

I. INTRODUCTION

Willem Einthoven inventa le galvanomètre en 1901 qui était capable de mesurer l'activité électrique du cœur. Bien qu'il ne s'agissait pas du premier appareil réalisant ce type de mesure, son galvanomètre restait très innovant car il était le premier à être assez précis pour donner des résultats identiques sur un patient. Les travaux d'Einthoven établirent une configuration standard pour l'enregistrement de ECG si bien qu'Einthoven se vit récompenser par le Prix Nobel en 1924. Depuis, l'ECG est devenu un puissant outil permettant le diagnostic de nombreuses anomalies cardiaques. [Il est intéressant de noter que l'interprétation clinique de l'ECG est en pratique largement empirique et s'appuie sur une longue histoire de références corrélées à des pathologies cardiaques connues.]

L'activité électrique de chaque cycle cardiaque commence avec la dépolarisation du noeud SA, le pacemaker primaire du cœur. L'onde de dépolarisation se propage de l'oreillette, initiant la contraction du myocarde auriculaire (voir la Leçon 5 ECG I pour les détails). La dépolarisation de l'oreillette est enregistrée par l'onde P de l'ECG. La repolarisation de l'oreillette suit immédiatement la dépolarisation et a lieu durant le segment PR de l'ECG. Au noeud AV, la transmission du signal électrique est ralentie, donnant suffisamment de temps à l'oreillette pour finir sa contraction, avant que le signal ne descende vers la connexion AV, les branches droites et gauches, et les fibres de Purkinje vers le myocarde ventriculaire. La dépolarisation des ventricules est enregistrée par le complexe QRS de l'ECG, et la repolarisation des ventricules est enregistrée par l'onde T.

Durant le cycle cardiaque, le courant se propage le long de voies spécialisées et en dépolarise des parties selon des séquences spécifiques soulignées ci-dessus. En conséquence, l'activité électrique est axée, orientation spatiale représentée par l'axe électrique. La direction prépondérante du courant pendant le cycle cardiaque est appelée axe électrique moyen. Typiquement, chez un adulte, l'axe électrique moyen s'étend le long d'une ligne allant de la base de l'apex du cœur à la gauche du septum interventriculaire en pointant vers le bas de la cage thoracique gauche.

La valeur du courant enregistré dans l'ECG est directement proportionnelle à la quantité de tissu dépolarisé. La masse du cœur est surtout composée du myocarde ventriculaire. Cependant, la plus grande onde enregistrée, le complexe QRS, reflète la dépolarisation des ventricules. De plus, alors que la masse ventriculaire gauche est significativement supérieure à la droite, la plupart du complexe QRS reflète la dépolarisation du ventricule gauche. L'orientation de l'axe électrique moyen va vers la gauche du septum interventriculaire.

Note Biographique Willem Einthoven:

1860-1927

Né à Semarang, Java

Docteur hollandais

Professeur, Université de Leiden,

1885-1927

Prix Nobel: 1924

Le corps contient des fluides à fortes concentrations d'ions qui permettent la conduction électrique. Ceci rend possible la mesure de l'activité électrique du cœur à partir de la surface de la peau (en supposant qu'un bon contact électrique soit assuré avec les fluides par l'intermédiaire d'électrodes). Les bras et les jambes ne sont alors dans ce sens que des extensions du torse. Les mesures effectuées sur les jambes sont de bonnes approximations de celles qui pourraient être effectuées sur le bas-ventre. Les mesures prises au niveau des bras sont équivalentes à celles prises sur l'épaule correspondante.

Idéalement, les électrodes sont placées sur les chevilles et les poignets, de façon à améliorer le confort du patient qui se soumet à l'examen. Pour enregistrer correctement l'ECG, il faut qu'un point de référence relié à la terre soit choisi sur le patient. Cette référence est obtenue à partir d'une électrode placée sur la jambe droite, au-dessus de la cheville. Pour représenter le corps en trois dimensions, trois plans sont définis en électrocardiographie (Fig. 6.1). Les électrodes bipolaires des membres enregistrent l'activité électrique du cycle cardiaque dans le plan frontal et seront utilisées dans cette leçon pour introduire les principes de la vectocardiographie.

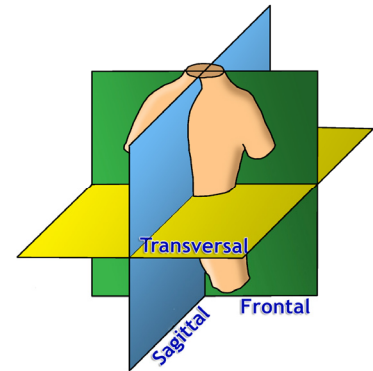


Fig. 6.1 Plans de l'ECG

Une dérivation bipolaire est composée de deux électrodes discrètes de polarité opposée, l'une positive et l'autre négative.

Une ligne hypothétique joignant les pôles d'une dérivation est appelée axe de dérivation. La position des électrodes détermine la direction d'enregistrement de la dérivation, allant de l'électrode *négative* à la *positive*. L'enregistreur ECG calcule la différence (amplitude) entre les électrodes positive et négative et affiche les changements de différences de voltage dans le temps. Un enregistrement d'ECG clinique standard enregistre 12 dérivations dont 3 bipolaires standard.

Les dérivations bipolaires, leur polarité et axes sont décrits ci-après:

Dérivation	Polarité	Axe de dérivation
Dérivation I	bras droit (-) au bras gauche (+)	$\pm 180^\circ - 0^\circ$
Dérivation II	bras droit (-) à la jambe gauche (+)	$-120^\circ - +60^\circ$
Dérivation III	bras gauche (-) à la jambe gauche (+)	$-60^\circ - +120^\circ$

La relation entre les dérivations est telle que la somme des courants électriques enregistrés dans les dérivations I et III est égale à la somme du courant électrique enregistrée dans la dérivation II. Cette relation est appelée loi d'*Einthoven*, et est exprimée mathématiquement comme suit:

$$\text{Dérivation I} + \text{Dérivation III} = \text{Dérivation II}$$

Cela implique que si les valeurs de 2 dérivations sont connues, on peut calculer celle de la 3ème.

La dérivation est représentée mathématiquement par un vecteur. Un vecteur est une entité qui a une amplitude et une direction, comme la vitesse. A tout moment du cycle cardiaque, un vecteur peut représenter l'activité électrique nette vue par une dérivation. Un vecteur électrique a une amplitude, une direction et une polarité et est graphiquement représenté par une flèche:

- La longueur du trait représente l'amplitude du courant électrique.
- L'orientation de la flèche représente la direction du courant.
- L'extrémité de la flèche représente le pôle positif du courant électrique.
- La queue de la flèche représente le pôle négatif du courant électrique.

Le courant électrique du cycle cardiaque, circulant vers le pôle positif de l'axe de dérivation, produit une déviation positive sur l'enregistrement ECG de cette dérivation. Un courant électrique circulant vers le pôle négatif produit une déviation négative. L'amplitude de la déviation, négative ou positive, est directement proportionnelle à l'amplitude du courant. Si le flux de courant est perpendiculaire à l'axe de la dérivation, aucune déviation ne se produit. Il s'ensuit que pour un courant électrique d'amplitude donnée, la plus grande déviation positive est produite par le courant circulant le long de l'axe de la dérivation vers le pôle positif, et la plus grande déviation négative produite par le courant circulant le long de l'axe de la dérivation

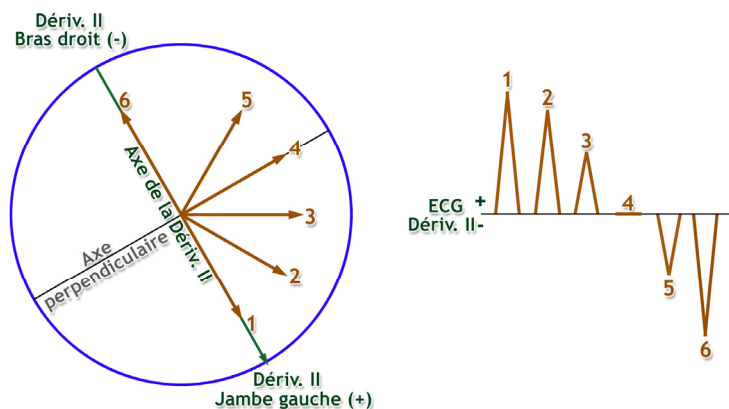


Fig. 6.2

vers le pôle négatif (Fig. 6.2). Lorsque le sens du courant est entre l'axe de la dérivation et sa perpendiculaire, la déviation est plus petite. Cela est vrai pour le courant s'écoulant à partir, ainsi que vers le pôle positif.

En raison de l'anatomie du cœur et de son système de conduction, le flux de courant pendant le cycle cardiaque électrique est en partie en direction et à l'opposé du pôle positif de la branche bipolaire de la dérivation. Cela peut produire une déviation biphasique (partiellement +, partiellement -) de l'ECG. Un bon exemple sont les déviations couplées Q-R ou R-S du complexe QRS généralement observées dans la Dérivation II. À un moment donné, le courant électrique bidirectionnel peut être représenté par un seul vecteur moyen qui est la moyenne de tous les vecteurs électriques négatifs et positifs à ce moment (Fig. 6.3).

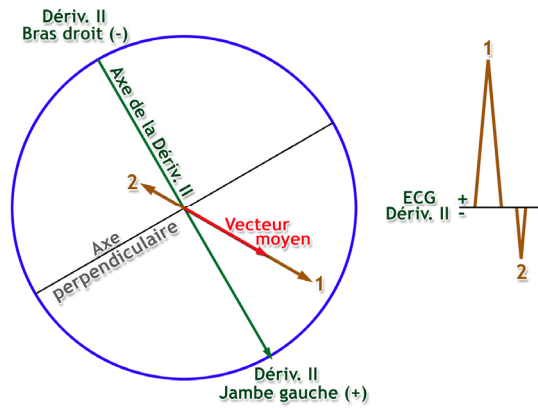


Fig. 6.3

Les axes des dérivations bipolaires peuvent être utilisés pour construire un triangle équilatéral, appelé triangle d'Einthoven, au centre duquel se trouve le cœur (Fig. 6.4). Chaque côté du triangle représente une des dérivations bipolaires. Les électrodes positives des 3 dérivations bipolaires sont électriquement à la même distance du point zéro de référence au centre du cœur. Alors, les 3 côtés du triangle équilatéral peuvent être déviés vers la droite, la gauche ou vers le bas sans changer l'angle de leur orientation jusqu'à ce que les points du milieu se rejoignent au centre du cœur (Fig. 6.4). Cela crée un vectographe standard dans lequel chacun des axes des dérivations forme un angle de 60° avec ses voisins. Le vectographe peut être utilisé pour représenter le vecteur représentant l'axe électrique moyen du cœur dans le plan frontal.

Un vecteur peut représenter l'activité électrique du cœur à tout instant. L'axe électrique moyen du cœur est la somme des vecteurs sur tout un cycle cardiaque.

Comme l'intervalle QRS provoqué par la dépolarisation ventriculaire représente la majorité de l'activité électrique du cœur, il est possible d'estimer l'axe électrique moyen uniquement en sommant sur cet intervalle, tout d'abord à l'amplitude de l'onde R, puis aux amplitudes combinées des ondes Q, R et S. Le vecteur résultant, appelé axe QRS, donne l'axe électrique moyen du cœur.

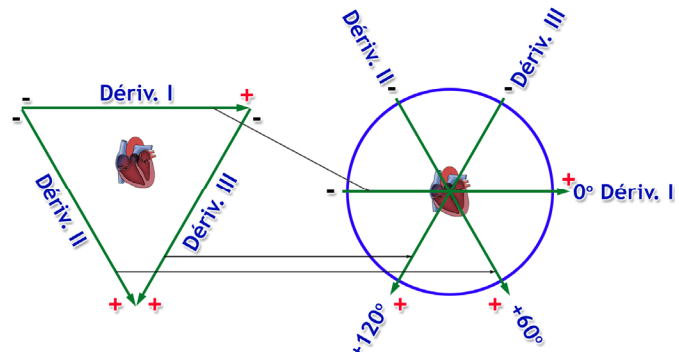


Fig. 6.4

Une approximation initiale de l'axe électrique moyen dans le plan frontal peut être faite en représentant l'amplitude de l'onde R des dérivations I et III (Fig. 6.5). Pour représenter l'amplitude de l'onde R:

1. Tracez une droite perpendiculaire à partir des extrémités des vecteurs (à angle droit de l'axe de la dérivation).
2. Déterminez le point d'intersection de ces deux droites perpendiculaires.
3. Tracez un nouveau vecteur à partir de l'origine jusqu'au point d'intersection.

La direction du vecteur résultant est une bonne approximation de l'axe électrique moyen du cœur. La longueur du vecteur donne une valeur approchée du potentiel moyen du cœur.

différence de potentiel des ondes R à partir des dérivations

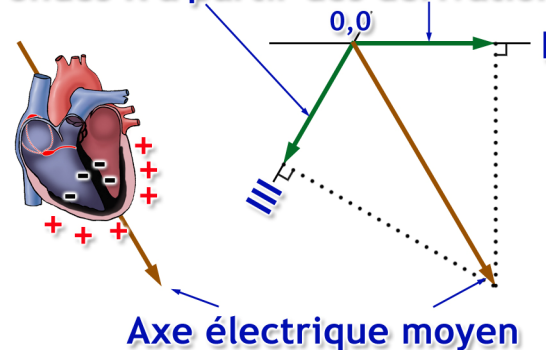


Fig. 6.5

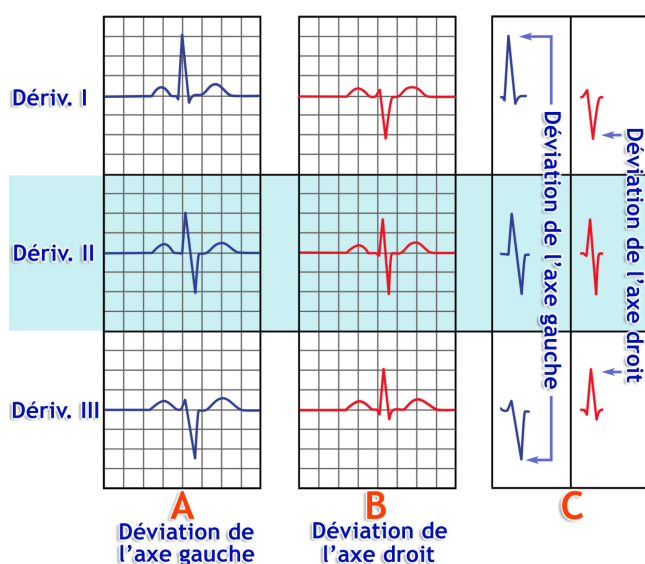


Fig. 6.6

Une méthode plus précise pour approcher l'axe électrique moyen consiste à additionner algébriquement les potentiels Q, S, et R d'une dérivation, plutôt que de n'utiliser que la différence de potentiel de l'onde R. Le reste de la procédure est similaire à celle expliquée ci-dessus.

La valeur normale de l'axe électrique moyen des ventricules est approximativement -30° à $+90^{\circ}$. L'axe peut légèrement varier par un changement de position (ex, debout ou allongé). Les variations individuelles, dans la normalité, sont dues à des différences dans le poids du cœur, l'orientation du cœur dans le thorax, l'index corporel, et la distribution anatomique du système de conduction cardiaque.

Une déviation dans la direction de l'axe QRS de la normale vers -30° à -90° est appelée *déviation de l'axe gauche* (DAG). Une *déviation de l'axe gauche* est anormale et résulte de conditions qui augmentent le temps de dépolarisation du ventricule gauche. Un exemple est l'hypertrophie (augmentation de volume, d'où voie de conduction plus longue) du ventricule gauche associée à

une hypertension systémique ou sténose (resserrement) de la valve aortique.

La déviation de l'axe gauche peut aussi se produire quand la voie de conduction du myocarde ventriculaire gauche est endommagée, créant un blocage et ralentissant le signal de dépolarisation. Les causes les plus rencontrées sont l'occlusion coronaire (spasme, thrombose, etc.) et les altérations créées par des substances chimiques. La Fig. 6.6, A montre des ECG typiques de Dérivations I, II et III associées à une DAG (Déviation Axe Gauche).

Une déviation dans la direction de l'axe QRS de la normale vers $+90^{\circ}$ and $+180^{\circ}$ est appelée *déviation de l'axe droit* (DAD). Dans certains cas, une déviation de l'axe droit peut être normale, comme chez les jeunes adultes avec des torsos longs et étroits et des cœurs verticaux, mais chez la majorité des adultes, une déviation de l'axe droit est généralement associée à une hypertrophie du ventricule droit ou une altération de la conduction dans ce ventricule. Dans les 2 conditions, la déviation de l'axe droit résulte d'un ralentissement ou d'un blocage du signal de dépolarisation du ventricule droit. La Fig. 6.6, B montre des ECG typiques de Dérivations I, II et III associées à une DAD. Un procédé commode pour différencier une DAG d'une DAD est d'examiner les complexes QRS des dérivations I et III. Un modèle où les sommets des complexes QRS disparaissent les uns par rapport aux autres est une déviation de l'axe gauche (Fig. 6.6, C). Un modèle où les sommets s'approchent les uns des autres est une déviation de l'axe droit.