

L'assistance monoventriculaire gauche de longue durée : indications, management et complications

Left Ventricular Assist Device: Indications, Management, and Complications

A. Hamdan · S. Ortuno · E. Guerot · N. Aissaoui

Reçu le 6 juillet 2018 ; accepté le 31 octobre 2018
© SRLF et Lavoisier SAS 2018

Introduction

Aujourd'hui, l'assistance circulatoire mécanique de longue durée fait partie de l'arsenal thérapeutique de l'insuffisance cardiaque terminale (ICT), en attendant la transplantation cardiaque ou en possible alternative à cette dernière [1,2]. L'assistance circulatoire mécanique désigne un dispositif intra- ou extracorporel pouvant suppléer totalement ou partiellement les fonctions circulatoires normalement exercées par le cœur [3]. Les différents types d'assistance circulatoire sont classés en systèmes de courte durée, proposés dans les situations cliniques aiguës (choc cardiogénique réfractaire), et en systèmes « lourds » ou de longue durée, destinés à être implantés chez les patients avec insuffisance cardiaque chronique avancée pour une période de plusieurs mois, voire de manière définitive [3].

Au sein des assistances circulatoires mécaniques de longue durée, on distingue les assistances monogauches (ou *left ventricular assist device* [LVAD], terme couramment employé) utilisées en cas de défaillance monoventriculaire gauche et celles biventriculaires utilisées en cas de défaillance biventriculaire [1–6]. Le cœur artificiel total implantable pourra être discuté en cas de nécessité de cardiectomie en attente de transplantation [7].

Les améliorations de la technologie, particulièrement l'apparition et le développement des pompes à flux continu, plus petites, durables, ont mené à l'utilisation de l'assistance monogauche dans une population beaucoup plus large de patients au cours des dix dernières années. Deux mille pom-

pes sont implantées annuellement en Europe [1–6]. Les dernières données rapportent une survie à un an de 80 % et une amélioration de la qualité de vie chez les patients ayant bénéficié d'un LVAD significatif [8,9].

Ainsi, étant donné l'augmentation du nombre d'implantations et de l'espérance de vie des patients implantés, le nombre de ceux-ci augmente. Ces patients avec LVAD peuvent présenter des complications liées aux dispositifs, mais également des affections communes exposant les réanimateurs à ces appareils [3,4]. La connaissance du fonctionnement de ces appareils est de ce fait nécessaire. Nous avons mené une revue de la littérature concernant les indications, la prise en charge et les complications des dispositifs d'assistance mécanique cardiaque.

Indications des LVAD

L'implantation d'un LVAD peut répondre à différentes stratégies thérapeutiques : permettre l'attente d'une transplantation, la récupération d'un myocarde défaillant, ou être une alternative à la transplantation [6].

Pont à la transplantation (ou *bridge to transplantation*)

C'est la principale indication d'implantation des LVAD [1,2]. On doit discuter l'opportunité d'un LVAD chez tout patient inscrit sur une liste de greffe, surtout s'il présente une augmentation de la fréquence de ses décompensations cardiaques, un choc cardiogénique sans facteur déclenchant clairement identifié et/ou s'il est à risque d'attente particulièrement prolongée sur la liste : groupe rare, gabarit.

On peut également discuter l'implantation chez un patient présentant une contre-indication potentiellement réversible à la transplantation cardiaque comme l'hypertension artérielle pulmonaire.

A. Hamdan · S. Ortuno · E. Guerot · N. Aissaoui (✉)
Réanimation médicale, hôpital européen Georges-Pompidou,
Assistance publique–Hôpitaux de Paris, 20–25, rue Leblanc,
F-75015 Paris, France
e-mail : nadia.aissaoui@aphp.fr

N. Aissaoui
Université Paris-Descartes, F-75015, Paris, France

Équipe 4, Inserm U 970, F-75015, Paris, France

Pour être efficace, le LVAD doit être implanté au mieux chez des patients stabilisés, sans défaillance multiviscérale consécutive d'un choc cardiogénique non contrôlé.

Pont à la récupération (*bridge to recovery*)

Cette situation est rare en France (< 10 %) et concerne des patients ayant une cardiopathie avancée ischémique et/ou valvulaire, potentiellement réversible après chirurgie : par exemple, l'insuffisance mitrale ischémique avec des coronaires pontables (zones de viabilité confirmées), mais à haut risque opératoire compte tenu de l'altération de la fonction cardiaque [1,2]. Ces patients peuvent bénéficier d'un traitement chirurgical correcteur associé à la mise en place d'une assistance circulatoire mécanique pour une période de plusieurs mois, le temps que s'opère le remodelage du ventricule. Certains cas de récupération ont été rapportés chez les patients avec des cardiopathies dilatées à coronaires saines.

Implantation définitive (*destination therapy*)

C'est cette voie qui soulève actuellement l'enthousiasme et oriente les recherches, requérant le maximum d'innovation et de sophistication technologiques [1,2].

La fiabilité et la durabilité des assistances (certains patients ont été assistés plus de cinq ans) ont justifié la notion d'implantation en alternative à la transplantation pour des patients ne pouvant être transplantés en raison principalement d'un âge avancé supérieur à 65 ans. Ainsi, le caractère de moins en moins invasif des LVAD doit faire considérer

comme potentiel candidat tout patient présentant une contre-indication à la transplantation cardiaque.

Principes de fonctionnement

Le LVAD remplace le ventricule gauche (VG) dans sa fonction, il récupère le sang de ce dernier et l'éjecte dans la circulation systémique avec un débit qui dépend de la vitesse du moteur (évaluée principalement par le nombre de tours par minute de la pompe) [1–5].

Actuellement, les trois modèles de LVAD les plus diffusés sont le HeartWare HVAD[®] (HeartWare International, Inc. Framingham, MA), le HeartMate[™] II (société Thoratec, Pleasanton, CA) et le HeartMate[™] 3 (société Thoratec, Pleasanton, CA) (Fig. 1).

Ces pompes diffèrent par leur design, mais elles sont toutes à flux continu avec des composants analogues [2–5] :

- une canule d'admission implantée chirurgicalement au niveau de l'apex du VG qui conduit le sang du ventricule à la pompe ;
- le moteur ou la pompe qui remplace le VG dysfonctionnant ;
- une canule de sortie ou d'éjection qui conduit le sang de la pompe à la circulation générale via l'aorte initiale ;
- un câble percutané tunnelisé qui relie la pompe ou le moteur au contrôleur externe ;
- deux câbles d'alimentation qui relient le contrôleur aux deux batteries ou au moniteur ;

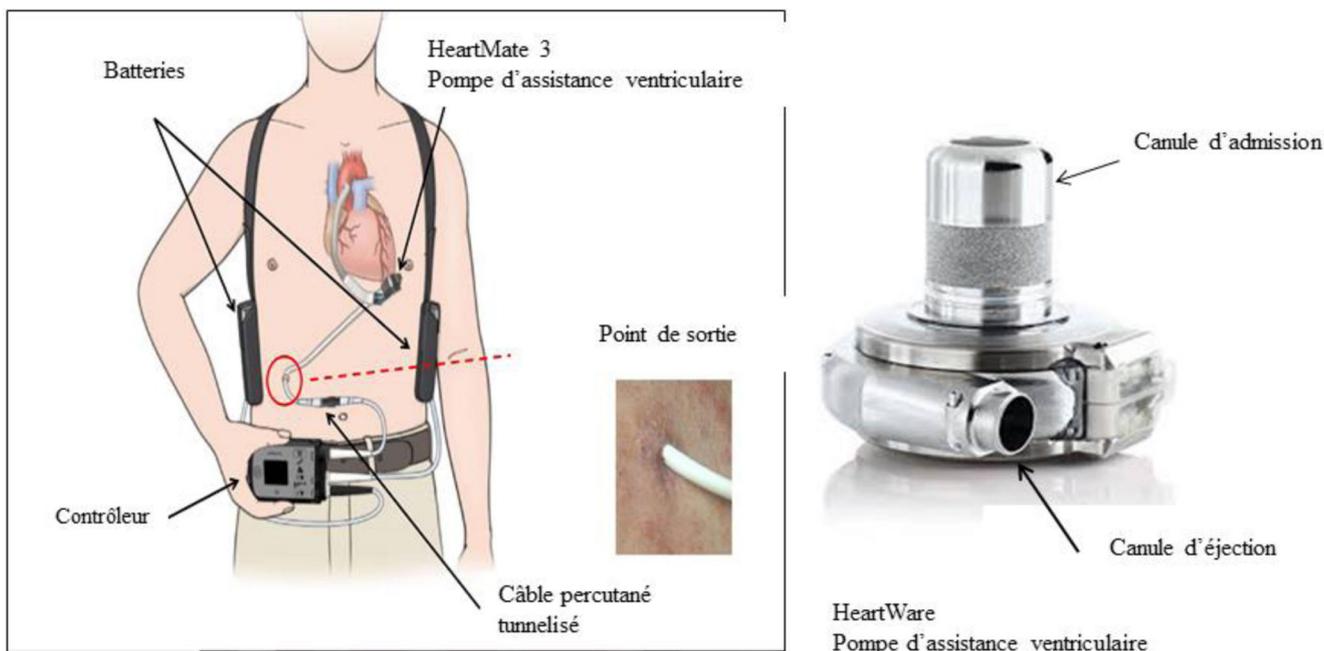


Fig. 1 Différents composants des assistances monogauches

- deux batteries externes rechargeables qui ont une durée de vie moyenne de 12 heures (le patient possède deux autres batteries de rechange qui doivent être bien chargées). À noter que les contrôleurs des LVAD les plus récents possèdent une batterie interne de sécurité qui maintient une autonomie d'environ 20 minutes.

Paramètres que le réanimateur doit connaître

Les paramètres qui sont visibles au niveau de la console sont ; la vitesse de la pompe (*pump speed*), le débit de l'assistance (*pump flow*), la puissance de la pompe (*pump power*) et l'index de pulsativité (*pulse index*) (Fig. 2) [10].

La vitesse de la pompe est la seule variable programmée par l'opérateur. En l'augmentant, le médecin augmente la décharge du VG, le débit d'assistance et la perfusion des différents organes.

Le débit d'assistance affiché au niveau du contrôleur est calculé en prenant en compte la vitesse et la puissance de la pompe. Il est directement proportionnel à la vitesse de la pompe et inversement proportionnel à la pression intraventriculaire gauche. Tout changement du statut du patient (précharge, postcharge, fonction VG) ou du fonctionnement de la pompe va modifier le débit d'assistance.

La puissance de la pompe est la mesure directe de la consommation d'énergie (en watts) requise pour le fonctionnement du dispositif.

L'index de pulsativité reflète la magnitude du débit pulsé à travers la pompe et apprécie indirectement le niveau de pression qui règne dans le VG. Il dépend de la contractilité du VG et de la volémie. L'index de pulsativité dépend également de la postcharge. À noter qu'il n'est plus interprétable chez les patients ayant bénéficié d'un LVAD de dernière génération (HeartWare® ou Heart Mate™ 3), en raison de leur design.

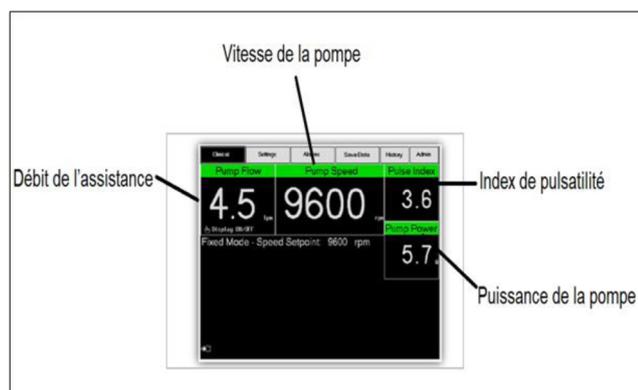


Fig. 2 Paramètres visibles au niveau de la console

Le tableau 1 présente les valeurs normales de chaque paramètre pour les LVAD les plus utilisés [10].

Management

Traitement des patients

Les patients sous LVAD doivent bénéficier d'un traitement anticoagulant efficace par antivitamine K, avec un objectif d'INR entre 2 et 3, et d'un traitement antiagrégant plaquettaire par aspirine (80–325 mg) [5,10]. Par ailleurs, malgré l'absence de preuves scientifiques, les patients reçoivent les traitements utilisés dans l'ICT, à savoir les inhibiteurs de l'enzyme de conversion (ou les antagonistes des récepteurs à l'angiotensine), les bêtabloquants et les antialdostérones. En accord avec les recommandations de l'International Society of Heart and Lung Transplant et afin de prévenir les accidents cérébraux et les dysfonctions de LVAD (en rapport avec une postcharge élevée), l'objectif de pression artérielle moyenne est entre 70 et 80 mmHg [11]. Les traitements hypotenseurs doivent être arrêtés en cas d'hypotension ou de choc comme pour les patients standard [3,4].

Enfin, le câble percutané doit être fixé à la peau afin de minimiser les traumatismes et les tensions au site de sortie et au final les infections de machine. Le pansement doit être fait au moins deux fois par semaine de manière stérile et l'apparition de toute zone inflammatoire signalée au centre qui a implanté le patient [10].

Particularité de l'examen des patients sous LVAD

Évaluer la tension artérielle peut être difficile ou impossible avec la mesure de pression artérielle non invasive standard [10]. On peut réaliser un doppler de l'artère brachiale pour détecter le bruit fort continu pendant la mesure de la pression artérielle non invasive, cela correspond à la pression artérielle moyenne. Les pouls périphériques peuvent être impalpables. L'auscultation est essentielle pour s'assurer que le

Tableau 1 Valeurs normales des paramètres visibles au niveau des contrôleurs pour chaque type de LVAD

	Heart-Mate™ II	Heart-Mate™ 3	HeartWare®
Vitesse (tours/min)	8 000–10 000	5 000–6 000	2 400–3 200
Débit (l/min)	4–7	4–6	4–6
Puissance (watt)	5–8	4,5–6,5	3–7
Index de pulsativité	5–8 %	3,5–5,5	2–4 l/min/battement

LVAD fonctionne. En effet, le débit continu du LVAD génère un son typique facilement audible. Une modification de ce son peut indiquer un dysfonctionnement [12].

Les paramètres de performance sur le contrôleur et la durée des batteries doivent être vérifiés. La firme peut être contactée pour obtenir le relevé des événements passés.

L'échocardiographie est fondamentale pour une prise en charge optimale des patients porteurs de LVAD, mais doit être interprétée en fonction de l'état clinique de chaque patient [13].

Il est utile d'évaluer les paramètres suivants : la taille des ventricules, la position du septum ventriculaire (intermédiaire), l'ouverture et la continence de la valve aortique (compétente et ouverte par intermittence, une toutes les deux

ou trois contractions), la veine cave inférieure et sa variabilité, le péricarde et les canules. L'échogénicité est souvent médiocre, et l'utilisation de produit de contraste de type SonoVue® permet d'améliorer la qualité des images et la précision de l'analyse des structures (Fig. 3) [13].

Alarmes

Les alarmes les plus fréquentes doivent être connues des médecins réanimateurs [3,4,10]. Les informations concernant les alarmes sont affichées au niveau du contrôleur et peuvent orienter le médecin. Si les symboles peuvent varier en fonction du dispositif, la couleur (rouge, jaune et verte) reflète de manière homogène le niveau de gravité potentielle (Tableau 2).

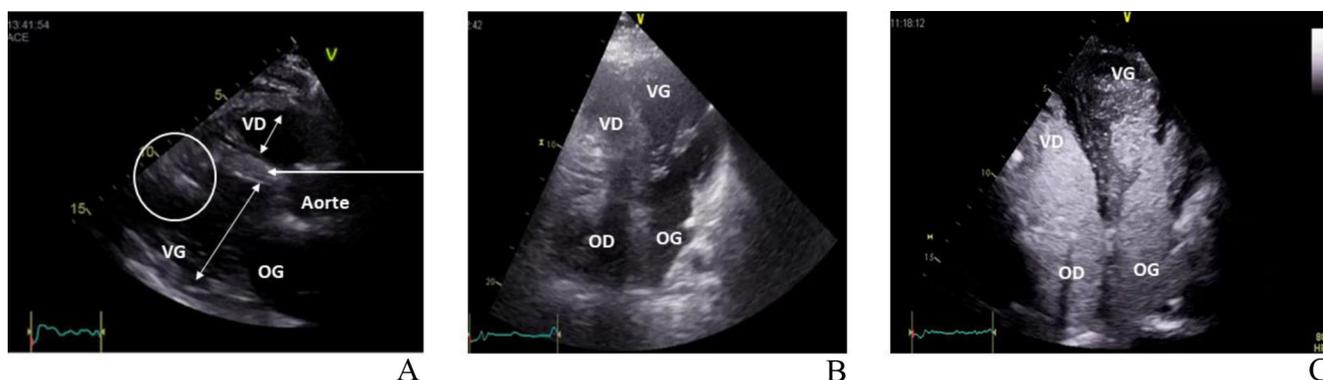


Fig. 3 A Coupe parasternale grand axe. On peut mesurer le diamètre de VG (ventricule gauche), le diamètre du VD (ventricule droit), vérifier que le VD n'est pas dilaté (rapport VD/VG) ainsi que la position intermédiaire du septum. On devine également la canule d'admission du LVAD à la pointe du VG B Coupe apicale 4 cavités. OG oreillette gauche, OD oreillette droite C Coupe apicale 4 cavités le produit de contraste permet d'améliorer la qualité des images et la précision de l'analyse des structures

Tableau 2 Prise en charge des principales alarmes		
Alarmes	Significations possibles	Conduite à tenir
Alarme rouge	1. Déconnexion de la transmission du contrôleur ou 2. Dysfonctionnement (câble ou contrôleur) Débit faible	Vérifier toutes les connexions Considérer les causes de dysfonctions de dispositifs Évaluation clinique et échographique <ul style="list-style-type: none"> • Hypovolémie • Saignement • Tamponnade • Insuffisance cardiaque droite • Hypertension artérielle • Obstruction de canule
Alarme jaune	Bas voltage	Remplacer la batterie de la cellule Faire un autotest du système
Alarme verte	1. Déconnexion des batteries 2. Batteries faibles 3. Augmentation de la puissance de la pompe	Vérifier les connexions des câbles à la source d'alimentation Examiner les câbles d'alimentation à la recherche de dommages et remplacer si nécessaire Éliminer une thrombose de pompe

Les phénomènes d'aspiration (ou *suction events*) ont lieu lorsque le remplissage de la pompe est réduit (précharge réduite), ce qui augmente la pression négative dans le VG. Lors de cet événement, une partie de la paroi est aspirée et recouvre la canule d'entrée de la pompe générant une alarme spécifique du régulateur et une réduction de vitesse adaptée pour libérer l'aspiration. Les événements d'aspiration sont causés par l'hypovolémie ; une défaillance du VD ou une tamponnade cardiaque. Les événements d'aspiration peuvent conduire à de faibles flux de LVAD et peuvent déclencher des arythmies ventriculaires. La gestion comprend la diminution de la vitesse de la pompe et le remplissage [10].

Le relevé des événements permet d'obtenir l'ensemble des alarmes sur une période définie lors de l'analyse.

Pourquoi les patients avec un LVAD viennent en réanimation ?

Les patients avec un LVAD peuvent être admis en réanimation pour des complications liées au dispositif ou à des étiologies non spécifiques [3,4]. Nous présenterons les complications survenant après la phase postopératoire. Les complications les plus fréquentes sont les saignements, les infections de dispositif, les thromboses, l'insuffisance cardiaque droite et les arythmies.

Le centre implanteur doit être contacté dès que possible pour chaque patient admis en réanimation avec un LVAD [14]. À noter que la plupart des patients ont une étiquette située sur leur contrôleur autour de leur taille, indiquant le type d'appareil, l'établissement et un numéro à appeler.

Certains patients peuvent être pris en charge par tous les centres, alors que ceux présentant une complication qui justifierait une chirurgie cardiaque en urgence doivent être transférés dans le centre implanteur.

Les saignements sont l'événement indésirable le plus fréquent causé par la combinaison d'une anticoagulation efficace et d'une possible maladie de von Willebrand acquise secondaire aux forces de cisaillement produites dans la pompe [15,16].

Les saignements rencontrés (au-delà d'un mois après l'implantation du LVAD) sont l'épistaxis, le saignement gastro-intestinal, l'hémorragie intracrânienne et l'hémorragie médiastinale et thoracique. Leur prise en charge comprend l'arrêt de l'antiagrégation plaquettaire, la réduction des doses d'anticoagulation et un traitement local spécifique si possible (gastroscopie avec traitement endoscopique local, électrocoagulation en cas d'épistaxis, voire artérioeMBOLISATION) [10,15,16].

En cas de saignement majeur, l'anticoagulation peut être arrêtée temporairement.

Les événements thrombotiques majeurs chez les patients portant un LVAD comprennent une thrombose de la pompe et des accidents artériels ischémiques périphériques [10].

Une des causes les plus courantes d'un débit abaissé de la pompe est la thrombose du dispositif, qui se produit dans environ 8 % (par an) des LVAD implantés [17,18].

Les signes de thrombose de la pompe comprennent une hémolyse, des événements thromboemboliques, une insuffisance cardiaque pouvant aller jusqu'au choc cardiogénique avec au contrôle du LVAD une augmentation de la consommation d'énergie et des débits calculés élevés [3,4,10]. L'échographie cardiaque et surtout le scanner cardiaque permettront de confirmer le diagnostic de thrombose [3,4,10]. Cependant, l'absence de thrombus visible en échographie et au scanner n'élimine pas le diagnostic de thrombose du corps de pompe ou de la turbine [3,4,10]. La prise en charge médicale initiale de la suspicion de thrombose implique une augmentation rapide du niveau d'anticoagulation par de l'héparine non fractionnée. L'utilisation d'une thrombolyse systémique a été rapportée dans de petites séries monocentriques [18]. Les thromboses de pompe peuvent justifier un changement du dispositif ou une transplantation cardiaque en urgence.

La thrombose du dispositif peut survenir même lorsque les patients sont anticoagulés correctement (INR entre 2 et 3) et sous traitement antiplaquettaire en raison d'un état d'hypercoagulabilité chronique induit par le dispositif [18].

L'infection est la deuxième cause de décès après l'insuffisance cardiaque chez les patients ayant un LVAD [3,4,19].

Le site de sortie du câble percutané tunnelisé qui relie la pompe au contrôleur externe nécessite une surveillance systématique. Une infection peut se développer et s'étendre jusqu'à l'appareil. Les infections superficielles du site de sortie sont généralement traitées par des soins locaux. Des infections profondes spécifiques du LVAD peuvent être localisées le long du transmetteur, dans l'enceinte de la pompe, au niveau du logement de la pompe ou des canules [19].

Les infections profondes nécessitent un traitement agressif avec une antibiothérapie efficace, un débridement chirurgical, voire une greffe cardiaque en semi-urgence (après stabilité clinique) [19].

L'insuffisance cardiaque droite peut se développer chez certains patients après l'implantation du LVAD [20–23]. Sur le plan clinique, le patient peut présenter un débit abaissé, des signes d'insuffisance cardiaque droite jusqu'au choc cardiogénique et/ou une altération des fonctions rénale et hépatique. Le traitement comporte un traitement inotrope et une déplétion afin d'améliorer la fonction du ventricule droit et de réduire sa précharge et sa postcharge [23].

Les arythmies auriculaires et ventriculaires sont fréquentes chez les patients sous LVAD entre 22 et 59 % [24–26].

La perte de la contraction auriculaire peut conduire à des signes cliniques d'insuffisance cardiaque. Un contrôle de la fréquence, voire du rythme est alors nécessaire. La prise en charge des arythmies auriculaires ne diffère pas de celle habituelle, et il n'est pas nécessaire d'augmenter le niveau d'anticoagulation [25,27].

Les arythmies ventriculaires sont assez fréquentes chez les patients atteints d'ICT assistés par LVAD et sont responsables d'une surmortalité des patients [26]. Un certain nombre de mécanismes prédisposent les patients sous LVAD au développement d'arythmies ventriculaires ; contact de la canule d'admission avec le septum, malposition de la canule liée au remodelage ventriculaire, hypovolémie et/ou insuffisance ventriculaire droite [3,4,27].

La présence du LVAD permet à la majorité des patients de conserver un état hémodynamique correct malgré une arythmie ventriculaire sous réserve d'une fonction VD correcte [26].

La prise en charge peut comprendre la correction d'une éventuelle hypovolémie, un traitement antiarythmique par bêtabloquant et/ou amiodarone, une combinaison d'agents antiarythmiques, un défibrillateur implantable, l'ablation au cathéter lorsque cela est nécessaire, et même le repositionnement ou le changement de LVAD. Une greffe en urgence peut se discuter chez les patients éligibles [3,4,26].

Conclusion

Le nombre d'assistances circulatoires mécaniques de longue durée, et notamment le LVAD, augmente parallèlement à la prévalence de l'ICT. La survie des patients sous LVAD s'est également nettement améliorée. Ainsi, les réanimateurs seront amenés de plus en plus à prendre en charge des patients sous LVAD pour des complications liées au dispositif, mais également des étiologies non spécifiques à cette technique. La prise en charge optimale de ces patients uniques est idéalement multidisciplinaire et impose une connaissance des aspects physiologiques de la machine et des complications les plus fréquentes.

Liens d'intérêts : Nadia Aissaoui déclare avoir reçu un financement Medtronic et Thoratec pour la participation à des congrès ainsi qu'une rémunération de Medtronic pour une présentation dans un congrès. Les autres déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

1. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, Falk V, González-Juanatey JR, Harjola VP, Janikowska EA, Jessup M, Linde C, Nihoyannopoulos P, Parissis JT, Pieske B, Riley JP, Rosano GMC, Ruilope LM, Ruschitzka F, Rutten FH, van der Meer P; ESC Scientific Document Group, (2016) 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 37: 2129–2200
2. Gustafsson F, Rogers JG, (2017) Left ventricular assist device therapy in advanced heart failure: patient selection and outcomes. *Eur J Heart Fail* 19: 595–602
3. Pratt AK, Shah NS, Boyce SW, (2014) Left ventricular assist device management in the ICU. *Crit Care Med* 42: 158–168
4. Sen A, Larson JS, Kashani KB, Libricz SL, Patel BM, Guru PK, Alwardt CM, Pajaro O, Farmer J, (2016) Mechanical circulatory assist devices: a primer for critical care and emergency physicians. *Crit Care* 20: 153
5. Devore AD, Mentz RJ, Patel CB, (2014) Medical management of patients with continuous-flow left ventricular assist devices. *Curr Treat Options Cardiovasc Med* 16: 283
6. Aissaoui N, Morshuis M, Maoulida H, Salem JE, Lebreton G, Brunn M, Chatellier G, Hagège A, Schoenbrodt M, Puymirat E, Latremouille C, Varnous S, Ouldamar S, Guillemain R, Diebold B, Guedeney P, Barreira M, Mutuon P, Guerot E, Paluszkiwicz L, Hakim-Meibodi K, Schulz U, Danchin N, Gummert J, Durand-Zaleski I, Leprince P, Fagon JY, (2018) Management of end-stage heart failure patients with or without ventricular assist device: an observational comparison of clinical and economic outcomes. *Eur J Cardiothorac Surg* 53: 170–177
7. Cook JA, Shah KB, Quader MA, Cooke RH, Kasirajan V, Rao KK, Smallfield MC, Tchoukina I, Tang DG, (2015) The total artificial heart. *J Thorac Dis* 27: 2172–2180
8. Mehra MR, Naka Y, Uriel N, Goldstein DJ, Cleveland JC Jr, Colombo PC, Walsh MN, Milano CA, Patel CB, Jorde UP, Pagani FD, Aaronson KD, Dean DA, McCants K, Itoh A, Ewald GA, Horstmanshof D, Long JW, Salerno C; MOMENTUM 3 Investigators, (2017) A fully magnetically levitated circulatory pump for advanced heart failure. *N Engl J Med* 376: 440–450
9. Adams EE, Wrightson ML, (2018) Quality of life with an LVAD: a misunderstood concept. *Heart Lung* 47: 177–183
10. Estep JD, Trachtenberg BH, Loza LP, Bruckner BA, (2015) Continuous flow left ventricular assist devices: shared care goals of monitoring and treating patients. *Methodist Debakey Cardiovasc J* 11: 33–44
11. Feldman D, Pamboukian SV, Teuteberg JJ, Birks E, Lietz K, Moore SA, Morgan JA, Arabia F, Bauman ME, Buchholz HW, Deng M, Dickstein ML, El-Banayasy A, Elliot T, Goldstein DJ, Grady KL, Jones K, Hryniewicz K, John R, Kaan A, Kusne S, Loebe M, Massicotte MP, Moazami N, Mohacsi P, Mooney M, Nelson T, Pagani F, Perry W, Potapov EV, Eduardo Rame J, Russell SD, Sorensen EN, Sun B, Strueber M, Mangi AA, Petty MG, Rogers J; International Society for Heart and Lung Transplantation, (2013) The 2013 International Society for Heart and Lung Transplantation Guidelines for mechanical circulatory support: executive summary. *J Heart Lung Transplant* 32: 157–187
12. Hubbert L, Sundbom P, Loebe M, Peterzén B, Granfeldt H, Ahn H, (2014) Acoustic analysis of a mechanical circulatory support. *Artif Organs* 38: 593–598
13. Stainback RF, Estep JD, Agler DA, Birks EJ, Bremer M, Hung J, Kirkpatrick JN, Rogers JG, Shah NR; American Society of Echocardiography, (2015) Echocardiography in the management of patients with left ventricular assist devices: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 28: 853–909

14. Ravichandran AK, Shah P, Singh R, Aaronson KD, Pagani FD, Stulak J, Dunlay SM, Dardas TF, Mokadam NA, Salerno CT, Cowger JA, (2018) Impact of patient distance from ventricular assist device-implanting center on short- and long-term outcomes. *ASAIO J* 64: 721–726. doi: 10.1097/MAT.0000000000000717
15. John R, Panch S, Hrabe J, Wei P, Solovey A, Joyce L, Hebbel R, (2009) Activation of endothelial and coagulation systems in left ventricular assist device recipients. *Ann Thorac Surg* 88: 1171–1179
16. Suarez J, Patel CB, Felker GM, Becker R, Hernandez AF, Rogers JG, (2011) Mechanisms of bleeding and approach to patients with axial-flow left ventricular assist devices. *Circ Heart Fail* 4: 779–784
17. Aissaoui N, Börgermann J, Gummert J, Morshuis M, (2012) HeartWare continuous-flow ventricular assist device thrombosis: the Bad Oeynhausen experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 143: e37–39
18. Oezpeker C, Zittermann A, Ensminger S, Kizner L, Koster A, Sayin A, Schoenbrodt M, Milting H, Gummert JF, Morshuis M, (2016) Systemic thrombolysis versus device exchange for pump thrombosis management: a single-center experience. *ASAIO J* 62: 246–251
19. Kusne S, Mooney M, Danziger-Isakov L, Kaan A, Lund LH, Lyster H, Wieselthaler G, Aslam S, Cagliostro B, Chen J, Combs P, Cochrane A, Conway J, Cowger J, Frigerio M, Gellatly R, Grossi P, Gustafsson F, Hannan M, Lorts A, Martin S, Pinney S, Silveira FP, Schubert S, Schueler S, Strueber M, Uriel N, Wrightson N, Zabner R, Huprikar S, (2017) An ISHLT consensus document for prevention and management strategies for mechanical circulatory support infection. *J Heart Lung Transplant* 36: 1137–1153
20. Aissaoui N, Salem JE, Paluszkiwicz L, Morshuis M, Guerot E, Gorria GM, Fagon JY, Gummert J, Diebold B, (2015) Assessment of right ventricular dysfunction predictors before the implantation of a left ventricular assist device in end-stage heart failure patients using echocardiographic measures (ARVADE): combination of left and right ventricular echocardiographic variables. *Arch Cardiovasc Dis* 10: 300–309
21. Aissaoui N, Morshuis M, Diebold B, Guerot E, Gummert J, (2013) Heart failure while on ventricular assist device support: a true clinical entity? *Arch Cardiovasc Dis* 106: 44–51
22. Aissaoui N, Morshuis M, Schoenbrodt M, Hakim Meibodi K, Kizner L, Börgermann J, Gummert J, (2013) Temporary right ventricular mechanical circulatory support for the management of right ventricular failure in critically ill patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 146: 186–191
23. Aissaoui N, Morshuis M, Paluszkiwicz L, Lauenroth V, Börgermann J, Gummert J, (2014) Comparison of biventricular and left ventricular assist devices for the management of severe right ventricular dysfunction in patients with end-stage heart failure. *ASAIO J* 60: 400–406
24. Brisco MA, Sundareswaran KS, Milano CA, Feldman D, Testani JM, Ewald GA, Slaughter MS, Farrar DJ, Goldberg LR; HeartMate II Clinical Investigators, (2014) Incidence, risk, and consequences of atrial arrhythmias in patients with continuous-flow left ventricular assist devices. *J Card Surg* 29: 572–580
25. Kadado AJ, Akar JG, Hummel JP, (2018) Arrhythmias after left ventricular assist device implantation: Incidence and management. *Trends Cardiovasc Med* 28: 41–50
26. Greet BD, Pujara D, Burkland D, Pollet M, Sudhakar D, Rojas F, Costello B, Postalian A, Hale Z, Jenny B, Lai C, Igbalode K, Wadhwa D, Nair A, Ono M, Morgan J, Simpson L, Civitello A, Cheng J, Mathuria N, (2018) Incidence, predictors, and significance of ventricular arrhythmias in patients with continuous-flow left ventricular assist devices: a 15-year institutional experience. *JACC Clin Electrophysiol* 4: 257–264
27. Hottigoudar RU, Deam AG, Birks EJ, McCants KC, Slaughter MS, Gopinathannair R, (2013) Catheter ablation of atrial flutter in patients with left ventricular assist device improves symptoms of right heart failure. *Congest Heart Fail* 19: 165–171