

ENTRAÎNEMENT ÉLECTRO-SYSTOLIQUE EXTERNE (EEE)

Principes de fonctionnement, mise en place et surveillance

THIERCELIN¹ D, CROCHEMORE¹ H, FAVIER¹ C

¹ DAR Est, SAMU-SMUR, CHU Nice. Professeur GRIMAUD D

INTRODUCTION

L'entraînement électro-systolique externe (EEE) encore appelée stimulation cardiaque transthoracique (STT), pacemaker externe, pacing transthoracique ou stimulation cardiaque temporaire est une technique, non invasive de réanimation préhospitalière, ancienne. L'amélioration des matériels, stimulateurs et électrodes cutanées, a permis d'en diminuer les effets dommageables. Son emploi n'est logique que temporairement dans l'attente de la pose d'une sonde d'entraînement électro-systolique provisoire ou d'un pacemaker.

En France, la SFAR recommande d'équiper les SMUR en dispositifs de stimulation transthoracique (1, 2). Le collège PACA de médecine d'urgence préconise la connaissance de son maniement (3).

En Amérique du Nord, il est intégré à l'enseignement des paramédics (protocole A 17 - bradycardia) mais son installation est soumise à l'avis préalable d'un médecin. Il est intégré aux algorithmes de l'AHA, asystolie et bradycardie (5, 6).

HISTORIQUE

En 1791, GALVANI rapporte qu'un courant électrique appliqué à travers le cœur d'une grenouille morte entraîne une contraction myocardique. Sur ce principe, DUCHENNE (1872) a réanimé un enfant qui s'était noyé, en attachant une électrode à un pied et en connectant l'autre électrode sur le thorax de façon intermittente. GOULD (1929) a également publié la réanimation d'un patient en arrêt cardiaque à l'aide d'un stimulateur cardiaque transthoracique. HYMAN, à New York, fut le premier à inventer le terme de "stimulateur cardiaque artificiel". En 1932, il publie la mise au point d'un générateur d'impulsion externe, actionné manuellement, utilisé chez l'animal. Le dispositif est destiné à être employé pour la stimulation de secours et la réanimation de l'asystolie.

En 1952, Paul ZOLL, de l'Unité Médicale de l'Hôpital Général du Massachusetts, à Boston, rapporte le traitement par stimulation de deux patients en arrêt cardiaque suite à un syndrome de Morgagni-Stokes-Adams en utilisant des électrodes sous-cutanées (simultanément en précordial et en transœsophagien). Il présente, un peu plus tard, le développement et l'utilisation du premier vrai stimulateur cardiaque transcutané. Ce dispositif se composait d'une paire d'électrodes en métal de 3 centimètres fixée à la paroi thoracique et délivrait un courant alternatif de 2 millisecondes (msec) de 120 volts.

En 1981, ZOLL fait breveter un stimulateur cardiaque externe avec des électrodes d'une plus grande surface (80 cm²), des impulsions plus prolongées (20 à 40 msec) et un meilleur filtre ECG. Ces techniques diminuent l'intensité du courant de capture en améliorant le confort du patient. En 1982, la Food and Drug Administration (FDA) approuve l'utilisation des stimulateurs transthoraciques externes pour des patients présentant une bradycardie inférieure à 40 battements/mn et dans l'asystolie. Dès 1985, l'American Heart Association (AHA), inclus dans ses recommandations, l'utilisation des stimulateurs pour les bradycardies symptomatiques.

Parallèlement, aux stimulateurs externes la recherche a développé des dispositifs **implantables** depuis 1958. Ils furent d'abord destinés à la seule stimulation ventriculaire et fonctionnaient en mode asynchrone. Dès 1960 (CHARDACK et GREATBACH), ils deviennent totalement implantables. Le mode sentinelle date de 1964 (CASTELLANOS), la stimulation séquentielle de 1969 (BERKOVITS), la pile au lithium de 1972 et améliore la longévité du stimulateur, le système double chambre de 1977 (FUNCK) et enfin, l'introduction de la micro-informatique dans l'appareillage implanté, de 1980 (RIPART et JACOBSON).

INDICATIONS

Les indications sont plus fréquentes en réanimation préhospitalière qu'en Service d'Accueil des Urgences, et peuvent être regroupées dans trois catégories principales :

- comme **stimulation provisoire d'urgence**. Dans ces circonstances, l'EEE représente un système, d'installation rapide, pour stabiliser le rythme du patient dans l'attente de la pose d'une sonde d'entraînement

invasive. Il est facile à mettre en œuvre (s'installe extérieurement sur la paroi thoracique), n'exige que très peu de temps d'installation et une formation minimale ;

- *comme **stimulation alternative à la mise en place d'un stimulateur provisoire invasif**. Il n'entraîne, en généralement, aucune des complications associées aux techniques invasives. C'est un dispositif particulièrement adapté chez des patients au risque septique ou hémorragique élevé notamment après une thrombolyse dans l'infarctus aigu du myocarde ;*
- *pour une **utilisation prophylactique** (IDM, syncope non symptomatique...).*

*Sur le plan nosographique, ce sont essentiellement (4, 5) les **bradycardies** qui sont traitées :*

- *blocs auriculo-ventriculaires (BAV) du 2^{ème} ou 3^{ème} degré ;*
- *dysfonctionnements sino-auriculaires (pauses sinusales, blocs sino-auriculaires) ;*
- *bradycardies jonctionnelles ;*
- *dysfonctionnements de pacemaker interne.*

Un retentissement clinique, notamment une altération hémodynamique, impose de débiter immédiatement la stimulation.

L'EEE est présentée comme "une option thérapeutique indiquée en routine, toujours acceptable et considérée comme utile et efficace" (Class I) par l'ILCOR/ACLS Algorithm (5) dans le traitement de toutes les bradycardies symptomatiques. Dans ces dernières recommandations, isoprénaline, n'apparaît même plus comme une alternative thérapeutique.

Les patients symptomatiques sans retentissement clinique ou ceux présentant des pathologies à risque de bradycardie brutale symptomatique (syncope, infarctus du myocarde avec troubles de la conduction, hyperkaliémie, intoxication par les bêta-bloquants et les digitaliques...) requièrent la mise en place du dispositif à titre préventif, en attente.

La bradycardie de l'hypothermie est une contre-indication absolue à son utilisation (4).

*L'EEE est également indiquée dans les **tachycardies** :*

- *les tachyarythmies ;*
- *certaines tachycardies supraventriculaires par réentrée ;*
- *les tachycardies jonctionnelles ;*
- *certaines tachycardies ventriculaires.*

Toutefois, elle est réputée moins efficace que la cardioversion. Ces réductions imposent de pouvoir bénéficier d'appareils équipés de l'overdriving, pour des fréquences de stimulation pouvant atteindre 300 cycles/mn.

*Quant à son indication dans l'**asystolie**, elle reste anecdotique ; citée dans les recommandations de l'AHA (5), elle ne concernerait que les asystolies avec ondes P résiduelles. Des travaux plus récents (8) n'ont pas permis de mettre en évidence un bénéfice dans cette indication. En France, son utilisation n'est pas recommandée.*

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Le stimulateur est un dispositif qui délivre un stimulus électrique au myocarde, à partir d'un générateur d'impulsion via un système d'électrodes, entraînant sa dépolarisation. Cela se traduit par un complexe de "capture électrique" sur l'ECG. Normalement, la dépolarisation provoque une contraction myocardique. Elle est nommée "capture mécanique" et est confirmée en palpant l'ondée systolique perçue niveau du pouls fémoral.

Les différents types de stimulateurs cardiaques

Il y a deux catégories :

- *Les stimulateurs définitifs*

Ils ont été conçus dans les années 60. Une ou deux électrodes, connectées à un générateur d'impulsion introduit par voie sous-cutanée, sont placées via le système veineux dans le ventricule ou dans l'oreillette. C'est une technique sûre, qui permet à long terme une amélioration de la survie des patients porteurs de troubles de la conduction définitifs.

- *Les stimulateurs provisoires*

Ils sont employés dans un contexte d'urgence pour des troubles de la conduction réversibles ou de manière prophylactique pour des dysrythmies attendues (les blocs aigus de l'infarctus, les BAV aigus métaboliques [hyperkaliémie] ou toxiques, les BAV post-opératoires...).

Ils sont classiquement utilisés pour une durée inférieure à trois jours. Ils peuvent être invasifs ou non-invasifs.

Les stimulateurs invasifs voient leurs électrodes introduites :

- par voie intraveineuse. Développée en 1959, c'est la méthode la plus commune de stimulation provisoire. Le cathéter qui est inséré dans le ventricule via le système veineux (par voie fémorale ou sous-clavière), est connecté à un générateur d'impulsion externe ;
- par voie transœsophagienne. Décrite en 1969, elle est plus généralement employée pour le traitement des bradycardies sinusales et des tachycardies supraventriculaires ;
- par voie épicaudique. Elle est essentiellement destinée au patient de chirurgie cardiaque ;
- par voie percutanée transthoracique. Elle est rarement employée aujourd'hui à cause des complications fréquentes. Le cathéter est introduit dans le ventricule par une aiguille au niveau de la paroi antérieure du thorax.

Les stimulateurs non-invasifs correspondent aux **stimulateurs cardiaques transthoraciques externes**.

Ils sont principalement employés pour le traitement d'urgence des bradycardies symptomatiques.

On fait noter que le courant électrique de stimulation augmente la consommation en oxygène du myocarde. Cet effet pourrait être, notamment, délétère dans l'infarctus aigu du myocarde. Par ailleurs, chez l'animal, la stimulation transthoracique intéresse simultanément les oreillettes et les ventricules. Chez l'homme, les ventricules sont stimulés directement, et les oreillettes sont fréquemment activées de façon rétrograde. Cette activation auriculaire rétrograde diminue l'efficacité du travail cardiaque de 20 % environ. Enfin, il n'a été trouvé aucune modification significative du taux de CKMB après trente minutes de stimulation chez le volontaire sain.

On a montré que, pendant la stimulation, la pression artérielle moyenne augmente alors que les résistances vasculaires systémiques diminuent.

Son inconvénient principal est l'inconfort de la stimulation. Le courant électrique induit également une stimulation des nerfs cutanés provoquant une sensation de picotement, de cuisson ou de pincement, et, des muscles squelettiques thoraciques ressentie comme de petits chocs thoraciques ou des secousses musculaires involontaires.

L'appareil délivre un courant discontinu monophasique, rectangulaire ou trapézoïde, quelquefois exponentiel d'une intensité de 0 à 150 mA. La durée des impulsions est fixée par le constructeur entre 20 et 40 millisecondes selon les appareils.

L'alimentation électrique peut être commune avec le moniteur-défibrillateur ou indépendante par batteries rechargeables.

MISE EN PLACE ET SURVEILLANCE

La rédaction d'un protocole d'utilisation de l'EEE, en dehors d'être un marqueur de qualité de la prise en charge, permet de réaliser une véritable check-list de la procédure d'installation et de définir des procédures en cas d'inefficacité de stimulation.

• Préparation du patient et de sa famille

Il est indispensable que le patient et sa famille reçoivent des informations sur la procédure de mise en place des électrodes, sur l'inconfort prévisible du courant de stimulation et l'apparition de contractions des muscles squelettiques thoraciques associées. Cette information permet la pleine coopération du patient et sa surveillance.

• Mise en place des électrodes de stimulation

Les électrodes de l'électrocardioscope qui assurent le recueil du rythme propre du patient sont positionnées aussi loin que possible des électrodes de stimulation, au niveau du front et des chevilles du malade afin d'obtenir un signal ECG clair. Une peau sèche et propre, le rasage d'une pilosité excessive avant la pose des électrodes améliorent la qualité de réception du signal ECG et permettent d'éliminer les artefacts et les interférences dus aux mouvements du patient.

Les électrodes de stimulation sont à usage unique, autoadhésives, pré-gélifiées, d'une surface de 70 à 130 cm² et à polarité repérée. Des électrodes de petit diamètre (3 cm) entraînent des lésions superficielles au niveau du thorax et augmente la douleur cutanée de la stimulation.

Après dégraissage et séchage de la peau, les électrodes de stimulation sont généralement positionnées de façon antéropostérieure (7). L'électrode antérieure (pôle négatif) est placée au niveau de la dérivation électrocardiographique V2-3, la postérieure (positive) est installée entre le rachis et la pointe de l'omoplate gauche. Elles sont raccordées au stimulateur, en respectant la polarité (figure 2).

Un emplacement antérolatéral peut également être utilisé. Ce positionnement est plus facile et rapide à mettre en œuvre, et, s'avère plus intéressant en cas d'arrêt cardio-respiratoire. La stimulation est identique dans les deux positions. L'électrode latérale (apex) est placée sur le bord gauche du thorax sur la ligne axillaire moyenne au niveau de la dérivation

électrocardiographique V5-6. L'électrode antérieure se place à droite du sternum au niveau de la dérivation électrocardiographique VI. Elles doivent être, dans tous les cas, distante d'au moins 2,5 cm (figure 2).

Il faut veiller à ne pas placer les électrodes de stimulation trop près du diaphragme car sa stimulation interfère avec la ventilation et entraîne une dyspnée.

Les appareils multifonctions sont capables de stimuler ou de recueillir le rythme cardiaque sous-jacent avec le même jeu d'électrodes de stimulation. Par contre, le courant de stimulation perturbe la réception de l'ECG, en conséquence de quoi, la technologie disponible actuellement ne permet pas de le faire simultanément.

• Réglage du stimulateur

Le **mode d'entraînement** choisi est le mode sentinelle, **synchrone** (position "DEM" sur certains appareils). Il délivre l'impulsion à la demande dans le cas où le rythme cardiaque sous-jacent est inférieur à celui prédéterminé par l'opérateur. Le stimulateur cardiaque recherche l'activité cardiaque intrinsèque. S'il ne détecte pas de contraction dans un intervalle prédéfini, il délivre une impulsion électrique. Quand il détecte une contraction intrinsèque, il réarme son minuteur et continue la recherche de l'activité cardiaque intrinsèque. Ce mode permet enfin au rythme intrinsèque du patient de reprendre le dessus quand il est supérieur à la fréquence déterminée par l'utilisateur.

Sur certains appareils, le moniteur de l'électrocardioscope peut indiquer par un repère l'activité électrique intrinsèque au niveau du complexe QRS (par un carré ou un triangle). Pour améliorer la sensibilité de la détection, le réglage de la taille des complexes du stimulateur cardiaque peut être rendu nécessaire. Le stimulateur doit être vérifié au moment de sa mise en place et à intervalles réguliers lors de la stimulation synchrone.

L'autre mode possible, l'asynchrone (position "FIX" sur certains appareils), délivre une stimulation, que le cœur ait ou non un rythme propre. Il en résulte parfois une compétition entre rythme propre et rythme spontané. De plus, ce mode fait courir un risque de passage en fibrillation ventriculaire (FV) si l'impulsion tombe sur la période réfractaire.

La **fréquence** (P/mn) est réglée entre 60 à 90 cycles par minute. La plage des fréquences se situe entre 30 à 180 impulsions/mn et peut atteindre 360 impulsions/mn pour les stimulateurs munis du mode de fonctionnement "overdrive".

Ensuite, le réglage du **courant** est à son tour déterminé progressivement (à partir de 10 mA) à la recherche du **seuil de stimulation** (en général entre 60 et 80 mA). Il correspond à la perception d'un pouls fémoral synchrone aux impulsions électriques et au contrôle électrocardiographique mettant en évidence un complexe de capture (complexe spike-QRS d'une durée supérieure à 0,14 seconde suivi d'une onde T avec absence de rythme sous-jacent).

En cas d'inefficacité circulatoire importante l'intensité est fixée d'emblé à son maximum (150 ou 250 mA) puis redescendue jusqu'à l'intensité minimale permettant de percevoir un pouls fémoral.

Dans le cas d'une utilisation prophylactique, le seuil de stimulation est repéré puis la fréquence est fixée à un niveau correspondant à l'alarme de bradycardie de l'électrocardioscope.

Pour son utilisation en "overdrive", il est nécessaire d'ajuster la fréquence du stimulateur à un niveau plus rapide (capture), que la fréquence de la tachycardie, puis, de la diminuer graduellement sur un intervalle de temps court pour permettre au noeud sino-auriculaire de regagner le contrôle des ventricules.

Le risque potentiel de cette technique de réduction est d'accélérer la tachycardie ou de déclencher une fibrillation ventriculaire. Son utilisation doit être réservée à des médecins expérimentés. Dans les tachycardies supraventriculaires et ventriculaires, la chimiothérapie reste le traitement standard pour les patients stables, et, la cardioversion électrique préférée pour les patients instables.

La stimulation occasionne une contraction du muscle pectoral qui n'est pas dommageable. En revanche, une gêne douloureuse synchrone aux impulsions électriques et proportionnelle à l'intensité du courant débute en général à partir d'un courant de plus de 50 mA. Le niveau d'inconfort varie selon plusieurs facteurs : le degré d'angoisse du patient et sa tolérance à la douleur, la polarité des électrodes et le niveau de courant nécessaire pour la capture. La plupart des patients toléreront mieux la stimulation avec une sédation ou une analgésie par une benzodiazépine type midazolam.

Cet inconfort provoqué par la stimulation peut constituer une limite de son indication chez certains malades.

• Surveillance

La surveillance est principalement clinique, coloration du patient (surveillance de l'état hémodynamique) et palpation du pouls fémoral (car situé à distance du lieu de la stimulation). L'amélioration de la pression artérielle est également à observer.

Un seuil élevé ou l'absence de capture nécessitent un changement de la position des électrodes de stimulation après avoir vérifié l'alimentation électrique, le fonctionnement du stimulateur, l'intégrité du cordon et le bon contact entre la peau et les électrodes de stimulation. En outre, il est indispensable de vérifier la qualité du recueil du rythme propre du patient au niveau de l'électrocardiogramme et d'éliminer les parasites du signal en améliorant la préparation de la peau (rasage, friction...), en changeant les électrodes, en modifiant leurs positions ou la connexion des fils et en écartant toute source de radiofréquences (téléphone portable...).

L'échec de l'entraînement est possible, faisant recourir à l'entraînement endocavitaire. Parfois on peut obtenir une capture électrique sans efficacité hémodynamique.

Avec le temps, le seuil de capture augmente, ce qui peut rendre nécessaire l'adaptation de l'intensité de stimulation.

Les risques de passage en tachycardie ou fibrillation ventriculaire imposent d'être équipé d'un défibrillateur préalablement testé et prêt à fonctionner. Les palettes de défibrillation ne doivent pas être placées aux mêmes endroits que les électrodes de stimulation. Pendant ce geste, le stimulateur doit être éteint. Certains appareils permettent d'utiliser les électrodes de stimulation pour réaliser la défibrillation.

L'environnement immédiat du patient, le brancard ou le lit, les seringues électriques et les autres matériels doivent être tenus à distance pour prévenir tout risque de déperdition électrique. Si un massage cardiaque est rendu nécessaire par l'état du patient, il doit être pratiqué avec des gants de protection pour éviter de stimuler l'opérateur de façon désagréable (sensation de picotement ou secousses musculaires involontaires).

L'EEE peut être utilisé à bord d'hélicoptères et d'avions. Il n'entraîne ni ne subit d'interférences vis-à-vis des équipements électroniques de vol.

Lors de la pré-existence d'un stimulateur définitif, le placement antéropostérieur des électrodes de stimulation nécessite le déplacement de l'électrode antérieure au niveau de la dérivation électrocardiographique V4-5.

Pour la position antérolatérale seule l'implantation du pacemaker définitif à la droite du thorax nécessite d'envisager une modification au profit de la position antéropostérieure. L'électrode antérieure est positionnée au niveau de la dérivation électrocardiographique V4-5 et l'électrode postérieure du côté droit du thorax entre le rachis et la pointe de l'omoplate gauche (figure 3).

CONCLUSION

L'EEE est une technique simple et rapide à mettre en œuvre, dans le traitement de toutes les bradycardies symptomatiques. La surveillance est essentiellement clinique (effet thérapeutique et tolérance). Pour améliorer le confort du patient, il est parfois nécessaire d'envisager une technique de sédation-analgésie.

RÉFÉRENCES

1. Recommandations concernant les modalités de la prise en charge médicalisée préhospitalière des patients en état grave. Recommandations de la SFAR-SAMU de France. Novembre 2001
2. Recommandations concernant la surveillance des patients au cours des transferts interhospitaliers médicalisés. Recommandations de la SFAR-SAMU de France. Février 1994
3. Connaissances indispensables pour assurer les fonctions de "senior" responsable, dans un service d'urgence et/ou SAMU-SMUR. Commission formation. Collège PACA de médecine d'urgence (COPACAMU).
4. LECLERCQ G. Entraînement électrosystolique externe in : Urgences vitales – Prise en charge et diagnostics, gestes techniques et thérapeutiques. Éditions ESTEM, Paris, 2000
5. International Resuscitation Guidelines 2000 - A Consensus on Science. Part 6: Advanced Cardiovascular Life Support, Section 7: Algorithm Approach to ACLS, 7C: A Guide to the International ACLS Algorithm. Resuscitation, 2000;46(1-3):169-84
6. International Resuscitation Guidelines 2000 - A Consensus on Science. Section I: Acute Coronary Syndromes (Acute Myocardial infarctus), Part 7: The Era of reperfusion, II.10. Bradycardia and Heart Block: Indications for pacing During AMI. Resuscitation, 2000;46(1-3):203-37
7. PANESCU D, WEBSTER JG, TOMPKINS WJ, STRATBUCKER RA. Optimisation of transcutaneous cardiac pacing by three-dimensional finite element modelling of the human thorax. Med Biol Eng Comput 1995 Nov;33(6):769-75

8. CUMMINS RO, GRAVES JR, LARSEN MP, HALLSTROM AP, HEARNE TR, CILIBERTI J, NICOLA RM, HORAN S. Out-of-hospital transcutaneous pacing by emergency medical technicians in patients with asystolic cardiac arrest. *N Engl J Med* 1993;328(19):1377-82