

Electrocardiograma de coordenadas polares: una representación gráfica diferente para estudiar los vectores e interpretación de ECG

Mario Mc Loughlin, MD

**Fundación Centro Diagnóstico Nuclear
Buenos Aires, Argentina
mario.mcloughlin@gmail.com**

Resumen

La actividad eléctrica del corazón se puede presentar utilizando diferentes métodos, y el estándar es el ECG, en el que los cambios en la amplitud eléctrica en un eje se escriben en un papel que se mueve a una velocidad conocida. La vectorcardiografía utiliza coordenadas cartesianas (rectangulares) y traza puntos definidos por los valores simultáneos en los ejes "x" e "y". En este artículo, se presenta una nueva visualización gráfica de la actividad eléctrica del corazón basada en coordenadas polares. En coordenadas polares, el punto se define por la magnitud del vector (amplitud eléctrica) y el ángulo en relación con los ejes "x" o "y" o "z", y todas las derivaciones pueden superponerse. La información utilizada por este método es la misma que para el ECG estándar simultáneo de 12 derivaciones y no necesita cables adicionales ni mano de obra técnica. Las coordenadas polares son muy buenas para comparar el desajuste de tiempo / amplitud en diferentes derivaciones, para detectar el eje cardíaco y explorar la conducción de impulsos. Además, facilita el aprendizaje de la base física del ECG. Este método se diferencia de la polarcardiografía clásica de Dower porque utiliza las derivaciones clásicas en lugar de las derivaciones "X", "Y" y "Z", y no aplica trazados de magnitud.

Introducción

Un nuevo método de manipulación de los registros del ECG estándar de 12 derivaciones permite producir nuevas derivaciones y una representación gráfica de la actividad eléctrica cardíaca¹⁻⁴. Además de las derivaciones precordiales bipolares, hemos desarrollado una nueva representación comparativa de la actividad cardíaca amplitud / tiempo. Esta nueva representación puede ayudar a clarificar los fundamentos del ECG a quienes deseen comprender mejor los fundamentos de este método.

En este artículo presentamos el ECG estándar de 12 derivaciones simultáneas (S12LECG) utilizando coordenadas polares en pacientes normales y en algunos pacientes con anomalías electrocardiográficas. Este método es similar al ECG tradicional de 12 derivaciones, pero permite superponer los trazados simultáneamente, lo que permite comparar las derivaciones en la dimensión tiempo/amplitud. Aunque algunos dispositivos de vectorcardiograma hacen esto, las coordenadas polares tienen un borde externo más largo en ondas positivas y las alteraciones de la conducción se muestran mejor.

Este método difiere de la polarcardiografía clásica de Dower, ⁵⁻⁷ en que se utiliza la visualización de derivaciones simultáneas en lugar del vector espacial unificado de magnitud.

Métodos

Principios de la representación gráfica de los fenómenos eléctricos cardíacos por medio de coordenadas polares

Incluso cuando pueda ser repetitivo, un breve repaso de las explicaciones trigonométricas será útil para una adecuada comprensión del tema.

Existen muchas relaciones matemáticas que permiten calcular otros valores desconocidos utilizando datos ya conocido. La mayor parte de nuestros cálculos se basarán en el triángulo y la circunferencia.

En las coordenadas cartesianas (rectangulares, con eje "x" y eje "y"), un punto se define por su valor en los ejes "x" e "y" (los valores de los puntos muestran la distancia y la altura de su posición). En coordenadas polares, el punto se define por la magnitud del vector y el ángulo en relación con los ejes "x" o "y". Las coordenadas polares están relacionadas con funciones trigonométricas y el teorema de Pitágoras (Figura 1)

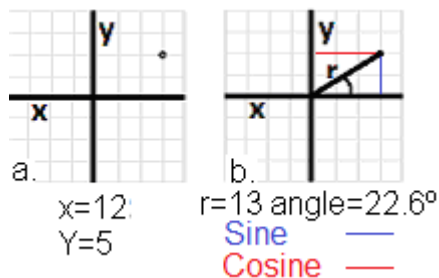


Figura 1: a. En coordenadas cartesianas, el punto está ubicado en $x = 12$ e $y = 5$. b. En la misma relación mostrada como coordenadas polares: el valor r (el vector) es 13 y el ángulo es $22,6^\circ$. Entonces, ambos gráficos muestran la misma información pero de manera diferente.

Calcular el vector a partir de coordenadas cartesianas es muy fácil, y es la base del teorema de Pitágoras $= \sqrt{r^2} = \sqrt{(x^2+y^2)}$. El vector es la hipotenusa del triángulo formado por los valores de "x" e "y". Entonces, $(12*12)+(5*5) = 144+25 = 169 \implies \sqrt{169} = 13$. La hipotenusa (el vector "r") vale 13, el cateto mayor (que será el coseno) vale 12 y el cateto menor (que será el seno) vale 5 (Figura 1).

Por otra parte, la relación entre hipotenusa y los catetos de un triángulo rectángulo proporciona el resto de la información necesaria para calcular las coordenadas polares. Si se divide el cateto menor por la hipotenusa se obtiene una relación que se denomina "seno" del ángulo y la división del cateto mayor por la hipotenusa da como resultado el coseno (o sea la relación que existe entre el

cateto mayor y la hipotenusa). Estas relaciones son sumamente útiles para mediciones de alturas y distancias en distintas ciencias.

En este caso, $12/13 = 0.9230$ y $5/13$ es 0.3842 . Usando funciones trigonométricas provistas por programas como el "Excel" se convierte el seno y el coseno en los grados del ángulo (funciones arcoseno {número} y arcocoseno {número}). En nuestro ejemplo, el ángulo de $22,6^\circ$. Entonces, en el ejemplo de la figura 1, la magnitud del vector es 13 y el ángulo $22,6^\circ$.

Cuando un ángulo es de 0° , la hipotenusa y el cateto mayor son iguales y por lo tanto la división entre ambos es igual a 1 y, por ende, el coseno de ese ángulo es 1. En el ángulo de 90° los valores cambian completamente y el coseno pasa a valer 0 ya que no hay cateto mayor. La figura 2 explica esto usando un reloj para simular un círculo (o, si se le pusiera un papel que se mueve como en el ECG, se obtendría una onda "sinusoidal"), Cuando la aguja del reloj está en la hora 3, el seno es 0 y el coseno es 1. En la hora 6 el coseno disminuye a cero y el seno crece a 1 (o, "-1" según el signo que se ponga en el gráfico). En la hora 9 el coseno es -1 y el seno 0 y, a las 12, el coseno es 0 y el seno es 1 (o, "-1" según el signo que se ponga en el gráfico) (Figura 2).

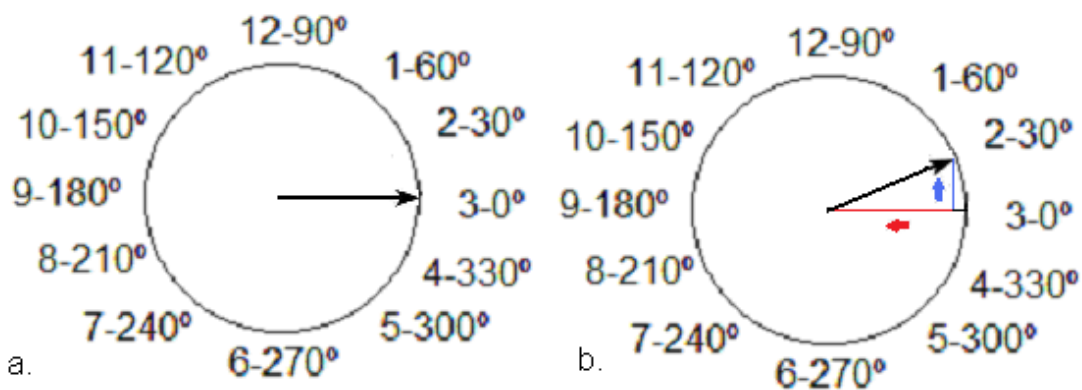


Figura 2: a. A las tres horas, el coseno es 1 y el seno cero. B. El vector se mueve y el seno aumenta y el coseno disminuye (ahora el seno es 0.5 y el coseno es 0.866).

Las coordenadas polares se pueden representar mediante un gráfico similar a un reloj que proporciona el marco de referencia para dos variables: tiempo en milisegundos (circunferencia) y actividad eléctrica en milivoltios (radio). El tiempo avanza en el sentido de las agujas del reloj y el voltaje positivo aumenta hacia el borde exterior del reloj mientras se vuelve negativo hacia el centro del objetivo. En este reloj se puede representar la actividad eléctrica de cualquier derivación electrocardiográfica (Figura 3)

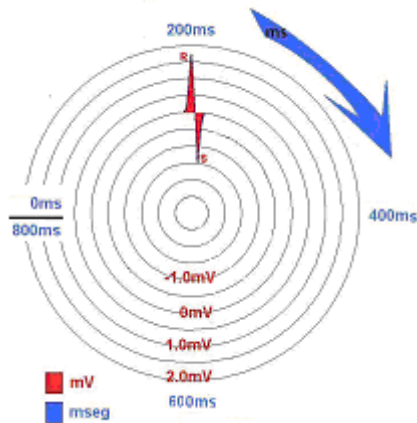


Figura 3: Amplitud eléctrica en milivoltios (rojo) y tiempo en milisegundos (azul). El tiempo pasa en el sentido de las agujas del reloj. La amplitud se muestra desde la línea de 0 mV. Las deflexiones negativas se mueven hacia el centro del reloj y las positivas hacia el borde. Los cambios en la amplitud eléctrica se dibujan en la esfera del reloj de la misma manera en que lo hacen en el papel electrocardiográfico (Considerando a 0mV como la línea isoeletrica del ECG).

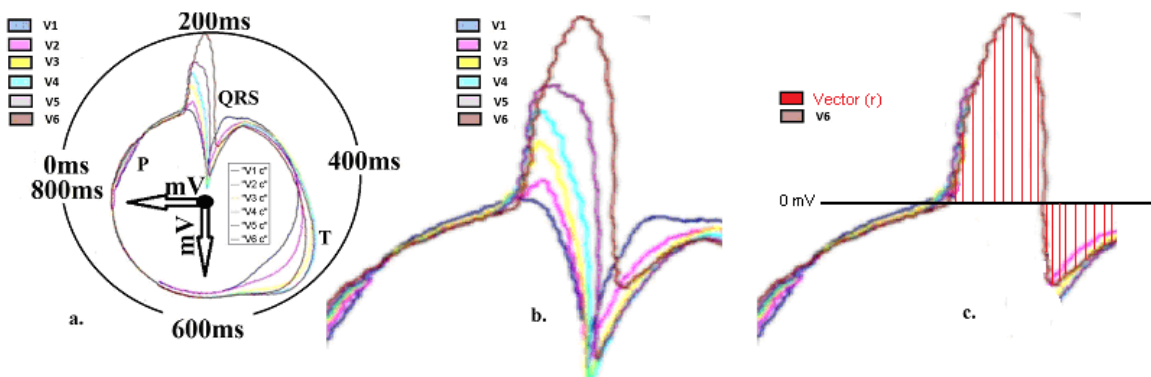
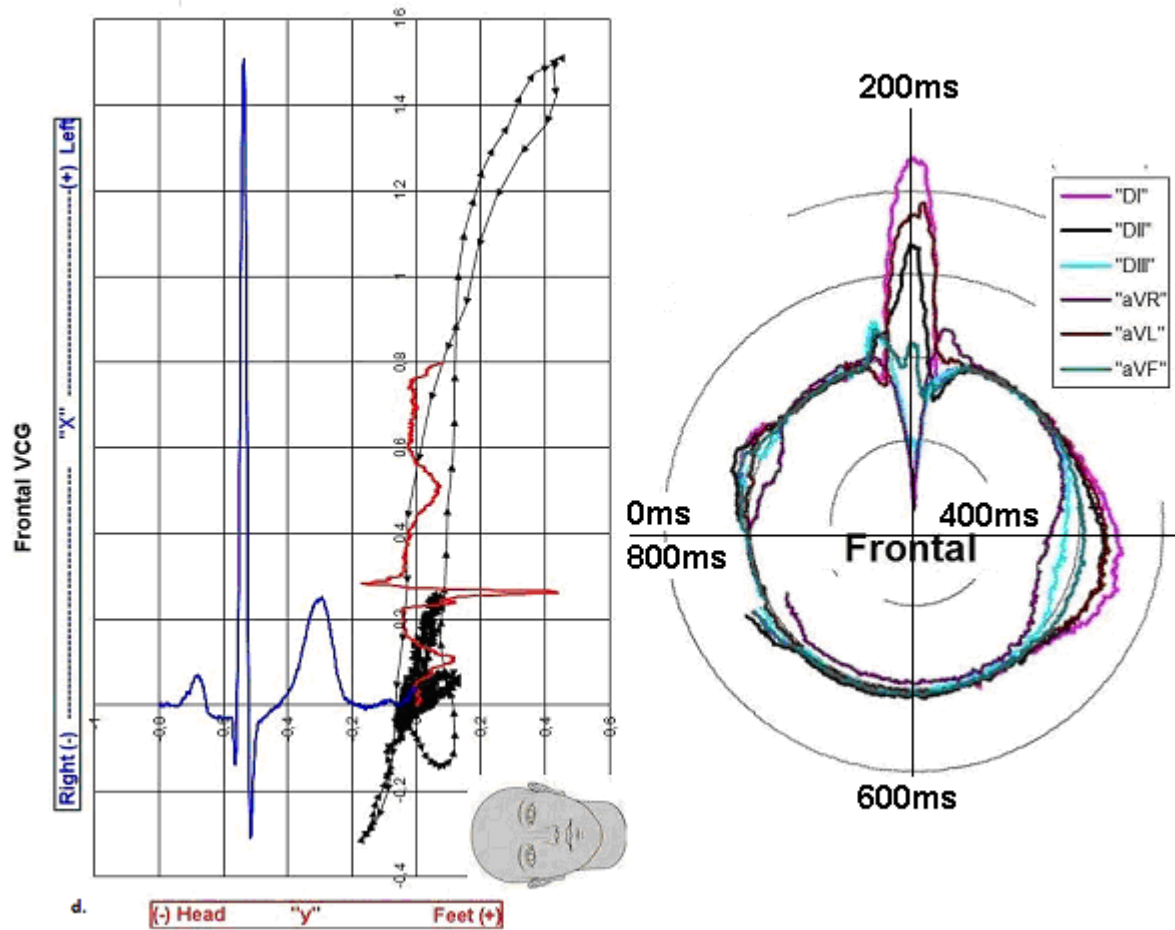


Figura 4: Paciente normal. Plano transversal. La circunferencia de las coordenadas polares muestra el tiempo y la amplitud representados por elevaciones y depresiones de la línea de 0 mV. a. Circunferencia de 800 milisegundos que muestra la superposición de P, QRS y T de V1 a V6. b. QRS de derivaciones precordiales amplificado. c. Gráfico que muestra cómo el vector y la pendiente cambian en el tiempo. Obviamente, todas las pistas deben obtenerse simultáneamente.

Afortunadamente, se pueden superponer varias derivaciones en las coordenadas polares, mostrando claramente el desajuste de tiempo / amplitud. Como en un reloj, cuando la actividad eléctrica de una derivación es posterior en el tiempo, aparecerá más tarde en el sentido de las agujas del reloj.

Diferencias entre vectorcardiograma y polarcardiograma

Mientras que el vectorcardiograma muestra la trayectoria del vector mediante una serie de flechas que conectan el movimiento de la punta del vector, generando un bucle, las coordenadas polares muestran la punta del vector en relación con la línea isoeletrica, y pueden ser representadas por un vector (Vector Magnitud (M)) o superponiendo más de una derivación (Figura 5).



. . Figura 5: Paciente normal. Plano frontal. d. vectorcardiograma (VCG). La derivación "X" en azul y en rojo la "Y". e. Coordenadas polares (CP) en el plano frontal que muestran la relación en tiempo / amplitud entre las diferentes derivaciones frontales. Mientras que el VCG se dibuja conectando la punta de los vectores instantáneos, las CP facilitan las comparaciones de la amplitud / tiempo del vector en relación con las otras derivaciones. Esto es sumamente conveniente en el estudio de los trastornos de conducción.

Diseño de estudio actual

Estudio descriptivo de la actividad eléctrica cardíaca mediante el uso de coordenadas polares.

Material y métodos

Se utilizaron registros electrocardiográficos obtenidos de Physionet PTB DIAGNOSTIC ECG DATABASE ([Physikalisch-Technische Bundesanstalt \(PTB\)](http://www.physionet.org), Instituto Nacional de Metrología de Alemania) ⁸⁻⁹ Esta base de datos tiene 549 ECG de alta resolución, de 15 derivaciones (12 derivaciones estándar junto con

las derivaciones de Frank XYZ). Hay disponibles de uno a cinco registros de ECG para cada uno de los 294 sujetos (52 controles sanos).

Datos

De la base de datos Physionet, se utilizó la breve descripción de los datos clínicos del paciente, los trazados gráficos del ECG estándar y las derivaciones "x", "y" y "z", y los datos numéricos de voltaje / tiempo simultáneo de cada derivación. Normalmente se utilizó un marco de tiempo total de 800 milisegundos, que incluyó la onda P, QRS y T. Excepcionalmente (en caso de bradicardia), se tomaron periodos de tiempo más largos. Como los datos utilizados eran de la base de datos Physionet, para facilitar la identificación de casos y permitir la reproducibilidad, no se modificó el orden ni el código de identificación del paciente de la base de datos. Además, para evitar confusiones, no se modificó la información de las historias clínicas. De esta forma, los datos originales de los pacientes pueden ser consultados por Internet:

<https://archive.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM> (PTB Diagnostic ECG Database (pbtodb))

De la base de datos Physionet, se utilizaron los archivos de datos (separados por comas) con voltajes que registran cada milisegundo. El método ha sido ampliamente explicado en otras publicaciones¹⁻⁴ Dada su posición a lo largo del tórax y su comparabilidad, decidimos utilizar los valores obtenidos en las derivaciones frontal y precordial para demostrar el desfase temporal de los fenómenos eléctricos. Comparado con un electrocardiógrafo convencional, el tiempo no está representado por la velocidad del papel sino por la velocidad angular de las manecillas del reloj en movimiento. El voltaje está representado por el tamaño de las agujas. El voltaje cero se encuentra entre el centro del reloj y su borde exterior, para representar adecuadamente las deflexiones positivas y negativas. Luego, el tiempo en milisegundos se representa en la circunferencia y la actividad eléctrica en milivoltios en el radio. El tiempo avanza en el sentido de las agujas del reloj y el voltaje aumenta positivamente hacia los anillos exteriores de la cara mientras que disminuye o se vuelve negativo hacia el centro del cuadrante (Figura 3)

En la esfera del reloj, desde el milisegundo cero, todas las derivaciones se pueden superponer de tal manera que se puedan comparar en tiempo y amplitud (Figura 4))

Resultados

Controles sanos

Los registros de 52 controles sanos de la base de datos Physionet se utilizaron para la comparación. En todos los casos fue posible obtener una representación gráfica adecuada en el reloj mediante el procedimiento descrito anteriormente en el apartado de métodos..

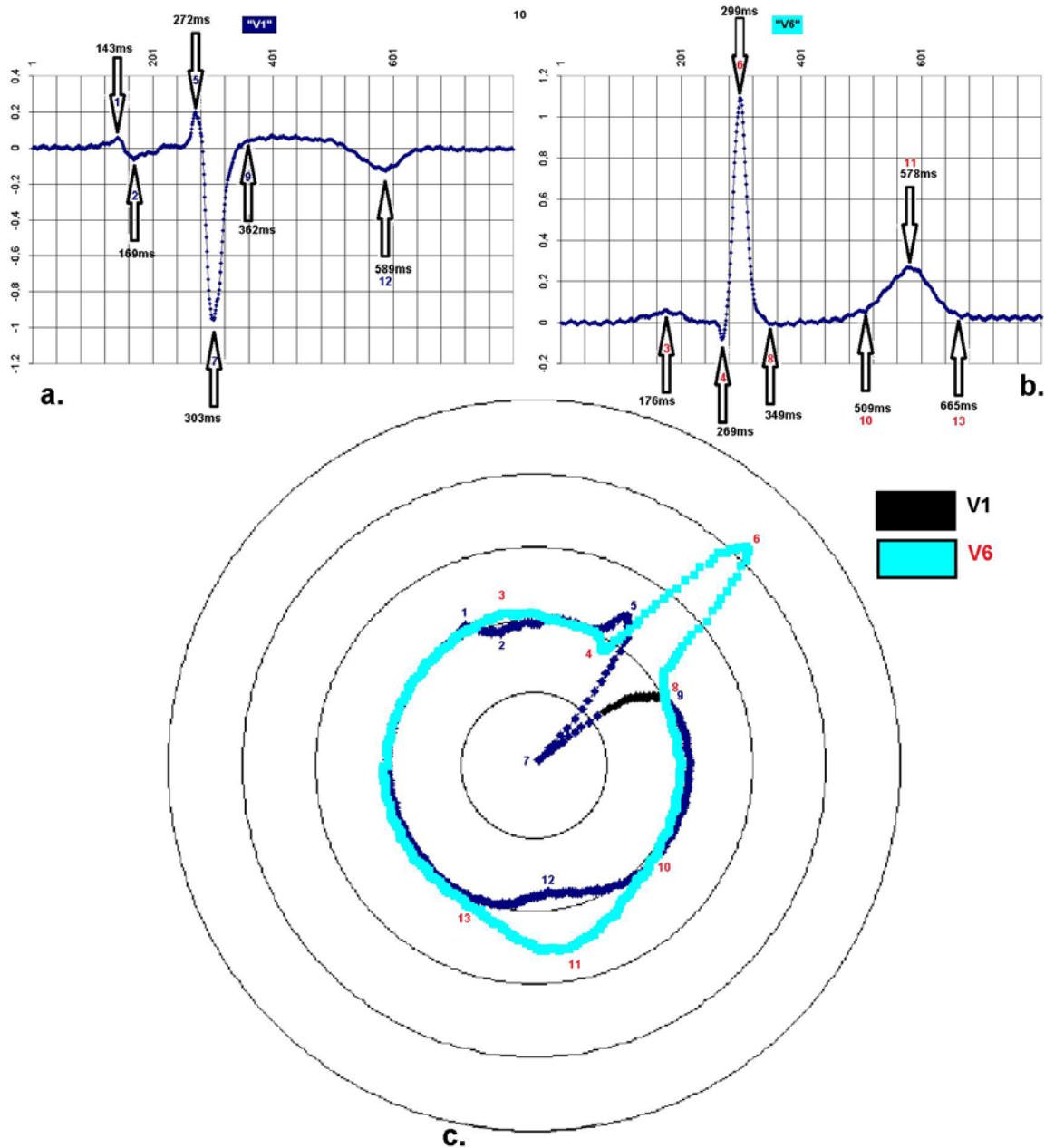


Figura 6: Control sano. a. Trazado de la derivación V1 del ECG estándar b. Trazado de la derivación V6 del ECG estándar; C. Coordenadas polares. Los picos de onda V1 están impresos en números azules y los de V6 en números

rojos. Se ve claramente que la onda P desarrolla su porción positiva y negativa en V1 antes de su pico en V6. Aunque la diferencia entre el pico de la "q" en V6 y el de la "r" en V1 es de solo 3 ms, el reloj permite detectar la diferencia. La deflexión intrínseca comienza en 272 ms en V1 y 299 ms en V6 (27 ms de diferencia), lo que refleja el tiempo que tarda la despolarización en alcanzar su pico en V6. Por otro lado, el pico de la onda T se ve en V6 11 ms antes que en V1, reflejando la diferencia en la repolarización entre las distintas zonas.

Como cabe esperar, al estudiar la progresión de la deflexión intrínseca en las derivaciones precordiales, el "reloj" muestra el retraso en la llegada del estímulo a los electrodos izquierdos. La Figura 6 muestra la superposición en tiempo y amplitud de V1 y V6 en un control sano. La deflexión intrínseca comienza en 272 ms en V1 y 299 ms en V6 (27 ms de diferencia), pero el pico de la onda T en V6 precede en 11 ms al pico de T en V1, reflejando los vectores de repolarización. Mostrando una sensibilidad extrema, en la esfera del reloj es posible detectar una diferencia de 3 milisegundos entre la onda "r" en V1 y la onda "q" en V6.

Aunque estas diferencias podrían sospecharse en el ECG convencional, son mucho más fáciles de apreciar en el reloj, e incluso se pueden detectar retrasos mínimos (Figura 6)

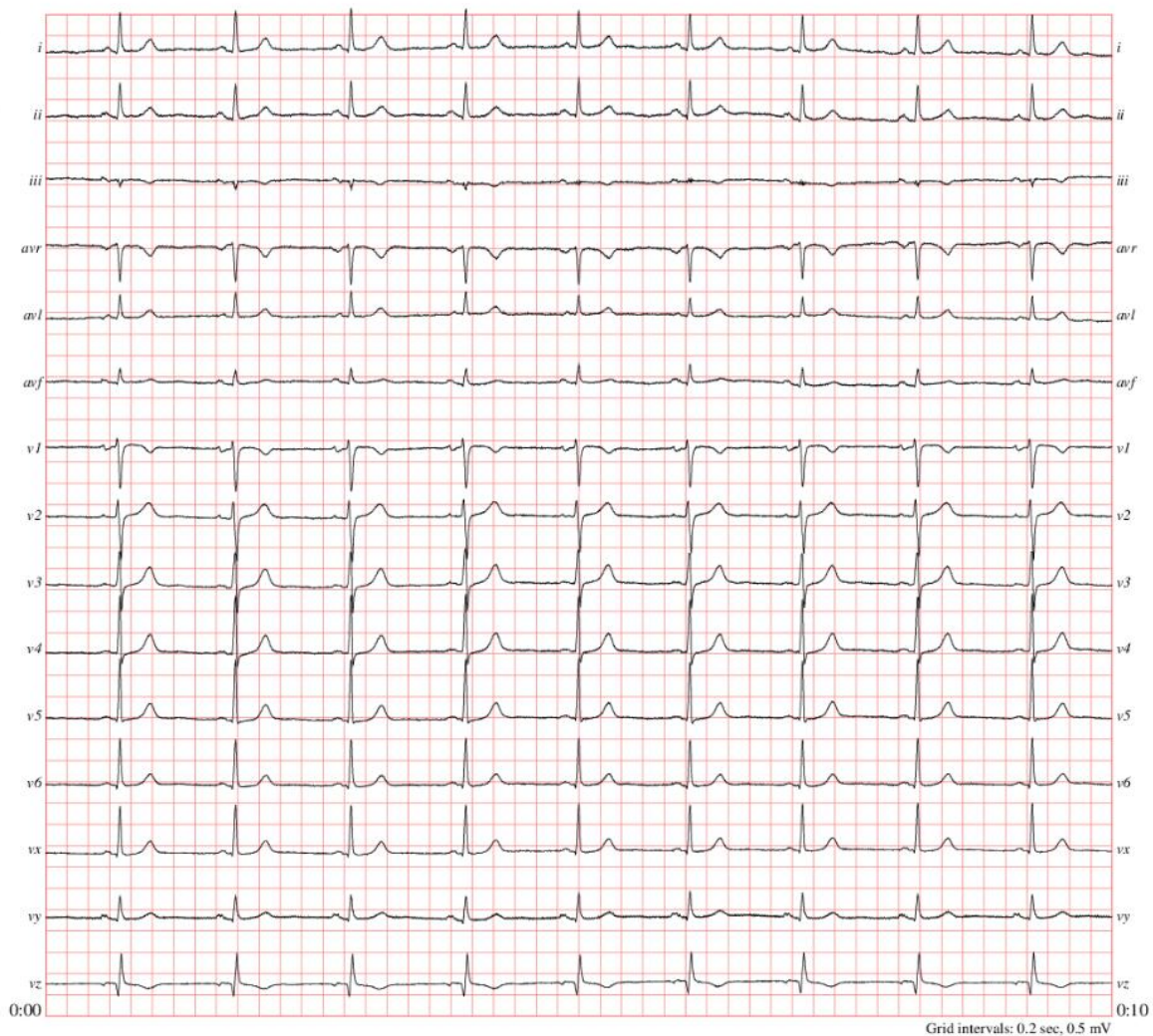


Figura 7: ECG Standard del paciente de la figura 6.

Es importante tener en cuenta que, para aclarar las diferencias, en la Figura 6, solo se trazaron dos derivaciones precordiales. Es posible superponer más derivaciones y hacer comparaciones entre varias derivaciones (Figura 8) o todas (Figuras 4 y 5). El mismo principio se aplica a las derivaciones frontales (Figura 5).

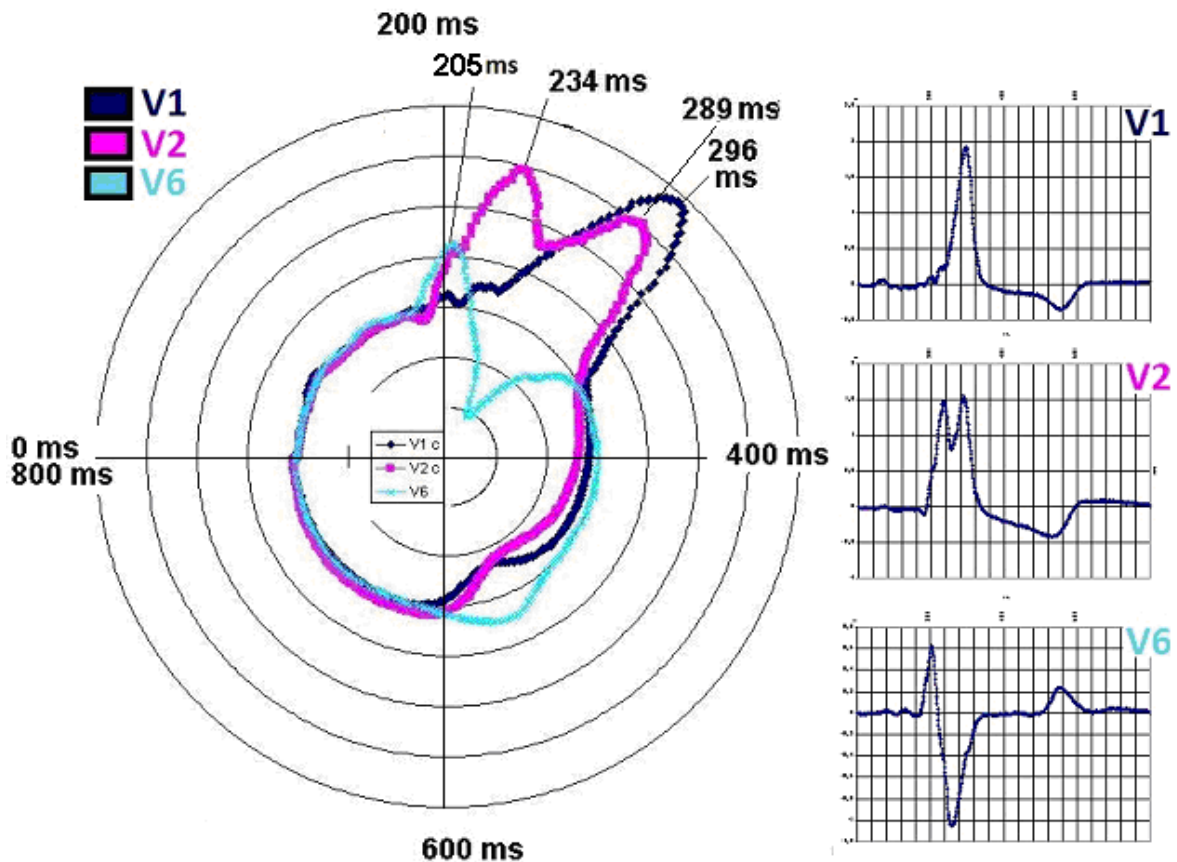


Figura 8: La superposición de 3 derivaciones precordiales muestra una primera parte, en coincidencia con la onda delta en V1, que representa la despolarización a través del tracto anómalo. En esta parte del QRS, el estímulo pasa primero a través de V6. En la segunda parte del QRS, las fuerzas de despolarización parecen seguir el patrón habitual de despolarización precordial. Además, la repolarización V6 es posterior a la repolarización V1 y V2 (onda T invertida). La figura del reloj parece demostrar dos ondas de despolarización independientes.

El desplazamiento en el tiempo de la deflexión intrínseca de la derivación V1 a V6 se muestra claramente en la Figura 4a, b y c. El tiempo hasta el pico R y la duración total del QRS también se muestra bien (Figura 4). Esta superposición permite comparar con precisión el comienzo y el final de cada onda de ECG, así como su amplitud relativa y variaciones. Cuando los registros se presentan en el mismo plano, la ocurrencia de cada fenómeno eléctrico en relación con otro es fácilmente evidente. Lo que sucede antes y después es fácilmente distinguible. En pacientes sanos, el reloj muestra que los QRS de V1 y V2 se superponen porque son similares en tiempo, amplitud y dirección, siendo la onda R en V2 un poco más ancha y el QRS un poco posterior en el tiempo a V1 (Figura 9). La superposición de V6 sobre V1 muestra el retraso de la llegada del estímulo eléctrico a V6, pero el pico de repolarización ocurre primero en V6 y luego en V1 (Figura 9)

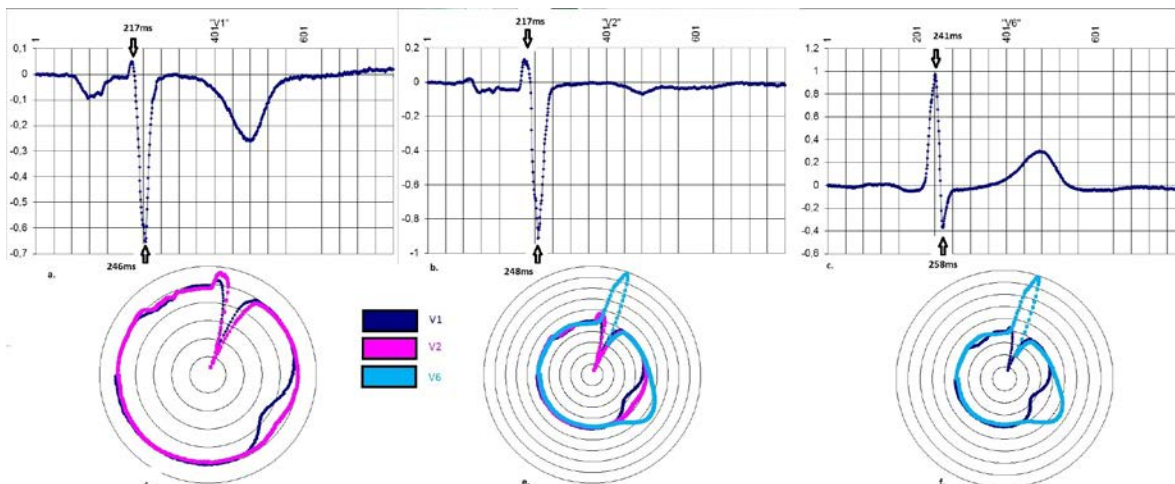


Figura 9. Paciente sano. a. V1; b. V2; c. V6; d. V1 y V2 en el reloj; e. V1, V2 y V6 en el reloj; f. V1 y V6 en el reloj. Las ondas QRS en V1 y V2 son similares en tiempo, amplitud y dirección, siendo en V2 la onda R un poco más ancha y el QRS un poco retardado (El pico de la onda S en V2 ocurre 2 ms después que el pico de V1). Estas medidas concuerdan con la información de que, en pacientes normales, el vector de despolarización inicial va de V1 a V2 (*de derecha a izquierda en la derivación bipolar precordial restringida V2-V1*)³

La superposición de V1 y V2 simula la figura de un "pac-man" con una boca estrecha y hay una pequeña onda r en ambas derivaciones. La deflexión intrínseca de V6 ocurre 24 ms más tarde que la de V1. El pico de la onda T en V1 ocurre a 482 ms mientras que en V6 se ve a 478 ms desde el segundo cero. Los cambios en la relación de repolarización entre v1 y v2 y V6 podrían indicar cambios isquémicos o hipertróficos⁴

Anormalidades de conducción

Las coordenadas polares son especialmente útiles en los trastornos de conducción pues muestran claramente los retrasos (Figura 10). En pacientes con patrón de bloqueo completo de rama izquierda (BCRI), observamos que los QRS V1 y V2 son casi iguales en tiempo y voltaje. La superposición de V2 sobre V1 produce una imagen de "pac-man" de boca ancha. La superposición del QRS de V6 y V1 muestra la onda R retardada de V6 con la típica "meseta" media del QRS. Este patrón estuvo presente en muchos pacientes con otras patologías asociadas a esta alteración de la conducción (Figuras 9 y 10).

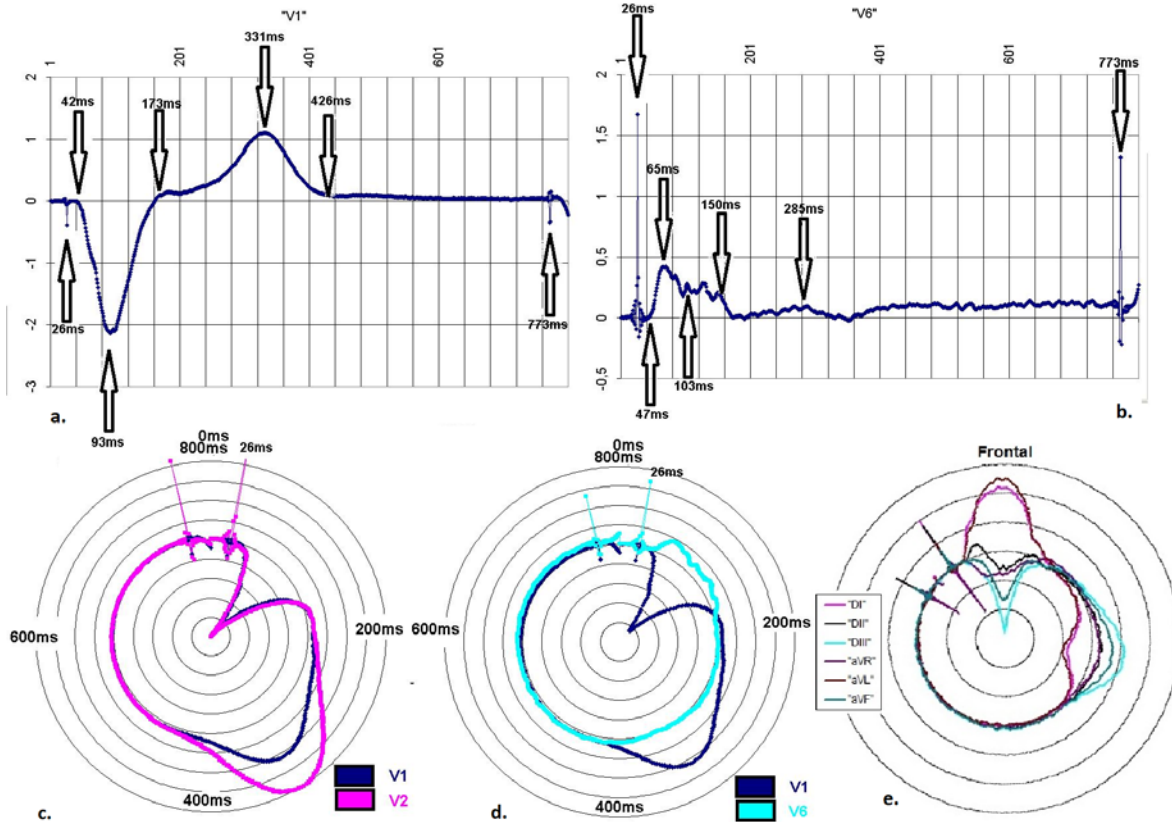


Figura 10: Latido de marcapasos. a. Derivación V1; b. Derivación V6; c. V1 y V2 en el reloj. d. V1 y V6 en el reloj; e. Reloj frontal. El pico del marcapasos se produce a los 26 ms en todas las derivaciones. La deflexión intrínscicoide y la amplitud del QRS en V1 y V2 son prácticamente iguales, dibujando una figura de boca ancha en "pac-mac" con un QRS de 131 ms y deflexión intrínseca a 47ms (16 ms después del estímulo del marcapasos). En la derivación V6, la amplitud del QRS es baja y la onda r se produce a 65 ms, seguida de una meseta prolongada. La deflexión intrínscicoide en V6 se ve a 103 ms (56 ms después de la misma onda en V1). La onda T en V2 es mayor que en V1 y ambas están invertidas en relación con el QS. El reloj frontal muestra la apariencia típica de BCRI.

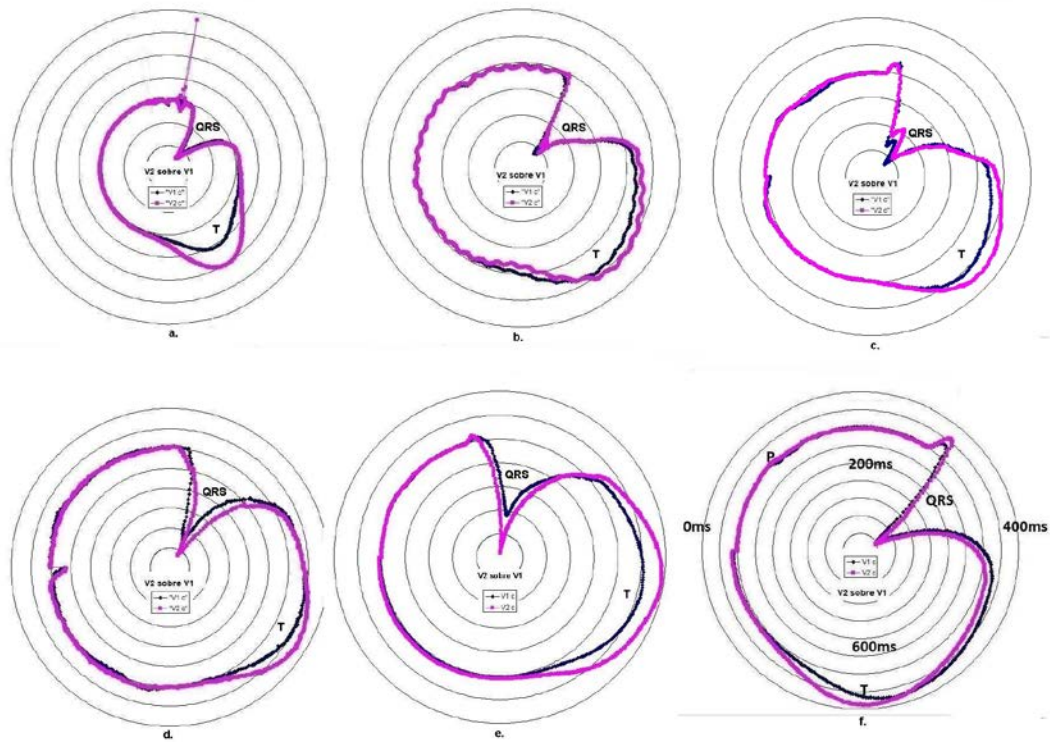


Figura 11: Superposición de V1 y V2. a. Paciente con IAM posterolateral y marcapasos; b. Paciente con IAM anteroseptal y QRS ancho; c. Paciente con IAM anteroseptal y QRS ancho; d. Paciente con IAM inferior y QRS ancho; e. Paciente con BRI; f. Paciente con QRS ancho y PR largo.

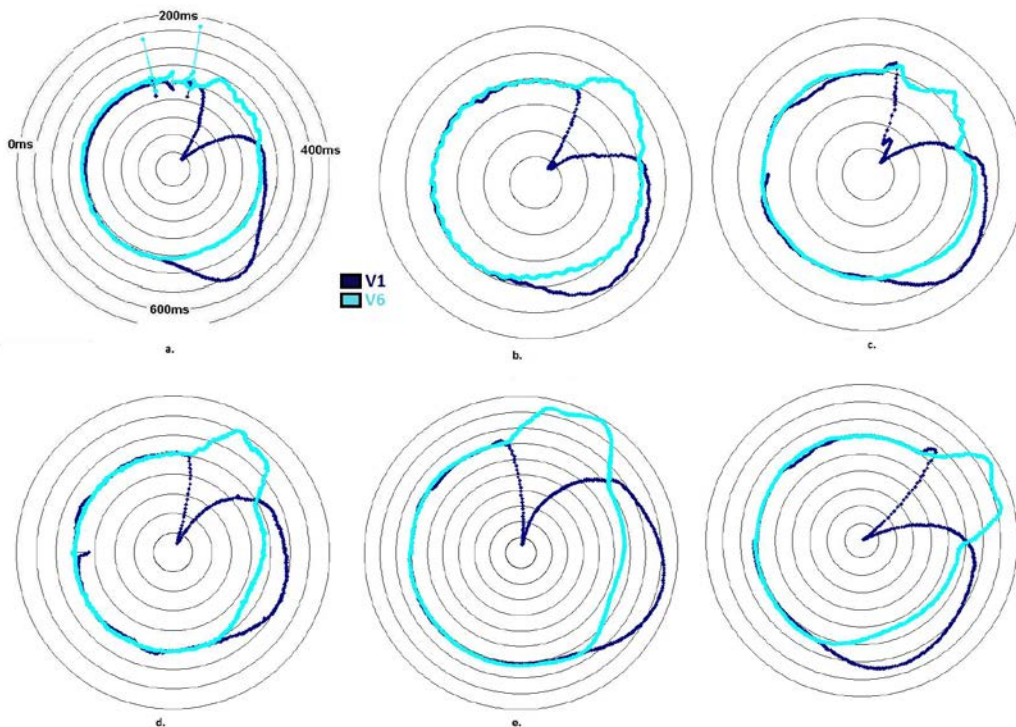


Figura 12: Superposición de V1 y V6 en los mismos pacientes de la Figura 11. Se observa el mismo patrón: QRS ancho, retraso de la deflexión intrínseca y meseta V6 de la parte media del QRS. Las imágenes permiten calcular que la onda T bipolar V6-V1 será negativa⁴

Por otro lado, en pacientes con patrón de bloqueo completo de rama derecha (BCRD), hay similitud entre V1 y V2 en la primera porción del QRS con un retraso significativo y un incremento de amplitud de las fuerzas finales del QRS de V1. Además, la diferencia de tiempo normal entre la deflexión intrínseca de V6 y V1 disminuye notablemente (Figuras 13 y 14).

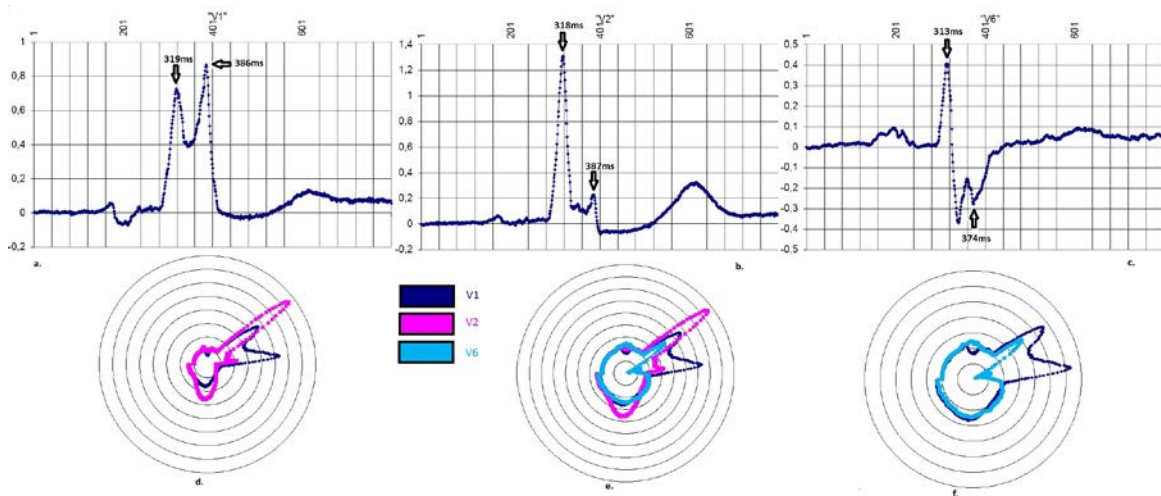


Figura 13: Paciente con patrón BCRD. a. V1; b. V2; c. V6; d. Reloj con V1 y V2; e. Reloj con V1, V2 y V6; f. Reloj con V1 y V6. El reloj en “e” muestra que la deflexión intrínseca de V6 precede a la misma onda en V1 y V2 en 5 ms, lo que sugiere que el impulso eléctrico pasa por V6 antes que por las derivaciones precordiales derechas.

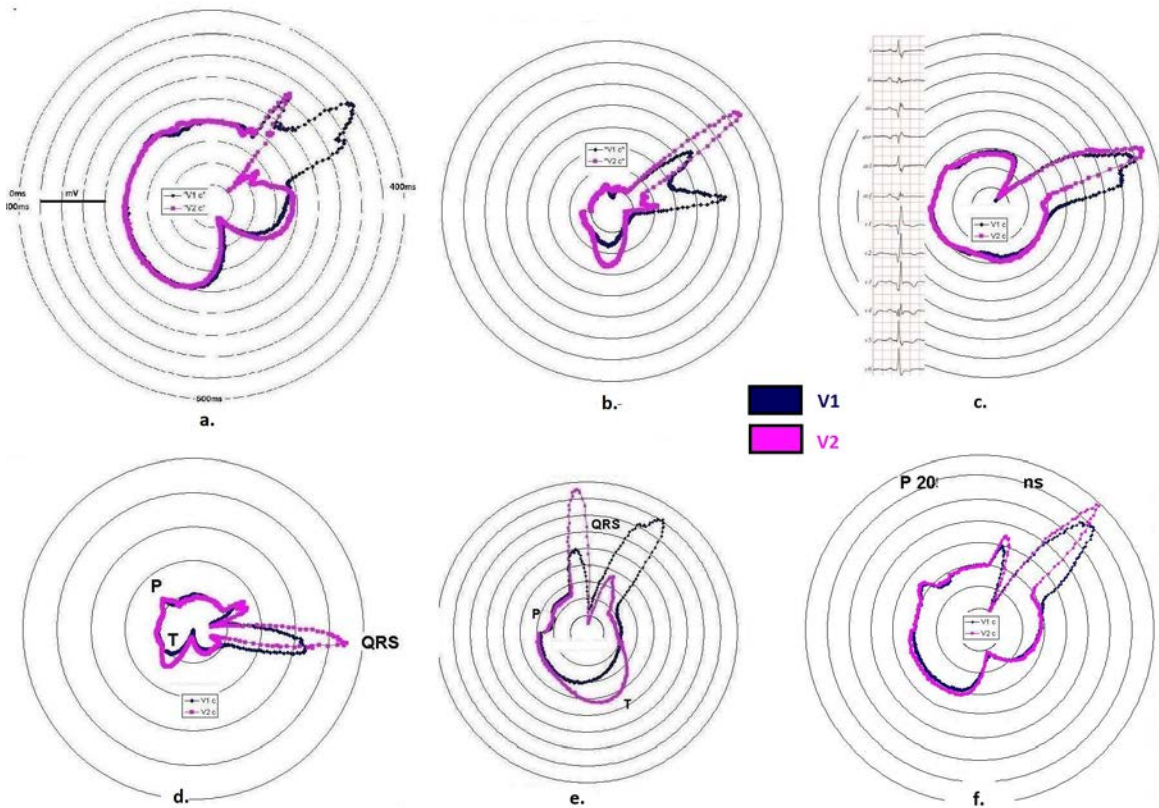
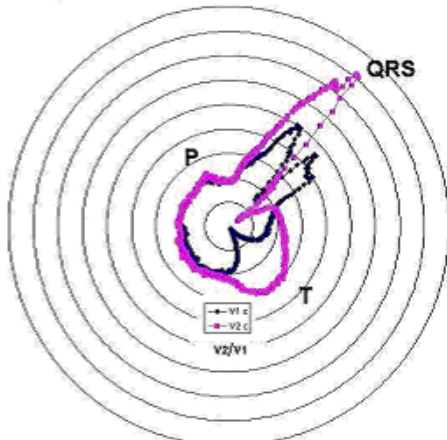


Figura 14: V1 y V2 en seis pacientes con patrón BCRD. Las fuerzas iniciales del QRS son similares, con retraso y gran amplitud de las fuerzas finales del QRS en V1 en relación con V2.

Síndromes de preexcitación

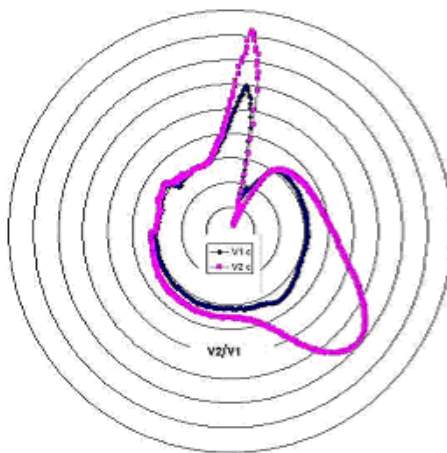
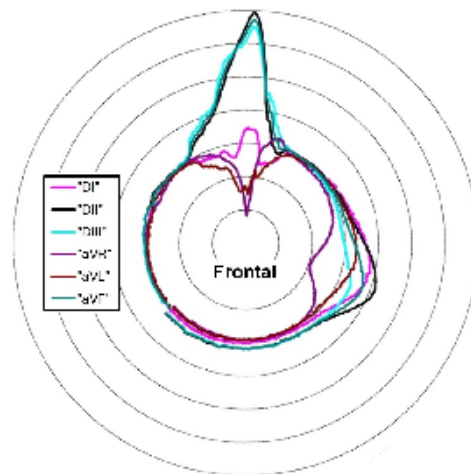
En un paciente con síndrome de preexcitación, el reloj muestra la existencia de dos ondas de despolarización independientes, siendo la primera la anómala y la segunda probablemente representando la ruta de despolarización normal (Figura 8). En otros tres casos de preexcitación, observamos que V2 precedió a V1 en la primera parte del QRS (Figura 15)

patient199 PR 120ms

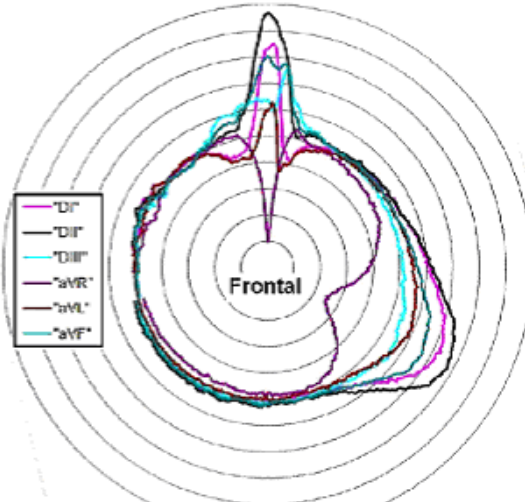


Horizontal

patient199 PR 120ms

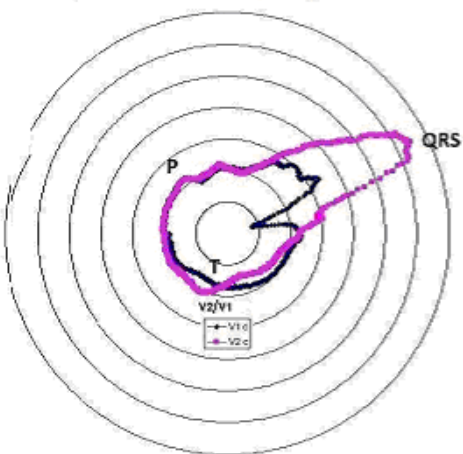


Pac 258 WPW PR 103ms
Horizontal



Pac 258 WPW PR 103ms
Frontal

pat193 WPW.



Horizontal

Figura 15: Tres pacientes con PR corto. La primera parte de V2 QRS precede al QRS de V1. La onda delta es claramente visible en aVF y DIII en el reloj frontal del paciente 258 mientras que el reloj horizontal muestra importantes fuerzas iniciales del QRS.

Enfermedad coronaria

Las coordenadas polares permiten comparar derivaciones de ECG simultáneas y ver los cambios de evolución. Las figuras 165 y 16 17 muestran coordenadas polares frontales y transversales en una mujer de 46 años antes y después de la oclusión de la LDA.

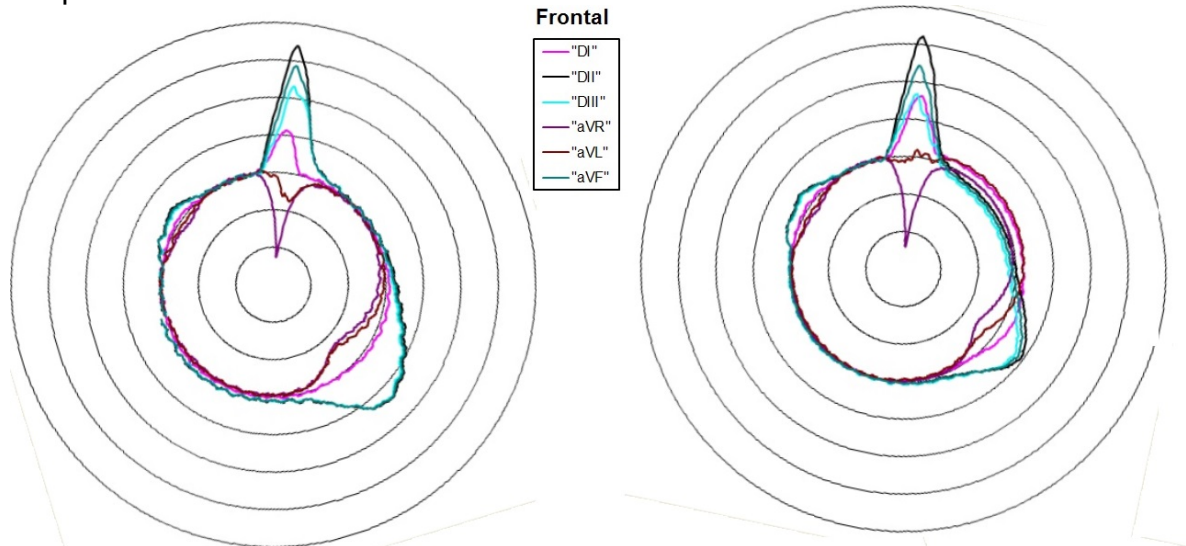


Figura 16: Coordenadas polares frontales en una mujer de 46 años antes y después de la oclusión de la LDA. Hay leves depresiones ST recíprocas en las derivaciones inferiores. Las imágenes muestran también un ligero cambio en el eje QRS y la amplitud de la onda T.

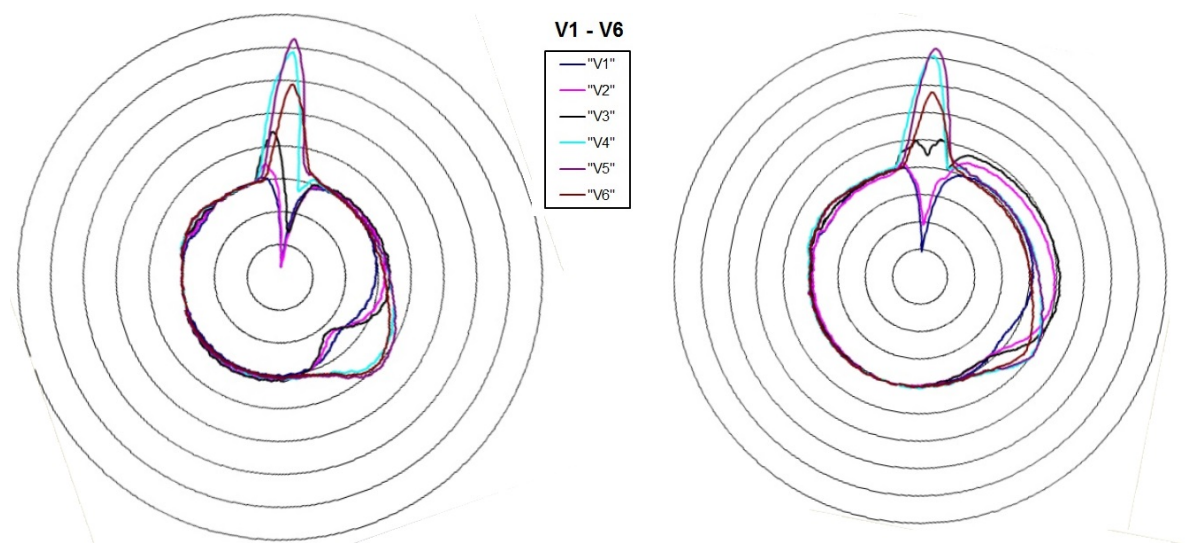


Figura 17: Coordenadas polares transversales en una mujer de 46 años antes y después de la oclusión de la LDA. Las imágenes muestran cambios en el QRS V2

y V3, elevación del ST en las derivaciones V2 y V3 y cambio de polaridad de la onda T.

Discusión

La representación gráfica de las coordenadas polares muestra los mismos fenómenos que el ECG simultáneo estándar de 12 derivaciones, pero desde un punto de vista diferente.

Claramente, la nueva presentación tiene la ventaja de comparar simultáneamente todos los trazados en un plano. Esto permite ver fácilmente la duración de las ondas, los retrasos en algunas de ellas, la pendiente del incremento de los picos eléctricos, las ondas delta, los patrones de bloqueo de las ramas del haz y las áreas inactivas del miocardio. La disposición de los conductores en el plano horizontal muestra una actividad eléctrica regional más detallada. Por otro lado, el plano frontal muestra una comparación global de vectores.

A pesar de los constantes avances tecnológicos, el uso de este nuevo gráfico es una excelente forma de representar la relación entre eventos y tiempo. Con este método se pueden apreciar claramente la amplitud de las ondas y el desplazamiento temporal de la deflexión intrínseca. Además, el comienzo y el final de los fenómenos eléctricos se ve mucho más claramente usando coordenadas polares. De la misma forma, en pacientes con síndrome de preexcitación, la llegada temprana de despolarización anormal en diferentes derivaciones también puede demostrarse fácilmente utilizando esta técnica.

La representación tiene valor didáctico para la descripción de la influencia de la posición del receptor (electrodo) en la observación del fenómeno eléctrico. Incluso cuando estos fenómenos de cambio de fase temporal son bien conocidos por los cardiólogos, pueden resultar difíciles de comprender para los estudiantes de medicina. Esta presentación gráfica puede ayudarles a tener una idea correcta sobre el retraso de la despolarización y la interpretación del ECG.

Las coordenadas polares también pueden ser útiles para la detección y cuantificación de la isquemia miocárdica aguda mediante la evaluación morfológica de los cambios del QRS mediante un método basado en ángulos.¹⁰

Debido a que toda la información necesaria para presentar los datos en el "reloj" ya se registra durante el ECG estándar de rutina de 12 canales, es muy importante que las empresas que fabrican dispositivos de ECG pongan a disposición de los médicos los datos sin procesar.¹¹

No se necesitan cables o conexiones adicionales. Solo sería necesaria una mínima informatización de los datos para agregar esta presentación opcional al electrocardiograma estándar clásico de 12 derivaciones.

Agradecimiento

Agradezco al ingeniero Sergio Lew (Instituto de Ingeniería Biomédica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires) por ayudarme a comprender algunos temas no médicos del artículo.

Referencias

1. Mc Loughlin MJ, Lew S, Tello de Meneses G: New ECG Methods: A Study Based On Precordial Bipolar Leads (English Edition) Amazon, 2019.
2. Mc Loughlin MJ, Lew S, Tello de Meneses G: Nuevos métodos electrocardiográficos: Un estudio basado en derivaciones precordiales bipolares (Spanish Edition) Amazon, 2019
3. Mc Loughlin MJ; Precordial bipolar leads: A new method to study anterior acute myocardial infarction. J Electrocardiol 2020; 59:45-642
4. Mc Loughlin MJ, Konoptka IV: Right to left T wave discordance in acute myocardial infarct: a new electrocardiographic sign of apical and left lateral infarction J Electrocardiol 2020, [10.1016/j.jelectrocard.2020.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2020.11.002)
5. Moore AD, Harding P, Dower GE: The Polarcardiograph. An analogue computer that provides spherical polar coordinates of the heart vector. Am Heart J 1962; 64: 382-391
6. Dower GE, Horn HE, Ziegler WG: The Polarcardiograph: terminology and normal findings. Am Heart J 1965; 69: 355-368
7. Dower GE, Horn HE, Ziegler WG: The Polarcardiograph. Diagnosis of myocardial infarction, Am Heart J 1965; 69: 369-381
8. Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng CK, Stanley HE: [PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals.](https://doi.org/10.1161/01.cir.101.23.e215) Circulation. 2000 Jun 13;101(23):E215-20. <https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/01.cir.101.23.e215>
9. Bousseljot R, Kreiseler D, Schnabel A: Nutzung der EKG-Signaldatenbank CARDIODAT der PTB über das Internet. Biomed Tech (Berl). 1998;43 Suppl 3:73-6
10. Romero S, Ringborn M, Laguna P, Pueyo E: Detection and quantification of acute myocardial ischemia by morphologic evaluation of QRS changes by an angle-based method. J Electrocardiol 2013; 46: 204-214
11. Mc Loughlin MJ, Brugada P: Access to ECG raw data can help researchers, physicians and patients. Curr Probl Cardiol 22 July 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2020.100659>