

Electrocardiograma y Vectocardiograma normal fetal, pediátrico y en adolescentes

Andrés Ricardo Pérez-Riera M.D. Ph. D¹.

*1. Sector de Electro-vectocardiografía – Disciplina de Cardiología – Facultad ABC–
Fundación ABC– Santo André – San Pablo, Brasil*

Dirección del autor para correspondencia:

Andrés Ricardo **Pérez-Riera. M.D. Ph. D.**

Rua Sebastião Afonso 885 CEP: 04417-100 - Jardim Miriam - São Paulo Brazil. Phone/fax (55-11)
5621-2390 Fax: 55 (011) 5625-7278. E-mail riera@uol.com.br

Palabras clave: Electrocardiograma – Vectocardiograma – Pediatría – Adolescentes.

Resumen

Esta revisión describe las características del electrocardiograma (ECG) y vectocardiograma (VCG) normales en diferentes grupos etarios, comenzando con el ECG fetal y progresando a niños nacidos prematuros y a término, lactantes de uno a seis meses, niños de seis meses a tres años, de tres a ocho años, desde los ocho años hasta la pubertad (10-11 años), desde la pubertad a los 14-15 años, y hasta los últimos años de la adolescencia (15-19 años). Se discuten las características del ECG y VCG normales en sus grupos etarios respectivos, incluyendo la frecuencia cardíaca, la duración de la onda P, el intervalo PR, el eje QRS (SAQRS), la evolución de la rotación y ubicación del bucle QRS en el plano horizontal del VCG y su correlación con el patrón QRS precordial, ubicación de la onda/bucle T en el plano horizontal e intervalos QT/QTc. También se considerarán los aspectos de la interpretación del ECG pediátrico, incluyendo el reconocimiento de los artefactos ECG en bebés prematuros y recién nacidos, y los aspectos técnicos de las mediciones del ECG.

Introducción

Características generales normales del ECG/VCG en el grupo pediátrico

Frecuencia cardíaca (FC): Frecuencias cardíacas más altas e intervalos más cortos son característicos del ECG en el grupo pediátrico.

Onda P: La duración de la onda P depende de la edad, mostrando un aumento lento y progresivo en su valor desde la etapa fetal (aumentando con la edad gestacional) durante la adolescencia, la edad adulta y en la ancianidad. Esto se explica en parte por el aumento del tamaño auricular con el avance de la edad. La **Tabla 1** muestra los valores normales máximos de la duración de la onda P a medida que avanza la edad.

Tabla 1

Valores máximos normales de la duración de P con el avance de la edad.
▪ <i>Duración de P desde la semana 18 a la 22 de embarazo, 44 mseg</i>
▪ <i>Duración de P \geq 37 semanas 52,9 mseg.</i>
▪ <i>Recién nacido prematuro, 80 mseg (60 mseg \pm 2 mseg)</i>
▪ <i>Recién nacido a término a los 12 meses: 80 mseg (2 cuadrados pequeños).</i>
▪ <i>De 1 a 12 años de edad: 90 mseg.</i>
▪ <i>Desde los 12 años hasta la vida adulta, el valor máximo normal es 110 mseg (2,5 cuadrados pequeños). En adultos, las ondas P \geq110 mseg indican la presencia de sobrecarga de la aurícula izquierda, anomalía en la activación de la aurícula izquierda por el fascículo de Bachmann..</i>
▪ <i>Personas mayores: \leq120 mseg</i>

Intervalo PR o PQ: La duración del intervalo PR aumenta directamente con la edad e inversamente con los aumentos de la FC. La duración normal del intervalo PR neonatal (nacimiento hasta los 30 días) es de entre 70 y 140 mseg y promedia los 100 mseg. En lactantes y niños de 30 días a 1,5 años el intervalo PR máximo es de 160 mseg para una FC <70 lpm, 150 mseg para una FC 71-110 lpm, 140 mseg para una FC 111-130 lpm y 130 mseg para una FC >130 lpm. En niños entre 1,5 y 6 años de edad, el intervalo PR máximo es de 170 mseg para una FC <90 lpm, 160 mseg para una FC 91-110 lpm, 150 mseg para una FC 111-130 lpm y 140 mseg para una FC >130 lpm. Desde la edad de 7 a los 13 años el intervalo PR máximo normal es de 180 mseg para una FC <70 lpm, 170 mseg para una FC 70-90 lpm, 160 mseg para una FC 91-110 lpm, 150 mseg para una FC 111-130 lpm y 140 mseg para una FC >130 lpm. La **Tabla 2** muestra los valores normales del intervalo PR en diferentes rangos de edad para FC de entre 70 y 90 lpm.

Tabla 2

Valores normales del intervalo PR en rangos de edades diferentes (valores de FC entre 70 lpm y 90 lpm)	
Recién nacidos	70 a 140 mseg
Lactantes	70 a 160 mseg
Niños	100 a 160 mseg
Adolescentes	100 a 180 mseg
Adultos	120 a 200 mseg
Personas mayores	120 a 210 mseg

Eje QRS del plano frontal: En bebés recién nacidos y lactantes, el eje QRS (SAQRS) generalmente está ubicado en el cuadrante inferior derecho y promedia aproximadamente +125°, pero puede alcanzar hasta ±180°. En consecuencia la onda R en la derivación III > derivación II. Cuando el eje QRS está a la derecha de +120°, se registra una onda R final

prominente en la derivación aVR y se hallan complejos QRS predominantemente negativos del tipo rS en I y aVL. Figuras 1 y 2.

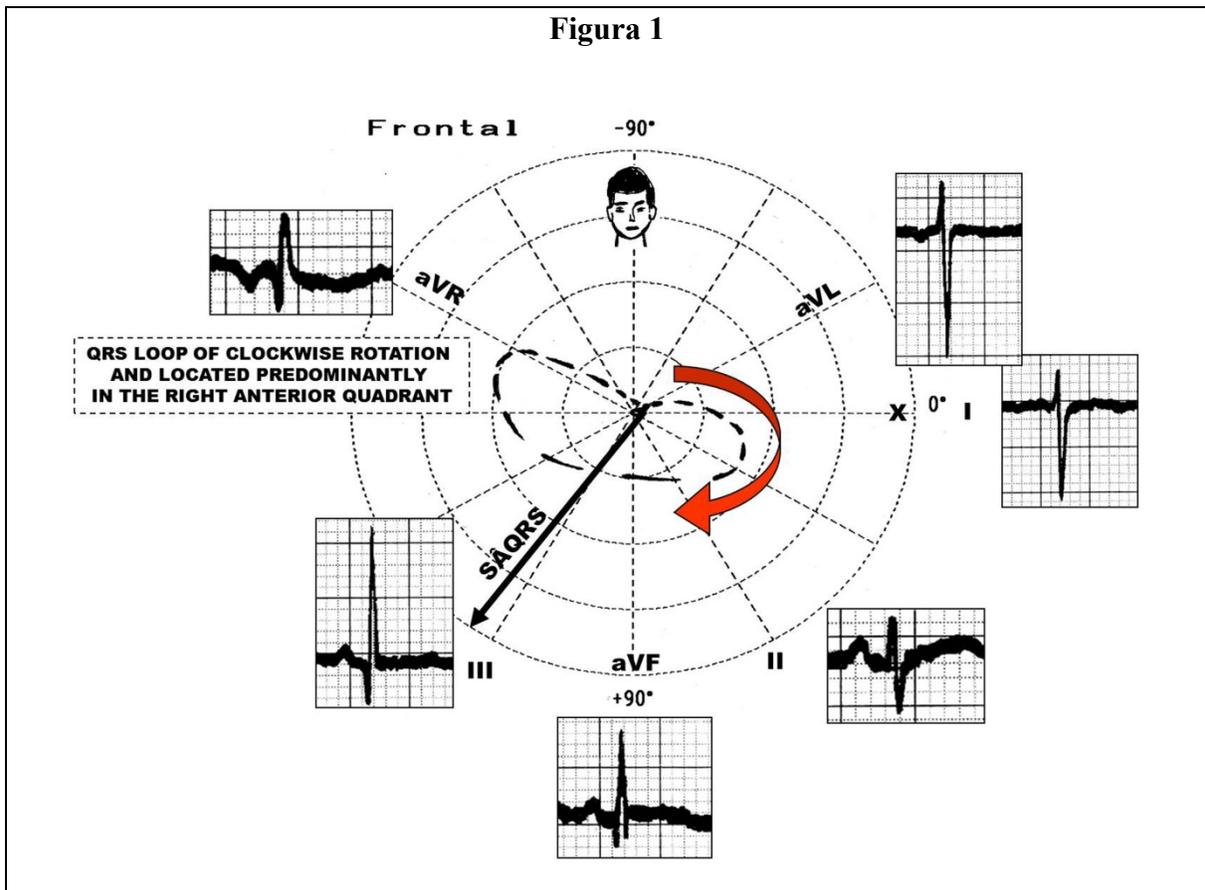


Figura 1

Muestra la correlación ECG/VCG en el plano frontal de recién nacidos a término. El eje eléctrico (SAQRS) se ubica en el cuadrante inferior derecho cerca de $+125^\circ$, $R_{III} > R_{II}$, derivaciones laterales izquierdas altas (I y aVL) con patrón rS y la derivación aVR con patrón QR y R siendo discretamente mayor que Q inicial.

El bucle QRS de VCG rota en sentido horario con la porción final cerca de -150° , lo que explica la onda R final prominente en aVR.

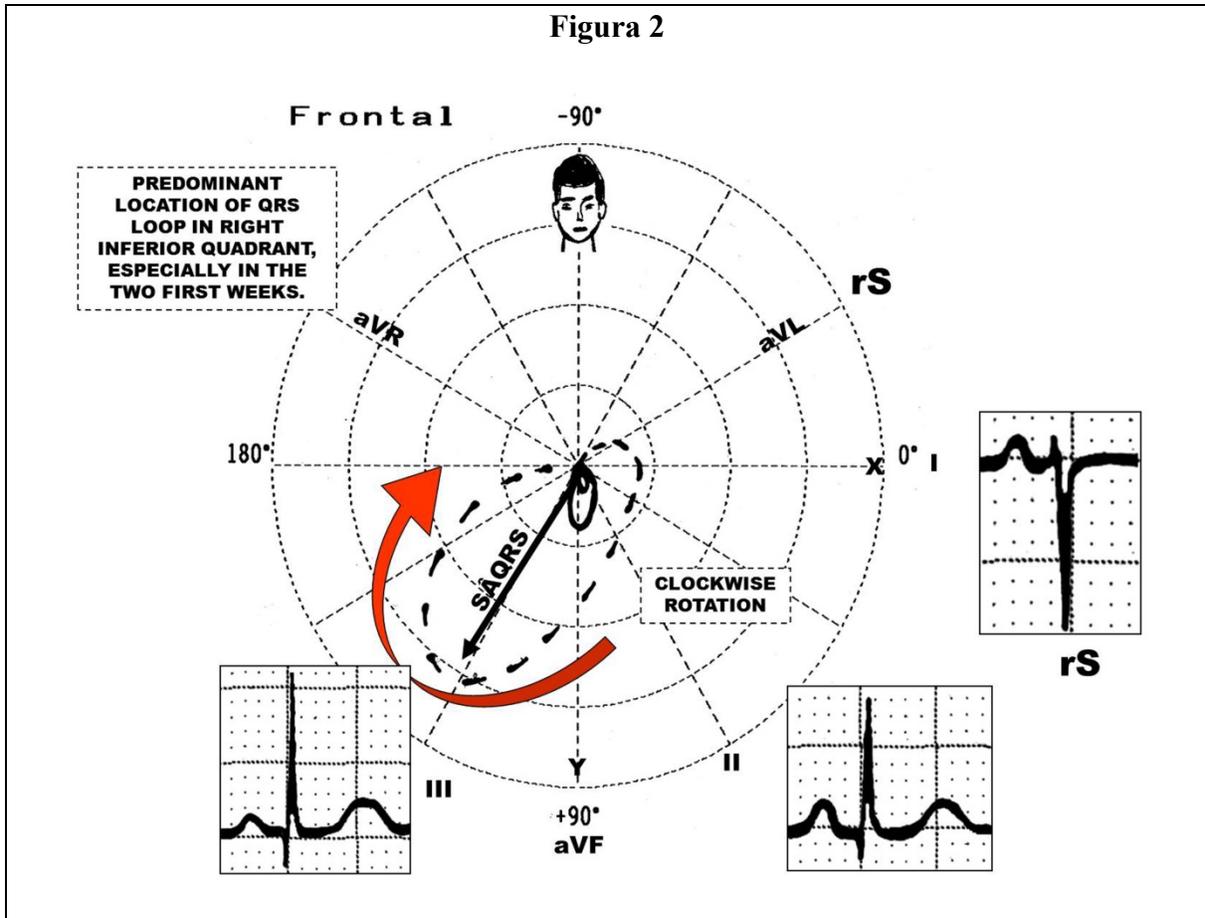


Figura 2

Muestra ECG/VCG normal en el PF en recién nacido a término. SAQRS en $+120^\circ$ explica por qué $R_{III} > R_{II}$. Las derivaciones I y aVL presentan patrón rS.

El bucle QRS de VCG muestra rotación horaria con la porción final del bucle en el cuadrante inferior derecho.

Evolución de la rotación y ubicación normal del bucle QRS del VCG en el plano horizontal en los diferentes rangos de edades y su correlación con el patrón de QRS precordial.

En los dos primeros meses de vida, la rotación del bucle QRS del VCG en el plano horizontal (PH) es predominantemente **horaria** (>60% de los casos) y está ubicado predominantemente en el **cuadrante anterior derecho**, reflejando el predominio del ventrículo derecho (VD) (ubicación anterior) sobre el ventrículo izquierdo (VI, posterior) en la vida fetal. Como resultado, las ondas R iniciales se registran en las precordiales derechas (V1, V2) y las derivaciones ECG derechas accesorias (V3R, V4R) y ondas S profundas en las derivaciones precordiales izquierdas V5-6 (patrones rS o RS). **Figura 3.**

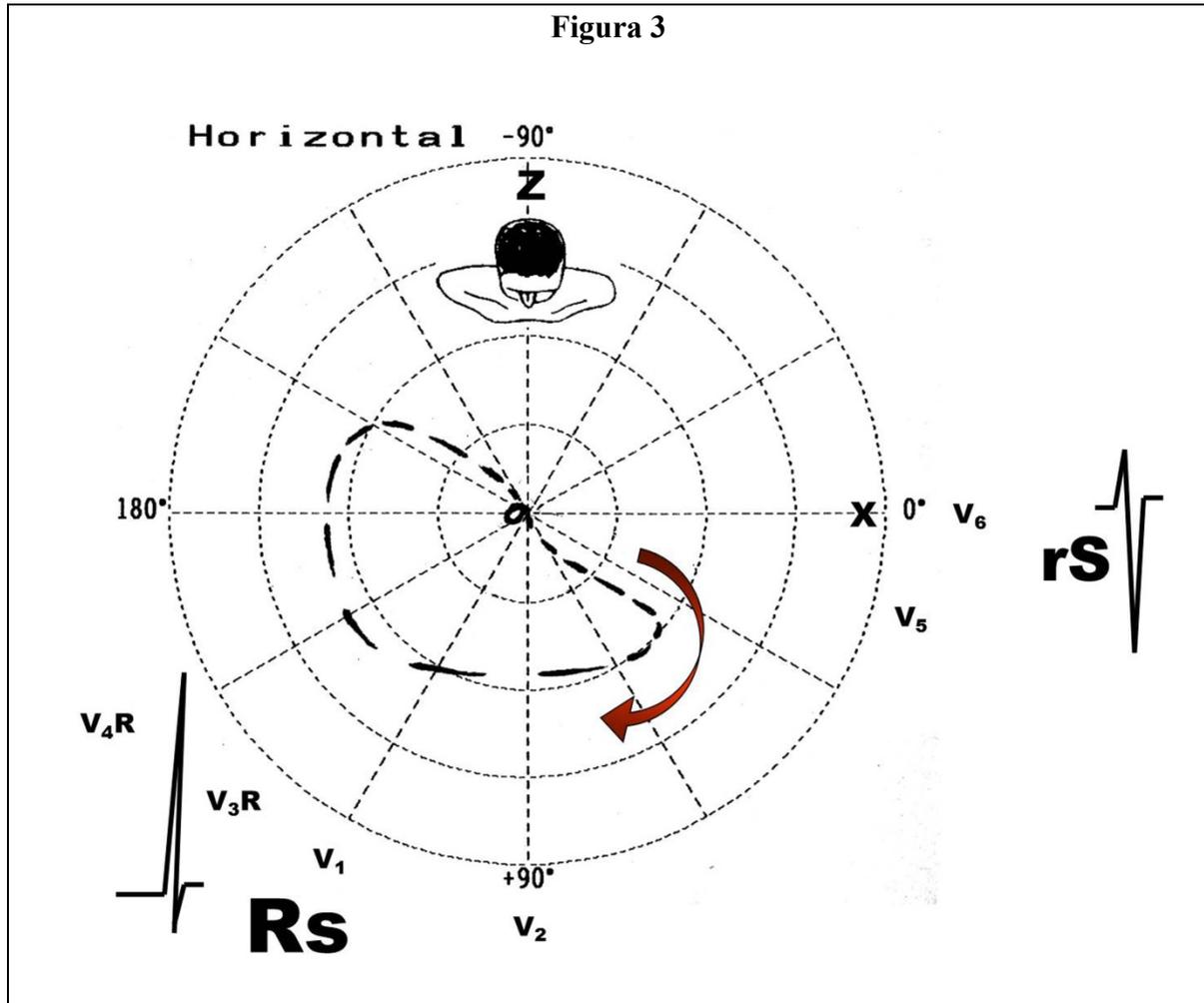


Figura 3

Muestra el bucle QRS del VCG en el PH y el patrón correspondiente en V1 y V6 en un recién nacido a término normal. Observar la rotación horaria del bucle QRS y su ubicación predominante en el cuadrante anterior derecho por predominancia de la masa del VD sobre el VI. Esta ubicación a la derecha y anterior es responsable de los patrones electrocardiográficos del tipo Rs o R en las derivaciones precordiales derechas o accesorias derechas (V4R-V1-V2) y rS en las derivaciones precordiales izquierdas V5-V6.

En las primeras 24 horas de vida, el bucle QRS del PH, además de su rotación horaria, se ubica predominantemente en el cuadrante anterior derecho. Con frecuencia todo el bucle QRS está en el hemicampo positivo de V1, resultando en ondas R puras y prominentes en V3R, V4R, V1 así como patrón rS en V5.

Figura 4. En la primera semana de vida el 67% de los casos muestran una rotación horaria del bucle QRS, el 19% presentan una figura en ocho, y el 14% presenta rotación antihoraria.

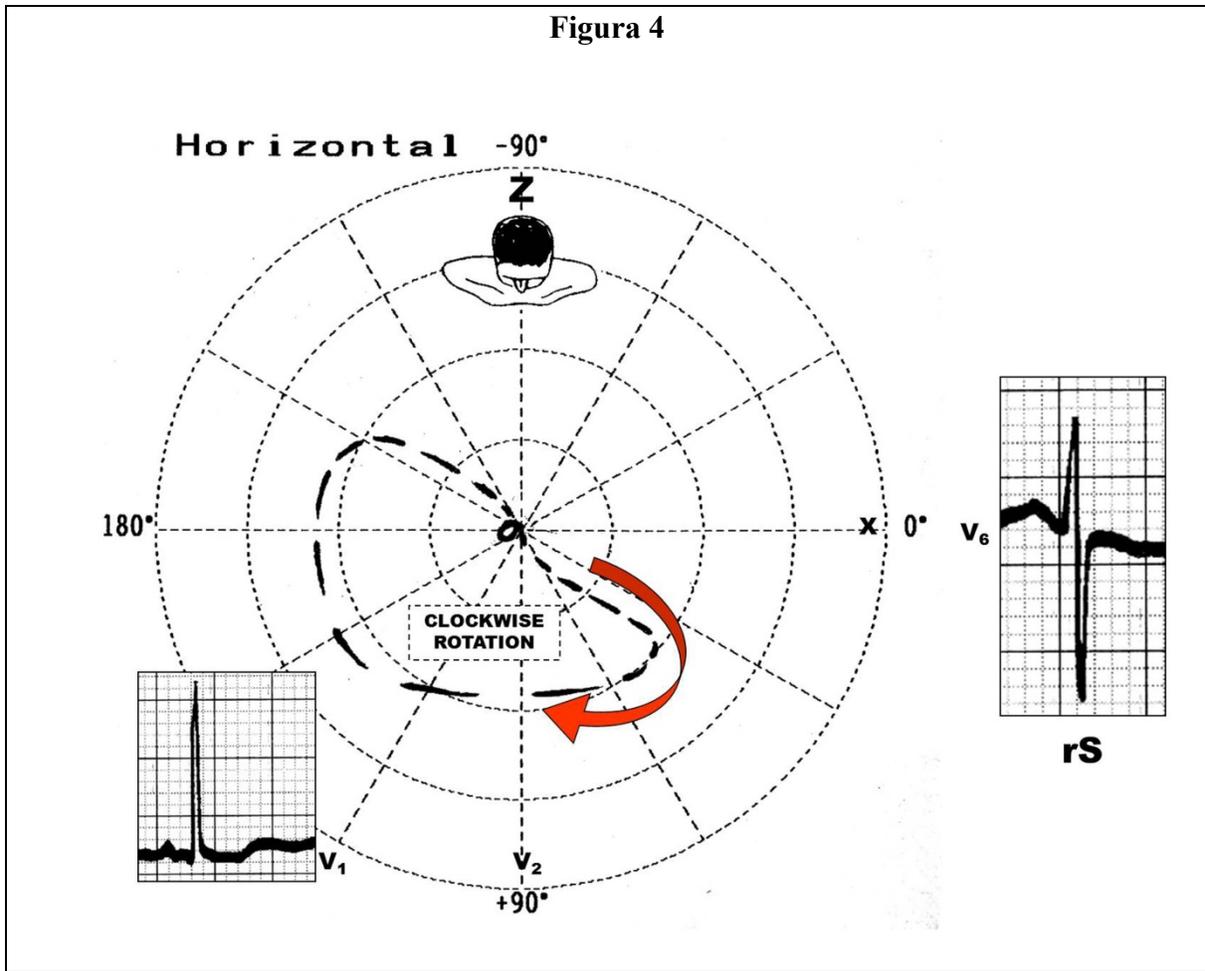


Figura 4

Muestra el bucle QRS en el PH en las primeras 24 horas de vida. Rota en forma horaria y se ubica predominantemente en el cuadrante anterior derecho y totalmente en el hemicampo positivo del VI, provocando ondas R puras y prominentes en V1 y V4R y r<S en V6 (rS).

En las primeras dos semanas de vida, un bucle QRS del PH ubicado en el cuadrante superior izquierdo indica predominancia del VI, y si se asocia con sobrecarga del volumen del VI, sugiere cardiopatía congénita como atresia tricúspide (1). Este diagnóstico es muy probable si la SVI se asocia con sobrecarga de la aurícula derecha (2) y desplazamiento extremo hacia arriba y la izquierda del eje QRS del plano frontal en un recién nacido o lactante cianótico (3).

Entre la primera semana y los dos meses de vida, el 62% de los lactantes presentan una rotación del bucle QRS **antihoraria** en el PH, el 23% bucle QRS con forma de ocho, y el 15% presenta una rotación horaria. Con frecuencia resulta difícil a esta edad tan temprana diferenciar la predominancia normal del VD fisiológico del VD patológico. Realizar VCGs seriales permite diferenciar la secuencia normal de desarrollo de la rotación del bucle QRS del PH (horaria a ocho a antihoraria) en casos de sobrecarga patológica del ventrículo derecho.

Desde los dos meses a los seis meses de vida, el 70% de los casos presenta una rotación antihoraria del bucle QRS en el PH, y el 30% presenta una figura en ocho. Desde los 6 meses hasta los dos años de vida, el 90% presenta una rotación antihoraria del bucle QRS y el 10% una figura en ocho y rotación. Finalmente desde los dos años en adelante, el 100% de los casos presenta rotación antihoraria del bucle QRS del PH. Incluso conociendo esta secuencia normal de cambios en el desarrollo relacionada con la edad, el diagnóstico de SVD en recién nacidos, lactantes y niños mediante ECG es con frecuencia difícil.

En el *plano sagital derecho* el bucle QRS en recién nacidos a término, se ubica predominantemente en los cuadrantes anterior e inferior, siendo antihorario o en forma de ocho. **Figura 5.**

Figura 5

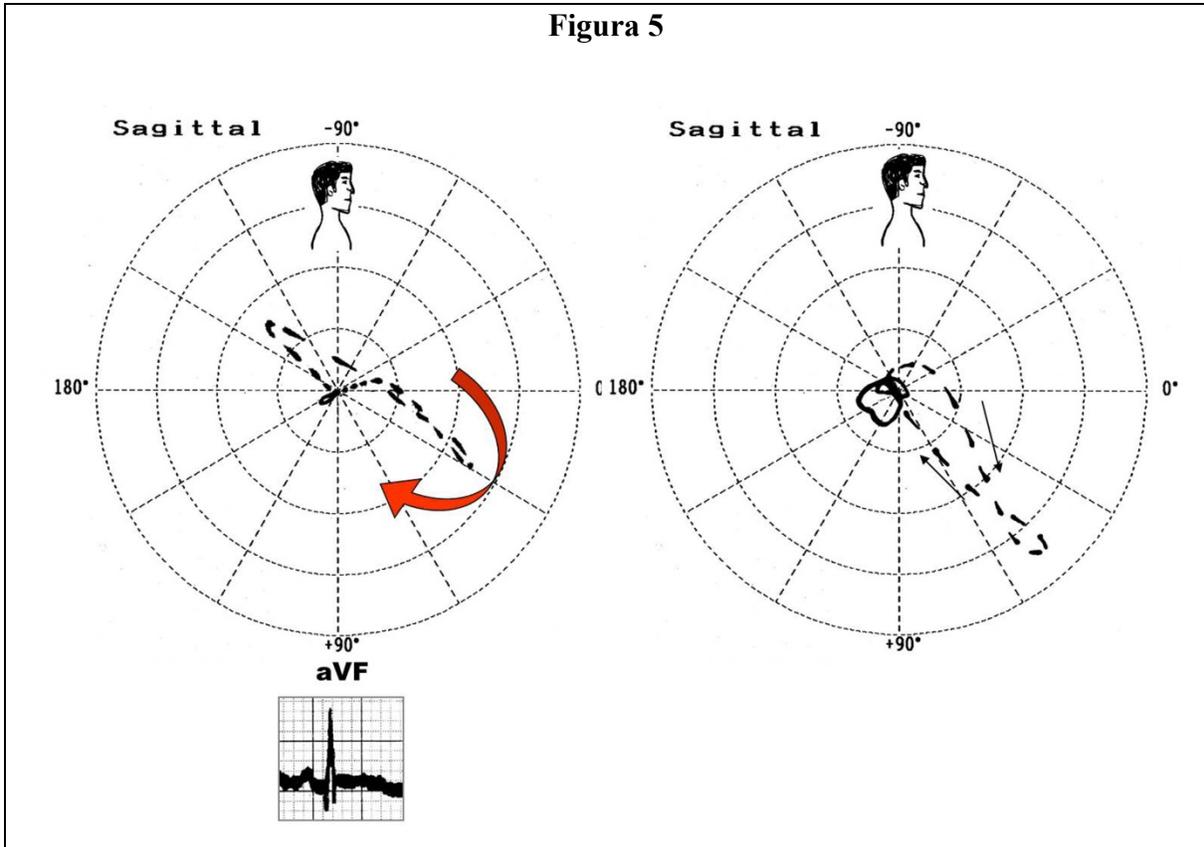


Figura 5

Muestra bucles QRS normales de recién nacidos a término en el plano sagital derecho. Ambos bucles se localizan predominantemente en el cuadrante anterior e inferior y presenta una rotación horaria en ocho. La figura también muestra la derivación aVF con patrón predominantemente positivo del tipo qRs.

Evolución de la ubicación normal de la onda/bucle T en el plano horizontal según la edad

En las primeras seis horas de vida, el ángulo espacial de T (SAT) se encuentra en el cuadrante anterior derecho, cerca de +100°. Como resultado la polaridad de la onda T en la derivación V6 puede ser negativa porque el eje de la onda T en el PH está en el hemicampo negativo de esta derivación precordial. **Figura 6.** Desde las 6 horas hasta los 3 días de vida, el eje de la onda/bucle T en el PH está ligeramente desplazado hacia la izquierda, hasta

aproximadamente $+75^\circ$, apuntando hacia la derivación precordial V3. En consecuencia la polaridad normal de las ondas T en las derivaciones precordiales es positiva en todas las derivaciones en este corto período de tiempo. **Figura 7.**

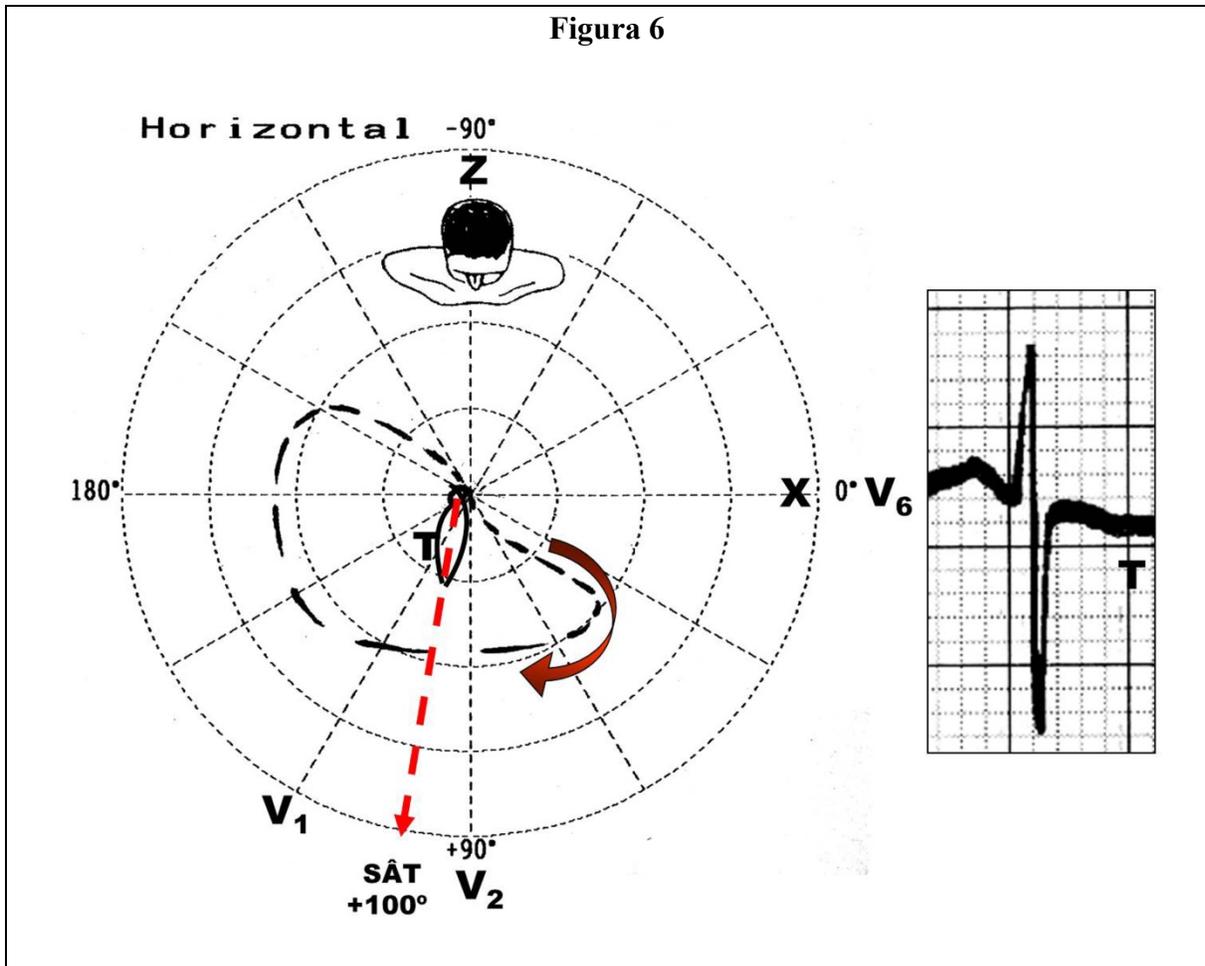


Figura 6

Muestra la ubicación normal de la onda/eje del bucle T (SAT) en el PH en un recién nacido normal entre la primera y la sexta hora de vida. SAT se ubica en el cuadrante anterior derecho cerca de $+100^\circ$, lo que explica la polaridad negativa de T en V6, puesto que está en el hemisferio negativo de esta derivación precordial.

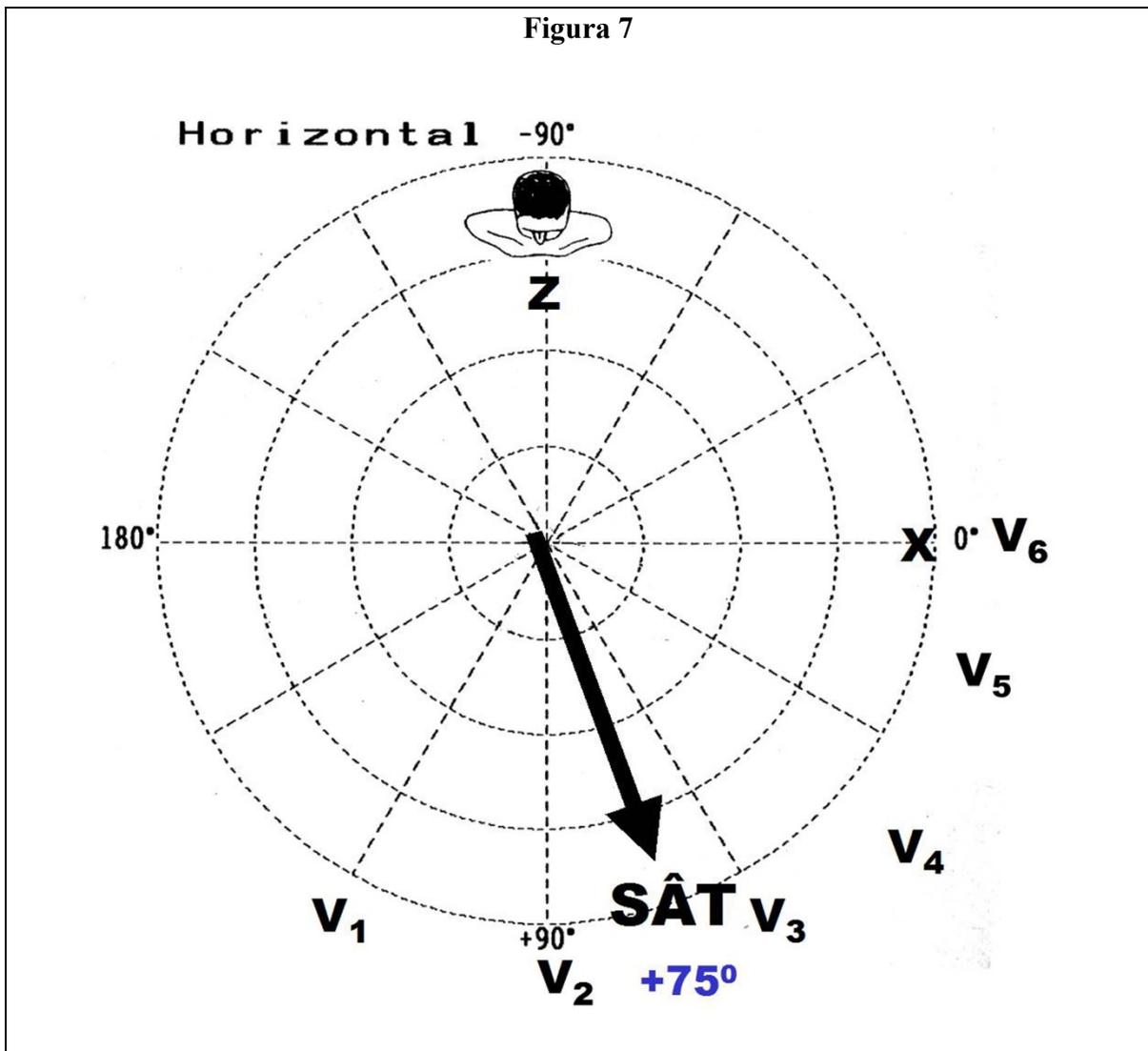


Figura 7

Muestra la ubicación normal del bucle T en el PH luego de la sexta hora, y hasta 72 horas de vida cerca de $+75^\circ$ (onda T de V3 de mayor voltaje). En consecuencia, la polaridad normal de T en todas las derivaciones precordiales es positiva en este período, porque cae en el campo positivo de V1 a V6.

Luego de 72 h de vida, la onda/bucle T sufre un desplazamiento significativo hacia atrás y a la izquierda, hacia el cuadrante posterior izquierdo a aproximadamente -45° , resultando en onda T de polaridad negativa en las derivaciones precordiales V1-3 (4). **Figura 8. Patrón**

de onda T juvenil, caracterizado por ondas T invertidas, con o sin supradesnivel del punto J-segmento ST en las derivaciones V1-3, es el patrón ECG observado en recién nacidos (luego de las 72 h de vida), niños y adolescentes, e incluso en algunos adultos, especialmente de raza negra y adolescentes atletas menores de 16 años (5). En atletas de 16 años y mayores con ondas T invertidas y profundas en las derivaciones inferiores o laterales, se precisan más estudios para descartar miocardiopatías hipertróficas o de otro tipo.

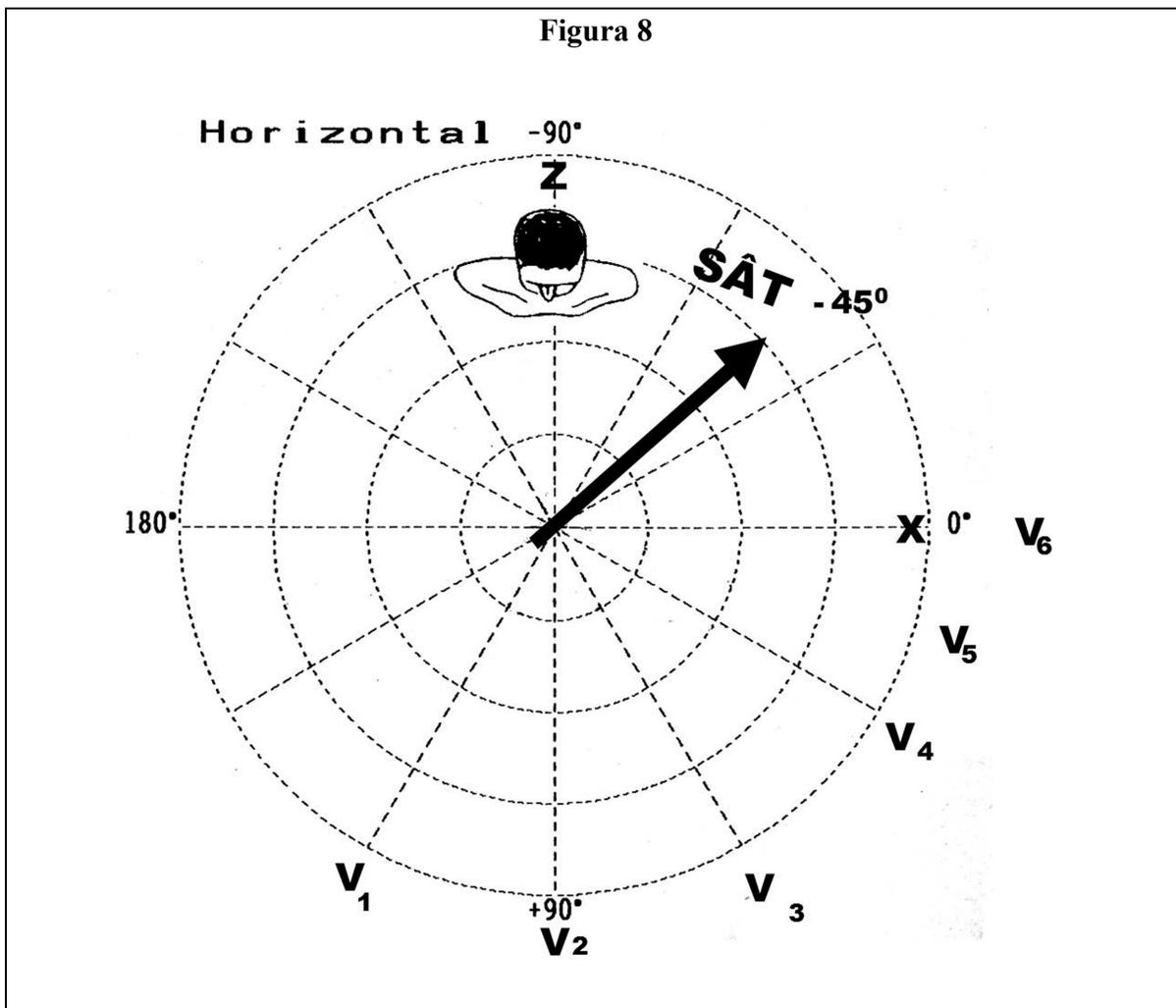


Figura 8

Muestra la localización normal del bucle T luego de 72 h de vida en el PH y hasta la adolescencia. Como vemos, el bucle T sufrió un desplazamiento significativo posterior y hacia la izquierda, ubicada alrededor de -45° . El desplazamiento significativo en el

cuadrante posterior izquierdo explica el llamado patrón juvenil de la onda T, caracterizado por ondas T invertidas de V1 a V2 o V3, ocasionalmente asociadas a supradesnivel J-ST, observadas en niños y adolescentes hasta 16 años de edad. Ocasionalmente, puede observarse en adultos y atletas de raza negra.

Entre los 30 y 60 días de vida, mientras la masa del ventrículo izquierdo comienza a ser predominante en relación con el VD (6), el bucle QRS en el PH pasa de una rotación horaria a una estrecha figura en ocho con la porción media a inicial ubicadas en el cuadrante anterior izquierdo apuntando a la derivación V4, y la porción final ubicada en el cuadrante posterior derecho. Esto se manifiesta por complejos QRS de bajo voltaje en V1 (bucle QRS casi perpendicular a esta derivación) con ondas R crecientes de V2 a V4 (R/S o R/s) y disminuyendo de V5 a V6, culminando con un patrón R/s. **Figura 9**. En los primeros 2 años de vida, el cuerpo principal del bucle QRS se localiza inicial y predominantemente en el cuadrante anterior izquierdo (**Figura 10A**) y luego se desplaza progresivamente en forma posterior y hacia la izquierda, para permanecer predominantemente en el cuadrante posterior izquierdo luego de los ocho años de vida hasta el final de la vida. **Figura 10B**.

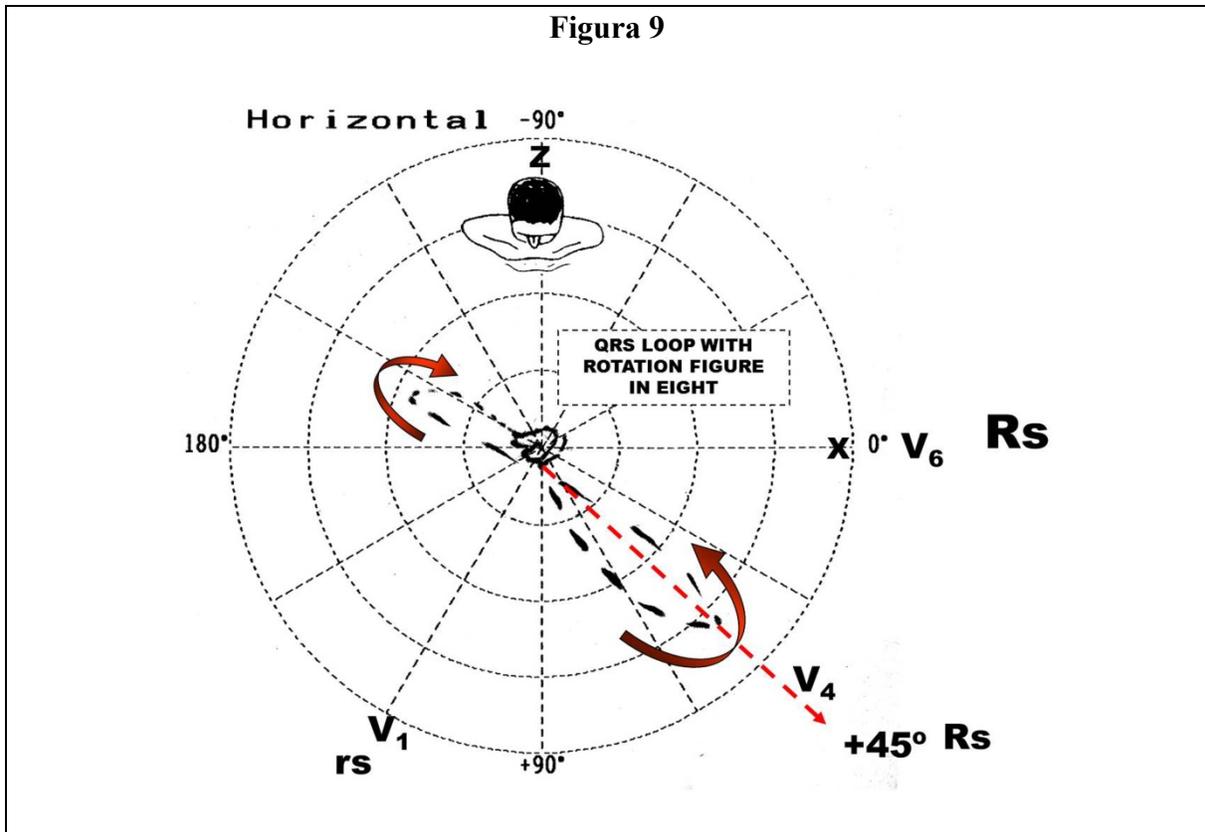


Figura 9

Muestra la modificación de la rotación del bucle QRS en el PH, que ocurre alrededor de 30 días a 60 días de vida. La rotación del bucle QRS es horaria, y se vuelve una figura en ocho y estrecha. Las porciones iniciales y medias apuntan hacia el frente y la derecha, y están ubicadas en el cuadrante anterior izquierdo dirigidas a las derivaciones precordiales intermedias V3-V4 (+45°) y la porción final se ubica en el cuadrante posterior derecho. Este patrón de bucle QRS estrecho y con forma de ocho, causa un complejo QRS de V1 de bajo voltaje (porque es un bucle QRS casi perpendicular a V1) con onda R *in crescendo* de V2 a V4 (R/S o Rs) y disminuyendo en las precordiales izquierdas V5-V6. En las últimas, el patrón QRS es del tipo Rs. La onda s final es causada por la parte final del bucle QRS localizado en el cuadrante posterior derecho.

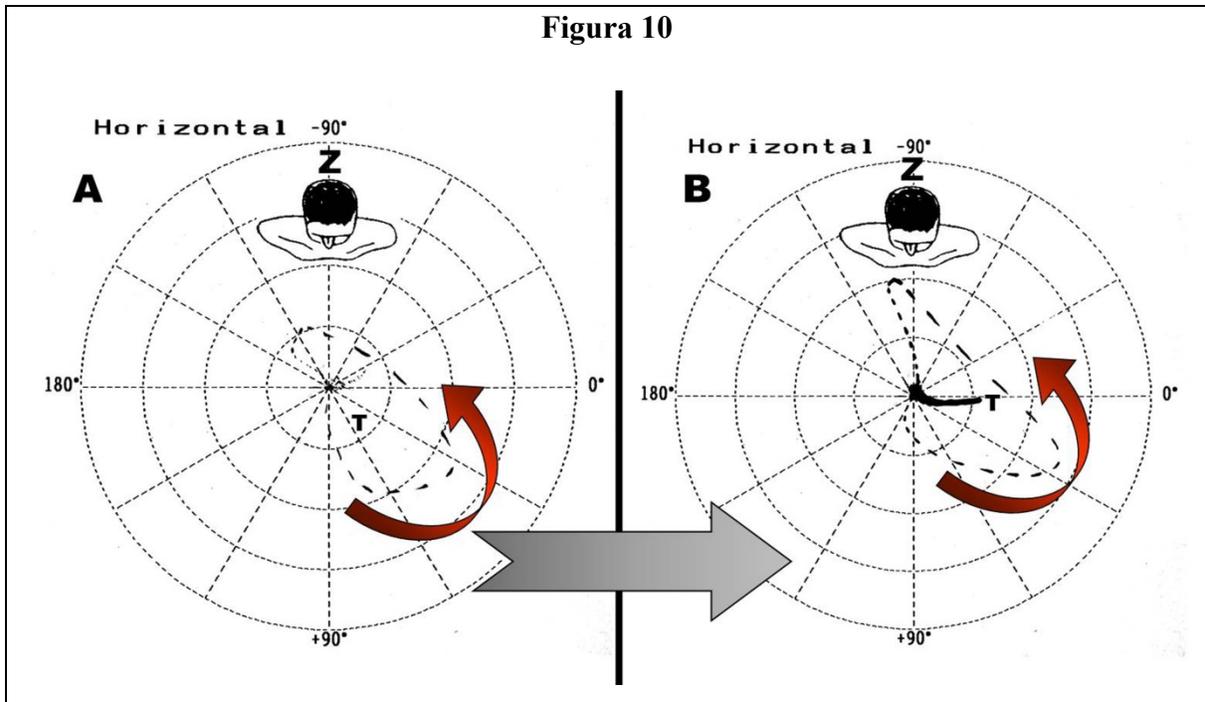


Figura 10A y 10B

La Figura 10A muestra las características del bucle QRS normal en el PH, desde los dos años de vida hasta los ocho años. El bucle QRS presenta una rotación antihoraria y a diferencia de los adultos, se localiza predominantemente en el cuadrante anterior izquierdo.

La Figura 10B muestra el bucle QRS en el PH luego de los ocho años de vida. Observen que la rotación también es antihoraria; sin embargo, ahora está desplazada discretamente hacia atrás, predominantemente ubicada en el cuadrante posterior izquierdo, casi como en los adultos.

En ambos, la porción final del bucle QRS se localiza en el cuadrante posterior derecho, que causa onda S final en V6.

La **Figura 11** ilustra un ECG de 12 derivaciones de un recién nacido a término de 5 días de vida. Luego de tres meses de vida, el patrón QRS de la progresión precordial se vuelve más del “tipo adulto” con un aumento gradual y progresivo de la amplitud de r/R de V1 a V4 por la predominancia de las fuerzas del VI sobre el VD. De este modo, V1 y V2 muestran un patrón rS, aunque aproximadamente el 6,4% de los hombres adultos normales y el 1,5%

de las mujeres adultas normales tienen una proporción R/S en V1=1. En adultos la transición donde las deflexiones R/S equifásicas son observadas, generalmente ocurre entre V3 y V4. Muecas discretas pueden observarse en QRS, en la zona de transición. En V5-V6 se observa un patrón qR o qRs. Solamente el 2,5% de los adultos tienen un proporción R/S <1 en estas derivaciones. **Figura 12.**

Figura 11

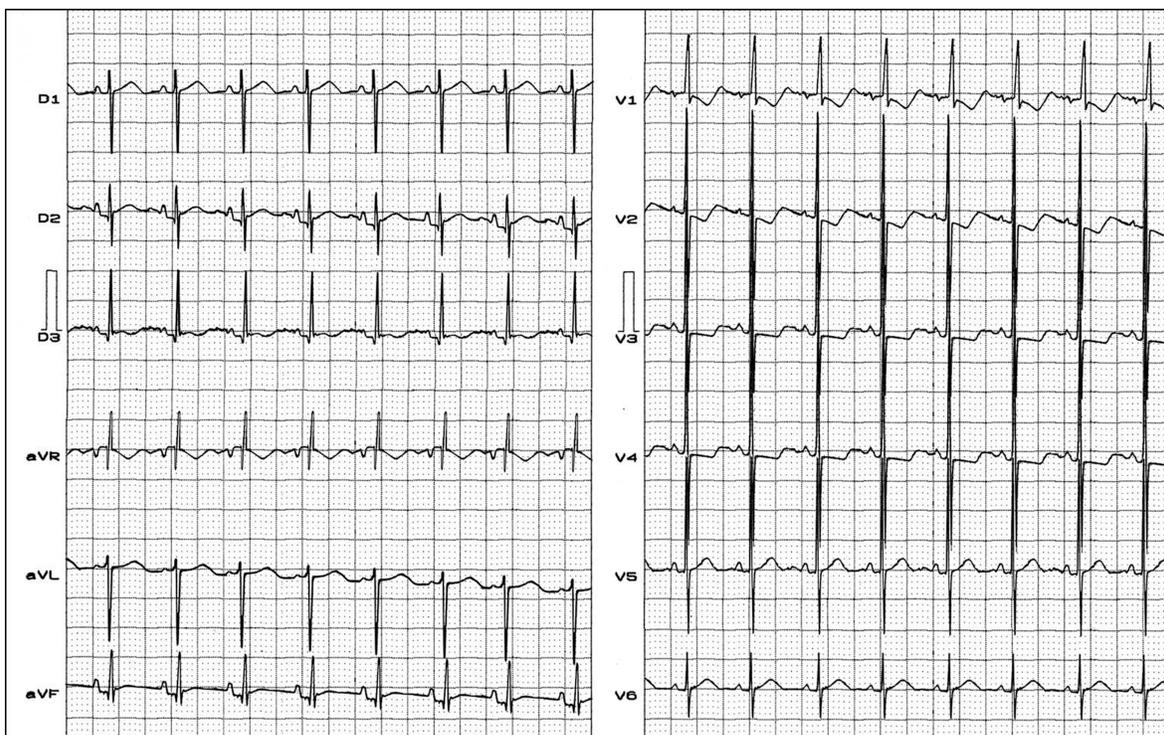


Figura 11

Muestra ECG de 12 derivaciones de un recién nacido a término con 5 días de vida. **Diagnóstico electrocardiográfico:** el ritmo es sinusal, FC 120 lpm, SAP +40°, duración de PR 110 mseg, SAQRS +130°, duración QRS 70 mseg, RIII>RII, I y aVL rS, R final prominente de aVR, morfología precordial con patrón Rs en V1, con R siendo de gran voltaje y R=S en V5-V6, indicando predominancia típica del VD en recién nacidos normales. **Conclusión:** trazado normal para la edad.

Figura 12

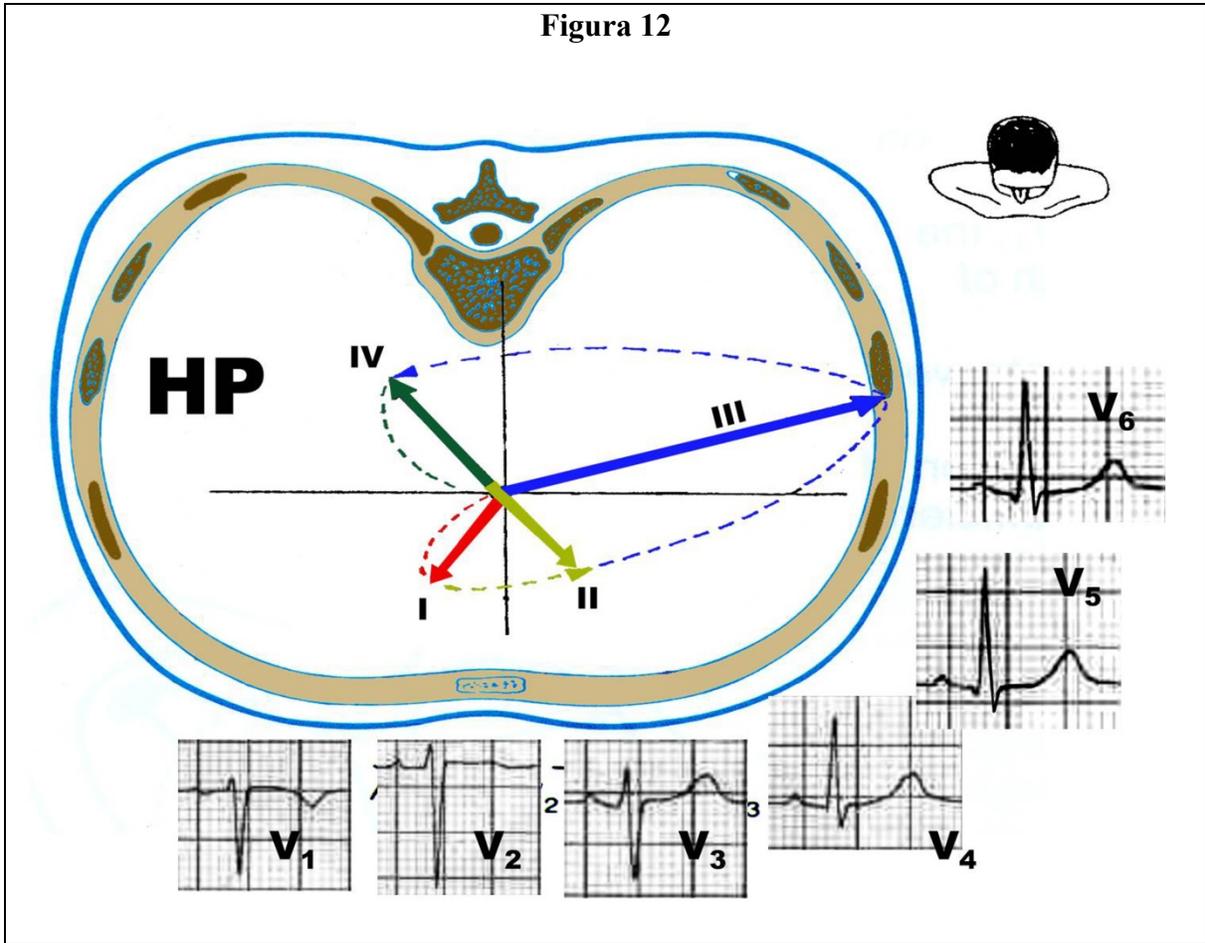


Figura 12

La figura muestra patrón de progresión de “adultos” del QRS, ya observado en adolescentes y adultos normales. Observen el patrón rS en las derivaciones precordiales derechas, la transición en V4 (R=S) y patrón qRs en las derivaciones precordiales izquierdas V5 y V6. El bucle QRS en el PH es representado por cuatro vectores. El vector inicial 1 del tercio medio de la superficie septal izquierda (de 20 mseg) apuntando hacia el frente y a la derecha. El vector 2 del tercio inferior dirigido hacia el frente y a la izquierda. El vector III de la pared libre de ambos ventrículos, dirigido hacia atrás y a la izquierda (para el ventrículo predominante) y el vector IV basal, dirigido hacia atrás y a la derecha.

Aspectos técnicos a ser considerados cuando se realizan ECGs en recién nacidos.

El ECG de los recién nacidos presenta complejos QRS de mayor voltaje y menor duración, lo que resulta en un mayor porcentaje de componentes de alta frecuencia. Los sistemas ECG digitales actuales muestran un mayor porcentaje de errores de frecuencia en comparación con aquellos de niños mayores y adultos. Las recomendaciones en relación al mejor punto de corte para el ancho de banda y el muestreo para reducir los errores de frecuencia, varían entre los investigadores. Un estudio por Macfarlane y cols. (8), confirmaron que para realizar ECGs pediátricos de alta fidelidad, es necesario usar un equipo digital con frecuencia de muestreo de al menos 500 Hz. Errores significativos en la amplitud y la duración ocurrirán si se emplea una menor frecuencia de muestreo. Las señales análogas o digitales con rangos menores de muestreo y menores frecuencias de puntos de corte resultan en trazados diferentes de aquellos con puntos de corte más altos. Las Guías de la *American Heart Association* para ECGs pediátricos, aconsejan emplear una frecuencia mínima de muestreo de 500 Hz (9).

Rijnbeek y cols. (10,11), en trabajos más recientes, emplearon una frecuencia de muestreo de 1200 Hz, que resultó en trazados similares a aquellos empleando 500 Hz. Davignon y cols. (12), usaron una frecuencia de muestreo de sólo 333 Hz, lo que explica por qué los límites superiores de recién nacidos del estudio previo fueron 12-25% mayores que en el de Davignon.

Precisión de interpretaciones informáticas de ECGs pediátricos

Aunque la interpretación asistida por computadora es muy útil, los cardiólogos pediátricos con frecuencia están en desacuerdo sobre las interpretaciones con respecto a los diagnósticos de ritmo, bloqueos de rama, hipertrofia ventricular y mediciones del intervalo QT/QTc. Chiu y cols. (13), verificaron que los diagnósticos asistidos por computadora interpretaron erróneamente los intervalos QT prolongados y la hipertrofia del ventrículo derecho. Investigadores de Escocia compararon la especificidad y la sensibilidad del diagnóstico de hipertrofia del ventrículo izquierdo (HVI) e hipertrofia del ventrículo derecho (HVD) por el algoritmo ECG computarizado de Glasgow, con la interpretación de dos cardiólogos pediátricos independientes (14). Un total de 984 ECGs fueron estudiados,

de los que 664 fueron informados como indicados clínicamente, y 320 como “ciegos”. En base al promedio de los dos cardiólogos, la sensibilidad del programa de PC para la HVD fue mejor con ECGs ciegos (73,3%) que los indicados clínicamente (54,5%). La especificidad del programa para la HVI fue excelente (95,8%) para los ECGs “ciegos” y los indicados clínicamente, pero la sensibilidad fue baja (44,4%). Si hubo un desacuerdo inicial entre los dos cardiólogos, su consenso presentó una probabilidad dos veces mayor de coincidir con la interpretación informática.

Artefactos ECG en recién nacidos y bebés prematuros

- Los artefactos en ECGs de recién nacidos son más frecuentes que en otros grupos etarios.
- Los errores de colocación errónea de las derivaciones de los miembros son comunes.
- Una colocación errónea de los electrodos precordiales es más frecuente por las dimensiones pequeñas del tórax.
- La interferencia eléctrica por monitores del cabezal de la cama, estufas y otros equipos es frecuente.
- Los artefactos cinéticos producidos por hipo o movimientos de las extremidades son frecuentes.
- El artefacto frecuente de una línea basal irregular y movедiza es el resultado de temblor muscular o agitación.
- La amplitud de los complejos QRS y la línea basal puede oscilar en ciclos como consecuencia de respiraciones rápidas observadas a esta temprana edad (30-60/min). La línea basal del ECG está compuesta por tres segmentos: TP del ciclo precedente, PR o PQ, y ST. Cuando se determina la verdadera línea basal, es aconsejable considerar el segmento TP del ciclo precedente como referencia para la línea basal y no el segmento PR, porque el segmento PR representa la repolarización auricular y puede estar anormalmente desplazado en la pericarditis o lesión por origen anómalo de la arteria coronaria. La onda de repolarización auricular, Ta, generalmente no es visible a menos que haya un intervalo PR prolongado o bloqueo AV completo, como a veces se observa en recién nacidos de madres con lupus. En otros niños y

adultos, la onda Ta se extiende por el complejo QRS y puede influir significativamente sobre el nivel del segmento ST con aumento de la FC, como se observa durante el ejercicio, y a veces puede simular isquemia miocárdica (15). En reposo los segmentos TP, PR y ST representan el mismo nivel de potencial transmembrana. **Figura 13.**

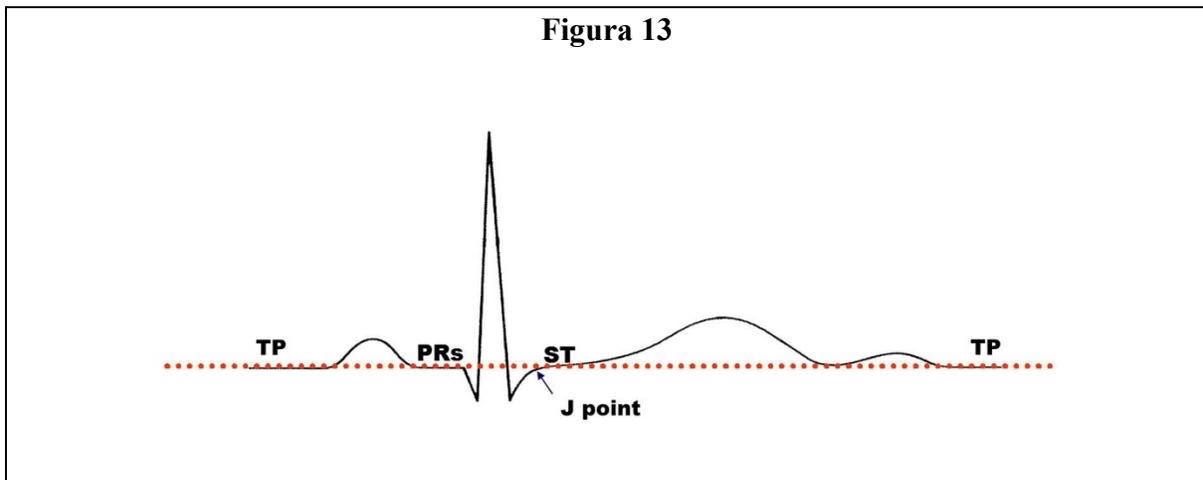


Figura 13

La figura muestra los tres segmentos del ECG.

- 1) **Segmento TP:** del latido previo. El segmento TP se extiende desde el final de la onda T del latido previo hasta el inicio de la onda P del ciclo siguiente. Este segmento corresponde a la verdadera línea isoeletrica del ECG.
- 2) **Segmento PR o PQ:** el segmento PR o PQ se extiende desde el final de la onda P hasta el inicio del complejo QRS.
- 3) **Segmento ST:** se extiende desde el punto J hasta el inicio de la onda T. Durante el ejercicio, la onda Ta o TP o repolarización auricular puede en teoría, causar infradesnivel del segmento ST y simular isquemia miocárdica.

Los tres segmentos deben estar al mismo nivel. A pesar de que el segmento ST es normalmente isoeletrico, un desplazamiento de hasta 1 mm puede ser normal en las derivaciones del PF, y de hasta 3 mm en las derivaciones precordiales. El infradesnivel del segmento ST $>0,5$ mm es patológica. La duración del segmento ST debe ser 50 a 150 mseg.

Manera adecuada de medir manualmente las ondas P y complejos QRS

Schwartz y cols. (16), recomiendan que la medición de la duración y el voltaje debe hacerse manualmente por las limitaciones actuales de las mediciones electrónicas en recién nacidos. Las **Figuras 14A y 14B** ilustran la medición manual de la duración y el voltaje de la onda P. La **Figura 15** muestra la medición manual del componente negativo terminal de la onda P bifásica en la derivación V1, conocida como *fuerza terminal P* (PTF-V1), normalmente con duración ≤ 40 msec y profundidad ≤ 1 mm (17). La medición de la duración QRS debe hacerse desde el inicio de la onda QRS hasta el punto J. **Figuras 16, 17, 18 y 19.**

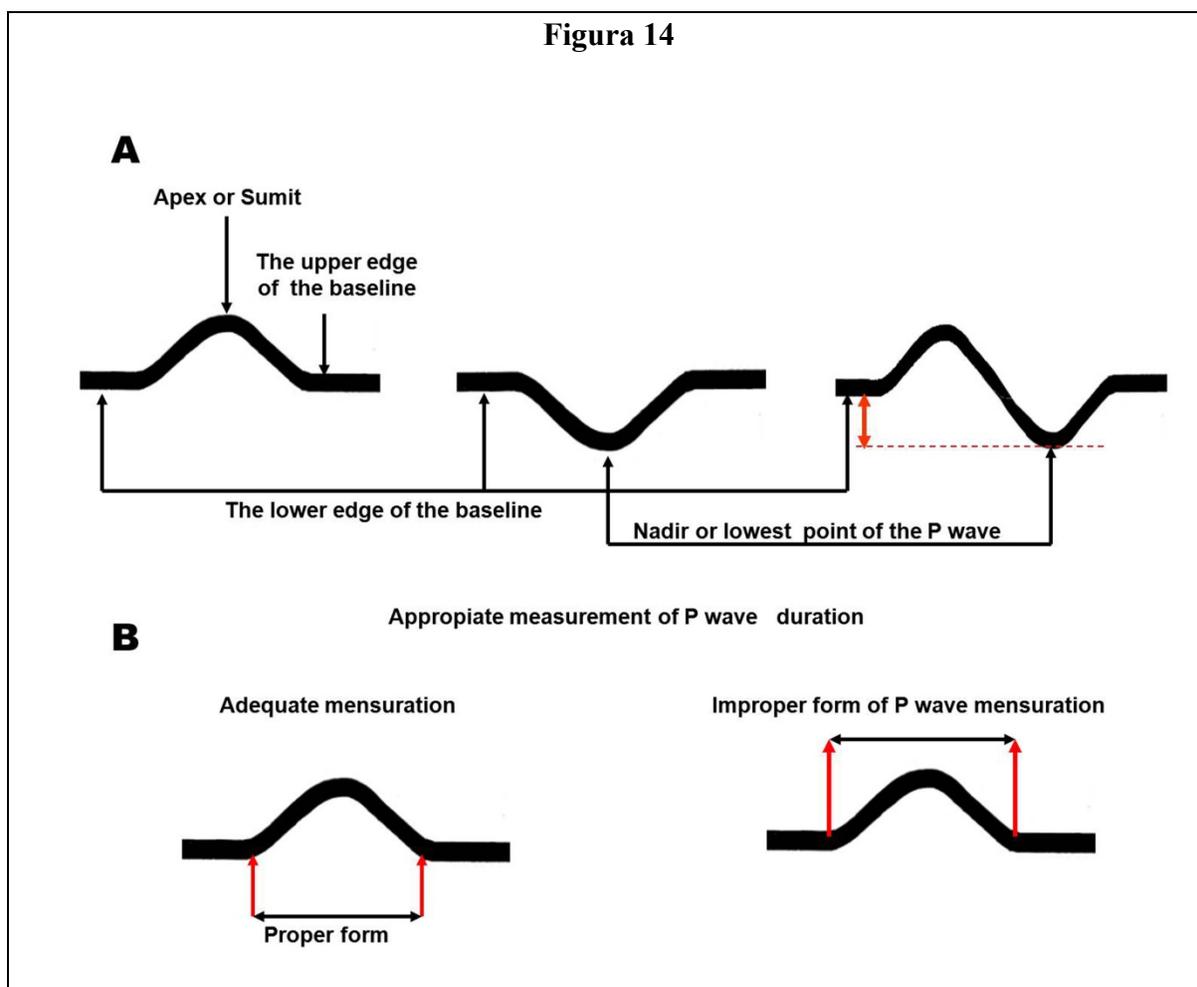


Figura 14A y 14B

La Figura 14A muestra la forma adecuada de medir manualmente el voltaje de la onda P. Debe realizarse en el caso de las ondas P de polaridad positiva desde el borde superior de la línea basal hasta el pico de la onda.

En el caso de las ondas P de polaridad negativa, como ocurre usualmente en la derivación aVR, la medición debe hacerse desde el borde inferior de la línea basal hasta el nadir de la onda (porción más inferior).

En el caso de ondas P bifásicas positivas/negativas, la medición debe hacerse desde el borde inferior de la línea basal hasta el nadir del componente negativo final de la onda P.

La Figura 14B muestra la manera correcta de medir manualmente la duración de la onda P desde el borde inferior y no el borde superior.

Figura 15

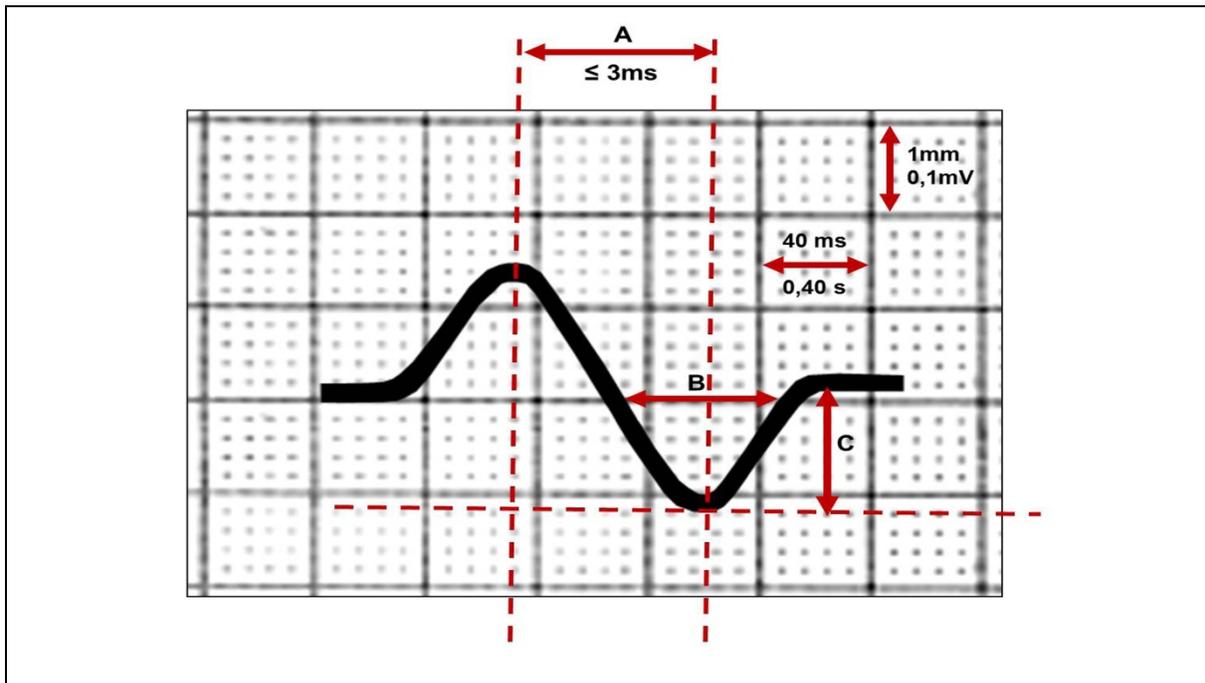
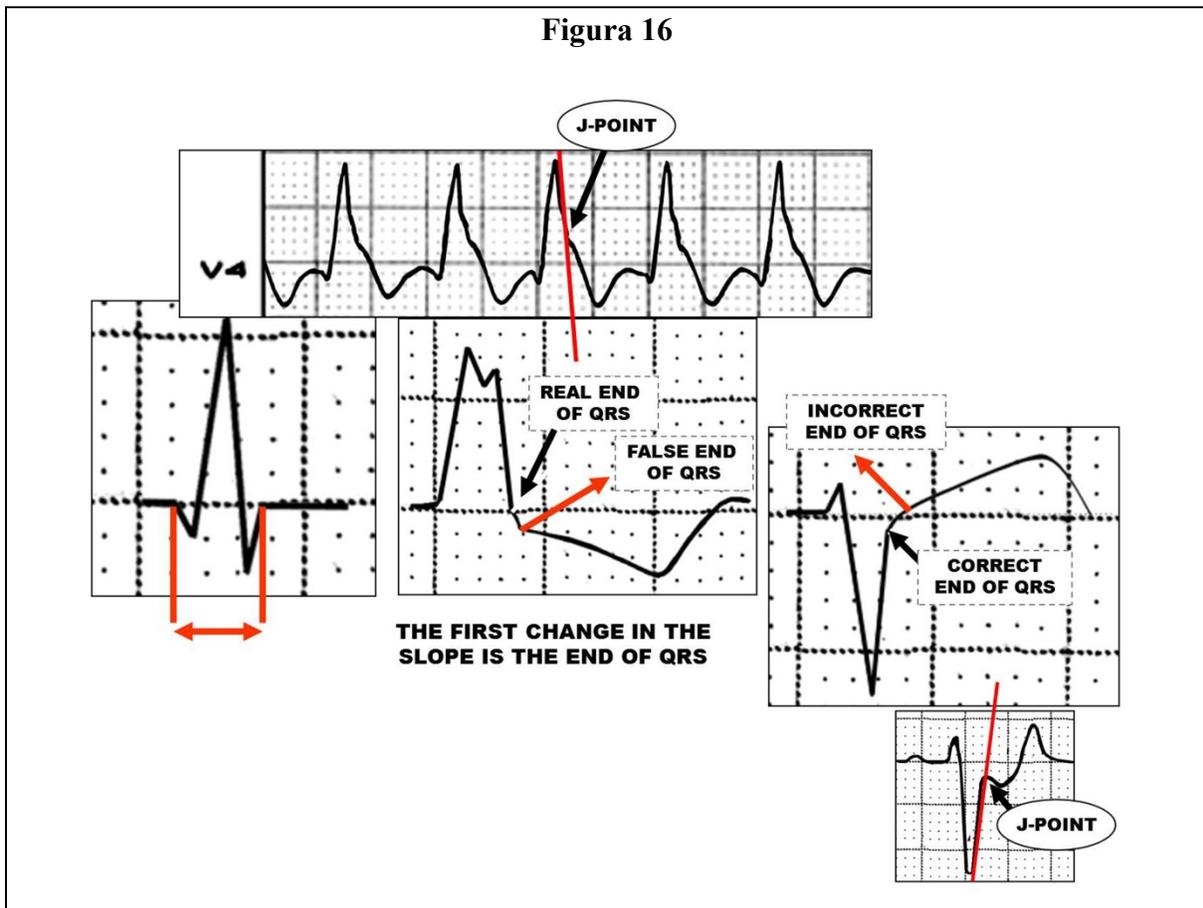


Figura 15

La figura muestra onda P bifásica positiva-negativa en la derivación precordial V1.

La duración entre el ápice o pico del primer componente positivo y el nadir del componente terminal negativo (A) debería ser ≤ 3 mseg.

Para el cálculo del área del componente negativo final de P en segundos, multiplicamos la duración del componente negativo final en segundos (B) por la amplitud de este componente negativo en milímetros (C). El resultado se expresa en mm/segundos y debe ser menor de 40 mm/seg.



Figuras 16-19

Las figuras muestran la manera adecuada de medir manualmente la duración del complejo QRS, el tiempo de conducción intraventricular. El complejo QRS a ser elegido para ser medido, debe ser el más amplio en el plano frontal o precordial. La medición debe hacerse

desde el inicio del componente inicial hasta el fin del componente final del complejo QRS (punto J).

Tanto para los complejos positivos o R pura como para los complejos QRS que terminan en onda S. Para ellos, el punto J debe considerarse hasta el primer punto de inflexión en la rama descendente de R o la rama ascendente de S, determinado por la línea tangente.

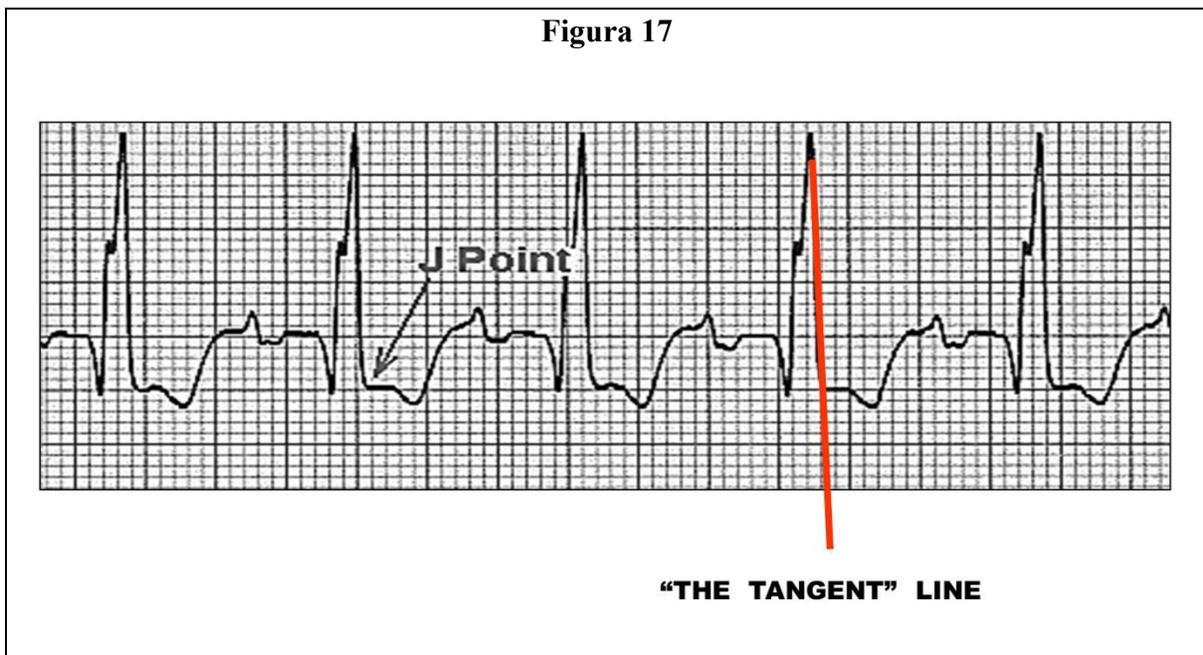


Figura 17

La figura muestra un punto J fácil de determinar. El punto J se identifica fácilmente cuando el segmento ST es horizontal y constituye un ángulo cercano a 90° con una rama descendente de R del complejo QRS.

Figura 18

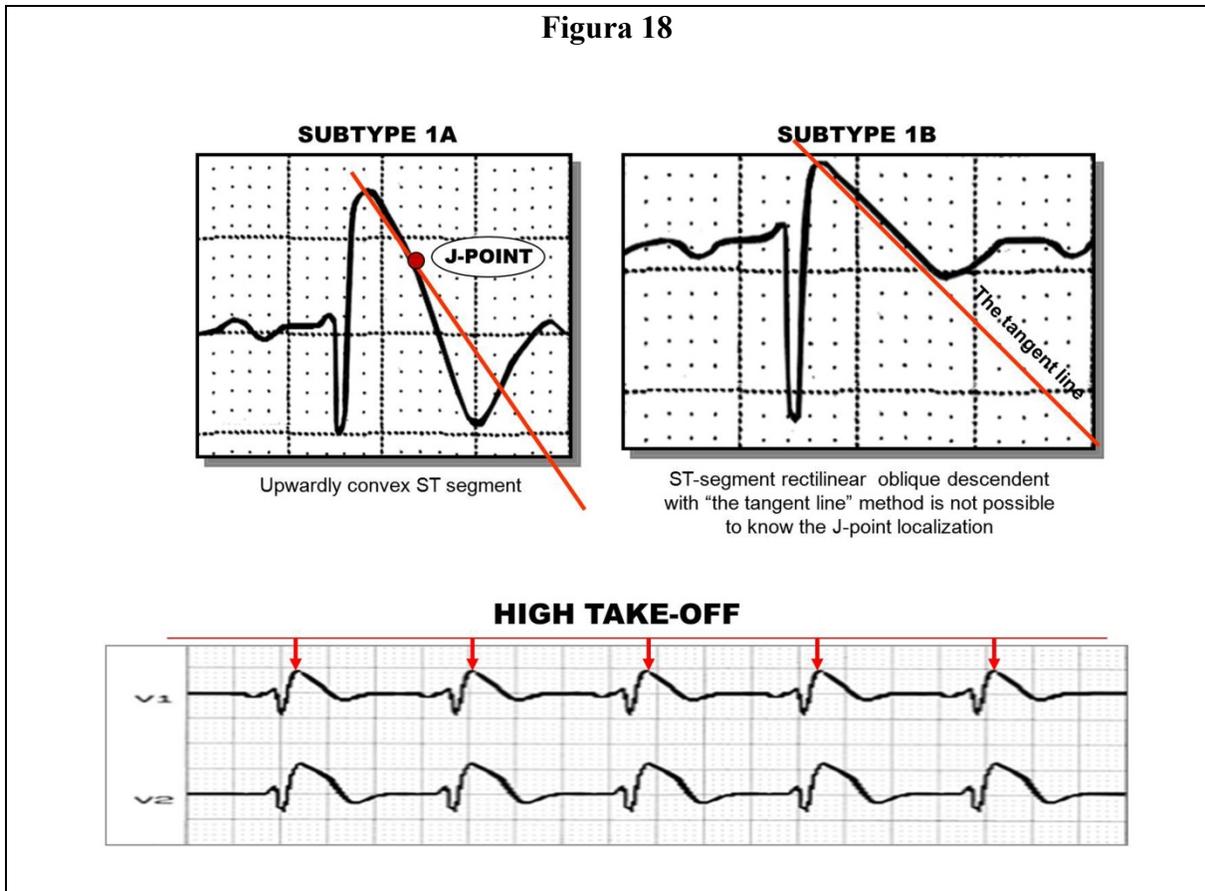


Figura 18

En los casos de patrón de Brugada tipo I, el supradesnivel del segmento ST ≥ 2 mm puede registrarse en las derivaciones precordiales derechas (V1-V2 o V1-V3) y/o derivaciones precordiales derechas altas V_{1H}, V_{2H} y V_{3H}, puesto que el segmento ST puede ser convexo hacia arriba (1A) o descendente oblicuo y rectilíneo (1B). El punto más alto del complejo QRS o *high take-off* no corresponde al punto J. En la variante 1A, para determinar el final de QRS y el inicio de ST (punto J), debemos rastrear una línea tangente rectilínea desde el punto más alto y que acompañe la línea tangente. El punto donde se separa de la tangente debe considerarse el verdadero final de QRS (punto J).

En los casos en los que la rama descendente es oblicua y rectilínea (1B), consideramos en forma arbitraria que la ubicación del punto J se localiza ≤ 40 mseg desde el punto más alto del complejo QRS o *high take-off*.

Figura 19

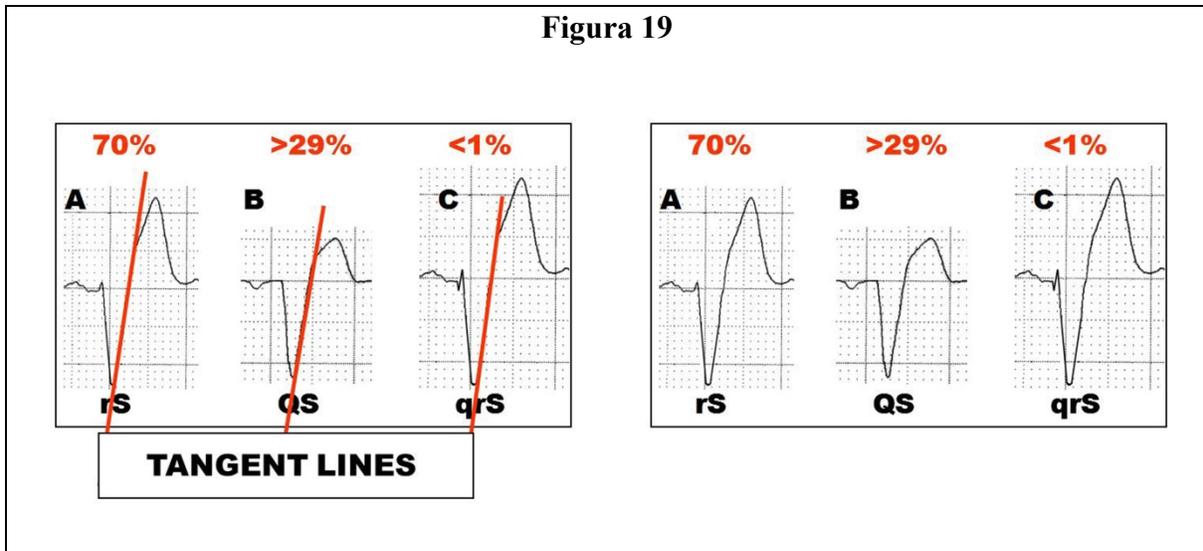


Figura 19

La figura muestra un caso en el que QRS finaliza en S, pero no hay una clara inflexión. En el bloqueo completo de rama izquierda en V1 y V2, los tres siguientes patrones pueden registrarse: rS (70%), QS (>29%) y qrS (<1%). En estos casos el método de la tangente es ideal para determinar el final de QRS y el inicio del segmento ST. El punto donde la tangente se aleja desde el trazado, se considera el punto J. La figura muestra los tres patrones posibles en BCRI no complicado y la determinación del punto J aplica el método de la tangente.

Aspectos del ECG fetal

La electrocardiografía fetal (fECG) se usa para monitorear la actividad eléctrica del corazón fetal. Este registro gráfico de la despolarización y la repolarización puede hacerse directamente y en forma invasiva desde el cuero cabelludo fetal, o indirectamente y de forma no invasiva desde la superficie abdominal de la madre. El fECG permite monitorear latido a latido la variabilidad de la FC y realizar un análisis morfológico de los componentes del ECG fetal. La desventaja es que la confiabilidad es de solamente 60%, aunque es la única técnica que permite el monitoreo ambulatorio del latido del corazón fetal. El fECG permite la medición de los intervalos PR, frecuencias cardíacas, intervalos

QT y detección del síndrome de QT prolongado, arritmias, anormalidades del segmento ST y algunas cardiopatías congénitas (18).

La diferenciación entre el fECG y el ECG materno (mECG) se encuentra en la amplitud de la señal. El voltaje del fECG es mucho menor (5-20 μV) en comparación con el voltaje del ECG materno ($\sim 1000\mu$). La señal fECG es incluso menor entre las 28 y las 34 semanas por el recubrimiento del vórnix caseoso, una sustancia blanca y de aspecto graso, compuesta por las secreciones de las glándulas sebáceas que incluyen las células epiteliales y el lanugo que cubre la piel fetal durante el nacimiento. Puede estar presente como una capa muy delgada o gruesa, y varía de bebé a bebé. No tiene importancia clínica. Una limitación del fECG es no tener una ubicación preestablecida para las derivaciones en la superficie corporal del feto. La derivación del fECG se elige arbitrariamente al colocar los electrodos en el abdomen de la madre que es similar al patrón de la derivación II. La ubicación varía dependiendo de la posición o presentación del feto.

El fECG es el método de elección para detectar la acidosis metabólica durante el embarazo, una complicación que puede dañar la salud del feto. Se demostró que la prueba de fECG con el sistema STAN®21 es más eficiente que la oximetría de pulso en una investigación randomizada por Valverde y cols. (19). Ambas pruebas se usaron para determinar si el feto sufría privación de oxígeno, una complicación relacionada con la acidosis dentro del útero materno. Mientras que el fECG detecta y registra la actividad eléctrica del corazón fetal, la oximetría mide indirectamente la cantidad de oxígeno en la sangre. Hasta recientemente ambos métodos de monitoreo fetal se analizaron en forma separada. No hubo estudios comparativos de ambos métodos para detectar la pérdida de bienestar del feto. En su estudio se analizaron datos de 180 embarazadas durante el trabajo de parto. Los investigadores verificaron que el fECG resultó más útil en la reducción de la cantidad de cesáreas en mujeres que se monitorearon por cardiotocografía (CTG) – un registro gráfico de la FC fetal y las contracciones uterinas. Las cesáreas en estos casos fueron realizadas como un procedimiento de emergencia a raíz de la detección de la acidosis metabólica neonatal (pH de la arteria umbilical $<7,05$ y déficit de base >12 mmol/L). La combinación del fECG y CTG resultó en una frecuencia menor de cesáreas (30%) en comparación con la oximetría (46,7%). Incluso se observó un mejor monitoreo en tiempo real con signos

fetales más claros para el control médico-obstétrico. Puesto que los signos de acidosis pueden detectarse más rápido y de forma más precisa con el fECG y la CTG, es posible que el parto se haga antes de que la salud del feto sea afectada.

Las contracciones uterinas fuertes durante el trabajo de parto reducen el flujo de sangre de la placenta por compresión del cordón umbilical, especialmente antes de que se rompan las membranas. Normalmente el feto tiene suficientes reservas para soportar el flujo reducido de sangre, aunque algunos pueden desarrollar estrés hipóxico. La CTG mide la frecuencia cardíaca fetal y las contracciones uterinas de la madre, y el fECG mide la actividad eléctrica del corazón incluyendo el patrón de latidos cardíacos, así como la formas de onda ST intraparto (STAN). Cuando el fECG es invasivo, se introduce un electrodo a través del cérvix, fijándolo en el cuero cabelludo del feto. Una revisión sistemática de 5 ensayos clínicos randomizados, incluyendo 15.303 mujeres en trabajo de parto, comparó la CTG sola con CTG más fECG, analizando la forma de onda ST intraparto (20). Los autores concluyeron que no hubo diferencias entre ambos enfoques con respecto al índice de Apgar, incidencia de acidosis metabólica, muerte perinatal y encefalopatía neonatal. La única diferencia fue un índice menor de partos vaginales cuando la CTG se usó en forma aislada. Un metaanálisis reciente concluyó que el uso adicional del análisis de ST para el monitoreo intraparto redujo la incidencia de partos vaginales operatorios y la necesidad de muestras de sangre fetal, pero no redujo la incidencia de acidosis metabólica en el nacimiento (21).

Tipos de ECG fetal

- I) Electrocardiografía fetal interna directa o invasiva:** se realiza al introducir un único electrodo a través del cuello uterino y se fija en el cuero cabelludo del bebé. Este método tiene la ventaja de la confiabilidad, puesto que el trazado ECG se obtiene directamente desde el feto sin la interferencia de la actividad eléctrica materna. **Figura 20.** Hay dos desventajas:
 - a.** Limitada al tiempo de trabajo de parto, siendo necesaria cierta dilatación cervical y que las membranas se rompan para acceder al cuero cabelludo fetal. Solamente es útil durante el último trimestre del embarazo cuando la cabeza del feto está en el canal del parto.

- b. Peligro potencial de infecciones que resultan en la necesidad de un entorno quirúrgico.

Figura 20

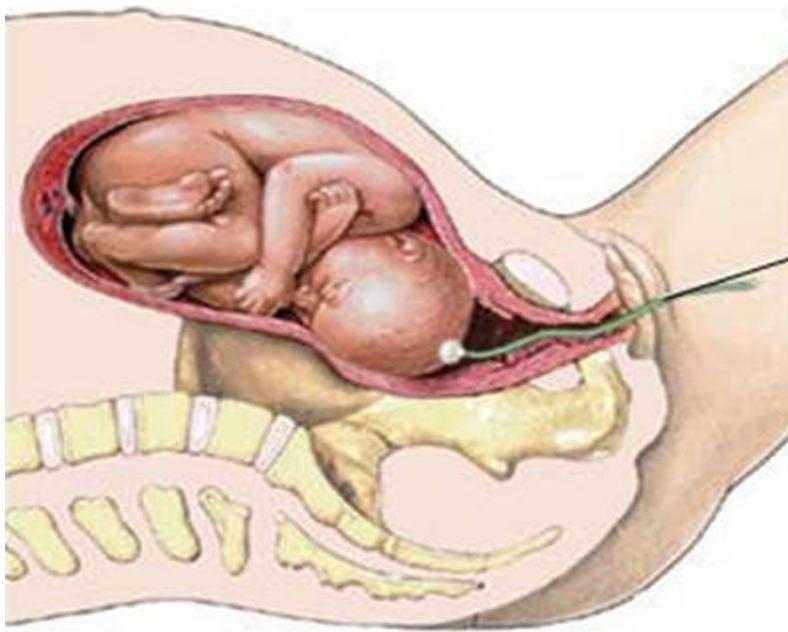


Figura 20

La figura muestra electrocardiografía fetal, interna, directa o invasiva, que consiste en introducir un único electrodo a través del cérvix de la madre, y se fija en el cuero cabelludo del feto. Esta metodología presenta la ventaja de la confiabilidad de los resultados, puesto que el trazado se obtiene directamente del feto, sin interferencia de los biopotenciales maternos.

- II) **Electrocardiografía fetal externa sin quitar el ECG materno:** se realiza usando sensores colocados en el abdomen materno en mujeres luego de 32 semanas de embarazo. El análisis de la FC fetal y los desplazamientos del segmento ST mediante este método han sido similares a los datos obtenidos con electrodos en el cuero cabelludo fetal (22). El fECG con electrodos externos en

el abdomen materno es más confiable y preciso que el ultrasonido y muestra una chance menor de confundir la FC maternal con la FC fetal (23).

- III) Electrocardiografía fetal externa con eliminación del ECG materno:** consiste en señales de ECG mezcladas de la madre y el feto usando cinco electrodos en el abdomen materno y tres electrodos en su tórax. Usando el procesamiento de señales de estas dos señales ECG, se elimina la señal materna casi completamente y se obtiene un ECG fetal casi puro. La principal ventaja es la obtención del ECG fetal sin interferencias, pero la desventaja es que no puede usarse durante el trabajo de parto por las señales generadas por las contracciones de músculo uterino.

Beneficios

El fECG es importante durante el embarazo por la estrecha relación entre la oxigenación fetal y las características del ECG fetal; la FC y la forma de onda de la señal ofrecen una indicación de si la oxigenación fetal es adecuada. Esta relación es un determinante muy importante para un desarrollo fetal normal y la salud del feto. El feto recibe oxígeno a través de la placenta, que a su vez, lo recibe de la madre. Durante las contracciones uterinas, la oxigenación a la placenta es interrumpida por la compresión del cordón causando una disminución significativa del suministro de oxígeno fetal. Esta reducción hace que el feto recurra a su propia reserva, que generalmente resulta suficiente. Cuando las reservas son inadecuadas, la hipoxemia fetal resultante puede llevar a daño cerebral extenso e incluso la muerte. Hay tres patrones clínicos diferentes de sufrimiento fetal agudo que pueden observarse durante el parto:

- I) La hipoxia preparto persistente o no reactiva con FC fetal “fija” en la internación.
- II) Asfixia intraparto progresiva manifestada por un aumento sustancial en la FC, pérdida de variabilidad de la FC y variabilidad repetitiva o desaceleraciones tardías graves.
- III) FC fija con desaceleración prolongada fija hasta aproximadamente 60 lpm hasta el nacimiento.

El diagnóstico de sufrimiento fetal debe corroborarse mediante métodos complementarios, como registro fECG continuo y oximetría del pulso fetal por muestreo de sangre del cuero cabelludo fetal, para determinar inmediatamente los gases y lactato en sangre. Las siguientes son indicaciones de resultado desfavorable, incluyendo encefalopatía neonatal o muerte:

- I) Índice de Apgar persistente bajo (<3) por más de 5 minutos.
- II) Acidosis metabólica grave: pH de la sangre de la arteria umbilical <7,00 con -12 mmol/L de exceso de base (24).

Características ECG

fECG: Es importante por su capacidad de detectar la presencia de asfixia o hipoxia. El ECG fetal se registra por el método de eliminar la señal ECG materna. La amplitud de la señal varía de 5 a 20 μ V; la frecuencia cardíaca fetal normal es de 120 a 160 lpm. El fECG tiene los mismos componentes que el ECG pos-nacimiento, y su morfología es similar.

Figura 21.

Figura 21

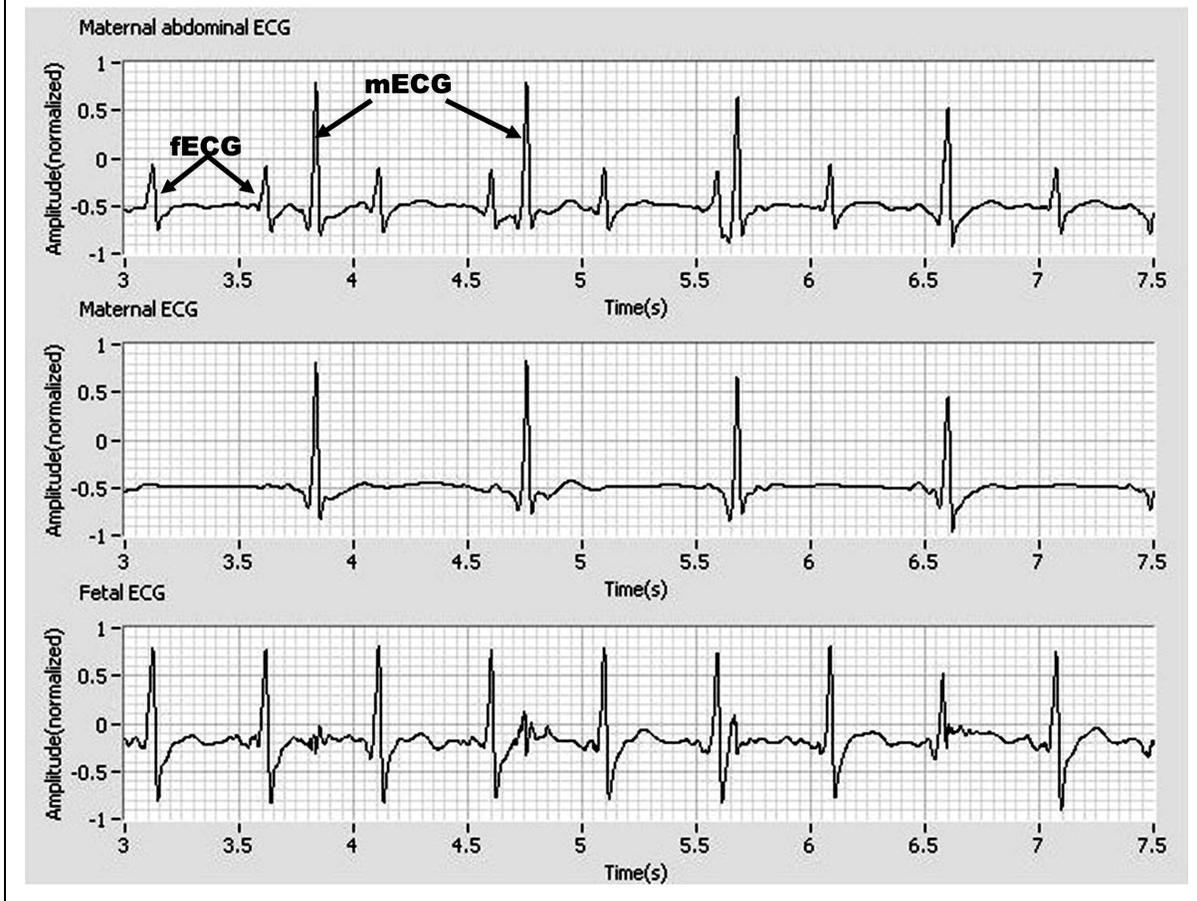


Figura 21

Muestra ECGs fetales y maternos (fECG y mECG). La amplitud de esta señal varía entre 5-20 μV ; la frecuencia cardíaca fetal normal es mayor alrededor de 120 lpm a 160 lpm. fECG presenta los mismos componentes que el ECG pos-nacimiento, y su morfología es bastante similar; sin embargo, su amplitud es mucho menor.

ECG maternal: Se obtiene al colocar tres electrodos en el tórax de la madre. La amplitud es aproximadamente 1 mV con frecuencia cardíaca generalmente entre 60 y 80 lpm.

ECG materno-fetal: Combina el fECG con el de la madre con cinco electrodos de superficie colocados en la región abdominal de la madre. La morfología de la señal es una mezcla de las dos señales previas. **Figura 22.**

Figura 22

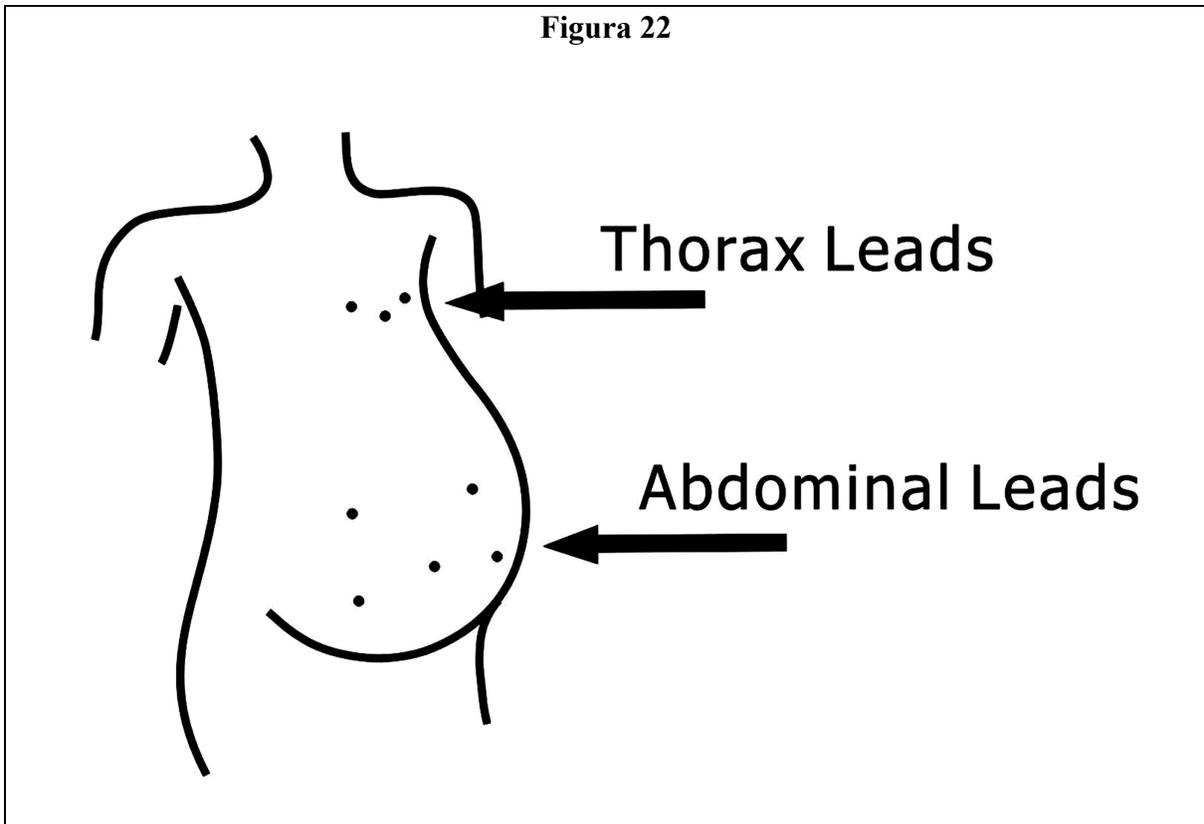


Figura 22

La figura muestra la ubicación de los electrodos en ECG materno-fetal indirecto, que se obtiene con 5 electrodos de superficie localizados en la región abdominal materna y tres en el área torácica.

I. ECG/VCG en recién nacidos prematuros

Los recién nacidos prematuros nacen antes de completar las 37 semanas de edad gestacional. Se calcula que los partos prematuros complican 12,5% de todos los nacimientos en USA, y es la causa principal de morbilidad y mortalidad perinatal, siendo responsable del 75% de las muertes (25). Cuando se registran electrocardiogramas de los recién nacidos, ya sean prematuros o nacidos a término, se recomienda registrar las derivaciones accesorias V3R, V4R y las derivaciones dorsales V7-V9 además de las 12 derivaciones estándar. Las mismas pueden ayudar en la detección de cardiopatías congénitas (16).

Características ECG/VCG de bebés prematuros

Ritmo: La arritmia sinusal fásica o respiratoria es típica, y hay una alta incidencia de escapes de la unión y de ritmos sinusales coronarios.

Frecuencia cardíaca: La frecuencia cardíaca promedia 125 lpm con un rango de 100-210 lpm durante el día y 80 lpm durante el sueño. Las frecuencias cardíacas de los bebés prematuros y nacidos a término también puede aumentar significativamente durante el llanto o agitación de hasta 230 lpm sin implicar patología (26).

Onda P:

Duración: El límite superior máximo es 80 mseg (60 mseg \pm 2 mseg). La duración de la onda P varía con la edad del feto en el nacimiento y aumenta con la edad gestacional (27).

Tabla 1. La medición de la duración de la onda P siempre debe efectuarse en la derivación II desde el límite interno de la onda, no el límite externo.

Voltaje: La máxima amplitud de la onda P es 0,25 – 0,30 mV. La medición debe hacerse desde el límite superior de la línea basal hasta el ápice de la onda P. Para las ondas P con polaridad negativa, uno debe medir desde la línea basal interior hasta el nadir de la onda.

Figura 14.

Polaridad: La onda P normal es siempre positiva en las derivaciones I, II y aVF, siempre negativa en aVR, y variable en las derivaciones III, aVL, V1, V2. En las derivaciones III, V1 y V2 puede ser bifásica (positiva-negativa) y en la derivación aVL puede ser bifásica (negativa-positiva).

Morfología: La forma de la onda P es más redondeada o en punta en la derivación II que en las otras derivaciones.

Intervalo PR o PQ: Éste es el intervalo entre el inicio de la onda P y el inicio de QRS y representa el intervalo desde el inicio de la despolarización auricular hasta el inicio de la despolarización del músculo ventricular. La derivación del plano frontal con duración más prolongada de P y QRS debe elegirse para esta medición. La edad es directamente proporcional a la duración del intervalo PR y la frecuencia cardíaca (FC) se relaciona

inversamente con la duración del intervalo PR – con una sola excepción: en los recién nacidos a término, la duración de la onda P promedia 107 mseg, disminuyendo hasta 98 mseg dentro de los 30 días de vida y luego aumenta (27). En los bebés prematuros el intervalo PR es menor al de los recién nacidos a término, promediando 90 mseg. La **Tabla 2** ilustra los rangos de los valores del intervalo PR con el aumento de la edad.

Eje QRS (SAQRS)

Plano frontal: El eje QRS promedio se encuentra en $+85^\circ$ (rango $+65^\circ$ a $+175^\circ$) y con frecuencia en el cuadrante inferior derecho.

Plano horizontal: En recién nacidos prematuros, el QRS se localiza en el cuadrante anterior izquierdo, en contraste con los recién nacidos a término, en los que el QRS se localiza en el cuadrante anterior derecho.

Duración QRS: Debe medirse en una derivación que comience con una onda q pequeña (por ej., derivación V5). El valor es menor que en los bebés nacidos a término, promediando 40 mseg, pero puede ser de hasta 70 mseg como el límite máximo normal. La medición correcta de la duración QRS se ilustra en la **Figura 16**.

Voltaje de QRS: En el nacimiento, un voltaje bajo en las derivaciones de las extremidades es característico; luego de 30 días el voltaje aumenta en las derivaciones precordiales izquierdas y puede erróneamente sugerir sobrecarga del ventrículo izquierdo.

Morfología de QRS: Comparada con los recién nacidos a término, hay una menor predominancia del ventrículo derecho (VD), puesto que a las 31 semanas el peso del ventrículo izquierdo es mayor que el del VD. A aproximadamente 33 semanas de gestación, la proporción de peso del VI con el peso del VD es 1,0, y en recién nacidos a término esta proporción es 0,8 (28,29). Esta menor predominancia del VD en los recién nacidos prematuros se manifiesta en el ECG por:

- 1) Mayor incidencia de ondas Q profundas en las derivaciones precordiales izquierdas de los potenciales del ventrículo izquierdo.
- 2) Frecuente patrón qR en la derivación V6.

- 3) La duración de la onda Q promedia 20 mseg con una profundidad máxima normal de 0,8 mV. En recién nacidos no debería haber ondas q en las derivaciones I y aVL. Su presencia sugiere un origen anómalo de la coronaria izquierda desde la arteria pulmonar (síndrome de Bland-White-Garland) presente en más del 80% de los casos. En esta entidad, la profundidad de la onda q en la derivación I es generalmente más del 50% del voltaje de la onda R.
- 4) Voltaje bajo inicial de la onda r en las derivaciones V1 y V4R.
- 5) Onda R de mayor voltaje en la derivación V6.
- 6) Proporción R/S en las derivaciones precordiales: en el 35% de los casos la proporción R/S en V1 es <1 (complejo rS), lo que indica predominancia del VI. En recién nacidos a término esta proporción siempre es >1 . Ondas T negativas y de bajo voltaje casi siempre están presentes en esta derivación.

Intervalo QT: Se ha establecido claramente la asociación entre intervalos QT prolongados y muerte súbita cardíaca en lactantes. Varios estudios han analizado intervalos QT en recién nacidos a término, pero poco se sabe sobre intervalos QT en recién nacidos prematuros. Séguéla y cols. (30), describieron la evolución de intervalos QTc (por fórmula de Bazett) registrados en recién nacidos prematuros en la UTI neonatal que no tenían cardiopatías, historia familiar de síndrome de QT prolongado, hemodinamia inestable, o que recibían medicamentos que se sabe prolongan el intervalo QT. Se tomaron ECGs semanalmente hasta el alta de cada bebé. Se obtuvo un total de 309 ECGs en 87 niños con edades gestacionales entre 24 y 36 semanas. El QTc en lactantes muy prematuros (<30 semanas de gestación) aumentó inicialmente y luego disminuyó hasta el alta. En bebés prematuros más maduros, el QTc solamente disminuyó. Sus datos sugieren que el QTc en recién nacidos varía con la edad gestacional, aumentando hasta las 32 semanas y luego disminuyendo, lo que sugiere una posible vulnerabilidad de la prolongación del intervalo QT relacionada con medicamentos en lactantes muy prematuros. Se precisan más datos sobre intervenciones farmacológicas sobre el QTc en esta población particular.

Efecto de la postura del sueño sobre el QTc

Dormir hacia abajo aumenta los intervalos QTc y JTc y disminuye la variabilidad de la FC, potencialmente aumentando la vulnerabilidad al síndrome de muerte infantil súbita (SMIS).

Dormir sobre la espalda se recomienda actualmente no sólo para los bebés prematuros, sino también para todos los bebés nacidos a término luego del alta hospitalaria (31). Se halló una diferencia significativa en las duraciones de los intervalos PR y QTc y dispersión QT entre adultos jóvenes nacidos con un peso extremadamente bajo y aquellos nacidos a término y con peso normal. Sin importar el mecanismo fisiopatológico, debe considerarse el riesgo potencial de arritmias malignas por drogas que prolongan el intervalo QT en esta población (32).

Vectocardiograma en bebés prematuros

En contraste con los recién nacidos a término, el bucle QRS en el PH presenta una rotación antihoraria y se localiza predominantemente a la izquierda de la derivación ortogonal Z pósterio-anterior ($+90^\circ$ a -90°). En los recién nacidos a término, el bucle QRS se localiza predominantemente a la derecha de la derivación Z pósterio-anterior. En el plano frontal, el vector QRS máximo se ubica a aproximadamente $+80^\circ$. El bucle T se localiza posterior y hacia la izquierda, resultando en ondas T negativas en las derivaciones V1-3.

II. ECG/VCG en recién nacidos a término

Se considera que el período neonatal tradicionalmente dura hasta las primeras tres o cuatro semanas de vida. Las semanas adicionales hasta la sexta semana se denominan la fase de transición, que luego sigue por la fase juvenil (33).

Ritmo: La arritmia sinusal fásica o respiratoria es menos frecuente en recién nacidos que en niños mayores por las frecuencias cardíacas en reposo más altas en las primeras semanas de vida. A diferencia de la arritmia sinusal fásica de marcapasos migratorio, no se caracteriza por diferencias en la morfología o polaridad de la onda P.

Frecuencia cardíaca: El límite superior de la FC en recién nacidos a término es aproximadamente 182 lpm durante el día y 160 lpm durante el sueño. Durante los primeros siete días, la FC varía entre 90 y 166 lpm, y durante el primer mes de vida la FC máxima es aproximadamente 182 lpm (34). La taquicardia sinusal en recién nacidos puede ser causada por fiebre, infección, anemia, dolor, hipovolemia, hipertiroidismo y diversas condiciones

cardíacas como miocarditis que resulta en insuficiencia cardíaca. La Tabla 3 muestra el rango normal de FC durante los primeros 30 días de vida. **Tabla 3.**

Tabla 3

Edad de 0 a 30 días de vida	Frecuencia cardíaca (latidos por minuto)
0–1 días	93–154 (123)
1–3 días	91–159 (123)
3–7 días	90–166 (129)
7–30 días	107–182 (149)

Onda P:

- **SAP:** Los recién nacidos generalmente tienen el SAP en el plano frontal a la izquierda, entre 0° y $+30^\circ$ durante las primeras 24 horas de vida. Esto resulta en ondas P negativas o negativas-positivas en la derivación III con la parte negativa igual o mayor que la parte inicial positiva. El SAP normal puede variar entre -30° y $+120^\circ$, aunque el límite superior máximo aceptado en el primer día de vida es $+90^\circ$.
- **Duración:** La duración de la onda P normal es 40 – 80 mseg.
- **Voltaje máximo:**
 - 2,8 mm durante los primeros tres días.
 - 2,9 mm entre el tercer y el séptimo día.
 - 3 mm entre los días 7 y 13.
- **Polaridad:** En las derivaciones precordiales, la onda P siempre es positiva de V3 a V6. En la derivación V1, la onda P puede ser negativa-positiva, y en el 90% de los bebés, la onda P es positiva en V2 y positiva-negativa en el 10% restante.
- **Intervalo PR:** Este intervalo es directamente proporcional a la edad e inversamente proporcional a la frecuencia cardíaca. El intervalo PR normal en la derivación II es entre 70 y 140 mseg, promediando 100 mseg. El intervalo PR promedio disminuye

durante el primer mes de vida. La **Tabla 4** muestra el rango del intervalo PR normal durante los primeros 30 días de vida (16). **Tabla 4.**

Tabla 4

Rango de edad en días	Intervalo PR en mseg
0-1 día	80 a 160 mseg (promedio 110)
1-3 días	80 a 140 mseg (promedio 110)
3-7 días	80 a 140 mseg (promedio 100)
7-30 días	70 a 140 mseg (promedio 110)

Complejo QRS

- **Duración:** La duración promedio de QRS es 50 mseg, con un valor máximo de 80 mseg (16). La Tabla 5 muestra el rango fetal y pos-nacimiento normal de las duraciones QRS medidas en la derivación V5. **Tabla 5.**

Tabla 5

Feto y días pos-nacimiento y adolescencia	Duración QRS medida en V5 en milisegundos (mseg)
Entre 18 y 22 semanas de embarazo	47 mseg
40 semanas	53 mseg
0-1 días	20 a 80 (promedio 50)
1-3 días	20 a 70 (promedio 50)
3-7 días	20 a 70 (promedio 50)
Adolescencia	70 mseg

- **Voltaje:** El voltaje QRS en las derivaciones de las extremidades usualmente es menor. Los bajos valores de voltaje ($<0,05$ mV) pueden indicar miocarditis u otras cardiopatías.
- **Eje QRS:** Normalmente varía de $+30^\circ$ a $+130^\circ$. En recién nacidos y lactantes, SAQRS puede ubicarse en el cuadrante inferior derecho en el plano frontal, resultando en una onda R final prominente en la derivación aVR. Los valores del eje QRS entre $\pm 180^\circ$ y -90° (cuadrante noroeste) deben considerarse como un desplazamiento extremo a la derecha, con patrón Rs en aVF y QRS predominantemente positivo en aVR. Los valores del eje QRS entre -30° y -90° son considerados desplazamientos extremos a la izquierda y pueden observarse en defectos de cojín aurículoventricular y atresia tricuspídea.
- **Morfología QRS:** El complejo QRS en recién nacidos refleja los efectos hemodinámicos de la predominancia del ventrículo derecho durante la vida intrauterina y las alteraciones anatomofisiológicas, resultando de la transición de circulación fetal a la neonatal. Como resultado, el ECG de bebés y niños muestra una disminución progresiva en las fuerzas del ventrículo derecho en relación con la predominancia característica de las fuerzas del ventrículo izquierdo observadas en el ECG de los adultos. El QRS del recién nacido muestra Rs u onda R pura en V1 y V2 con un límite normal de proporción R/s en V1 de 6,5. El voltaje de la onda R en V1 aumenta durante el primer mes de vida, y luego de 30 días disminuye progresivamente. Las muescas de las ondas R y S son frecuentes en V1. Los voltajes de la onda R ≥ 1 mV, sugiere fuertemente sobrecarga del ventrículo derecho, aunque los voltajes de la onda R de hasta 2,6-2,9 mV durante los primeros 7 a 21 días de vida pueden ser normales. El voltaje de la onda R disminuye rápidamente en los primeros siete días de vida, pero es siempre >1 en las derivaciones V1-2. A diferencia del ECG en adultos, hay pérdida de progresión en los voltajes de la onda R de V1 a V5, con aumento progresivo de la profundidad de la onda S. En resumen, en recién nacidos a término la onda R es dominante en las precordiales derechas V4R, V1, V2 con ondas S dominantes en V5 y V6. La progresión del tipo adulto de las proporciones R/S en las derivaciones precordiales

es rara en el primer mes de vida, y cuando está presente, sugiere sobrecarga del ventrículo izquierdo por prematuridad (6). El patrón QRS en las derivaciones V5-6 puede ser del tipo qRS, rS o RS. La onda S siempre es profunda en estas derivaciones, y puede alcanzar un máximo de 1 mV en el nacimiento. La **Tabla 6** ilustra los valores QRS normales en el primer mes de vida con respecto a:

- Profundidad normal de las ondas q en la derivación III.
- Voltaje normal de R en V1. Las ondas R son prominentes en lactantes y alcanzan valores de hasta 2,6 mV, pero el voltaje disminuye rápidamente en la primera semana de vida(28).
- Profundidad de la onda S normal en V1.
- Proporción R/S normal en V1.
- Voltaje de onda R normal en V6.
- Voltaje de onda S normal en V6.
- Proporción R/S normal en V6.
- Suma de S normal en V1 + R en V6.
- Suma de R + S normal en V4.

Tabla 6

Valores máximos normales de las ondas del complejo QRS en las derivaciones principales en los primeros 30 días de vida.

Edad	Q III (mm)	QV ₆ (mm)	RV ₁ (mm)	SV ₁ (mm)	R/S V ₁	RV ₆ (mm)	SV ₆ (mm)	R/S V ₆	SV ₁ + RV ₆ (mm)	R + SV ₄ (mm)
0-1 día	5·2	1·7	5-26	0-22·5	9·8	0-11	0-9·8	10	28	52
1-3 días	5·2	2·1	5-27	0-21	6	0-12	0-9·5	11	29	52
3-7 días	4·8	2·8	3-24	0-17	9·7	0·5-12	0-9·8	10	25	48
7-30 días	5·6	2·8	3-21·5	0-11	7	2·5-16	0-9·8	12	22	47

Onda T: Luego de las primeras 72 h de vida, el ángulo espacial de la onda T (SAT) se mueve en forma posterior y hacia la izquierda hasta aproximadamente -45° y luego se desplaza progresivamente en forma anterior, resultando en ondas T negativas en V1 y ondas T positivas en V5-6. En contraste con los bebés normales luego de 3 días de vida y niños menores de 6 años, el SAT en la sobrecarga del ventrículo derecho permanece en el hemicampo positivo de V1. Una proporción R/S >1 en V1 con ondas T positivas luego de 3 días de vida y hasta 7 años de edad sugiere SVD.

Intervalo QT: Este intervalo se extiende desde el inicio de QRS hasta el final de la onda T. Debe medirse en las derivaciones II, V5 y V6, usando el valor más prolongado como medida. Cuando se usan derivaciones simultáneas multicanal, el intervalo QT puede medirse desde el inicio del QRS más precoz en cualquier derivación hasta el final de la onda T, donde la pendiente descendiente de las extremidades se une con la línea basal, teniendo cuidado de no incluir la onda U. En las derivaciones ECG no simultáneas, se aconseja medir el intervalo QT en la derivación V3, porque esta derivación es perpendicular al eje de la onda U en el plano horizontal (35). El eje de la onda U (SAU) apunta hacia el frente y a la izquierda ($+60^\circ$ en el PH). De este modo, la onda U se observa mejor en V3 (entre V2 y V4).

En los casos en los que los intervalos RR son irregulares, el QT debe medirse en los tres ciclos sucesivos y se calcula el promedio.

Fórmulas recientemente presentadas para corregir el intervalo QT como función lineal de poder RR o frecuencia cardíaca en adultos (44-48) y en niños (49) son preferibles a las fórmulas de Bazett y Fridericia. El QT corregido por la fórmula de Bazett subestima el valor de QTc, cuando la frecuencia cardíaca aumenta (36).

De las fórmulas propuestas para corregir el intervalo QT por la FC, la fórmula de Bazett es la que se emplea en forma más generalizada (37). Se propuso en 1920, y la fórmula se desarrolló desde un gráfico de intervalos QT medidos en solamente 39 individuos, y se obtuvieron al dividir el QT medido en segundos por la raíz cuadrada de intervalos RR en segundos:

$$QTc = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$$

En mujeres entre los 50 y 79 años, la fórmula de Bazett no es adecuada para probar drogas nuevas u otras aplicaciones (38). Una fórmula presentada por Fridericia también en 1920 usa la raíz cúbica de los intervalos RR (39):

$$QT_F = \frac{QT}{\sqrt[3]{RR}}$$

La fórmula de Bazett en ambos sexos, de 40 años o más, tiene una fuerte correlación residual positiva ($r=0,32$), y la fórmula de Fridericia tiene una correlación negativa (40,45). Los intervalos QT corregidos pueden ser imprecisos, especialmente cuando las frecuencias cardíacas son altas. Durante el sueño, cuando predomina el tono vagal, el intervalo QT se extiende 18 mseg a una FC de 60 lpm y 21 mseg a una FC de 50 lpm comparados con el estado de vigilia (41).

Sagie y cols. (42), desarrollaron un método al estudiar más de cinco mil adultos de una cohorte de Framingham de entre 28 y 62 años. Los autores prepararon una tabla para ambos sexos, donde los cálculos de los valores QT promedio esperados para diversas longitudes de ciclo RR se expresaban en segundos. El método consistía en restarle 0,02 seg de QT por cada aumento en la FC de 10 lpm. Si la frecuencia cardíaca no es muy alta o muy baja, los límites superiores del QT pueden calcularse aproximadamente al suponer que QT es igual a QTc a una FC de 60 lpm y restarle 0,02 seg por cada aumento en la FC de 10 lpm o sumarle 0,02 por cada disminución de la FC por 10 lpm. Por ejemplo, si el QTc normal es $\leq 0,42$ seg, se esperaría que el QT medido fuera $\leq 0,42$ seg a una FC de 60 lpm, $\leq 0,40$ seg a 70 lpm, y $\leq 0,40$ seg a 80 lpm. Los autores determinaron el valor medio así como los límites normales superior e inferior para el QT en ambos sexos.

En el grupo en edad pediátrica, los límites superiores normales para el QTc se han estimado en 440-450 mseg, excepto para las recién nacidas mujeres, donde se han registrado valores normales de QTc de hasta 562 mseg y 454 mseg entre 1 y 2 meses de edad. El límite normal inferior de QTc se ha calculado en aproximadamente 370 mseg, y en adolescentes de entre 12 y 16 años, en 363 mseg (10).

En los bebés menores de 1 año, es importante determinar valores extremos de QTc porque el síndrome de muerte infantil súbita (SMIS) puede resultar de los síndromes congénitos de QT prolongado y QT corto. El SMIS se refiere a cualquier muerte súbita que ocurre durante el sueño en lactantes menores de 6-12 meses que no tiene explicación luego de una evaluación cuidadosa, incluyendo autopsia, investigación de la escena de la muerte y revisión de la historia clínica (43).

Para los cálculos de QTc, algunos autores recomiendan tablas de regresión lineal en vez de fórmulas como la de Bazett. Además, el QTc no debe determinarse cuando los intervalos RR presentan una gran variabilidad, como se observa durante la fibrilación auricular, o cuando la identificación del final de la onda T no es confiable. La **Tabla 7** ilustra los valores predictivos mínimo, medio y máximo de QT para ambos sexos, relacionándolos con los rangos de intervalos RR. **Tabla 7**.

Tabla 7

Predicción de valores promedio de QT en varias longitudes de ciclo RR

I) QT en hombres (segundos)

RR (segundos)	FC (lpm)	Valor promedio	Límite inferior	Límite superior
0,50	120	0,299	0,255	0,343
0,55	109	0,307	0,263	0,351
0,60	100	0,314	0,270	0,358
0,63	92	0,322	0,278	0,366
0,70	86	0,330	0,286	0,347
0,75	80	0,337	0,293	0,381
0,80	75	0,345	0,301	0,389
0,85	71	0,353	0,309	0,397
0,90	67	0,361	0,317	0,404
0,95	63	0,368	0,324	0,412
1,00	60	0,376	0,332	0,420
1,05	57	0,384	0,340	0,428
1,10	55	0,391	0,347	0,435
1,15	52	0,390	0,355	0,443
1,20	50	0,407	0,363	0,451
1,25	48	0,414	0,370	0,458
1,30	46	0,422	0,378	0,466
1,35	44	0,430	0,386	0,474
1,40	43	0,438	0,394	0,482
1,45	41	0,445	0,401	0,489
1,50	40	0,453	0,409	0,497

II) QT en mujeres (segundos)

RR (segundos)	FC (lpm)	Valor promedio	Límite inferior	Límite superior
0,50	120	0,311	0,267	0,354
0,55	109	0,318	0,274	0,362
0,60	100	0,326	0,282	0,370
0,63	92	0,334	0,290	0,378
0,70	86	0,341	0,297	0,385
0,75	80	0,349	0,305	0,393
0,80	75	0,357	0,313	0,401
0,85	71	0,364	0,321	0,408
0,90	67	0,372	0,328	0,416
0,95	63	0,380	0,336	0,424
1,00	60	0,388	0,344	0,432
1,05	57	0,395	0,351	0,439
1,10	55	0,403	0,359	0,447
1,15	52	0,411	0,367	0,455
1,20	50	0,418	0,374	0,462
1,25	48	0,426	0,382	0,470
1,30	46	0,434	0,390	0,478
1,35	44	0,441	0,397	0,486
1,40	43	0,449	0,405	0,493
1,45	41	0,457	0,413	0,501
1,50	40	0,465	0,421	0,509

Los valores de los límites superiores normales del QTc varían con el sexo, puesto que las mujeres tienen límites superiores más altos. Para el riesgo de muerte súbita, el QTc anormal “límitrofe” para los hombres es 431-450 mseg y para las mujeres 451-470 mseg. La prolongación del QT “definido” para los hombres es >450 mseg y para las mujeres >470 mseg. Las diferencias de sexo en el QTc no se observan en lactantes y en aquellos entre 10 y 13 años de edad. En niños el límite superior máximo de QTc es 0,46 seg (460 mseg).

En recién nacidos, los límites superiores del QTc son mayores y pueden ser normales hasta los 490 mseg. Algunos autores proponen un límite máximo menor de 450 mseg en recién nacidos y 44 mseg luego de esa edad. Aproximadamente el 5% de recién nacidos tienen un QTc >440 mseg. Los recién nacidos en el cuarto día de vida están en un riesgo aumentado de muerte súbita (SMIS) si el QTc >440 mseg. El riesgo de síndrome de QT corto congénito puede estimarse con el índice Gollob (45). A una FC de 60 lpm, un QTc <370 mseg es extremadamente raro en adultos sanos. Usando la fórmula de Bazett, un QTc <370 mseg, <350 mseg y <330 mseg reciben puntajes de 1, 2 y 3 respectivamente en el índice

Gollob. El límite inferior normal del QTc por debajo del cual las arritmias pueden ocurrir, es 330-350 mseg.

El QTc promedio en el cuarto día de vida es 400 ± 20 mseg, y a diferencia de los adultos, no presenta diferencias de sexo. En los niños sanos hay prolongación fisiológica de QTc en el segundo mes de edad (~ 410 mseg) seguida por una disminución progresiva en el sexto mes, a valores registrados durante la primera semana.

Un QTc de alrededor de 500 mseg indica un riesgo potencial para arritmias fatales conocidas como *torsades de pointes*. A frecuencias cardíacas muy altas, el final de la onda T en los portadores de QT prolongado hereditario puede superponerse sobre la siguientes onda P. En esta situación una tangente debe dibujarse a través de la rama descendente de la onda T y el QT debe medirse donde la tangente cruza la línea basal del ECG. A frecuencias cardíacas muy altas o muy bajas, la fórmula de Bazett puede ser imprecisa, aunque aun sigue siendo la metodología predominante en la práctica clínica.

La infusión de epinefrina en una dosis baja administrada gradualmente e *in crescendo* (0,05, 0,1, 0,2 y 0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$) en portadores de LQT1 resulta en un aumento paradójico en el QT, a diferencia de lo que sucede en las personas normales (46). La infusión de epinefrina es una prueba poderosa para predecir el genotipo en las variantes LQT1, LQT2 y LQT3 de los síndromes de QT prolongado congénito, y mejora el diagnóstico clínico, especialmente en los pacientes con LQT1(47).

El intervalo QT generalmente es considerado una medida de repolarización ventricular, incluso aunque también incluya la despolarización ventricular. En presencia de bloqueo de rama o preexcitación, el QT medido puede no ser un reflejo preciso de la repolarización ventricular. En estos casos la medición desde el final de QRS hasta el final de la onda T (JT/JTc) es preferible, porque esta medida excluye la despolarización ventricular. La medición de JTc también resulta útil en la identificación de casos de SQTTL, donde los intervalos QT limítrofes puede aun ser normales. También se observan ejemplos en los casos pos-operatorios de tetralogía de Fallot que desarrollan bloqueo de rama derecha (BRD) luego de ventriculotomía en la pared libre del VD. En estos casos medir el JTc resulta más preciso en la identificación de repolarización prolongada que medir el QT.

Valor del VCG con lectura automática del QTc

Puesto que la medición del QTc en niños es menos confiable que en los adultos, buscar mejores herramientas resulta justificado. Investigadores suecos (48) compararon el VCG por el método de Frank con el ECG de 12 derivaciones en niños con síndrome de QT prolongado congénito. Compararon 35 niños con SQTG genéticamente confirmado (29 con mutaciones KCNQ1, 6 con mutaciones KCNH2) con niños normales pareados por edad/sexo. En niños con SQTG, el 86% recibió el diagnóstico correcto con VCG de Frank, en comparación con el 82% con medición manual del ECG y 69% por diagnóstico ECG automático por computadora.

Valores QTc normales

En las primeras 24 h de vida, el QTc normal es 370-530 mseg, promediando 420 mseg. Desde el segundo día de vida hasta los 2 años, el QTc normal es 370-420 mseg, promediando 400 mseg. Entre dos y cuatro años de vida, el QTc normal es 380-420 mseg, promediando 400 mseg. Entre 4 y 10 años, el QTc es 400-430 mseg con un promedio de 410 mseg. Entre 11 y 14 años, el rango de QTc es 400-420, promediando 410 mseg. En los adultos, el QTc normal es 350-440, promediando 380 mseg.

ECG y VCG en lactantes de uno a seis meses de edad

- 1) **Frecuencia cardíaca:** En este grupo etario, las frecuencias cardíacas normales varían entre 106 y 186 lpm con límite normal máximo durante el día de 186 lpm y durante el sueño de 120 lpm. La FC mínima normal de 1 a 3 meses es 106 lpm y 120 lpm hasta los 6 meses.
- 2) **Ritmo:** Sinusal.
- 3) **Onda P:**
 - Eje del plano frontal +30° a +90°, promediando +56°.
 - Duración \leq 80 mseg.
 - Voltaje: promedio de 0,15 mV con límite máximo de hasta 0,25 mV. En las precordiales derechas, el voltaje máximo es 0,15 mV.
 - Polaridad: positiva en II, I, aVF y negativa en aVR; variable en III y aVF. En las precordiales es positiva de V3 a V6, y variable en V1 y V2.

4) **Intervalo PR:** Varía entre 90 msec a 140 msec y disminuye progresivamente luego del primer mes de vida.

5) **Complejo QRS:**

- **Eje QRS (SAQRS):** En el plano frontal de hasta $+125^\circ$ es normal, pero es generalmente menor a $+90^\circ$ con R en aVR $>$ R en III.
- **Máxima duración QRS:** 80 msec.
- **Voltaje:** voltajes aumentados son frecuentes y pueden confundirse con sobrecarga biventricular.
- **Derivaciones precordiales:**
 - Proporción R/S en V1 y V4R $>$ 1.
 - Proporción R/S en V2 aproximadamente 1.
 - R en V1 \div R en V6 $>$ 1 desde el nacimiento hasta los 6 meses de vida (50).
 - Posible RSR' trifásico en V1.
 - Frecuentes complejos QRS de gran voltaje que pueden confundirse con hipertrofia ventricular.
 - Deflexión intrínseca en V6 $>$ 30 msec.
 - Duración de la onda Q \leq 20 msec. En lactantes, las ondas Q a veces se observan en las derivaciones I y aVL, y cuando están presentes, pueden indicar enfermedad subyacente. Una onda Q \geq 30 msec y profundidad \geq 3 mm sugiere origen anómalo de la arteria coronaria izquierda desde la arteria pulmonar. Durante la última década, el ECG se ha convertido en una herramienta importante de *screening* para la evaluación del riesgo de muerte súbita en atletas jóvenes (51).
 - Ondas Q \geq 3 mm de profundidad y \geq 40 msec de duración en más de 2 derivaciones que no sean V1, V2 o III, tienen una alta especificidad para una baja sensibilidad en el diagnóstico de miocardiopatía hipertrófica. La miocardiopatía hipertrófica familiar se diagnóstico en \approx 50% de niños comprometidos genéticamente por ECG convencional y/o criterios ecocardiográficos (52).
- **Onda T:** En niños mayores de un mes, las ondas T son frecuentemente negativas en V1, V2 y V3.

- Ángulo QRS/T: $>60^\circ$.

Las correlaciones ECG/VCG de un lactante normal a los seis meses de edad, se ilustran en la **Figura 23** (plano frontal), la **Figura 14** (plano horizontal) y la **Figura 25** (plano sagital derecho).

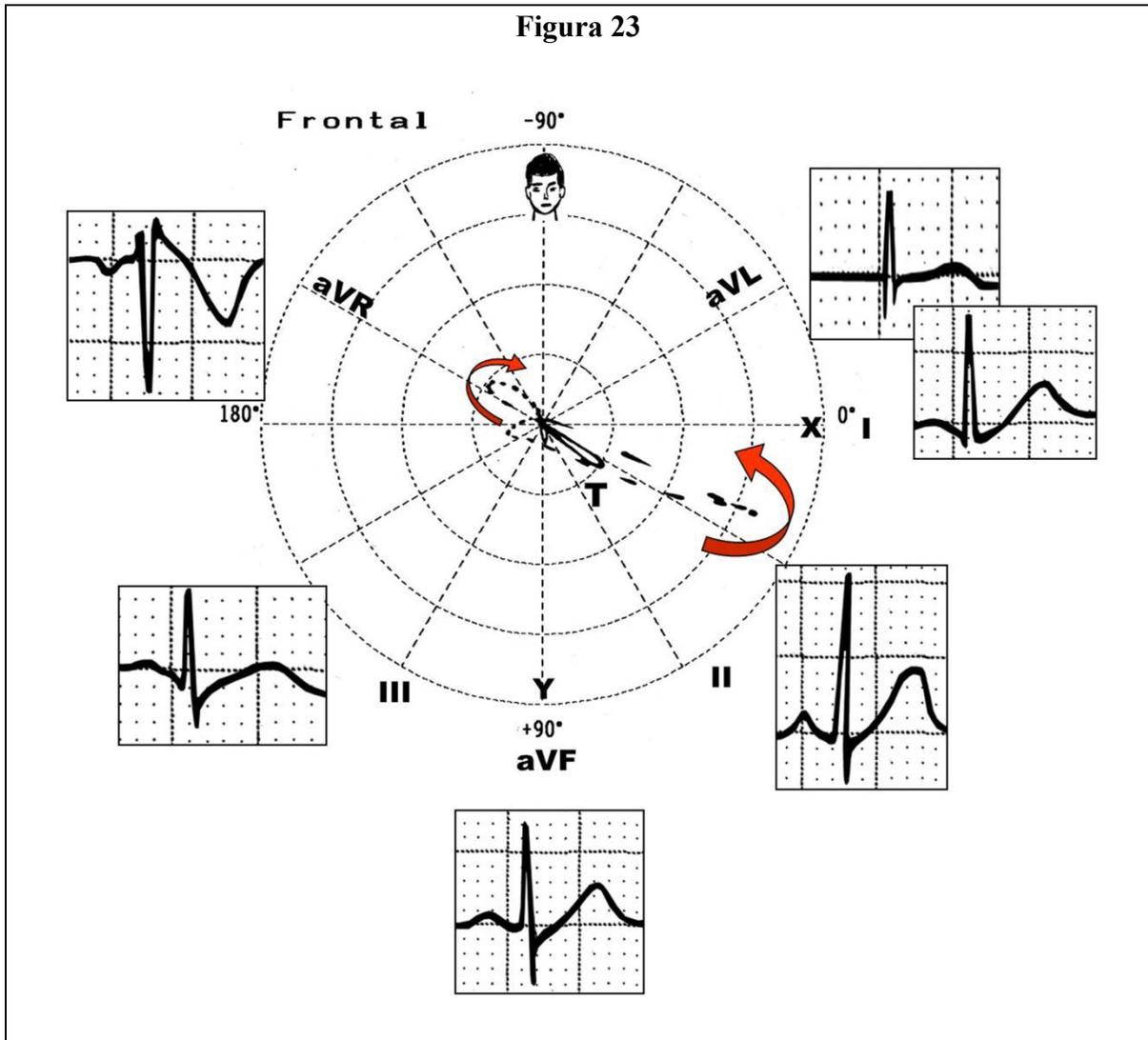


Figura 23

La figura muestra la correlación ECG/VCG en el PF de un lactante normal con seis meses de edad. SAP y SAQRS están muy cerca de $+30^\circ$ y con la parte final del bucle QRS en el cuadrante superior derecho.

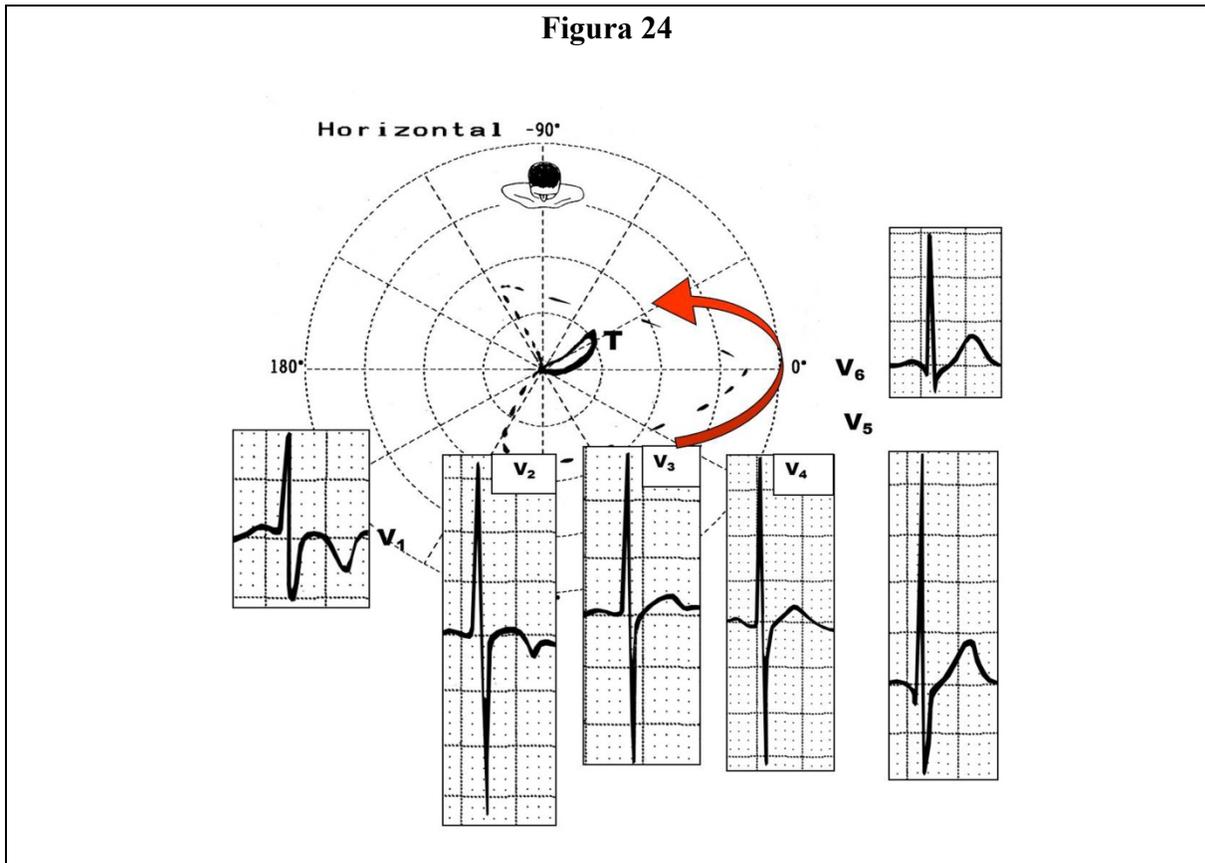


Figura 24

La figura muestra la correlación ECG/VCG en el PH de un lactante normal con seis meses de vida. Isodifasismo amplio se observa en las derivaciones precordiales intermedias y bucle QRS con más del 50% ubicado en el cuadrante anterior izquierdo. Este patrón puede confundirse con sobrecarga ventricular y CIV. Sólo ECG/VCGs seriales pueden ofrecer una clave diagnóstica. El bucle T se ubica hacia atrás y a la izquierda, lo que explica la T negativa en V1 y V2.

Figura 25

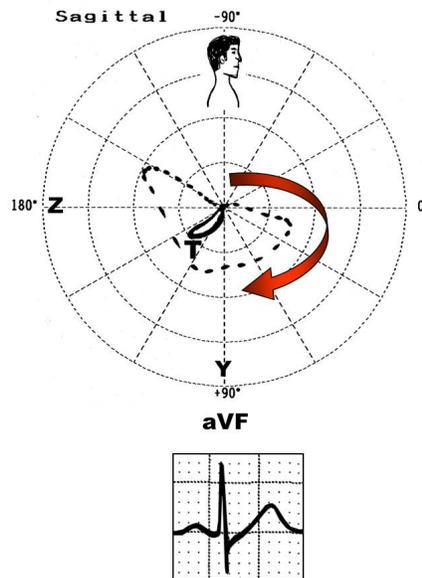


Figura 25

La figura muestra la correlación ECG/VCG en el plano sagital derecho (PSD) de un infante normal con seis meses de vida. El bucle QRS muestra rotación horaria y se ubica predominantemente en el cuadrante inferior y anterior. El bucle T apunta hacia atrás y abajo, lo que justifica la polaridad positiva de la onda T en aVF inferior.

ECG y VCG normales en niños de 6 a meses a 3 años de edad.

- 1. Frecuencia cardíaca:** En reposo normalmente varía entre 90 y 120 lpm.
- 2. Ritmo:** Sinusal.
- 3. Onda P:** El ángulo espacial de la onda P (SAP) es 0° a $+90^\circ$, y la duración de la onda P es de hasta 80 mseg. El voltaje máximo es 0,3 mV y la polaridad es similar a lactantes menores.

- 4. Intervalo PR:** Para las frecuencias cardíacas de 90-120 lpm, el intervalo PR varía entre 90 y 150 mseg.
- 5. Complejo QRS:**
- **Eje del QRS (SAQRS) en los planos frontal y horizontal:** En el plano frontal, generalmente es $<90^\circ$ y promedia entre $+60^\circ$ y $+80^\circ$. En el plano horizontal la onda P se encuentra en el cuadrante anterior izquierdo.
 - **Duración QRS:** Promedia 60 mseg y generalmente es <80 mseg. Desde el primer año de edad hasta la adolescencia, hay una relación lineal entre la duración QRS y la edad (53).
 - **Voltaje QRS:** Como en los lactantes menores, complejos QRS normales de gran voltaje pueden erróneamente diagnosticarse como sobrecarga ventricular.
 - **Voltaje QRS en las derivaciones precordiales:**
 - Proporción R/S en V1 ≤ 1 (complejo RS o rS). El voltaje QRS promedia 0,9 a 1,9 mV.
 - Patrón QRS trifásico frecuente (rsr' o rSR') en V1 a V3.
 - Ondas R prominentes en V6 con voltaje promedio 1,2 a 1,3 mV, pero puede alcanzar 0,24 mV con onda q normal de hasta 0,2 mV de profundidad.
 - $R \text{ en V1} \div R \text{ en V6} < 1$. Esta proporción es >1 en bebés de hasta seis meses de vida; a un año, la proporción es aproximadamente 1; entre 1 y 3 años de vida, la proporción es <1 .
 - **Segmento ST:** Luego de un año de vida, el supradesnivel del segmento ST en las precordiales derechas puede ser de hasta 0,3 mV.
 - **Onda T:** Se localiza en forma posterior y hacia la izquierda.
 - **Ángulo QRS/T:** Normalmente varía entre 0° y 90° .

Correlaciones ECG/VCG de niños normales de 6 meses a 3 años de edad, se ilustran en la **Figura 26** (plano frontal), la **Figura 27** (plano horizontal) y la **Figura 28** (plano sagital derecho).

Figura 26

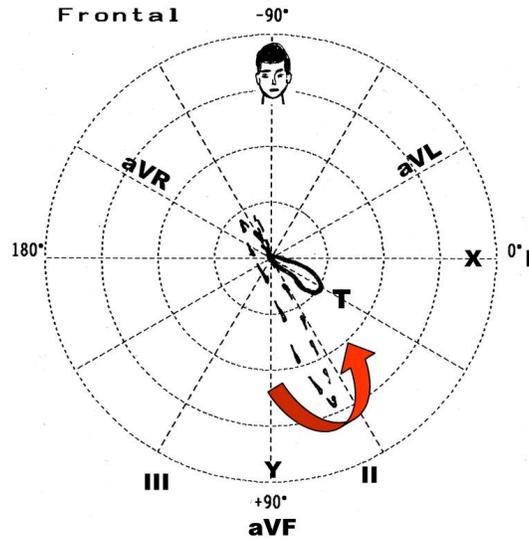


Figura 26

La figura muestra VCG en el PF de un niño normal de seis meses y a los tres años de edad. Observen que la localización predominante del bucle QRS se encuentra en el cuadrante inferior izquierdo. El bucle T acompaña al bucle QRS .

Figura 27

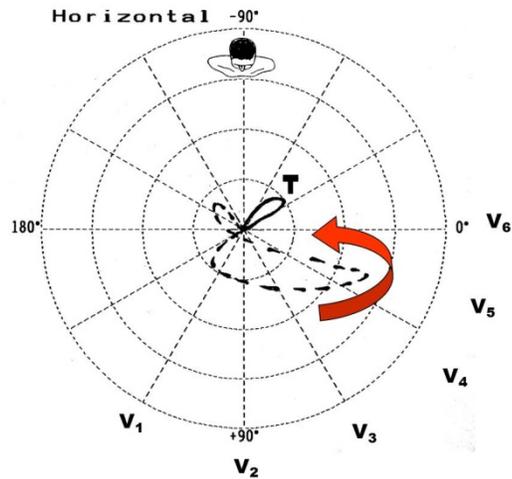


Figura 27

La figura muestra el VCG en el PH de un niño normal con seis meses y a los tres años de edad. El bucle QRS es predominantemente anterior y su rotación es antihoraria, excepto la parte final con forma de ocho, ubicada hacia atrás y a la derecha.

El bucle T se ubica en el cuadrante posterior izquierdo, que originará ondas T de polaridad negativa de derivaciones precordiales derechas.

Figura 28

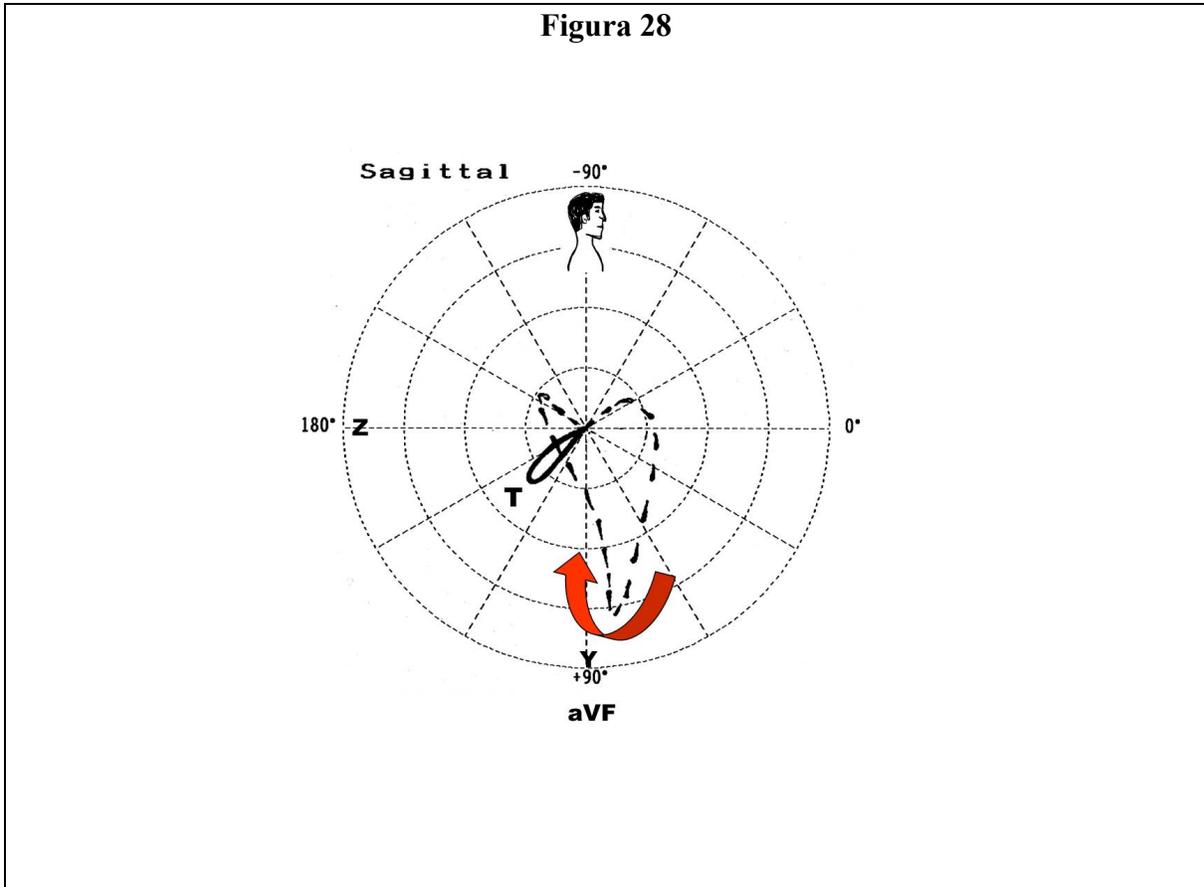


Figura 28

La figura muestra el VCG en el PSD de un niño normal de seis meses y a los tres años de edad. El bucle QRS se localiza predominantemente en los cuadrantes inferiores, el 70% anterior y el 30% posterior, de rotación horaria y bucle T de ubicación pósterio-inferior.

ECG y VCG normales en niños de 3 años a 8 años

- 1. Frecuencia cardíaca:** La FC mínima normal en reposo es 80 lpm a los 3 años, 75 lpm a los 4 años y 65 lpm a los 6 años. Luego de esta edad, la FC mínima es similar a la de los adultos promediando 60 lpm. Frecuencias cardíacas menores en reposo se observan en niños con síndromes de QT prolongado congénitos y posiblemente en el hipotiroidismo (54). Los límites normales superiores de la frecuencia cardíaca en reposo es 120 lpm a los 3 años de edad, 115 lpm a los 4 años y 100 lpm desde los 6 años en adelante.

2. **Ritmo:** Sinusal.
3. **Onda P:** El eje de la onda P (SAP) varía desde 0° a $+90^\circ$ y promedia $+60^\circ$. La máxima **duración** de la onda P es 90 mseg. El **voltaje** máximo de la onda P es 0,25 mV y la **polaridad** es similar al grupo etario previo.
4. **Intervalo PR:** Promedia 130 mseg con un valor máximo normal de 160 mseg para las frecuencias cardíacas de 80-120 lpm.
5. **Eje QRS (SAQRS):**
 - **Plano frontal:** Promedia $+60^\circ$ y varía entre -5° a $+90^\circ$.
 - **Plano horizontal:** El bucle QRS es ligeramente posterior en la línea ortogonal X. De este modo, se observa la progresión R/S en adultos en las precordiales V1-V5.
6. **Voltaje QRS en las precordiales:**
 - **V1:** El voltaje de la onda R varía de 0,7 mV a 1,8 mV; el voltaje de la onda S varía de 1,4 mV a 3,0 mV.
 - **V5:** El voltaje promedio de la onda R es 2,1 mV con un valor máximo de 3,6 mV. La profundidad de la onda S promedia 0,5 mV con una profundidad máxima de 1,4 mV.
 - **V6:** La amplitud de la onda R promedia 1,4 mV con un valor máximo de 2,4 mV. La profundidad promedio de la onda q es 0,15 mV con una profundidad máxima de 0,45 mV. La profundidad promedio de la onda S es 0,1 mV y la profundidad máxima es 1,5 mV.
7. **Profundidad de la onda Q:** En niños de 3-5 años de edad, la profundidad máxima normal de las ondas Q es 0,54 mV. En la serie de Davignon y cols., las ondas Q que sobrepasaban 0,3 mV sugerían sobrecarga del ventrículo izquierdo (12).

La Figura 29 ilustra un ECG normal de 12 derivaciones de un niño de 4 años. (**Figura 29**).

Figura 29

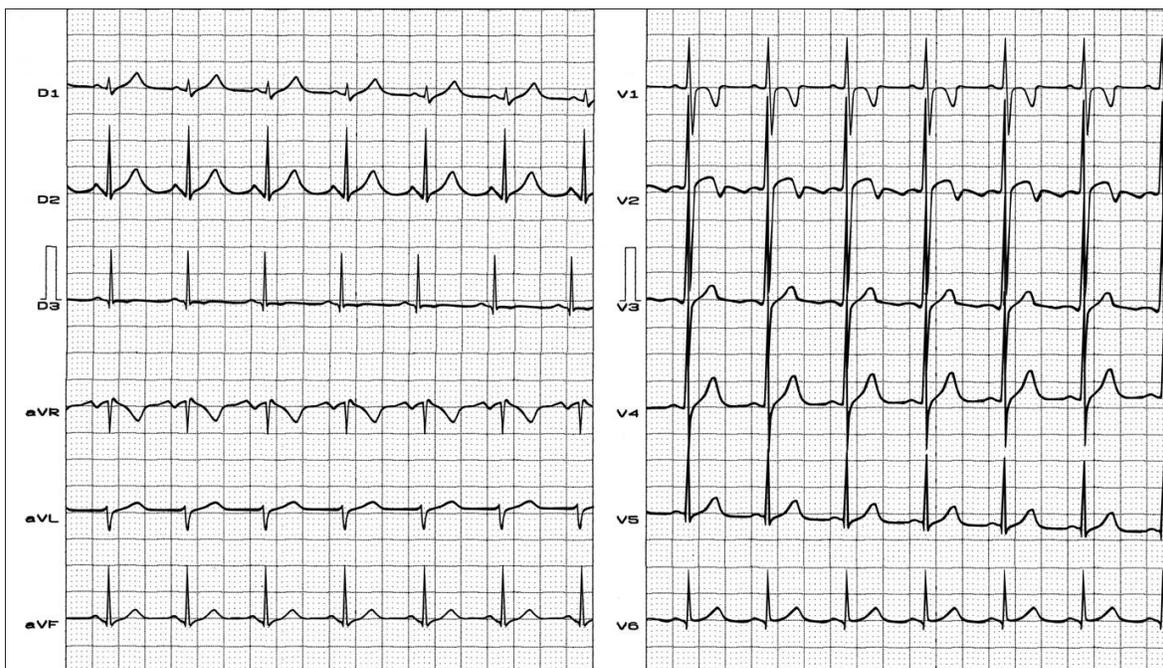


Figura 29

La Figura 29 muestra ECG normal de 12 derivaciones en un niño normal de 4 años. El patrón juvenil de la onda T es notable en las precordiales V1-V2.

ECG y VCG normales en niños y adolescentes con edades entre 8 y 16 años.

- 1. Frecuencia cardíaca:** El rango es similar al de los adultos y varía entre 60 y 100 lpm. En atletas adolescentes, bradicardia sinusal <60 lpm es común.
- 2. Ritmo:** Sinusal.
- 3. Onda P:** El eje de la onda P (SAP) varía de 0° a $+90^\circ$ y promedia $+60^\circ$. Valores $>75^\circ$ se observan sólo en jóvenes asténicos. La **duración** máxima de la onda P es 90 msec hasta los 12 años, y 100 msec para adolescentes entre 12 y 16 años. El **voltaje** máximo de la onda P es 0,25 mV y la **polaridad** es similar al grupo etario previo.

4. Intervalo PR: El intervalo PR máximo en este grupo etario es 180 mseg para las frecuencias cardíacas de 80-120 lpm. El intervalo PR en adolescentes 14-17 años varía entre 100 y 180 mseg en frecuencias cardíacas entre 70 y 90 lpm.

5. Complejo QRS:

- **Eje QRS (SAQRS):** El eje del plano frontal promedia $+55^\circ$ (rango $+25^\circ$ a $+120^\circ$). En el plano horizontal, la proporción R/S en V2 puede ser igual, mayor o menor que uno, indicando que el eje está en la línea ortogonal X en el cuadrante anterior izquierdo o posterior izquierdo.
- **Duración QRS:** Promedia 70 mseg con un límite máximo de 90 mseg hasta la edad 12 y 100 mseg de los 12 a los 16 años. El rango normal varía en diferentes estudios. En el estudio de Rijngbeek y cols. (10), la duración QRS promedio fue 90 mseg; Davignon y cols. (12), informaron sobre duración QRS de 65 mseg medida solamente en la derivación V5; Macfarlane y cols. (53), informaron duración QRS promedio de 86 mseg. Las duraciones QRS son ligeramente mayores en hombres en comparación con mujeres.
- **Proporción R/S en derivaciones precordiales:** La progresión adulta usual se observa con aumentos graduales en el voltaje de la onda R hasta la derivación V5 y disminuciones concomitantes de las ondas S hasta la derivación V6.
- **Voltaje QRS en las derivaciones precordiales (55):**
 - **V1:** El voltaje promedio de la onda R es 0,6 mV. En adultos es siempre $<0,6$ mV. El valor máximo normal hasta los 16 años es 1,6 mV y 2,0 mV en lactantes menores de 1 año.
 - La profundidad de la onda S en las derivaciones **precordiales medias** promedia 1,5 mV con una profundidad máxima de 2,5 mV. La proporción R/S es 1 en niños y adolescentes en este grupo etario.
 - **V5:** El voltaje de la onda R promedia 2,0 mV con valores máximos de hasta 4,0 mV. La profundidad promedio de la onda q es 0,15 mV con un valor máximo de 0,4 mV. La profundidad promedio de la onda S es 0,5 mV y el valor máximo es 1,6 mV.
 - **V6:** El voltaje promedio de la onda R es 1,4 mV con valores máximos según diferentes autores de 2,09 mV (10), 1,9 mV (53) y 1,68 mV (12). La

profundidad promedio de la onda q es 0,15 mV con un valor máximo de 0,4 mV. La profundidad promedio de la onda S es 0,1 mV con una profundidad máxima de 0,4 mV.

- **Criterios de voltaje para la SVI:** En adolescentes, el índice de voltaje de Sokolow-Lyon (SV1 o SV2 + RV5 o RV6) $\geq 3,5$ mV (para adultos) debe modificarse a $\geq 6,0$ mV. Valores mayores que éste, sugieren SVI (57). Este valor aumentado se debe a una mayor proximidad de los electrodos torácicos con la superficie del ventrículo izquierdo, y explica la dificultad para diagnosticar la SVI en este grupo etario.
- **Amplitudes QRS según el sexo:** El voltaje de las ondas Q, R y S en las precordiales son mayores en los hombres durante la adolescencia que en las mujeres. El voltaje superior normal de la onda R en adolescentes masculinos de 12-16 años es 3,05 mV, en comparación con 2,55 mV en adolescentes femeninas. Esta diferencia se debe en parte al desarrollo de las glándulas mamarias (10).
- **Tiempo de activación ventricular (tiempo hasta el pico de R o deflexión intrínscioide):** Es ≤ 40 msec en niños y adolescentes (59).
- **Onda T:** En adolescentes y adultos jóvenes menores de 20 años, las ondas T pueden estar ligeramente invertidas en las derivaciones aVF e invertidas en las derivaciones V1 y V2 (60). Más allá de los 20 años, la onda T normal se invierte en aVR, vertical o invertida en las derivaciones aVL, III y V1 y vertical en las derivaciones I, II y las precordiales V3-V6.
- **Intervalo QTc:** En adolescentes el límite superior máximo normal del QTc es mayor en mujeres que en varones (457 msec vs. 449 msec) según lo informaron Elberle y cols. (36), y Pearl y cols. (61). Pearl y cols, estudiaron 781 niños y adolescentes normales de 10-18 años y mostraron un QTc significativamente mayor en mujeres, en comparación con los varones. El QTc también varió inversamente con la edad y directamente con la frecuencia cardíaca. Los autores concluyeron que el sexo, la edad, y la frecuencia cardíaca deben tomarse en cuenta en el diagnóstico del síndrome de QT prolongado congénito.

Las correlaciones ECG/VCG de niños normales de 8 a 16 años de edad se ilustran en la **Figura 30** (plano frontal), la **Figura 31** (plano horizontal) y la **Figura 32** (plano sagital derecho).

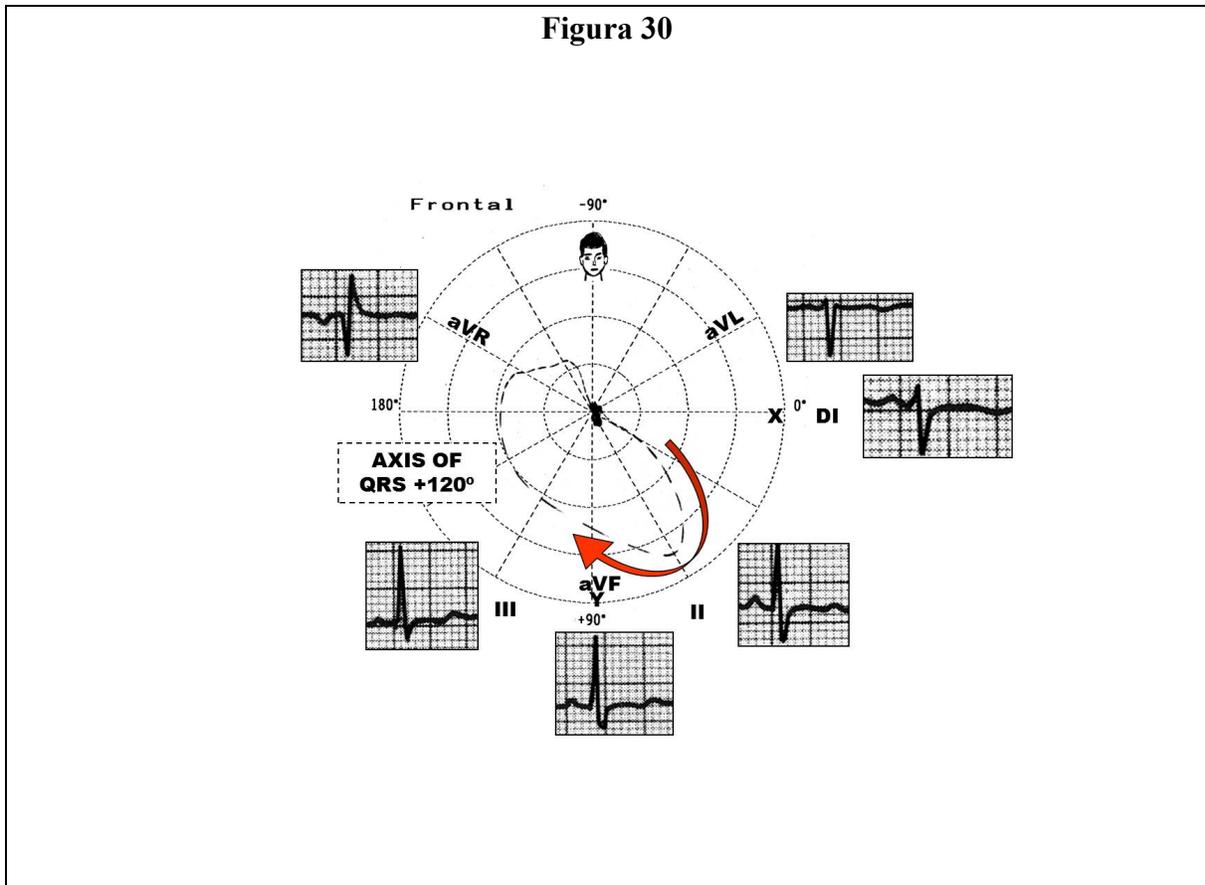


Figura 30

La Figura 30 muestra correlación ECG/VCG normal en niños y adolescentes de 8 a 16 años de edad en el plano frontal. El bucle QRS muestra rotación horaria con SAQRS cerca de $+120^\circ$ (QRS isodifásico en aVR).

Figura 31

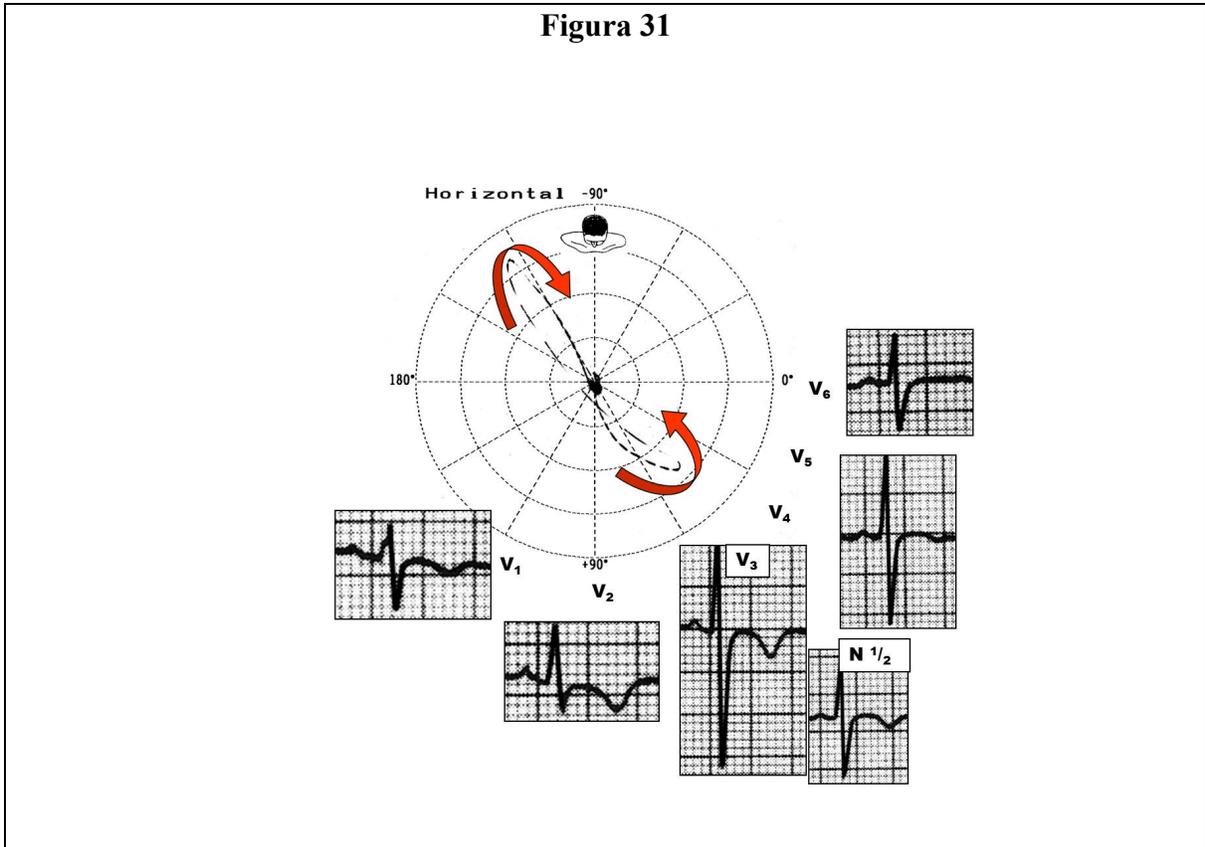


Figura 31

La Figura 31 muestra correlación ECG/VCG normal en niños y adolescentes desde ocho a 16 años de edad en el plano horizontal. El bucle QRS con figura estrecha en ocho, que muestra vector inicial dirigido al frente y a la izquierda, y fuerzas finales atrás y a la derecha, con isodifasismo aumentado de R/S de V1 a V6.

Patrón de onda T juvenil (onda T invertida de V1 a V4).

Figura 32

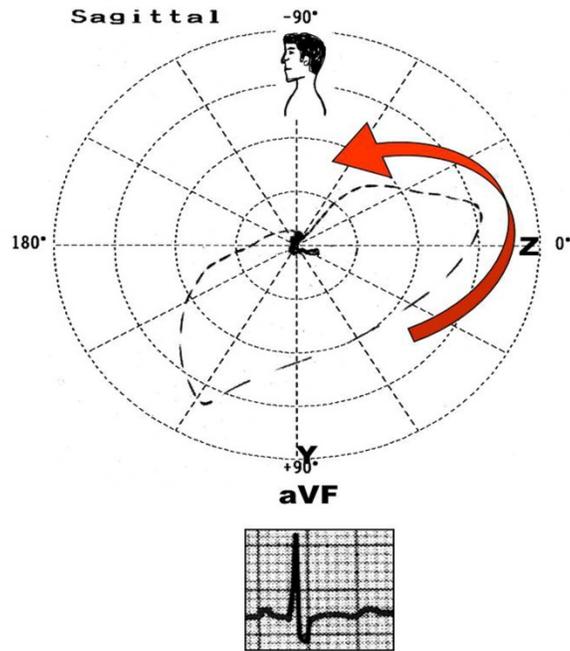


Figura 32

Plano sagital izquierdo de un niño entre los 8 y los 16 años de edad. El bucle QRS muestra rotación horaria, con morfología oval, de ubicación predominantemente inferior y anterior, y porciones finales en el cuadrante posterior y superior; aVF con patrón Rs.

Referencias

1. Gamboa R, Gersony WM, Nadas AS. The electrocardiogram in tricuspid atresia and pulmonary atresia with intact ventricular septum. *Circulation*. 1966 Jul;34:24-37.
2. Rosado-Buzzo AA, Santamaría-Díaz H, Gómez-Gómez M, Alva-Espinosa C, Maulen-Radovan X, Palacios-Macedo X. Tricuspid atresia. Clinical course in 120 children]. *Arch Inst Cardiol Mex*. 1987 Sep-Oct; 57: 375-381.
3. Rao PS. Diagnosis and management of cyanotic congenital heart disease: part I. *Indian J Pediatr*. 2009 Jan; 76: 57-70.
4. Castellanos A, Salhanice L, Lemberg L, Cohen R: The T loop in Normal children. *Am J Cardiol* 1965; Sep;16:336-341.
5. Papadakis M, Basavarajaiah S, Rawlins J, Edwards C, Makan J, Firoozi S, Carby L, Sharma S. Prevalence and significance of T-wave inversions in predominantly Caucasian adolescent athletes. *Eur Heart J*. 2009 Jul; 30: 1728-1735.
6. Emery JL, Mithal A. Weights of cardiac ventricles at and after birth. *Br Heart J*. 1961 May;23: 313-316.
7. Namin EP, Arcilla RA, D Cruz IA, Gasul BM. Evolution Of The Frank Vectorcardiogram In Normal Infants. *Am J Cardiol*. 1964 Jun;13:757-766.
8. Macfarlane PW, Coleman EN, Pomphrey EO, McLaughlin S, Houston A, Aitchison T. Normal limits of the high-fidelity pediatric ECG. Preliminary observations. *J Electrocardiol*. 1989;22 Suppl:162-68.
9. Pipberger H, Arzbaeher R, Berson A, et al. Recommendations for standardization of leads and specifications for instruments in electrocardiography and vectorcardiography. Report of the Committee on Electrocardiography, American Heart Association. *Circulation* 1975; 52:11-31.

10. Rijnbeek PR, Witsenburg M, Hess J, Kors JA. Continuous age-dependent normal limits for the pediatric electrocardiogram. *J Electrocardiol.* 2000; 33 Suppl:199-201.
11. Rijnbeek PR, Witsenburg M, Schrama E, Hess J, Kors JA. New normal limits for the paediatric electrocardiogram. *Eur Heart J.* 2001 Apr; 22: 702-711.
12. Davignon A, Rautaharju P, Boisselle E, Soumis F, Megelas M, Choguette A. Normal ECG standards for infants and children. *Pediatr Cardiol* 1979/80; 1: 123–131.
13. Chiu CC, Hamilton RM, Gow RM, Kirsh JA, McCrindle BW. Evaluation of computerized interpretation of the pediatric electrocardiogram. *J Electrocardiol.* 2007 Apr; 40: 139-143.
14. Hamilton RM, Houston AB, McLeod K, Macfarlane PW. Evaluation of pediatric electrocardiogram diagnosis of ventricular hypertrophy by computer program compared with cardiologists. *Pediatr Cardiol.* 2005 Jul-Aug;26: 373-378.
15. Childers R. Atrial repolarization: its impact on electrocardiography. *J Electrocardiol.* 2011 Nov-Dec; 44:635-640.
16. Schwartz PJ, Garson A Jr, Paul T, Stramba-Badiale M, Vetter VL, Wren C; European Society of Cardiology. Guidelines for the interpretation of the neonatal electrocardiogram. A task force of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J.* 2002 Sep; 23:1329-1344.
17. Morris JJ Jr, Estes EH Jr, Whalen RE, Thompson HK Jr, McIntosh HD. P-Wave Analysis In Valvular Heart Disease. *Circulation.* 1964 Feb; 29: 242-252.
18. Peters M, Crowe J, Piéri JF, Quartero H, Hayes-Gill B, James D, Stinstra J, Shakespeare S. Monitoring the fetal heart non-invasively: a review of methods. *J Perinat Med.* 2001; 29: 408-416.
19. Valverde M, Puertas AM, Lopez-Gallego MF, Carrillo MP, Aguilar MT, Montoya F. Effectiveness of pulse oximetry versus fetal electrocardiography for the

- intrapartum evaluation of nonreassuring fetal heart rate. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2011 Dec;159:333-337.
20. Potti S, Berghella V. ST waveform analysis versus cardiotocography alone for intrapartum fetal monitoring: a meta-analysis of randomized trials. *Am J Perinatol.* 2012 Sep; 29: 657-664.
 21. Becker JH, Bax L, Amer-Wåhlin I, Ojala K, Vayssière C, Westerhuis ME, Mol BW, Visser GH, Maršál K, Kwee A, Moons KG. ST analysis of the fetal electrocardiogram in intrapartum fetal monitoring: a meta-analysis. *Obstet Gynecol.* 2012 Jan; 119: 145-154.
 22. Clifford G, Sameni R, Ward J, Robinson J, Wolfberg AJ. Clinically accurate fetal ECG parameters acquired from maternal abdominal sensors. *Am J Obstet Gynecol.* 2011 Jul;205:47.e1-5.
 23. Cohen WR, Ommani S, Hassan S, Mirza FG, Solomon M, Brown R, Schifrin BS, Himsworth JM, Hayes-Gill BR. Accuracy and reliability of fetal heart rate monitoring using maternal abdominal surface electrodes. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2012 Nov;91:1306-1313.
 24. Boog G. Acute fetal distress. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris).* 2001 Sep;30:393-432.
 25. Ananth CV, Vintzileos AM. Epidemiology of preterm birth and its clinical subtypes. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2006 Dec;19:773-782.
 26. Kelly MM. The basics of prematurity. *J Pediatr Health Care.* 2006 Jul-Aug; 20:238-244.
 27. Chia EL, Ho TF, Rauff M, Yip WC. Cardiac time intervals of normal fetuses using noninvasive fetal electrocardiography. *Prenat Diagn.* 2005 Jul;25:546-552.
 28. Walsh SZ. Characteristic features of the ECG of premature infants during the first year of life. With a comment on a large Q in lead III and the incidence of pattern

- types in right and left precordial leads. *Schweiz Rundsch Med Prax.* 1975 Jun 17;64:754-759.
29. Sreenivasan VV, Fisher BJ, Liebman J, Downs TD. Longitudinal study of the standard electrocardiogram in the healthy premature infant during the first year of life. *Am J Cardiol.* 1973 Jan;31:57-63.
 30. Séguéla PE, Rozé JC, Gournay V. Evolution of the QT interval in premature infants: a preliminary study. *Cardiol Young.* 2012 Aug;22:430-435.
 31. Ariagno RL, Mirmiran M, Adams MM, Saporito AG, Dubin AM, Baldwin RB. Effect of position on sleep, heart rate variability, and QT interval in preterm infants at 1 and 3 months' corrected age. *Pediatrics.* 2003 Mar;111:622-625.
 32. Bassareo PP, Fanos V, Puddu M, Cadeddu C, Balzarini M, Mercurio G. Significant QT interval prolongation and long QT in young adult ex-preterm newborns with extremely low birth weight. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2011 Sep; 24: 1115-1118.
 33. Cooksey JD, Dunn M, Massie E.: *Clinical Vectorcardiography and Electrocardiography.* Second Edition. Year Book Medical Publishers, Inc.; Chicago. London. 1977. Chapter 12, pg 206-271.
 34. Walsh SZ. The Electrocardiogram during The First Week Of Life. *Br Heart J.* 1963 Nov; 25:784-794.
 35. Shamroth, L.: *An introduction to Electrocardiography.* Backwell Scientific Publications, 1971.
 36. Eberle T, Hessling G, Ulmer HE, Brockmeier K. Prediction of normal QT intervals in children. *J Electrocardiol.* 1998; 31 Suppl:121-125.
 37. Bazett HC. "An analysis of the time-relations of electrocardiograms". 1920; *Heart* (7): 353–370.
 38. Rautaharju PM, Prineas RJ, Kadish A, Larson JC, Hsia J, Lund B. Normal standards for QT and QT subintervals derived from a large ethnically diverse population of women aged 50 to 79 years (the Women's Health Initiative [WHI]). *Am J Cardiol.* 2006 Mar 1; 97: 730-737.

39. Fridericia LS (1920). "The duration of systole in the electrocardiogram of normal subjects and of patients with heart disease". *Acta Medica Scandinavica* (53): 469–486.
40. Rautaharju ZM, Zhang ZM, Linearly scaled, rate-invariant normal limits for QT interval: eight decades of incorrect application of power function. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2002; 13: 1211-1218.
41. Viitasalo M, Karjalainen J: QT intervals at heart rates from 50 to 120 beats/min during 24-hours electrocardiographic recording in 100 healthy men: effect of Atenolol. *Circulation*; 1992;86: 1439-1443.
42. Sagie A, Larson MG, Goldberg RJ, Bengtson JR, Levy D (1992). "An improved method for adjusting the QT interval for heart rate (the Framingham Heart Study)". *Am J Cardiol.* 1992; 70: 797–801.
43. Wilders R. Cardiac ion channelopathies and the sudden infant death syndrome. *ISRN Cardiol.* 2012;2012: 846171. doi: 10.5402/2012/846171. Epub 2012 Dec 5
44. Moss AJ. QTc prolongation and sudden cardiac death. The association is in the detail. *J Am Coll Cardiol.* 2006; 47:368-369.
45. Gollob MH, Redpath CJ, Roberts JD. The short QT syndrome: proposed diagnostic criteria. *J Am Coll Cardiol.* 2011 Feb 15; 57:802-812.
46. Ackerman MJ, Khositseth A, Tester DJ, Hejlik JB, Shen WK, Porter CB. Epinephrine-induced QT interval prolongation: a gene-specific paradoxical response in congenital long QT syndrome. *Mayo Clin Proc.* 2002 May; 77:413-421.
47. Shimizu W, Noda T, Takaki H, Nagaya N, Satomi K, Kurita T, Suyama K, Aihara N, Sunagawa K, Echigo S, Miyamoto Y, Yoshimasa Y, Nakamura K, Ohe T, Towbin JA, Priori SG, Kamakura S. Diagnostic value of epinephrine test for genotyping LQT1, LQT2, and LQT3 forms of congenital long QT syndrome. *Heart Rhythm.* 2004 Sep;1:276-283.
48. Diamant UB, Jensen SM, Winbo A, Stattin EL, Rydberg A. Vectorcardiographic recordings of the Q-T interval in a pediatric long Q-T syndrome population. *Pediatr Cardiol.* 2013 Feb;34:245-249.

49. Khoury GH, Fowler RS. Normal Frank vectorcardiogram in infancy and childhood. *Br Heart J.* 1967 Jul;29:563-570.
50. Ziegler RF *Electrocardiographic Studies in Normal Infants and Children* (Springfield, Ill.; Charles C Thomas, Publisher, 1953)
51. Cohen M, Berger S. The electrocardiogram as an adjunct in diagnosing congenital coronary arterial anomalies. *Cardiol Young.* 2010 Dec;20 Suppl 3:59-67.
52. Charron P, Dubourg O, Desnos M, Bouhour JB, Isnard R, Hagege A, Carrier L, Bonne G, Tesson F, Richard P, Hainque B, Schwartz K, Komajda M. Diagnostic value of electrocardiography and echocardiography for familial hypertrophic cardiomyopathy in genotyped children. *Eur Heart J.* 1998 Sep;19: 1377-1382.
53. Macfarlane PW, McLaughlin SC, Devine B, Yang TF. Effects of age, sex, and race on ECG interval measurements. *J Electrocardiol.* 1994; 27 Suppl:14-19.)
54. Evans WN, Acherman RJ, Mayman GA, Rollins RC, Kip KT. Simplified pediatric electrocardiogram interpretation. *Clin Pediatr (Phila).* 2010 Apr;49:363-372.
55. Strong WB, Downs TD, Liebman J, Liebowitz R. The normal adolescent electrocardiogram. *Am Heart J.* 1972 Jan;83:115-128.
56. Sokolow M, Lyon TP. The ventricular complex in left ventricular hypertrophy as obtained by unipolar precordial and limb leads. *Am Heart J.* 1949;37:161–186.
57. Bayés de Luna, Antoni. *Clinical Electrocardiology. A Textbook 2nd Updated Edition.* Chapter, pg. 45, 1998.
58. Walker CH, Rose RL. Importance of age, sex and body habitus in the diagnosis of left ventricular hypertrophy from the precordial electrocardiogram in childhood and adolescence. *Pediatrics* 1961; 28:705-711.
59. Friedman HH. *Diagnostic Electrocardiography and Vectorcardiography Third Edition.* Chapter 5 pp:57-110 (Mc Graw-Hill Book Company)
60. Rautaharju PM, Surawicz B, Gettes LS, Bailey JJ, Childers R, Deal BJ, Gorgels A, Hancock EW, Josephson M, Kligfield P, Kors JA, Macfarlane P, Mason JW, Mirvis DM, Okin P, Pahlm O, van Herpen G, Wagner GS, Wellens H; American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical

Cardiology; American College of Cardiology Foundation; Heart Rhythm Society. AHA/ACCF/HRS Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram Part IV: The ST Segment, T and U Waves, and the QT Interval 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 *Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology* J Am Coll Cardiol. 2009 Mar 17; 53: 982-991.

61. Pearl W. Effects of gender, age, and heart rate on QT intervals in children. *Pediatr Cardiol.* 1996 May-Jun; 17: 135-136.