

EDUCACIÓN MÉDICA

Error en la técnica de registro electrocardiográfico: derivaciones del plano frontal

Tercera parte

• Dr. Gerardo Pozas Garza¹

• *Palabras clave*

Electrocardiograma de doce derivaciones, error en la técnica de registro, dextrocardia.

Introducción

Este artículo se escribió en homenaje al 150 aniversario del nacimiento de Willem Einthoven (1860-1927).¹

El error en la técnica de registro del electrocardiograma es relativamente común y con frecuencia no es reconocida. En la mayor parte de los casos, el error en la técnica es debido a que no se emplea un método estandarizado para su adquisición.² El personal del área de la salud relacionado con la obtención del estudio debe ser capaz de reconocer el error y establecer las medidas correctivas.

Se estima que el error en la técnica de registro ocurre entre el 0.4 y 4% de todos los estudios electrocardiográficos. La adquisición errónea del estudio puede simular alteraciones en el ritmo cardiaco, trastornos de conducción intraventricular y dextrocardia; asimismo, puede enmascarar o simular la presencia de isquemia o infarto de miocardio.³ Los sistemas computarizados integrados a los equipos electrocardiográficos que emiten diagnósticos preestablecidos pudieran ayudar en su reconocimiento, pero aun éstos tienen limitaciones.

El error en la técnica de registro comprende a los cables de las extremidades (derivaciones del plano frontal) que serán revisadas en este artículo, así como a los cables precordiales (derivaciones precordiales) que se analizarán en el siguiente artículo de la serie.

Generalidades

Las derivaciones bipolares fueron creadas por Einthoven en 1903 y las denominó DI, DII y DIII.⁴ Las derivaciones bipolares registran la diferencia de potencial entre sus dos electrodos y forman un circuito eléctrico que circunda al corazón. La derivación DI registra la diferencia de potencial entre el brazo izquierdo (+) y el brazo derecho (-); la derivación DII registra la diferencia de potencial entre la pierna izquierda (+) y el brazo derecho (-); y la derivación DIII registra la diferencia de potencial entre la pierna izquierda (+) y el brazo izquierdo (-). La pierna derecha se emplea como un electrodo indiferente que sirve únicamente como referencia. De acuerdo a la Ley de Kirchoff, la suma de las diferencias tensionales entre distintos puntos que constituyen un circuito cerrado es igual a cero. La aplicación de este concepto a la actividad eléctrica del corazón se enuncia a través de la ley de Einthoven: el voltaje de la derivación DII es igual a la suma de los voltajes de las derivaciones DI y DIII:

$$DII = DI + DIII$$

Las derivaciones unipolares de las extremidades fueron inventadas por Wilson en 1931 (VR, VL y VF).⁵ Las letras R, L y F significan brazo derecho, brazo izquierdo y pierna izquierda, respectivamente. De acuerdo a su concepción original, las derivaciones VR, VL y VF se obtenían conectando los electrodos de las tres extremidades a sendas resistencias de 5,000 ohmios y, posteriormente, a la central terminal de Wilson, lo que creaba un electrodo con potencial cero. El electrodo positivo de la derivación se asignaba sucesivamente a cada una de las extremidades para registrar la actividad eléctrica correspondiente. Los complejos obtenidos mediante las derivaciones unipolares de

¹ Cardiólogo electrofisiólogo, Hospital San José Tec de Monterrey e Instituto de Cardiología y Medicina Vascular del Tecnológico de Monterrey.

las extremidades originales eran de poca amplitud de voltaje. Goldberger, en 1942, ideó un mecanismo para incrementar la amplitud de los complejos en un 50%, inventando las derivaciones aumentadas de las extremidades (aVR, aVL y aVF). Para las derivaciones aumentadas de las extremidades, el electrodo de registro (electrodo explorador o positivo) está situado en el brazo izquierdo para aVL; brazo derecho, para aVR; y pierna izquierda, para aVF.

En los electrocardiogramas actuales se obtiene la información proveniente de dos derivaciones bipolares y el resto se deriva de ellas.⁶ En realidad, es posible obtener las derivaciones unipolares mediante fórmulas matemáticas aplicadas a las derivaciones bipolares:

$$aVL = DI - DIII / 2 \quad aVF = DII + DIII / 2 \quad aVR = -(DI + DII) / 2$$

También es útil comprobar que la suma de los voltajes de las derivaciones unipolares aumentadas de las extremidades es igual a cero:

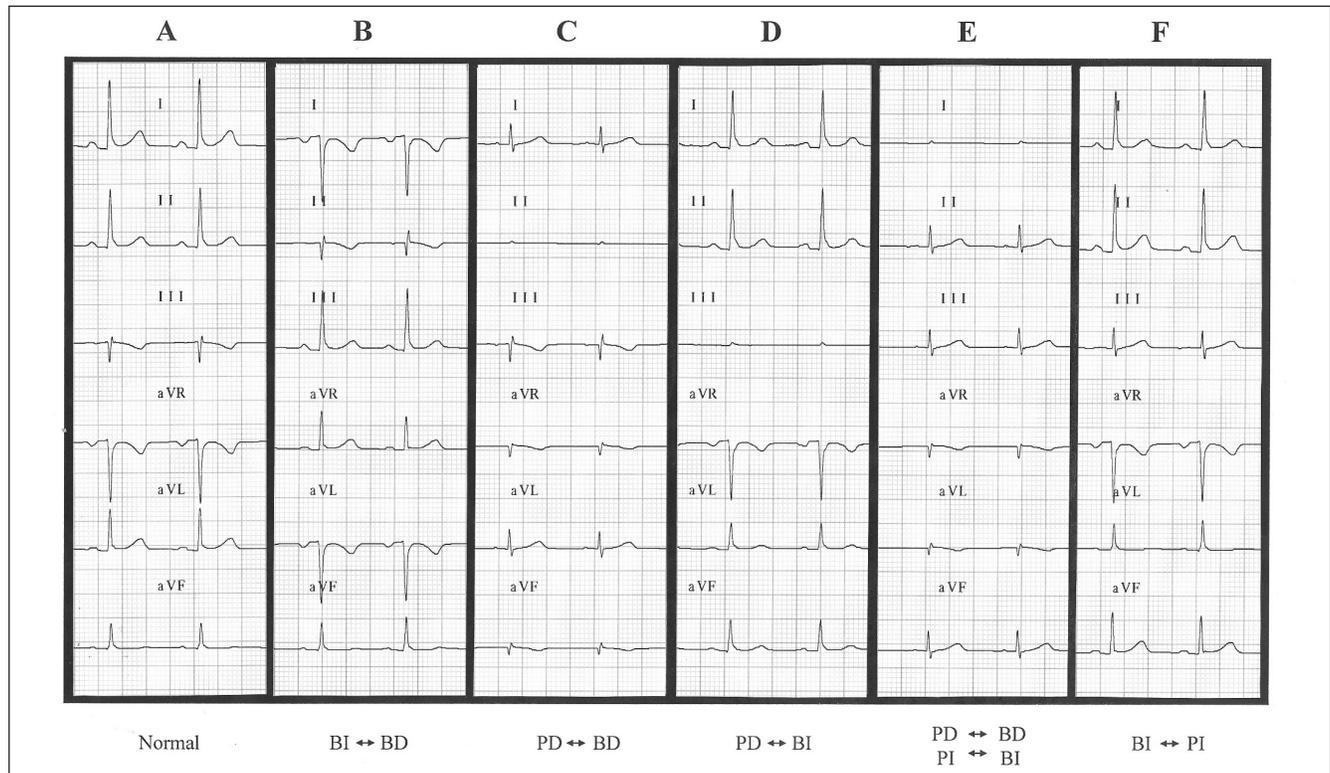
$$aVR + aVL + aVF = 0$$

Error en la técnica de registro

En la Figura 1 se muestran las derivaciones del plano frontal de un electrocardiograma de un paciente masculino adulto sano, adquiridas en la forma correcta (A). Posteriormente, con fines de comparación, en forma deliberada, se han intercambiado los cables para mostrar los errores más comunes (B-F).

a) *Intercambio de los cables de los brazos (Figura 1 B)*
El intercambio de los cables de los brazos es la variante más frecuente y su reconocimiento es relativamente sencillo. Dicho error afecta el registro de todas las derivaciones del plano frontal, con excepción de la derivación aVF. La derivación DI tiene la polaridad invertida como consecuencia del intercambio de los cables de los brazos (corresponde a su imagen en espejo); las derivaciones DII y DIII están intercambiadas (DII es realmente DIII y viceversa); y las derivaciones aVR y aVL también están intercambiadas (aVR es realmente aVL y viceversa). La forma de reconocimiento es porque la derivación DI muestra una onda P negativa. Cuando el ritmo no es sinusal

Figura 1. Derivaciones del plano frontal de un paciente masculino adulto y sano.



Adquiridas en la forma correcta (A), con inversión de los cables de los brazos (B), intercambio de los cables de las extremidades derechas (C), intercambio del cable de la pierna derecha con el brazo izquierdo (D), intercambio del cable de la pierna derecha con el brazo derecho y la pierna izquierda con el brazo izquierdo (E), e inversión de los cables de las extremidades izquierdas (F).

(v. gr. fibrilación auricular, ritmo de origen ventricular) es de utilidad comparar la polaridad del complejo QRS en DI, V5 y V6, que debe ser bastante similar. Si la polaridad en DI es opuesta a la polaridad en V5 y V6 se debe sospechar el intercambio de cables. El principal diagnóstico diferencial se debe establecer con la dextrocardia. En el error en la técnica de registro, la progresión de la onda R en las derivaciones precordiales será normal, mientras que en la dextrocardia se observa una disminución progresiva en la amplitud de la onda R de V1 a V6. Otros diagnósticos diferenciales son el infarto de miocardio antiguo de la región lateral del ventrículo izquierdo (onda Q en DI) y un ritmo ectópico originado en la aurícula izquierda (onda P negativa en DI).

b) Colocación errónea del cable de la pierna derecha
Cuando el cable de la pierna derecha (indiferente) se coloca en otra extremidad, el electrocardiograma se altera en forma sensible, tanto en la morfología como en la amplitud de los complejos.⁷ El rasgo distintivo de esta alteración consiste en que alguna de las derivaciones bipolares (DI, DII o DIII) mostrará una línea prácticamente isoeletrica dependiendo del error. Existen tres posibilidades de error: intercambio de los cables de las extremidades derechas, intercambio de los cables de la pierna derecha y brazo izquierdo e intercambio de los cables de brazos y pierna (ambos).

c) Intercambio de los cables de brazo y pierna derechos (Figura 1 C)

La derivación DIII no se modifica. La derivación DI es la imagen en espejo de la derivación DIII. Se registra una línea isoeletrica en la derivación DII como resultado de la colocación del cable del brazo derecho en la pierna derecha. Por definición, la derivación DII registra la diferencia de potencial entre la pierna izquierda y el brazo derecho. Dado que el cable del brazo derecho se encuentra realmente en la pierna derecha, la derivación DII estará registrando la diferencia de potencial entre las piernas, en cuyo caso es cero. Obsérvese que las derivaciones aVR y aVF muestran complejos de morfología y amplitud de voltaje muy similares.

d) Intercambio de los cables de la pierna derecha y brazo izquierdo (Figura 1 D)

La derivación DII no se modifica. La derivación DI es realmente la derivación DII. Se registra una línea isoeletrica en DIII como resultado de la colocación del cable del brazo izquierdo en la pierna derecha. La derivación DIII consiste en el registro de la diferen-

cia de potencial entre la pierna izquierda y el brazo izquierdo. Ahora, como resultado del intercambio de los cables, el electrodo del brazo izquierdo al estar situado en la posición anatómica de la pierna derecha determina que no se registre diferencia de potencial en la derivación DIII. Nótese la similitud en la morfología y amplitud de voltaje en las derivaciones aVL y aVF.

e) Intercambio de los cables de los brazos y piernas (Figura 1 E)

Obsérvese que las derivaciones DII, DII y aVF son iguales entre ellas y se registra una línea isoeletrica en la derivación DI. Dado que los electrodos que conforman la derivación DI están erróneamente colocados en las piernas, se registrará una línea isoeletrica al no existir diferencia de potencial entre éstas. La morfología y amplitud de voltaje de las derivaciones aVR y aVL son similares.

Diagnóstico diferencial

El tipo de error relacionado con el intercambio del electrodo indiferente (pierna derecha) es de fácil reconocimiento dado que, como fue señalado, determina el registro de una línea isoeletrica en alguna de las derivaciones bipolares. No obstante, este tipo de error puede confundirse con un electrocardiograma aparentemente normal, pero con bajo voltaje generalizado, con una dextrocardia, desviación del eje eléctrico de QRS y bloqueos fasciculares.

f) Intercambio de los cables de brazo izquierdo y pierna izquierda (Figura 1 F)

Este error es de muy difícil reconocimiento, sobre todo si no se dispone de otro electrocardiograma adquirido correctamente para su comparación.⁸ La derivación aVR no cambia. Las derivaciones DI y DII están intercambiadas (DI es realmente DII y viceversa). La derivación DIII está invertida (es su imagen en espejo). Las derivaciones aVL y aVF están intercambiadas (aVL es realmente aVF y viceversa). Se debe sospechar este error cuando en presencia de ritmo sinusal la amplitud de voltaje de la onda P en DI es mayor que en DII.

Validación de las fórmulas matemáticas citadas anteriormente

No obstante el error en la técnica de registro se puede comprobar la validez de la Ley de Einthoven. Asimismo, la obtención de las derivaciones unipolares a partir de las estándar continúa siendo correcta y la suma de las derivaciones unipolares resulta en un valor de cero.

Modificaciones en las derivaciones precordiales

En la Figura 2 se muestran las derivaciones precordiales del mismo paciente siguiendo el formato descrito anteriormente. Cuando el error en la técnica no involucra al electrodo indiferente (pierna derecha), la modificación de la amplitud de voltaje en las derivaciones precordiales es mínimo o nulo (B y F). Cuando el error incluye al electrodo indiferente se modifica la amplitud de voltaje de las derivaciones precordiales, particularmente V1, V5 y V6 (C, D y E).

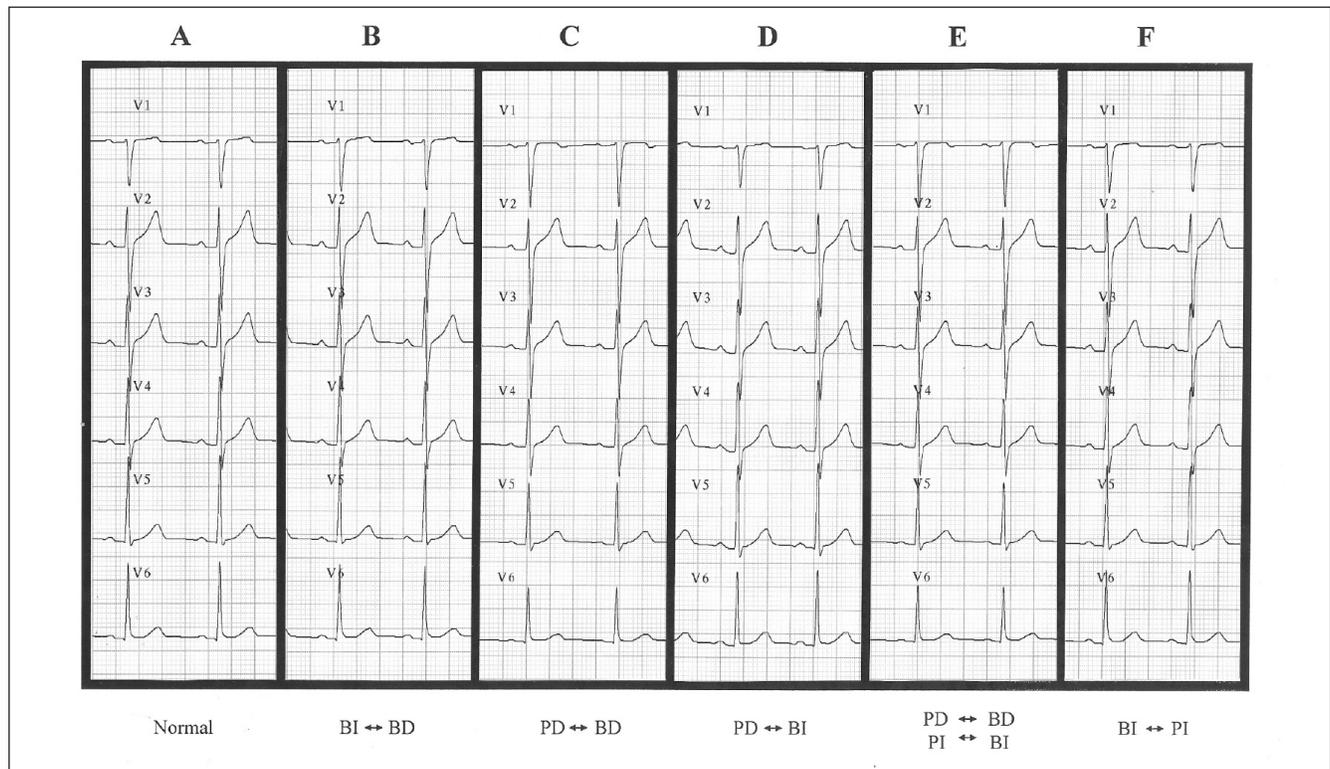
Discusión

Los cables de las extremidades superiores se colocan en la cara ventral de los antebrazos por arriba de la muñeca; los cables de las extremidades inferiores se sitúan sobre la tibia por arriba de los tobillos. Se sabe que para el brazo izquierdo, la colocación del cable en una situación más proximal (codo o brazo) puede modificar la amplitud de los complejos electrocardiográficos, sobre todo en las derivaciones que están

relacionadas con dicha extremidad (DI, DIII y aVL).⁹ En lo que respecta a las extremidades inferiores, la colocación del electrodo en un sitio más proximal (rodilla o muslo) no reviste tal importancia. De hecho, el cable de la pierna derecha (indiferente) puede ser colocado en cualquier parte del cuerpo y no afectará la calidad de registro, con la condición que no sea intercambiado con el cable de otra extremidad. Cuando el electrodo indiferente se coloca en otra extremidad, la central terminal de Wilson ya no tendrá un valor de cero, lo que afectará a las derivaciones unipolares (de las extremidades y precordiales). La modificación en la amplitud de voltaje en las derivaciones precordiales cuando el electrodo indiferente es colocado en otra extremidad no parece tener importancia clínica, pero debe tenerse en cuenta antes de emitir el diagnóstico de hipertrofia ventricular izquierda basado en criterios de voltaje.

Anteriormente, en los electrocardiógrafos de un solo canal, el estudio se obtenía en forma secuencial moviendo la perilla de una derivación a la siguiente.

Figura 2. Derivaciones del plano precordial de un paciente masculino adulto y sano.



Adquiridas en la forma correcta (A), con inversión de los cables de los brazos (B), intercambio de los cables de las extremidades derechas (C), intercambio del cable de la pierna derecha con el brazo izquierdo (D), intercambio del cable de la pierna derecha con el brazo derecho y la pierna izquierda con el brazo izquierdo (E), e inversión de los cables de las extremidades izquierdas (F).

En los equipos actuales –de tres, seis o doce canales– el estudio se adquiere en forma simultánea mediante la medición de ocho señales de información independientes: dos derivaciones bipolares y seis derivaciones unipolares precordiales.¹⁰ Mediante algoritmos matemáticos, la tercera derivación bipolar y las derivaciones aumentadas de las extremidades son calculadas a partir de ellas. Esta es la razón por la que una extremidad (por ejemplo, brazo derecho) pueda corresponder al polo positivo de una derivación (aVR) y al polo negativo de otra (DII) en forma simultánea.

Con frecuencia se suele citar que la Ley de Einthoven es de utilidad para valorar si el electrocardiograma fue adquirido en la forma correcta. Como se podrá comprobar, la Ley de Einthoven será válida aun cuando exista un error en la técnica de registro. Entonces, ¿en qué circunstancia es útil la Ley de Einthoven? Cuando los trazos individuales de las derivaciones son recortados y se altera su orden al ser montados en un papel. También es útil comprobar que la obtención de las derivaciones unipolares de las extremidades continúa siendo válida a pesar del error en la técnica.

Conclusiones

Las siguientes alteraciones sugieren o son características de algún error en la técnica de registro relacionado con los cables de las extremidades: onda P negativa en DI, onda P positiva en aVR, onda P de mayor amplitud en DI que en DII, similitud en amplitud de voltaje y morfología en dos derivaciones unipolares de las extremidades, y registro de una línea isoeletrica en alguna derivación bipolar.

El personal responsable de la adquisición del electrocardiograma debe recibir entrenamiento para evitar el error en la técnica de registro y debe conocer los lineamientos para su identificación.

Referencias bibliográficas:

1. Wiggers C. Willem Einthoven. *Circulation Research* 1961; IX:225-234.
2. Pozas G. Implementación de una técnica estándar para la adquisición del electrocardiograma. *Revista Avances* 2010;20:52-56.
3. Batcharov V, Malik M, Camm J. Incorrect electrode cable connection during electrocardiographic recording. *Europace* 2007;9:1081-1090.
4. Rautaharju P. A hundred years of progress in electrocardiography: Early contributions from Waller to Wilson. *Canadian Journal of Cardiology* 1987;3:362-374.

5. Kossmann Ch. Unipolar electrocardiography of Wilson: a half century later. *Am Heart J* 1985;110:901-903.
6. Kligfield P. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram. Part I: the electrocardiogram and its technology. *Heart Rhythm* 2007;4:394-412.
7. Haisty W, Pahlm O, et al. Recognition of electrocardiographic misplacement involving the ground (right leg) electrode. *Am J Cardiol* 1993;71:1490-1495.
8. Abdollah H, Milliken J. Recognition of electrocardiographic left arm / left leg reversal. *Am J Cardiol* 1997;80:1247-1249.
9. Pahlm O, Haisty W, Edenbrandt L, et al. Evaluation of changing in standard ECG QRS waveforms recorded from proximal limb lead electrodes. *Am J Cardiol* 1992;69:253-257.
10. A Scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram. *Circulation* 2007;115:1306-1324.

Correspondencia:

Dr. Gerardo Pozas Garza

Email: gpozas@itesm.mx