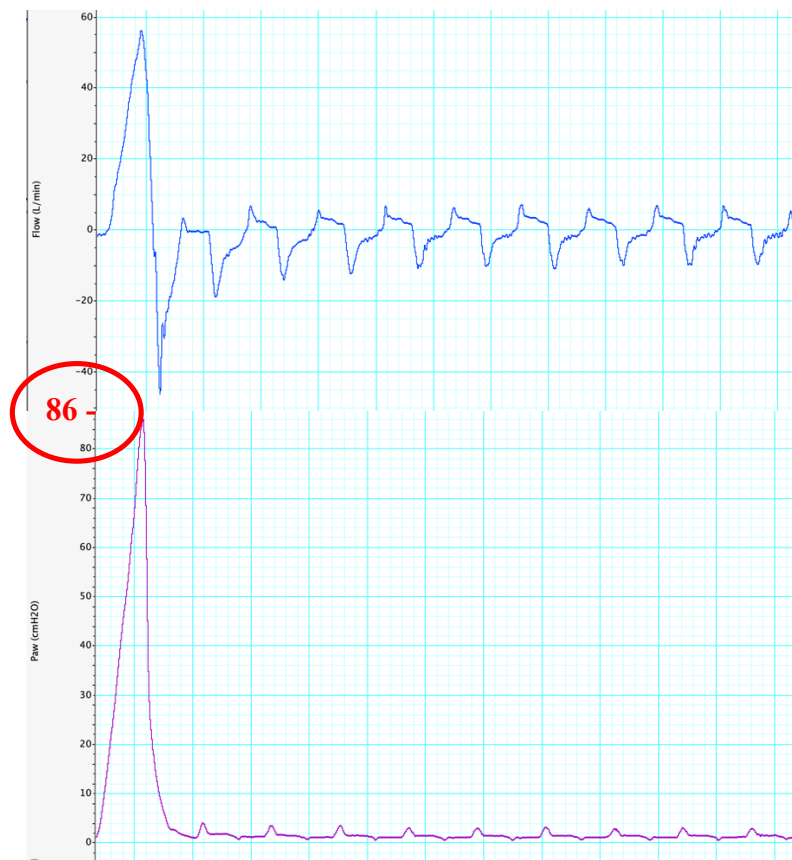


Figure 27 : Cycle ventilatoire au cours d'un MCE réalisé par un dispositif automatique de compression thoracique en DD.

Par défaut d'équipement, le recueil de la pression transpulmonaire et intra-aortique a été impossible. Cependant le débit de pointe maximal, les pressions des voies aériennes maximales et minimales, la compliance pulmonaire, le volume courant moyen ont pu être relevés et calculés. Des clichés de scopie ont été réalisés à la recherche de complications mécaniques des différents modes de RCP. Aucune complication n'a été relevées sur le premier corps anatomique.

Des valeurs brutes sont reportées dans le tableau 4 ci-dessous. Comme expliqué précédemment, le débit de pointe et les volumes courants sont en deçà des valeurs prescrites. Les pressions des voies aériennes sont très élevées au cours des différentes séquences. Nous notons cependant une amélioration significative entre la première et deuxième séquence sur les volumes courants et débit de pointes lors de la ventilation seule. En effet, un temps supplémentaire entre les deux manœuvres a été nécessaire afin de calibrer à nouveau les différents appareils. Cela a pu permettre au modèle anatomique de se réchauffer et donc de se dérigidifier. Les médianes de volumes de compressions et décompressions sont des analyses sur un cycle respiratoire pris au hasard pour chaque séquence des différentes modalités. La pression motrice est calculée à partir de la différence entre la pression plateau (acquise après une pause inspiratoire de 5 secondes) et de la pression expiratoire positive totale (acquise après une pause expiratoire de 5 secondes). La compliance est par la suite calculée par la moyenne du volume courant relevé divisé par la pression motrice

	DV 1			DD			DV 2		
	VM seul	MCE seul	VM + MCE	VM seul	MCE seul	VM + MCE	VM seule	MCE seul	VM+MCE
<b>Débit de pointe* (L/min)</b>	42,8	NA	59,9	61	NA	57	59	NA	49,25
<b>Vt (mL)</b>	201	NA	266	271	NA	250	272	NA	313
<b>Médiane du Vc (mL)</b>	NA	9	31	NA	4	7	NA	11	24
<b>Médiane du Vd (mL)</b>	NA	6	25	NA	2	0	NA	10	18
<b>Paw max cmH<sub>2</sub>O</b>	77,53	4,56	80,3	71,3	3,71	82	73	5,29	82,3
<b>Paw min cmH<sub>2</sub>O</b>	0,8	-0,57	0,17	1,20	-0,17	1,18	1,25	-0,1	0,89
<b>Pression motrice / Compliance</b>	34 / 5,9	NA	29 / 9	23 / 12	NA	19 / 13	28 / 9,7	NA	23 / 13
<b>Complication</b>	NA	Non	Non	NA	Non	Non	NA	Non	Non

\* moyenne des débits maximaux, L/min, NA : non approprié, ND : non disponible

Tableau 4 : premières données brutes de la manipulation du cadavre formolé n°1.

### 3) Discussion

Le premier essai nous semble encourageant. Quelques adaptations semblent cependant nécessaires.

Nous avons pu constater visuellement et sur les mesures, que le corps à peine sorti de son lieu de conservation était trop rigide. La rigidité a probablement conduit à l'échec de l'équipement de la pression œsophagienne et de la pression aortique qui s'annonçait déjà difficile secondaire à la technique d'embaumement. Cependant, la rigidité s'est modifiée au fur et à mesure de l'utilisation du cadavre. En effet, nous pouvons constater l'amélioration des volumes courants, des débits de pointes et de la compliance au cours du temps (tableau 4). Cette tendance se vérifie aussi visuellement avec une ampliation thoracique de plus en plus importante sous les effets du réchauffement et de la ventilation. Les pressions et l'élasticité des tissus se sont améliorées. Nous avons donc convenu avec le personnel du Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises de sortir le corps la veille des prochaines manipulations.

Sur le plan ventilatoire, les pressions étaient initialement très élevées malgré les réglages du ventilateur. Ainsi, le ventilateur ne délivrait pas le volume courant prescrit (320 mL pour ce cadavre) en contexte de pression de pic proche de 80 cmH<sub>2</sub>O. La principale hypothèse est qu'à l'approche de la pression maximale de 80 cmH<sub>2</sub>O, le ventilateur passe d'un débit continue à un débit décélérant afin d'éviter d'atteindre cette pression maximale et donc d'interrompre son cycle. Le constructeur (Airliquid) a été contacté pour obtenir des informations, nous sommes à ce jour encore en attente de réponses.

In fine, cela expliquerait la différence entre le Vt prescrit et le Vt effectivement reçu par le cadavre pour cette première série de manipulation.

Concernant la recherche des complications, il serait judicieux de les évaluer en aveugle des modalités réalisées (DV 1, DV 2, DD, LUCAS). Les scopies sont alors enregistrées sur l'appareil du LADAF, montrées à des évaluateurs, différents des intervenants et aveugles de l'intervention réalisée. Nous sommes conscients que la scopie peut rendre difficile le diagnostic de pneumothorax et de fractures vertébrales ou costales du fait de la

résolution d'image. Lors de la manipulation sur le deuxième modèle anatomique, nous en avons cependant pu faire le diagnostic de pneumothorax au cours de la deuxième intervention.

Ces difficultés rencontrées lors de la première manipulation ne semblent pas avoir de retentissement sur l'évaluation du critère de jugement principal. Pour rappel, il s'agit des volumes de compression et décompression mesurés lors des 5 dernières compressions de la phase expiratoire. Cette première manipulation est donc encourageante pour la suite de l'étude.

## V. Conclusion

L'arrêt cardiocirculatoire est un problème majeur de santé publique. Sa prise en charge est codifiée par des recommandations internationales. La réalisation précoce d'un massage cardiaque externe efficace demeure la pierre angulaire de la réanimation cardio-pulmonaire. Si la réanimation cardio-pulmonaire est détaillée pour un patient positionné sur le dos, des zones d'ombres subsistent lorsque l'arrêt cardiaque survient chez un patient intubé ventilé, positionné en décubitus ventral. Lorsque le retournement en urgence ne peut être réalisé ou peut être source de nouvelles complications, comme cela peut être le cas en réanimation, les sociétés savantes ont identifié le besoin d'établir des preuves scientifiques robustes pour la rédaction de recommandations spécifiques.

Compte tenu des freins évidents à la réalisation d'un tel protocole en recherche clinique dans l'état actuel des connaissances, nous avons conçu une étude expérimentale sur cadavres formolés visant à comparer l'efficacité du massage cardiaque en décubitus ventral (selon deux techniques distinctes) et en décubitus dorsal. Le projet MaC DV pourrait apporter des données expérimentales préliminaires nécessaires à la poursuite de la recherche dans le domaine.



THÈSE SOUTENUE PAR : Marion ROUX

TITRE :

ASSESSMENT OF EXTERNAL CARDIAC MASSAGE EFFICACY IN PRONE POSITION: MaC DV PROTOCOL AS A PHYSIOLOGICAL EXPERIMENTAL STUDY ON FORMALDEHYDE-BASED HUMAN CADAVERS: MaC DV PROTOCOL

CONCLUSION :

**Background:** Cardiopulmonary resuscitation (CPR) remains the cornerstone for cardiac arrest management for survival and neurological outcome. Guidelines have been updated in 2021. When cardiac arrest occurs on prone position as in severe acute respiratory distress syndrome patient, it is recommended to initiate prompt prone cardiopulmonary resuscitation. However, there is insufficient data on how to perform. We aim to compare efficacy of CPR in prone and supine position.

**Methods:** We conducted a cross-over experimental study in Laboratoire d'Anatomie Des Alpes Françaises using a human formoled cadaver model. The primary co-outcome is the thoracic compression and decompression volume generated during CPR. Secondary outcomes are hemodynamic (intra-aortic pressure) and respiratory parameters (airway pressure, tidal volume, transpulmonary pressure, lung compliance) and mechanical complications (ribs or spinal fracture, pneumothorax, endotracheal tube dislodgment). Ten cadavers will be enrolled and three CPR techniques for each cadaver will be tested. Order of 3 different CPR modalities: prone 1 CPR (hands on each scapula), prone 2 CPR (hands bounded on middle thoracic spine) or standard prone CPR will be randomly assigned. Each cadaver is ventilated through tracheal intubation for 1 minute, then twice 1-minute external compressions only by two providers and finally twice 1-minute ventilation with compressions by two providers. Data are continuously recorded using pneumotachograph and reported using Labchart Pro software. Compression and decompression volumes are calculated from respectively negative and positive integrals from flow curves and analyzed using a linear mixte model. The statistical power is set to 80% and a two-sided level is set to 0,05 to detect a 5% difference between the volume variations.

**Conclusion:** Relevant data respected to prone CPR performance are expected from this originally experimental study based on formalin embalmed human cadavers.

**Keywords:** cardiopulmonary resuscitation, human cadaver model, prone position

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 24/09/23

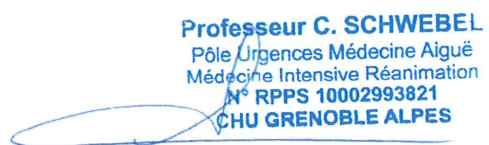
LE DOYEN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE



Pr Olivier PALOMBI

Pr Olivier PALOMBI  
Doyen de l'UFR de Médecine  
  
Par délégation  
du Président de l'USA

LE PRÉSIDENT / LA PRÉSIDENTE DU JURY



Professeur C. SCHWEBEL  
Pôle Urgences Médecine Aiguë  
Médecine Intensive Réanimation  
N° RPPS 10002993821  
CHU GRENOBLE ALPES

Pr Carole Schwebel

## **REFERENCES**

1. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djäv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*. avr 2021;161:115-51.
2. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation*. avr 2021;161:98-114.
3. Panchal AR, Bartos JA, Cabañas JG, Donnino MW, Drennan IR, Hirsch KG, et al. Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* [Internet]. 20 oct 2020 [cité 21 juin 2023];142(16\_suppl\_2). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000000916>
4. Guérin C, Reignier J, Richard JC, Beuret P, Gacouin A, Boulain T, et al. Prone Positioning in Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. 6 juin 2013;368(23):2159-68.
5. Papazian L, Aubron C, Brochard L, Chiche JD, Combes A, Dreyfuss D, et al. Formal guidelines: management of acute respiratory distress syndrome. *Ann Intensive Care*. déc 2019;9(1):69.
6. Shang Y, Pan C, Yang X, Zhong M, Shang X, Wu Z, et al. Management of critically ill patients with COVID-19 in ICU: statement from front-line intensive care experts in Wuhan, China. *Ann Intensive Care*. déc 2020;10(1):73.
7. Mir T, Sattar Y, Ahmad J, Ullah W, Shanah L, Alraies MC, et al. Outcomes of IN-HOSPITAL cardiac arrest in COVID -19 patients: A proportional prevalence meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv*. janv 2022;99(1):1-8.
8. McCraw C, Baber C, Williamson AH, Zhang Y, Sinit RS, Alway AD, et al. Prone Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) Protocol: A Single-Center Experience at Implementation and Review of Literature. *Cureus* [Internet]. 26 sept 2022 [cité 11 juin 2023]; Disponible sur: <https://www.cureus.com/articles/113390-prone-cardiopulmonary-resuscitation-cpr-protocol-a-single-center-experience-at-implementation-and-review-of->

literature

9. Atkinson MC. The efficacy of cardiopulmonary resuscitation in the prone position. *Crit Care Resusc J Australas Acad Crit Care Med.* sept 2000;2(3):188-90.
10. Mazer SP, Weisfeldt M, Bai D, Cardinale C, Arora R, Ma C, et al. Reverse CPR: a pilot study of CPR in the prone position. *Resuscitation.* juin 2003;57(3):279-85.
11. Wei et al. Cardiopulmonary Resuscitation in Prone Position: A Simplified Method for Outpatients. 2006;
12. Hsu CH, Considine J, Pawar RD, Cellini J, Schexnayder SM, Soar J, et al. Cardiopulmonary resuscitation and defibrillation for cardiac arrest when patients are in the prone position: A systematic review. *Resusc Plus.* 4 déc 2021;8:100186.
13. Merchant RM, Topjian AA, Panchal AR, Cheng A, Aziz K, Berg KM, et al. Part 1: Executive Summary: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation [Internet].* 20 oct 2020 [cité 20 juin 2023];142(16\_suppl\_2). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000000918>
14. Gräsner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masterson S, Lilja G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation.* avr 2021;161:61-79.
15. Perkins GD, Gräsner JT, Semeraro F, Olasveengen T, Soar J, Lott C, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary. *Resuscitation.* avr 2021;161:1-60.
16. Ong MEH, Shin SD, De Souza NNA, Tanaka H, Nishiuchi T, Song KJ, et al. Outcomes for out-of-hospital cardiac arrests across 7 countries in Asia: The Pan Asian Resuscitation Outcomes Study (PAROS). *Resuscitation.* nov 2015;96:100-8.
17. McNally B, Stokes A, Crouch A, Kellermann AL. CARES: Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival. *Ann Emerg Med.* nov 2009;54(5):674-683.e2.

18. Nolan JP, Soar J, Smith GB, Gwinnutt C, Parrott F, Power S, et al. Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation*. août 2014;85(8):987-92.
19. Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A. In-Hospital Cardiac Arrest: A Review (USA). *JAMA*. 26 mars 2019;321(12):1200.
20. Holmberg MJ, Ross CE, Fitzmaurice GM, Chan PS, Duval-Arnould J, Grossestreuer AV, et al. Annual Incidence of Adult and Pediatric In-Hospital Cardiac Arrest in the United States. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. juill 2019;12(7):e005580.
21. Andersen LW, Holmberg MJ, Løfgren B, Kirkegaard H, Granfeldt A. Adult in-hospital cardiac arrest in Denmark. *Resuscitation*. juill 2019;140:31-6.
22. JAMA 1966. Cardiopulmonary Resuscitation: Statement by the Ad Hoc Committee on Cardiopulmonary Resuscitation of the Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences—National Research Council. *JAMA*. 24 oct 1966;198(4):372.
23. Ware LB, Matthay MA. The Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. 4 mai 2000;342(18):1334-49.
24. Grasselli G, Calfee CS, Camporota L, Poole D, Amato MBP, Antonelli M, et al. ESICM guidelines on acute respiratory distress syndrome: definition, phenotyping and respiratory support strategies. *Intensive Care Med*. juill 2023;49(7):727-59.
25. Ranieri V, Rubenfeld G, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, Fan E. Acute Respiratory Distress Syndrome: The Berlin Definition. *JAMA* [Internet]. 20 juin 2012 [cité 21 juin 2023];307(23). Disponible sur:  
<http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.2012.5669>
26. Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, Brochard L, Esteban A, et al. Epidemiology, Patterns of Care, and Mortality for Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries. *JAMA*. 23 févr 2016;315(8):788.
27. Stapleton RD, Wang BM, Hudson LD, Rubenfeld GD, Caldwell ES, Steinberg KP.

Causes and Timing of Death in Patients With ARDS. *Chest*. août 2005;128(2):525-32.

28. Guérin C, Beuret P, Constantin JM, Bellani G, Garcia-Olivares P, Roca O, et al. A prospective international observational prevalence study on prone positioning of ARDS patients: the APRONET (ARDS Prone Position Network) study. *Intensive Care Med*. janv 2018;44(1):22-37.

29. Langer T, Brioni M, Guzzardella A, Carlesso E, Cabrini L, Castelli G, et al. Prone position in intubated, mechanically ventilated patients with COVID-19: a multi-centric study of more than 1000 patients. *Crit Care*. déc 2021;25(1):128.

30. Bringer M, Gay L, Gorun C, Hassaine A, Molimard F, Noui A, et al. Le décubitus ventral : de la théorie à la pratique. Schnell D, Charles PE, éditeurs. *Médecine Intensive Réanimation*. janv 2019;28(1):52-9.

31. Galiatsou E, Kostanti E, Svarna E, Kitsakos A, Koulouras V, Efremidis SC, et al. Prone Position Augments Recruitment and Prevents Alveolar Overinflation in Acute Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 juill 2006;174(2):187-97.

32. Pelosi P, Tubiolo D, Mascheroni D, Vicardi P, Crotti S, Valenza F, et al. Effects of the Prone Position on Respiratory Mechanics and Gas Exchange during Acute Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 févr 1998;157(2):387-93.

33. Richter T, Bellani G, Harris RS, Melo MFV, Winkler T, Venegas JG, et al. Effect of Prone Position on Regional Shunt, Aeration, and Perfusion in Experimental Acute Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 août 2005;172(4):480-7.

34. Mc Neil et al. Re-evaluation of cardiopulmonary resuscitation. 1989;

35. Kouwenhoven WB. Closed-Chest Cardiac Massage. *JAMA J Am Med Assoc*. 15 juin 1984;251(23):3133.

36. Rudikoff MT, Maughan WL, Effron M, Freund P, Weisfeldt ML. Mechanisms of blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. févr 1980;61(2):345-52.

37. Schelen CL, Berkowitz ID, Traystman R, Rogers MC. Controversial Issues in Cardiopulmonary Resuscitation. *Anesthesiology*. 1 juill 1989;71(1):133-49.

38. Stewart JA. Resuscitating an idea: prone CPR. *Resuscitation*. sept 2002;54(3):231-6.
39. Anez C, Becerra-Bolaños Á, Vives-Lopez A, Rodríguez-Pérez A. Cardiopulmonary Resuscitation in the Prone Position in the Operating Room or in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. *Anesth Analg*. févr 2021;132(2):285-92.
40. Kwon et al. Optimizing Prone Cardiopulmonary Resuscitation: Identifying the Vertebral Level Correlating With the Largest Left Ventricle Cross-Sectional Area via Computed Tomography Scan. 2016;
41. Tobias et al. Intraoperative Cardiopulmonary Resuscitation in the Prone Position. 1994;
42. Al Harbi M, Alattas K, Alnajar M, Albuthi M. Prone cardiopulmonary resuscitation in elderly undergoing posterior spinal fusion with laminectomy. *Saudi J Anaesth*. 2020;14(1):123.
43. Beltran SL, Mashour GA. Unsuccessful Cardiopulmonary Resuscitation during Neurosurgery: Is the Supine Position Always Optimal? *Anesthesiology*. 1 janv 2008;108(1):163-4.
44. Brock-Utne JG. Case Studies of Near Misses in Clinical Anesthesia [Internet]. New York, NY: Springer New York; 2011 [cité 13 août 2023]. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-1179-7>
45. Brown J, Rogers J, Soar J. Cardiac arrest during surgery and ventilation in the prone position: a case report and systematic review. *Resuscitation*. août 2001;50(2):233-8.
46. Burki A., Mahboob S., Tanzeel F. CPR in prone position during neurosurgery. *Anaesth Pain Intensive Care*. 2 avr 2017;
47. Cahn J. Intraoperative Cardiopulmonary Arrest. *AORN J*. nov 2022;116(5):450-60.
48. Chauhan V, Tiwari A, Rath GP, Banik S. Asystole during lumbar discectomy: a case report. *J Clin Anesth*. juin 2016;31:265-6.

49. Chen HL, Wong CS, Ho ST, Chang FL, Hsu CH, Wu CT. A Lethal Pulmonary Embolism During Percutaneous Vertebroplasty: *Anesth Analg.* oct 2002;95(4):1060-2.
50. Dequin PF, Hazouard E, Legras A, Lanotte R, Perrotin D. Cardiopulmonary resuscitation in the prone position: Kouwenhoven revisited. *Intensive Care Med.* nov 1996;22(11):1272-1272.
51. Dumont TM, Stockwell DW, Horgan MA. Venous Air Embolism: An Unusual Complication of Atlantoaxial Arthrodesis: Case Report. *Spine.* oct 2010;35(22):E1238-40.
52. Gomes DDS, Bersot CDA. Cardiopulmonary Resuscitation in the Prone Position. *Open J Anesthesiol.* 2012;02(05):199-201.
53. Gueugniaud PY, Muchada R, Bertin-Maghit M, Griffith N, Petit P. Non-invasive continuous haemodynamic and PetCO<sub>2</sub> monitoring during peroperative cardiac arrest. *Can J Anaesth.* oct 1995;42(10):910-3.
54. Haffner E, Sostarich AM, Fösel T. Erfolgreiche kardiopulmonale Reanimation in Bauchlage. *Anaesthesist.* déc 2010;59(12):1099-101.
55. Kalenda Z, Greuter PN. Sitting or prone? Another argument for the latter. *Acta Neurochir (Wien).* mars 1982;61(1-3):173-9.
56. Kaloria N, Bhagat H, Singla N. Venous Air Embolism During Removal of Bony Spur in a Child of Split Cord Malformation. *J Neurosci Rural Pract.* juill 2017;08(03):483-4.
57. Kaur J, Kane D, Shinde S, Dongre V. Abstract PR030: Cardiac Arrest in Prone Position; When Do I Make Patient Supine? *Anesth Analg.* sept 2016;123:47.
58. Kelleher A, Mackersie A. Cardiac arrest and resuscitation of a 6-month old achondroplastic baby undergoing neurosurgery in the prone position. *Anaesthesia.* avr 1995;50(4):348-50.
59. Lee-Archer PF, Chaseling B. Air Embolism During Posterior Spinal Fusion in a 10-Year-Old Girl: A Case Report. *Case Rep.* juin 2017;8(11):307-9.

60. Loewenthal et al. Efficiency of external cardiac massage in a patient in prone position. 2021;
61. López LM, Través N, Napal M. [Fatal gas embolism during corrective surgery for scoliosis using the posterior approach]. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 1999;46(6):267-70.
62. Miranda CC, Newton MC. Successful defibrillation in the prone position. *Br J Anaesth.* déc 2001;87(6):937-8.
63. Mishra N, Singh S, Elayat A, Kaushal A. Cardiac arrest in the prone position caused by central venous cannulation-induced cardiac tamponade. *Korean J Anesthesiol.* 1 août 2019;72(4):394-5.
64. Pan Y, Qiu B, Yu F, Hu B. Fatal air embolism during endoscopic retrograde cholangio-pancreatography (ERCP): a case report. *J Med Coll PLA.* août 2012;27(4):239-43.
65. Pinheiro LC, Carmona BM, de Nazareth Chaves Fascio M, de Souza IS, de Azevedo RAA, Barbosa FT. [Cardiac arrest after epidural anesthesia for a esthetic plastic surgery: a case report]. *Rev Bras Anesthesiol.* 2017;67(5):544-7.
66. Smelt WLH. Cardiac arrest during desflurane anaesthesia in a patient with Duchenne's muscular dystrophy. *Acta Anaesthesiol Scand.* févr 2005;49(2):268-9.
67. Sun et al. Successful Cardiopulmonary Resuscitation of two patients in the prone position using reversed precordial compression. 1992;
68. Sutherland RW, Winter RJ. Two cases of fatal air embolism in children undergoing scoliosis surgery. *Acta Anaesthesiol Scand.* sept 1997;41(8):1073-6.
69. Taylor JCL, Buchanan CCR, Rumball MJ. Cardiac arrest during craniotomy in prone position. *Trends Anaesth Crit Care.* août 2013;3(4):224-6.
70. Woo-Ming MO. Cardiorespiratory resuscitation in the prone position in small children. *West Indian Med J.* déc 1966;15(4):197-201.



71. Dooney N. Prone CPR for transient asystole during lumbosacral spinal surgery. *Anaesth Intensive Care*. janv 2010;38(1):212-3.
72. Mayorga-Buiza MJ, Rivero-Garvia M, Gomez-Gonzalez E, Marquez-Rivas J. Cardiac pulmonary resuscitation in prone position. The best option for posterior fossa neurosurgical patients. *Pediatr Anesth*. août 2018;28(8):746-7.
73. Aslanidis et al. *Alternative Positions for Cardiopulmonary Resuscitation*. 2017;
74. Moscarelli A, Iozzo P, Ippolito M, Catalisano G, Gregoretti C, Giarratano A, et al. Cardiopulmonary resuscitation in prone position: A scoping review. *Am J Emerg Med*. nov 2020;38(11):2416-24.
75. Guimarães HP, Timerman S, Rodrigues R dos R, Corrêa TD, Schubert DUC, Freitas AP, et al. Posicionamento para Ressuscitação Cardiopulmonar de Pacientes com Diagnóstico ou Suspeita de COVID-19 – 2020. *Arq Bras Cardiol*. 29 juin 2020;114(6):1078-87.
76. Hsu CH, Considine J, Pawar RD, Cellini J, Schexnayder SM, Soar J, et al. Cardiopulmonary resuscitation and defibrillation for cardiac arrest when patients are in the prone position: A systematic review. *Resusc Plus*. déc 2021;8:100186.
77. Douma MJ, MacKenzie E, Loch T, Tan MC, Anderson D, Picard C, et al. Prone cardiopulmonary resuscitation: A scoping and expanded grey literature review for the COVID-19 pandemic. *Resuscitation*. oct 2020;155:103-11.
78. Wyckoff MH, Singletary EM, Soar J, Olasveengen TM, Greif R, Liley HG, et al. 2021 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; First Aid Task Forces; and the COVID-19 Working Group. *Circulation [Internet]*. mars 2022 [cité 16 août 2023];145(9). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000001017>
79. Bamford P, Denmade C, Newmarch C, Shirley P, Singer B, Webb S. Guidance for: prone position in adult critical care. *Intensive Care Soc*. 1 janv 2021;

80. Wu JY, Li CS, Liu ZX, Wu CJ, Zhang GC. A comparison of 2 types of chest compressions in a porcine model of cardiac arrest. *Am J Emerg Med.* sept 2009;27(7):823-9.
81. Dorph E, Wik L, Strømme TA, Eriksen M, Steen PA. Oxygen delivery and return of spontaneous circulation with ventilation:compression ratio 2:30 versus chest compressions only CPR in pigs. *Resuscitation.* mars 2004;60(3):309-18.
82. Judge EP, Hughes JML, Egan JJ, Maguire M, Molloy EL, O'Dea S. Anatomy and Bronchoscopy of the Porcine Lung. A Model for Translational Respiratory Medicine. *Am J Respir Cell Mol Biol.* sept 2014;51(3):334-43.
83. Charbonney E, Delisle S, Savary D, Bronchti G, Rigollot M, Drouet A, et al. A new physiological model for studying the effect of chest compression and ventilation during cardiopulmonary resuscitation: The Thiel cadaver. *Resuscitation.* avr 2018;125:135-42.
84. Balta JY, Cronin M, Cryan JF, O'Mahony SM. Human preservation techniques in anatomy: A 21st century medical education perspective: Human Preservation Techniques in Anatomy. *Clin Anat.* sept 2015;28(6):725-34.
85. Hubbell DS, Dwornik JJ, Alway SE, Eliason R, Norenberg RE. Teaching gross anatomy using living tissue. *Clin Anat.* mars 2002;15(2):157-9.
86. Duhem H, Viglino D, Bellier A, Tanguy S, Descombe V, Boucher F, et al. Cadaver models for cardiac arrest: A systematic review and perspectives. *Resuscitation.* oct 2019;143:68-76.
87. Thiel W. [The preservation of the whole corpse with natural color]. *Ann Anat Anat Anz Off Organ Anat Ges.* juin 1992;174(3):185-95.
88. Eisma R, Lamb C, Soames RW. From formalin to thiel embalming: What changes? One anatomy department's experiences: Experiences With Thiel Embalming. *Clin Anat.* juill 2013;26(5):564-71.
89. Jaung R, Cook P, Blyth P. A comparison of embalming fluids for use in surgical workshops. *Clin Anat.* mars 2011;24(2):155-61.

90. Hammer N, Löffler S, Feja C, Sandrock M, Schmidt W, Bechmann I, et al. Ethanol-glycerin fixation with thymol conservation: A potential alternative to formaldehyde and phenol embalming. *Anat Sci Educ.* juill 2012;5(4):225-33.
91. Wolff KD, Kesting M, Mücke T, Rau A, Hölzle F. Thiel embalming technique: A valuable method for microvascular exercise and teaching of flap raising. *Microsurgery.* 2008;28(4):273-8.
92. Janczyk P, Weigner J, Luebke-Becker A, Kaessmeyer S, Plendl J. Nitrite pickling salt as an alternative to formaldehyde for embalming in veterinary anatomy—A study based on histo- and microbiological analyses. *Ann Anat - Anat Anz.* févr 2011;193(1):71-5.
93. Benkhadra M, Gérard J, Genelot D, Trouilloud P, Girard C, Anderhuber F, et al. Is Thiel's embalming method widely known? A world survey about its use. *Surg Radiol Anat.* mai 2011;33(4):359-63.
94. Anderson SD. Practical light embalming technique for use in the surgical fresh tissue dissection laboratory. *Clin Anat.* 14 nov 2005;19(1):8-11.
95. Woodburne RT, Lawrence CA. An improved embalming fluid formula. *Anat Rec.* nov 1952;114(3):507-14.
96. Da Silva RMG, Matera JM, Ribeiro AACM. Preservation of Cadavers for Surgical Technique Training. *Vet Surg.* nov 2004;33(6):606-8.
97. Idris AH, Amed H, Becker LA, Nance B, Ornato JP, Hedges JE, Morris R, Bircher NG, Chandra NC, et al. Utstein-style guidelines for uniform reporting of laboratory CPR research. *Resuscitation.* nov 1996;33(1):69-84.
98. Duchatelet C, Kalmar AF, Monsieurs KG, Hachimi-Idrissi S. Chest compressions during ventilation in out-of-hospital cardiac arrest cause reversed airflow. *Resuscitation.* août 2018;129:97-102.
99. Orlob S, Wittig J, Hobisch C, Auinger D, Honnef G, Fellingner T, et al. Reliability of mechanical ventilation during continuous chest compressions: a crossover study of transport ventilators in a human cadaver model of CPR. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* déc

2021;29(1):102.

100. Safar P. Ventilation and Circulation with Closed-Chest Cardiac Massage in Man. JAMA. 20 mai 1961;176(7):574.

101. Segond N, Terzi N, Duhem H, Bellier A, Aygalin M, Fuste L, et al. Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation: influence of positive end-expiratory pressure and head-torso elevation. Resuscitation. janv 2023;109685.

102. PRONA-COVID Group, Langer T, Brioni M, Guzzardella A, Carlesso E, Cabrini L, et al. Prone position in intubated, mechanically ventilated patients with COVID-19: a multi-centric study of more than 1000 patients. Crit Care. déc 2021;25(1):128.

103. Shao F, Xu S, Ma X, Xu Z, Lyu J, Ng M, et al. In-hospital cardiac arrest outcomes among patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China. Resuscitation. juin 2020;151:18-23.

104. Brochard L, Boussignac G, Adnot S, Bertrand C, Isabey D, Harf A. Efficacy of cardiopulmonary resuscitation using intratracheal insufflation. Am J Respir Crit Care Med. nov 1996;154(5):1323-9.

# **L**e serment d'Hippocrate

Texte revu par l'Ordre des médecins en 2012

**“ Au moment d’être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d’être fidèle aux lois de l’honneur et de la probité.**

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

”