

Chapitre 65. L'électrocardiogramme

P. Arnaud

<http://spiral.univ-lyon1.fr/polycops/Cardiologie/>

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

Objectifs	Niveau		
	Sémiologie	Certificat	Internat
Connaître les principes de l'enregistrement du tracé ECG	+	+	+
Connaître la morphologie et la durée normales des événements (P, QRS, T), et des intervalles (PR, ST, QT)	+	+	+
Savoir reconnaître un ECC normal		+	+
Savoir faire le diagnostic d'hypertrophie auriculaire et ventriculaire, de bloc de branche, d'hémibloc, de pré-excitation, d'insuffisance coronaire, de troubles secondaires de la repolarisation		+	+

CE QU'IL FAUT SAVOIR

1- DEFINITION ET BASES PHYSIQUES

Enregistrement du champ électrique engendré par les cellules myocardiques des oreillettes et des ventricules.

Lors d'un battement cardiaque, à chaque instant du cycle, un grand nombre de cellules sont activées. Elles produisent des courants qui s'additionnent pour générer le champ électrique cardiaque. Celui-ci se propage dans le thorax et dans tout le corps. Tout au long d'un cycle, le champ électrique évolue. L'électrocardiogramme l'enregistre en fonction du temps sous forme d'une suite de déflexions désignées P, QRS, T.

2- REALISATION ET CONVENTIONS

Si l'on place deux plaques métalliques (électrodes) sur la surface cutanée et si on les relie à un enregistreur, on obtient un tracé électrique du cœur. Il montre l'évolution dans le temps de la différence de potentiel qui existe entre les deux points cutanés. Celle-ci correspond à la projection du champ électrique spatial sur la droite reliant les deux électrodes. On appelle cette droite une " dérivation ". Si on modifie l'emplacement des électrodes, le tracé sera évidemment différent.

Une seule dérivation ne suffit pas pour appréhender la totalité du champ électrique ; on a dû imaginer un système composé de 12 dérivations. C'est l'électrocardiogramme standard, universellement utilisé, où chaque électrode a une position bien déterminée.

• **Les 6 dérivations périphériques ou dérivations des membres** (figure 1) : 3 électrodes sont placées sur le bras droit, le bras gauche et la jambe gauche. On suppose qu'elles correspondent aux sommets d'un triangle équilatéral situé dans un plan frontal (triangle d'Einthoven). Les 3 côtés du triangle sont les dérivations **bipolaires**, I entre bras droit (négatif) et bras gauche (positif), II entre bras droit (négatif) et jambe gauche (positif), III entre bras gauche (négatif) et jambe gauche (positif). Le centre du triangle est supposé de potentiel nul (centre électrique, ou borne centrale de Wilson). Partant de ce centre et allant à chaque sommet du triangle, on distingue les 3 dérivations **unipolaires** : VR (bras droit, positif), VL (bras gauche, positif), VF (jambe gauche, positif). On les appelle en fait aVR, aVL, aVF (a = augmenté) parce qu'un artifice de montage leur procure une amplitude plus grande.

Le champ électrique cardiaque en un instant donné a été représenté sur la figure 1 par un vecteur. Il se projette sur les 6 dérivations et engendre sur chacune d'elles une déflexion qui constitue l'électrocardiogramme à cet instant (on n'a figuré ici que la dérivation I).

En pratique, il est plus commode de représenter les 6 dérivations périphériques sur un cercle (figure 2). Le point zéro de chaque dérivation est situé au centre du cercle, les parties positive et négative sont de part et d'autre. Ces 12 demi-droites jalonnent le cercle de 30° en 30°. Chaque dérivation est caractérisée par son orientation sur le cercle. L'origine des angles (point zéro) est l'extrémité positive de la dérivation I (aisselle gauche). On compte les valeurs positivement vers le bas, négativement vers le haut. L'orientation des dérivations est donc : I = 0° (horizontale), II = +60°, aVF = +90° (verticale), III = +120°, aVL = -30°, aVR = -150°.

• **Les 6 dérivations précordiales** (figure 3) : avec 6 électrodes placées sur la surface antérieure et latérale gauche du thorax en des points très précis, on obtient les dérivations unipolaires échelonnées de V1 (point parasternal droit) à V6 (point axillaire gauche). Le potentiel de chaque électrode est enregistré par rapport à la borne centrale, de potentiel nul, qui est censée se trouver au centre du cœur.

Ces 6 dérivations, reliant 6 points cutanés à un même point central, composent une sorte d'éventail qui se situerait dans un plan horizontal s'il n'y avait (par convention) un décalage de niveau entre les électrodes 1, 2 situées au 4^e espace intercostal et les électrodes 4, 5, 6 situées au 5^e espace intercostal.

Les tracés des 12 dérivations sont inscrits sur un papier millimétré avec comme échelle de temps (abscisse) 25 mm/sec, soit 0,04 sec pour 1 mm et comme échelle d'amplitude (ordonnée) 10 mm/mV, soit 0,1 mV pour 1 mm. Les dérivations sont présentées dans l'ordre : I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1...V6. Souvent on les enregistre par groupes de 3 dérivations simultanées : (I, II, III) (aVR, aVL, aVF) (V1, V2, V3) (V4, V5, V6), les dérivations de chaque groupe étant superposées de haut en bas (figure 4).

En fait quand on lit un tracé il est commode de considérer successivement :

- les dérivations latérales gauches (orientées vers l'aisselle gauche) : I, aVL, V5 et V6,
- les dérivations antérieures (orientées vers l'avant) : V1, V2 et V3,
- les dérivations inférieures (orientées vers le bas) : II, aVF, III (figure 2).

En effet, dans chacun de ces trois groupes les complexes P-QRS-T ont à peu près la même morphologie.

• **Il peut être utile**, particulièrement dans le cadre du diagnostic de l'infarctus du myocarde à la phase aiguë, **d'ajouter** :

- V7, V8, V9, dans le 5^e espace intercostal, respectivement sur la ligne axillaire postérieure, à la pointe de l'omoplate et au bord gauche du rachis, qui explorent la face postérieure du ventricule gauche,
- V3R, V4R, symétriques de V3 et V4 par rapport au sternum, qui explorent le ventricule droit.

3- ANALYSE DU CONTOUR

Chaque cycle cardiaque est enregistré sous forme d'une suite de déflexions P-QRS-T dont les unes sont positives (au dessus de la ligne de base), les autres négatives (figure 4).

La dépolarisation des oreillettes engendre l'onde P. La repolarisation des oreillettes reste habituellement invisible. La dépolarisation des ventricules engendre le complexe QRS où, par définition, Q est la première déflexion négative, R la première déflexion positive, S la déflexion négative faisant suite à l'onde R. S'il n'y a pas d'onde Q, ce qui est fréquent, l'aspect est R ou RS. S'il n'y a pas d'onde R, l'aspect est désigné QS. Parfois on observe à la suite de R ou de S une deuxième positivité appelée R', et parfois aussi à la suite de R' une autre négativité appelée S'. La repolarisation des ventricules engendre l'onde T, mais elle est également responsable du segment ST compris entre la fin du complexe QRS et le début de l'onde T. A la suite de l'onde T peut apparaître, rarement, une onde U.

L'analyse repose sur des mesures précises (électrocardiographie quantitative). Nous allons résumer quelques données qui sont essentielles pour l'interprétation.

3.1 Amplitude de P

Normalement positive et inférieure ou égale à 0,2 mV (figure 5). Augmentée dans l'hypertrophie auriculaire droite (souvent associée à une HVD), notamment en II.

3.2 Durée de P

Normalement inférieure à 0,10 s. Allongée dans l'hypertrophie et la dilatation de l'oreillette gauche (souvent associée à une HVG ou à un RM) avec aspect diphasique en I (figure 5).

3.3 Durée de l'intervalle PR

Mesurée entre le début de P et le début de Q ou de R. Normalement comprise entre 0,12 et 0,18 s. Augmentée au-delà de 0,20 s dans le bloc auriculo-ventriculaire du 1er degré. Diminuée en dessous de 0,12 s dans les pré-excitations ventriculaires.

3.4 Durée du complexe QRS

Normalement comprise entre 0,085 et 0,095 s. Augmentée au-delà de 0,12 s dans les blocs de branche " complets ", droit et gauche. Augmentée à 0,10 ou 0,11 s dans les blocs de branche " incomplets ". Augmentée de façon variable dans les pré-excitations.

3.5 Axe de QRS sur le plan frontal

Considérons l'ensemble des vecteurs cardiaques qui, entre le début et la fin de QRS, tournent autour de leur point d'origine. Ils se projettent sur le plan frontal et sont enregistrés par les 6 dérivations des membres. L'orientation " moyenne " de ces projections est un angle appelé " axe QRS " que l'on mesure sur le cercle (figure 2). On cherche si l'un des 6 complexes est isodiphasique (R=S) c'est-à-dire algébriquement nul : l'axe est perpendiculaire à la dérivation correspondante. Sinon on procède par approximation. Par exemple (figures 2 et 4) si R est légèrement supérieur à S en aVF (complexe positif), l'axe est supérieur à 0° ; si en même temps R est légèrement inférieur à S en III (complexe négatif), l'axe est inférieur à +30°. Donc l'axe est à +15°.

Les valeurs normales de l'axe sont comprises entre 0° (axe horizontal) et +80° (axe vertical). L'axe est dévié à droite, au-delà de +90° (quadrant inférieur droit) dans les HVD. Il est dévié à gauche et en haut, au-delà de -30° (quadrant supérieur gauche) dans le bloc fasciculaire antérieur gauche, dévié à gauche ou horizontal dans le bloc de branche gauche.

Nous allons analyser à présent la morphologie du complexe QRS (figures 6 à 10).

3.6 Onde Q

- en I, aVL, V5 et V6 (dérivations latérales gauches) il existe normalement une onde Q de faible amplitude < 0,3 mV et ne durant que 0,01 ou 0,02 s (figure 6). Si elle est absente on doit rechercher un bloc de branche gauche (figure 7). Si au contraire la durée de Q dépasse 0,03 s, et a fortiori si son amplitude est grande, on doit évoquer un infarctus de siège latéral.
- en II, III et aVF (dérivations inférieures) il existe souvent chez les sujets normaux une petite onde Q inférieure à 0,4 mV. Si son amplitude est augmentée au-delà de 25 % de l'onde R et si sa durée dépasse 0,03 s, on doit évoquer un infarctus de siège inférieur (figure 9).
- en V1, V2 et V3 (dérivations antérieures) l'onde Q est obligatoirement absente chez les sujets normaux. Sa présence doit être interprétée comme un infarctus de siège antérieur ou antéro-septal (figure 8). Une onde Q élargie en V4 indique une extension à la zone apicale.
- Un complexe QS (absence de déflexion positive) a la même signification qu'une onde Q très augmentée.
- en aVR il existe toujours une onde Q, souvent importante, sans signification.

3.7 Amplitude de R

Très variable selon les dérivations, entre 0,1 et 1,5 ou même 2 mV.

- en I, aVL, V5 et V6 (dérivations latérales gauches) l'amplitude de R est :
 - diminuée en cas de BBG : l'onde R, monophasique, prend une forme élargie et crochetée (figure 7),
 - augmentée au-delà de 2,6 mV en cas d'HVG (figure 6),
- en V1, V2 et V3 (dérivations antérieures) l'amplitude de R est :
 - normalement petite, inférieure à celle de S (figure 6),
 - très petite en cas d'HVG, et à l'extrême inapparente, confinant à un aspect QS qui simule un infarctus antérieur,
 - très petite également dans le BBG (figure 7),
 - modérément augmentée dans les HVD acquises évoluées, avec rapport R/S > 1 (figure 6), mais elle reste normale dans les HVD légères,
 - très augmentée dans les HVD importantes, notamment celles d'origine congénitale.
 - très augmentée dans l'infarctus de siège postérieur (souvent associé à un infarctus inférieur) (figure 9).

- de V1 à V6 il y a normalement une progression régulière de l'onde R et du rapport R/S ; ce dernier est inférieur à 1 en V1, V2 et V3, voisin de 1 en V4, supérieur à 1 en V5 et V6. La non progressivité de l'onde R de V1 à V3 peut traduire l'existence d'une nécrose antérieure d'étendue limitée.

3.8 Amplitude de S

- en I, aVL, V5 et V6 (dérivations latérales gauches) l'amplitude de S est :

- petite (parfois nulle) chez les sujets normaux (figure 6),
- augmentée en cas d'HVD avec rapport R/S < 1 (figure 6), mais la durée de S reste normale. Cas particulier du cœur vertical et du cœur pulmonaire chronique où l'on observe une grande onde S en I et une grande onde Q en III (aspect SI QIII).
- modérément augmentée en cas de BBD, avec un aspect caractéristique, élargi et empâté, qui correspond à l'onde R' en V1 et V2 (figure 7).

- en V1, V2 et V3 (dérivations antérieures) l'amplitude de S est :

- normalement grande, jusqu'à 2 mV (figure 6),
- augmentée au-delà de 2,5 mV en cas d'HVG, par le même mécanisme qui fait augmenter l'onde R en V5 et V6 (figure 6) ; d'où l'indice de Sokolow : $SV_1 + RV_5 \geq 3,5$ mV.
- modérément augmentée en cas de BBG, avec un aspect élargi (figure 7),
- nulle dans les HVD importantes.

3.9 Onde R'

Un aspect RSR' ou RR' observé en V1 et V2 signe la présence d'un BBD (figure 7). Si l'amplitude de R' est grande par rapport à celle de R, on doit évoquer une HVD associée.

3.10 Onde delta

Sa présence dans tel ou tel groupe de dérivations témoigne d'une pré-excitation ventriculaire (figure 10). En l'absence d'onde Q, le début de la branche montante de l'onde R a une progression lente ; sa pente n'est pas aussi raide que normalement ; après quelques centièmes de seconde la pente redevient normale. Cette onde delta, qui est surajoutée avant et pendant la phase initiale de l'onde R, entraîne un raccourcissement de l'intervalle PR (en fait PD) et un allongement de la durée de QRS (en fait D QRS). Plus rarement l'onde delta se manifeste par une onde Q, plus ou moins empâtée, pouvant simuler un infarctus (diagnostic par la mesure de PQ et de QRS).

3.11 Segment ST et onde T

- *Chez les sujets normaux*, le segment ST est à peu près isoélectrique, c'est-à-dire aligné sur la ligne de base, ou légèrement ascendant. L'onde T est positive dans toutes les dérivations, excepté aVR. En III elle peut être légèrement négative. L'amplitude du sommet de l'onde T est habituellement de l'ordre de 0,3 ou 0,4 mV, mais peut être très petite ou plus grande dans certaines dérivations. La branche ascendante de l'onde T est lente, la branche descendante plus rapide.
- *A la phase aiguë de l'ischémie et de l'infarctus du myocarde* (figure 11) l'onde T devient géante, pointue et symétrique au cours de la première heure, puis apparaît un sus-décalage du segment ST de grande amplitude qui englobe l'onde T, formant une large courbe convexe vers le haut (onde de Pardee). Après quelques heures, parfois un jour ou deux, le segment ST revient à la ligne de base, tandis que l'onde T devient négative. Elle peut rester négative pendant des semaines ou des mois. L'onde Q traduisant la nécrose peut apparaître dès les premières heures.

Les signes d'ischémie et de nécrose sont localisés dans le groupe de dérivations qui correspond à la topographie de l'occlusion coronaire :

- . antérieur ou antéro septal : V1 à V4 (figure 8),
- . inférieur : II, III et aVF (figure 9),
- . postérieur : V1 et V2 (figure 9),
- . latéral : I, aVL, V5 et V6.

- *Troubles secondaires de repolarisation* : négativation de l'onde T consécutive aux diverses altérations qui

affectent le complexe QRS (figures 6 et 7) :

- hypertrophie VG et BBG : dérivations latérales gauches,
- hypertrophie VD et BBD : dérivations antérieures.

- *Autres troubles de repolarisation* : moins bien systématisés, ils peuvent être provoqués par certains médicaments, les péricardites, les embolies pulmonaires, etc..., mais ils peuvent aussi exister de façon importante chez certains jeunes sujets normaux (dystonie neurovégétative).

3.12 Durée de l'intervalle QT

Mesurée entre le début du complexe QRS et la fin de l'onde T, elle est censée représenter la durée totale de la repolarisation ventriculaire. Très sensible à la durée des intervalles RR précédents, donc à la fréquence cardiaque, on la corrige en fonction de celle-ci (QTc). QT et QTc sont normalement de l'ordre de 0,36 à 0,40 s.

L'intervalle QT doit être systématiquement mesuré. En effet son augmentation, au-delà de 0,44 s, est considérée comme un facteur de risque de tachycardie ventriculaire et de torsade de pointe, donc de mort subite. A côté du syndrome du QT long congénital, il existe de nombreuses circonstances où l'on peut observer un allongement de QT : hypertension artérielle, affections coronariennes, myocardiopathies. Certains médicaments antiarythmiques et certains troubles métaboliques (hypokaliémie) peuvent aussi allonger l'intervalle QT.

4- ANALYSE DU RYTHME CARDIAQUE

Comme l'électrocardiogramme standard est enregistré sur une vingtaine de secondes, on dispose sur chaque dérivation de plusieurs cycles P-QRS-T ce qui permet d'analyser leur succession. On peut aussi enregistrer une dérivation sur une longue durée pour une analyse plus précise du rythme.

On recherche les informations suivantes : nombre de battements par minute (fréquence cardiaque), régularité du rythme, présence éventuelle de complexes différents des complexes de base, anomalies de l'enchaînement P-QRS (oreillettes ventricules). A partir de ces données, on peut faire le diagnostic des troubles du rythme. Cette partie est traitée au chapitre 6.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Pour bien interpréter un ECG, il faut analyser méthodiquement :

- la fréquence cardiaque,
- le rythme,
- l'axe de QRS,
- la morphologie et la durée des événements (P, QRS, T), et des intervalles (PR, ST, QT),

toujours vérifier la cohérence du tracé pour détecter rapidement une erreur de positionnement d'électrode, et tenir compte du contexte clinique.

