

L'ECG in età pediatrica



Aldo Agnetti*, Chiara Greco, Bertrand Tchana

*SSD di Cardiologia Pediatrica, AOU di Parma

L'ECG in età pediatrica possiede particolari caratteristiche che lo distinguono da quello dell'adulto e che pertanto bisogna conoscere per poterlo interpretare. Nell'interpretazione di un ECG è importante un approccio sistematico che consideri ritmo, frequenza cardiaca, assi elettrici, intervalli tra le varie onde e anomalie delle stesse, rapporti R/S, segmento ST e onda T. L'articolo si propone di esaminare i caratteri distintivi e i limiti di normalità dei vari parametri in rapporto all'età.

The paediatric ECG has particular features that distinguish it from that of an adult. Everyone needs to know them, in order to interpret it correctly. To read an ECG, a systematic approach, considering rhythm, heart rate, axis, intervals between waves and their abnormalities, R/S ratio, ST segment and T wave is necessary. In this paper, the main features and the normal limits related to age are examined.

Il tracciato elettrocardiografico resta, per immediatezza e basso costo, uno strumento assolutamente attuale e di grande importanza nella pratica clinica; può essere richiesto come strumento diagnostico in un ampio range di patologie dell'età pediatrica, spesso anche in pazienti che non hanno un'evidenza clinica di cardiopatia. I motivi principali per cui viene richiesto sono il dolore toracico, la sospetta aritmia, gli episodi sincopali, i soffi cardiaci (nel sospetto di cardiopatia), le convulsioni, l'ipertensione all'attività sportiva, i disturbi elettrolitici, l'utilizzo di determinati farmaci. I principi di base per interpretare l'ECG nei bambini sono identici a quelli che si utilizzano nell'adulto, ma i progressivi cambiamenti anatomici ed emodinamici che avvengono tra la nascita e l'adolescenza determinano significative differenze nella frequenza cardiaca, nella morfologia, nel voltaggio e nella durata delle onde, e negli intervalli P-R e QT, in base all'età del bambino. La corretta interpretazione dell'ECG quindi è potenzialmente difficile e, per evitare errori, è necessario conoscere i cambiamenti età-dipendenti che avvengono soprattutto nel primo anno di vita; infatti la progressiva caduta delle resistenze polmonari determina la riduzione degli spessori parietali del ventricolo destro (VD), mentre contemporaneamente si ha un aumento di spessore del ventricolo sinistro (VS) per il progressivo incremento del suo carico di lavoro.

In epoca neonatale e nei primi mesi di vita, i potenziali ventricolari destri sono quindi dominanti, mentre già a 6 mesi lo

spessore parietale del VS è 2 volte quello del VD e in epoca adolescenziale tale rapporto è di 2,5:1. Ciò determina una progressiva dominanza dei potenziali ventricolari sinistri.

Perché sia possibile confrontare e interpretare correttamente i diversi ECG, occorre innanzitutto che la velocità di scorrimento della carta e il voltaggio della macchina siano standardizzati: 25 mm/s e 10 mm/mV rispettivamente; in questo modo 1 mm (1 quadratino piccolo) corrisponde a 0,04 sec o 40 ms e, di conseguenza, 5 mm (o 1 quadrato grande), corrispondono a 0,2 sec o 200 ms. Va ricordato inoltre che la lettura automatica può non essere affidabile, in quanto gli elettrocardiografi spesso sono tarati solo sui parametri dell'adulto. Inoltre di fronte a quadri "improbabili", prima di porre diagnosi, occorre sempre escludere un malposizionamento degli elettrodi, la presenza di deformità toraciche, di medicazioni o di altri fattori "disturbanti" [1]. Per leggere un ECG, è raccomandato un approccio sistematico che prenda in considerazione (Figura 1):

- frequenza cardiaca
- ritmo
- onda P (asse, voltaggio e durata)
- intervallo P-R
- QRS (asse, voltaggio, durata)
- segmento ST e onda T
- intervallo QT e QTc

A tutt'oggi, i parametri di normalità per l'età pediatrica fanno riferimento alle tabelle di Davignon [2] e di Rijnbeek [3] che, se pur datate, sono ancora considerate

valide. Vengono mosse comunque alcune critiche, in quanto esse fanno riferimento a una popolazione pediatrica di alcuni decenni fa e non prendono in considerazione le differenze tra etnie.

Vi sono inoltre delle caratteristiche tipiche dell'ECG pediatrico che vanno ricordate e che sono ritenute fisiologiche: spiccata aritmia respiratoria (aumento della FC in inspirazione e diminuzione in espirazione), ritmo atriale basso fisiologico, P-R breve (per parlare di pre-eccitazione ci dev'essere una chiara onda delta), complessi ventricolari stretti (anche se in età pediatrica è frequente il riscontro di ritardo di conduzione di branca destra), blocchi A-V di primo e secondo grado tipo Wenckebach, specie notturni e in soggetti allenati (evidenziabili nella registrazione Holter), sporadiche extrasistoli atriali e ventricolari, deviazione assiale destra, onde Q prominenti nelle derivazioni inferiori e laterali (DIII, aVF, V5, V6), ripolarizzazione precoce (lieve soprassollamento del tratto ST con precoce comparsa dell'onda T), onde T negative da V1 a V4 (fino a 12 anni), onda U prominente [1].

La frequenza cardiaca (FC)

È la più ovvia manifestazione della variabilità età-dipendente dell'elettrocardiogramma; infatti nei bambini la gittata cardiaca è determinata principalmente dalla frequenza più che dal volume ematico sistolico [4]. Per fare un calcolo rapido, si consideri che la FC sarà di 300 bpm se la distanza tra due QRS è di 1 quadretto grande (5 mm), di 150 bpm se la distanza è di 2 quadretti, di 100 bpm se è di 3 quadretti, di 75 bpm se è di 4 quadretti, di 60 bpm se è di 5 quadretti, di 50 bpm se è di 6 quadretti (Figura 2).

La FC diventerà simile all'adulto (70-80 bpm) non prima dell'adolescenza, in correlazione con il graduale aumento del tono vagale che accompagna la crescita [5] (Tabella 1). Nonostante le alte FC che si ritrovano comunemente nei neonati e nei lattanti, bisogna sapere che al di sopra dei 220 bpm è molto improbabile che il ritmo sia sinusale. La febbre in genere aumenta la FC di 10 bpm per grado.

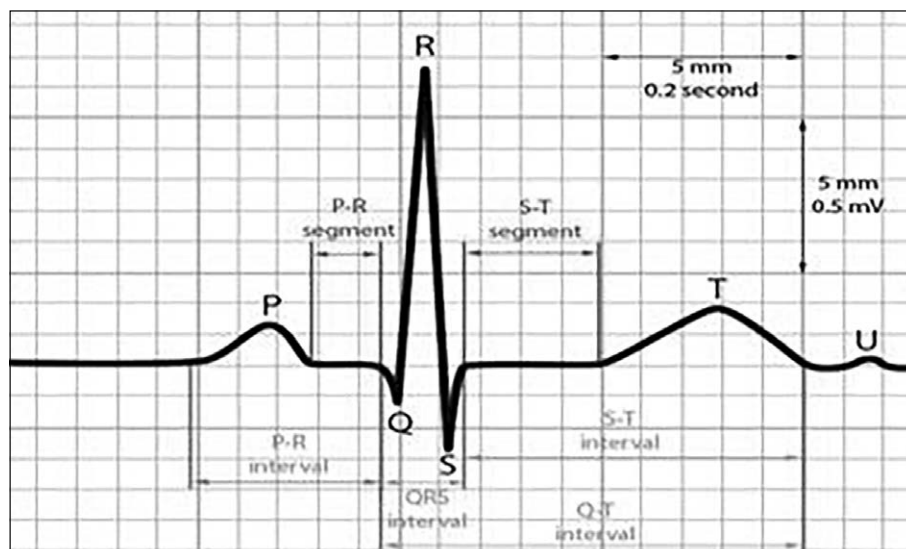


Figura 1. Il normale ciclo elettrico cardiaco.



Figura 2. Metodo per il calcolo rapido della frequenza cardiaca.

TABELLA 1. Variabilità della frequenza cardiaca in relazione all'età.

Età	Frequenza media (battiti/min)	Range
Neonato	145	90-180
Lattante	140	106-185
1 anno	130	105-170
2 anni	120	90-150
4 anni	108	72-135
6 anni	100	65-135
10 anni	90	65-130
14 anni	85	60-120

TABELLA 2. Variabilità dell'intervallo P-R in relazione all'età.

Età	P-R ms
Primo mese	80-120 ms (media 100 ms)
2 mesi-1 anno	85-140 ms (media 115 ms)
1-3 anni	85-150 ms (media 120 ms)
3-6 anni	100-160 ms (media 130 ms)
6-12 anni	105-180 ms (media 135 ms)
12-16 anni	110-180 ms (media 140 ms)

Onda P (depolarizzazione atriale)

Si apprezza meglio in DII e in V1 e il suo voltaggio non cambia in modo significativo con l'età: il limite di normalità è di 2 mm nel neonato, successivamente fino a 2,5 mm (3 mm nell'adolescente/adulto); voltaggi superiori sono suggestivi di ingrandimento atriale destro ("P polmonare"), sempre che il ritmo sia sinusale (cioè P positiva in DI, DII e aVF, negativa in aVR). Segni d'ingrandimento atriale sinistro sono invece P di durata maggiore di 80 ms nei bambini sotto l'anno e 120 ms nell'adolescente e/o P bifasiche in V1 ("P mitralica") [6] (Figura 3).

Normalmente l'asse della P segue quello del QRS, cioè tra +30° e +90°.

Intervallo P-R (conduzione atrioventricolare)

Può essere più breve rispetto all'adulto a causa della minor massa muscolare [3] e della maggior FC [6], ma per parlare di pre-eccitazione dev'essere bene evidente un'onda delta; il P-R breve in età pediatrica è inoltre compatibile con un ritmo atriale basso fisiologico [1]. Il range di normalità va da 70-80 a 120 ms nei neonati (media 100 ms) [7], e da 110 a 180 ms negli adolescenti (Tabella 2).

Il riscontro di P-R lungo e il blocco di branca destra (BBD) possono essere suggestivi per difetto interatriale (DIA). Nella fase acuta della malattia reumatica l'allungamento del P-R è annoverato tra i criteri diagnostici minori.

Onda Q

Più evidente nelle derivazioni inferiori e sinistre, assente in DI, aVL e V1. Nel neonato il suo voltaggio in DIII può arrivare fino a 5,5 mm (media 1.5 mm) [7], nel bambino da 6 a 12 mesi fino a 6-8 mm in DIII (media 2 mm), da 3 a 8 anni il voltaggio può

arrivare anche a 5,5 mm in V5 (media 1 mm) (Tabella 3).

La durata normale deve essere inferiore a 30 ms.

QRS (depolarizzazione ventricolare)

Nella valutazione del complesso QRS sono riconoscibili tre modelli che riflettono il graduale passaggio da una prevalenza anatomica ventricolare destra (modello neonatale) a una prevalenza ventricolare sinistra (modello dell'adulto), passando attraverso un modello intermedio, quello del lattante, caratterizzato da bilanciamento ventricolare.

In V1, l'onda R rappresenta i potenziali del VD e l'onda S i potenziali del VS, al contrario in V6 l'onda R rappresenta i potenziali del VS e l'onda S quelli del VD.

Nel modello neonatale (Figura 4), in V1 c'è un'onda R dominante con rapporto R/S >1 [8], oppure ci può essere un'onda R esclusiva (i voltaggi di onda R e onda S devono essere comunque nel range di normalità, come indicato nella Tabella 4).

Nel modello del lattante, che può permanere fino a 2-3 anni di vita, l'onda R prevale sia in V1 che in V6 (bilanciamento ventricolare); in V1 può esserci un'onda R esclusiva, ma di basso voltaggio (non deve superare i 5-10 mm), e non deve mai persistere dopo l'anno di vita (Figura 5).

Nel modello dell'adulto (dopo i 2-3 anni), in V1 prevale l'onda S, con R/S <1, in V6 prevale l'onda R con R/S >1 [8]. In V1 non deve mai esserci un'onda R esclusiva (Figura 6).

La durata del QRS è anch'essa età-dipendente: inferiore a 70 ms nel neonato/lattante, aumenta progressivamente fino a un valore inferiore a 100 ms dopo i 12 anni (Tabella 5).

Un ritardo di conduzione di branca destra o blocco di branca destra incompleto è molto comune nei bambini, ma un pat-

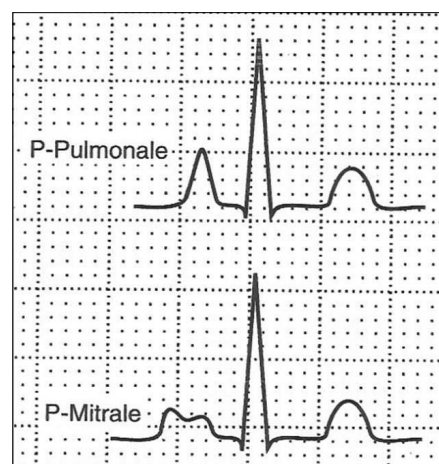


Figura 3. Onda P "polmonare" (voltaggio > 3 mm), e onda P "mitralica" (durata > 120 ms).

TABELLA 3. Voltaggi delle onde Q in diverse derivazioni in base all'età

Mean (and ULN)*								
Lead	0-1 m	1-6 m	6-12 m	1-3 a	3-8 a	8-12 a	12-16 a	Adulti
III	1,5 (5,5)	1,5 (6)	2,1 (6)	1,5 (5)	1,0 (3,5)	0,6 (3)	1,0 (3)	0,5 (4)
aVF	1,0 (3,5)	1,0 (3,5)	1,0 (3,5)	1,0 (3)	0,5 (3)	0,5 (2,5)	0,5 (2)	0,5 (2)
V5	0,1 (3,5)	0,1 (3)	0,1 (3)	0,5 (4,5)	1,0 (5,5)	1,0 (3)	0,5 (3)	0,5 (3,5)
V6	0,5 (3)	0,5 (3)	0,5 (3)	0,5 (3)	1,0 (3,5)	0,5 (3)	0,5 (3)	0,5 (3)

From Park MK, Guntheroth WB, *How to read Pediatric ECGs*, 4th Ed. Mosby 2006.
 Voltages are measured in millimetres, when 1 mV = 10 mm paper.
 *ULN = upper limits of normal or 98th percentile.

TABELLA 4. Voltaggi di onda R e onda S in diverse derivazioni in base all'età.

Mean (and ULN)*									
	Lead	0-1mo	1-6mo	6-12mo	1-3yr	3-8yr	8-12yr	12-16yr	Young adults
R Voltage	I	4 (8)	7 (13)	8 (16)	8 (16)	7 (15)	7 (15)	6 (13)	6 (13)
	II	6 (14)	13 (24)	13 (27)	13 (23)	13 (22)	14 (24)	14 (24)	9 (25)
	III	8 (16)	9 (20)	9 (20)	9 (20)	9 (20)	9 (24)	9 (24)	6 (22)
	aVR	3 (8)	2 (6)	2 (6)	2 (5)	2 (4)	1 (4)	1 (4)	1 (4)
	AVL	2 (7)	4 (8)	5 (10)	5 (10)	3 (10)	3 (10)	3 (12)	3 (9)
	aVF	7 (14)	10 (20)	10 (16)	8 (20)	10 (19)	10 (20)	11 (21)	5 (23)
	V4R	6 (12)	5 (10)	4 (8)	4 (8)	3 (8)	3 (7)	3 (7)	
	V1	13 (24)	10 (19)	10 (20)	9 (18)	8 (16)	5 (12)	4 (10)	3 (14)
	V2	18 (30)	20 (31)	22 (32)	19 (28)	15 (25)	12 (20)	10 (19)	6 (21)
	V5	12 (23)	20 (33)	20 (31)	20 (32)	23 (38)	26 (39)	21 (35)	12 (33)
V6	5 (15)	13 (22)	13 (23)	13 (23)	15 (26)	17 (26)	14 (22)	10 (21)	
S Voltage	I	5 (10)	4 (9)	4 (9)	3 (8)	2 (8)	2 (8)	2 (8)	1 (6)
	V4R	4 (9)	4 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (14)	6 (20)	6 (20)	
	V1	7 (18)	5 (15)	7 (18)	8 (21)	11 (23)	12 (25)	11(22)	10 (23)
	V2	18(35)	15 (26)	16 (29)	18 (30)	20 (33)	21 (36)	18 (33)	14 (36)
	V5	9 (17)	7 (16)	6 (15)	5 (12)	4 (10)	3 (8)	3 (8)	
	V6	3 (10)	3 (9)	2 (7)	2 (7)	2 (5)	1 (4)	1 (4)	1 (13)

From Park MK, Guntheroth WB, *How to read Pediatric ECGs*, 4th Ed. Mosby 2006.
 Voltages are measured in millimetres, when 1 mV = 10 mm paper.
 *ULN = upper limits of normal or 98th percentile.



Figura 4. ECG normale di un neonato. Asse elettrico a +120°, onda P tipo polmonare (indicante pressioni polmonari ancora elevate), onda R dominante in V1 e onda S dominante in V6. Onda T piatta/bifasica nelle precordiali.

tern rsR', con R'>r (sia in voltaggio che in durata), è suggestivo per ingrandimento ventricolare destro, come si ha per esempio nel difetto interatriale.

Un blocco di branca sinistra invece è sempre patologico. L'asse del QRS è funzione della massa muscolare e della dimensione dei ventri-

TABELLA 5. Durata del complesso QRS in base all'età

Età	Durata QRS
Neonato fino a 1 anno	< 70 ms
1-8 anni	< 80 ms
8-12 anni	< 90 ms
Dopo i 12 anni	< 100 ms

TABELLA 6. Normale orientamento dell'asse del QRS in base all'età

Età	Asse del QRS
1 settimana - 1 mese	+ 120° (+ 30° / + 180°)
1-3 mesi	+ 90° (+ 30° / + 125°)
3 mesi - 3 anni	+ 70° (+ 30° / + 110°)
> 3 anni	+ 60° (+ 20° / + 110°)
Adulti	+ 50° (0° / + 90°)

coli e si può calcolare trovando, tra le derivazioni periferiche, quella isoelettrica (con deflessioni positiva e negativa bilanciate): l'asse sarà ortogonale a tale derivazione; oppure si può individuare, sempre tra le derivazioni periferiche, quella con la massima positività e, in questo caso, l'asse elettrico sarà orientato verso tale derivazione (Figura 7-8). L'asse elettrico si modifica col tempo passando da circa +120° nel neonato/lattante, quindi progressivamente a +30°/+60° nell'adolescente-adulto (Tabella 6).

Criteri di ipertrofia ventricolare

È una delle diagnosi più difficili da oggettivare in un ECG pediatrico, in quanto il concetto di ipertrofia varia in base all'età del paziente (nelle prime 48 ore di vita l'ipertrofia ventricolare destra nella maggior parte dei casi non è valutabile).

Per questa diagnosi si utilizzano le derivazioni precordiali.

- **Ipertrofia ventricolare destra:** per diagnosticarla è bene utilizzare più criteri, specie nel neonato e nel lattante (Figura 9):
 - R aumentata in V1 (sopra il 98° centile per l'età)
 - S profonda in V6 (oltre il 98° centile per l'età)
 - R/S alto in V1 (con R>20 mm) e <1 in V6
 - onda T positiva in V1 (dopo la prima settimana di vita)
 - onda Q in V1
 - deviazione assiale destra
- **Ipertrofia ventricolare sinistra (Figura 10):**
 - R superiore al 98° centile per età in V5 o V6
 - S più profonda del 98° centile in V1

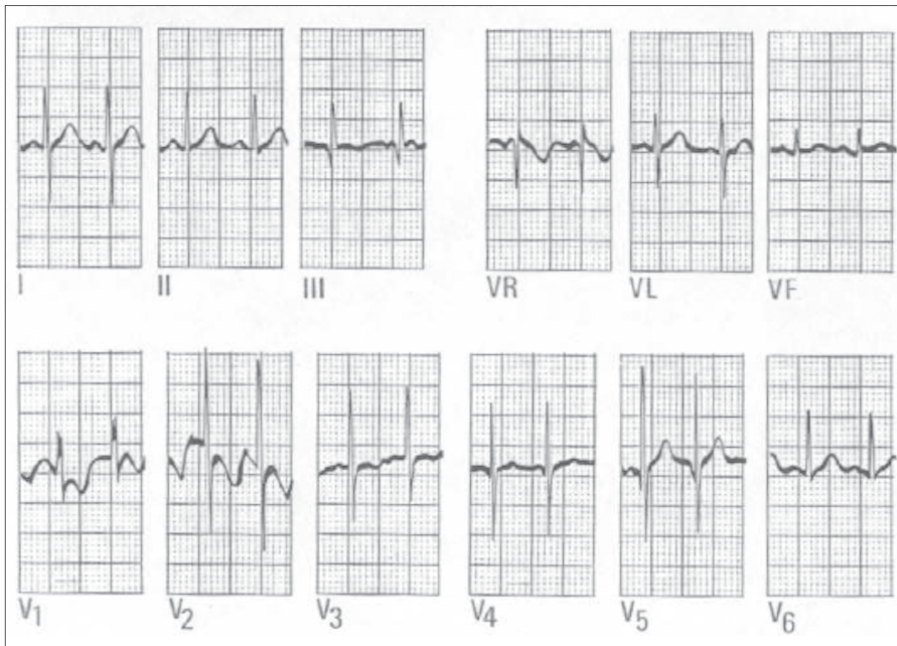


Figura 5. ECG normale: lattante di 7 mesi. Asse elettrico: circa $+90^\circ$, onda R lievemente dominante in V1, onda R dominante in V6.

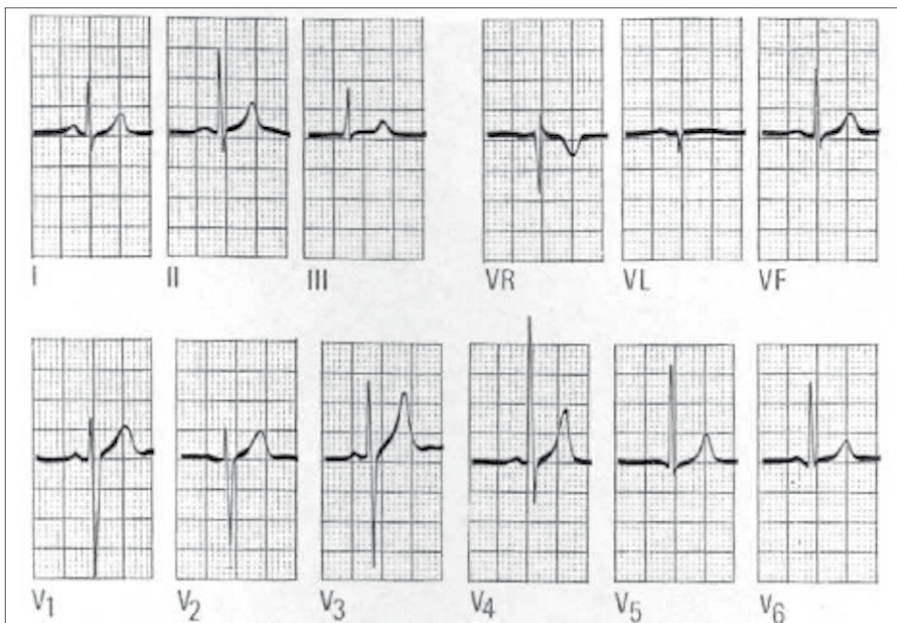


Figura 6. ECG normale: bambino di 10 anni. Asse elettrico a $+60^\circ$, onda S dominante in V1, onda R dominante in V6.

- onda Q profonda in V5 o V6
- R/S basso in V1 e alto in V6
- onda T piatta/negativa in V6
- deviazione assiale sinistra

- **Ipertrofia biventricolare:** alti potenziali ventricolari destri nelle precordiali destre + alti potenziali ventricolari sinistri nelle precordiali sinistre.

Tratto ST

Rappresenta la fase precoce della ripolarizzazione ventricolare; in genere è un segmento isoelettrico. Nel neonato si ammettono slivellamenti del tratto ST fino a 1-2 mm, specie nelle precordiali destre.

Onda T (ripolarizzazione ventricolare)

Nella prima settimana di vita nelle precordiali destre (V1) può essere positiva, bifasica o negativa e in V6 negativa, piatta o positiva (è quindi di scarso significato diagnostico); dai 7 giorni ai 10-12 anni è invece sempre negativa in V1 e positiva in V5-V6. Da V1 a V4 può restare negativa fino ai 10-12 anni (pattern giovanile), mentre dopo i 12 anni (o dopo lo sviluppo) sarà positiva da V2 a V6.

La T positiva nelle precordiali destre, dopo la prima settimana di vita, è indice di ipertrofia ventricolare destra. La T negativa nelle precordiali sinistre è indice di

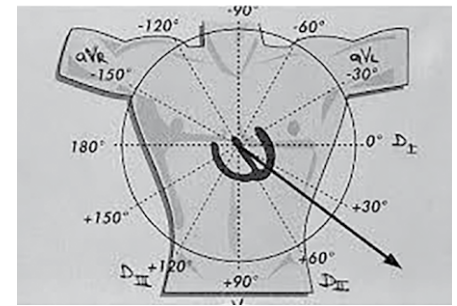


Figura 7. Posizione delle derivazioni periferiche sul piano frontale e normale asse elettrico del cuore (adulto).

ipertrofia ventricolare sinistra tipo sovraccarico sistolico, o esito di peri-miocardite, o in generale segno di ischemia miocardica. Quasi il 20% dei bambini presenta T bifasica in V2-V3.

Onda U

Non ben chiarito il suo significato. Dev'essere inserita nella misurazione del QTc se si sovrappone all'onda T.

Tratto QT (ripolarizzazione ventricolare)

Esprime il tempo necessario per la depolarizzazione (QRS) e la ripolarizzazione (onda T) ventricolare; si misura dall'inizio dell'onda Q al termine dell'onda T.

È inversamente proporzionale alla FC per cui il QT dev'essere corretto in base ad essa (QTc).

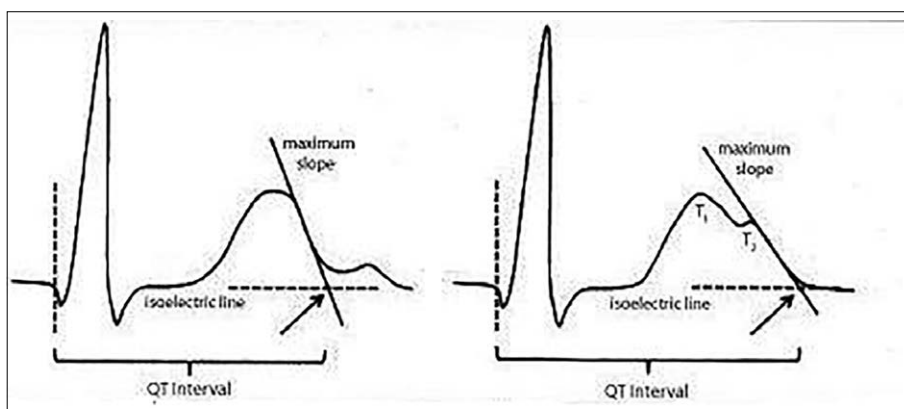
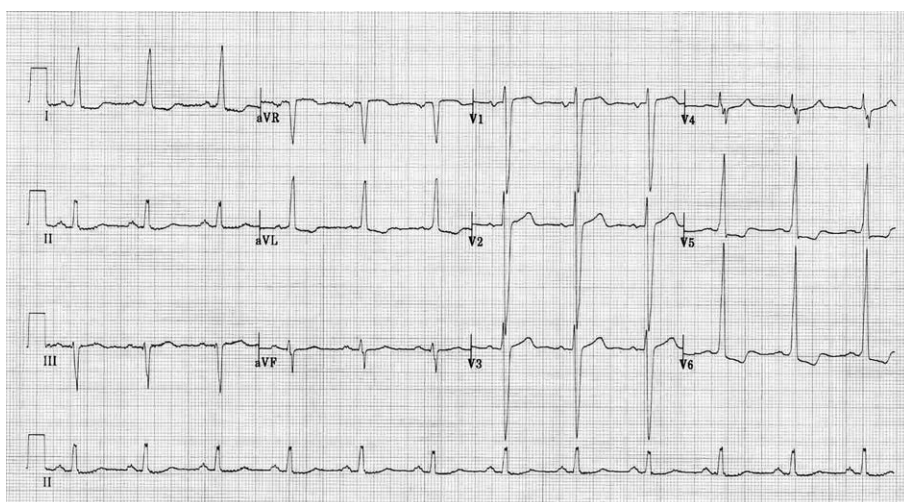
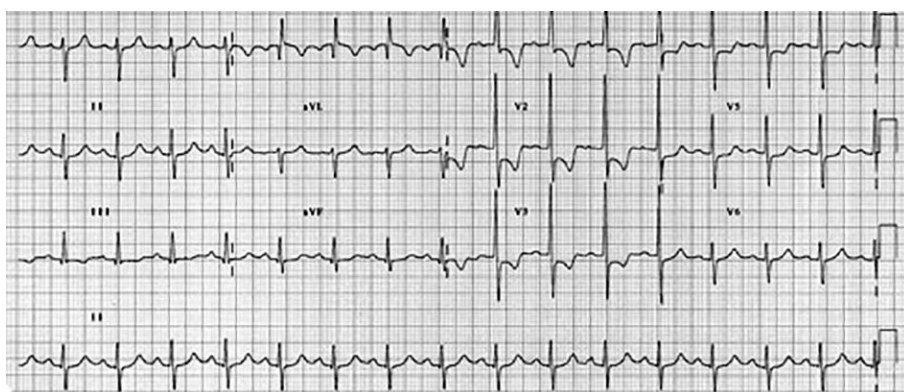
La formula più utilizzata per calcolarlo è quella di Bazett:

$$QTc = \frac{\overline{QT} (ms)}{\sqrt{RR} (sec)}$$

che però sovrastima alle FC alte e sottoestima alle FC basse. Si misura meglio in DII o in V5 (o dove sono visibili le onde Q) e, per una più corretta valutazione, occorre fare una media della lunghezza del QT in 3-5 battiti consecutivi. Per calcolare il punto finale del QT, si può tracciare la tangente alla massima pendenza dell'onda T e prendere il punto d'incrocio con l'isoelettrica (Figura 11), oppure prendere il punto in cui la T raggiunge l'isoelettrica (metodo soglia). Se è presente un'onda U inserita sulla parte finale della T, essa dev'essere inclusa nella misurazione, se invece è staccata dalla T, non deve essere presa in considerazione.

L'intervallo QT mostra modeste variazioni con l'età. Fino ai 12 anni non vi sono differenze tra i due sessi, successivamente nel sesso femminile vengono considerati normali valori leggermente più alti rispetto al sesso maschile.

Nel neonato il QTc si considera normale



fino a 440 ms [7] (tranne nei primi 4 giorni di vita, quando il limite arriva fino a 470 ms); dal primo mese all'adolescenza è normale fino a 440 ms, borderline tra 440 e 460 ms, patologico >460 ms.

Nei maschi adulti è normale fino a 440 ms, borderline tra 440 e 450 ms e patologico >450 ms; nelle femmine adulte è normale fino a 460 ms, borderline tra 460 e 470 ms, patologico >470 ms.

Inoltre un QTc <340 ms deve far pensare alla rara sindrome del QT corto, anch'essa predisponente a gravi aritmie ventricolari.

✉ aldo.agnetti@unipr.it

1. Bronzetti G, Mariucci E, Bonvicini M, et al. L'ECG in età pediatrica: cosa deve sapere il cardiologo dell'adulto. G Ital Cardiol 2011;12:408-18.
2. Davignon A, Rautaharju P, Boisselle E, et al. Normal ECG standards for infants and children. Pediatr Cardiol 1980;1:123-31.
3. Rijnbeek PR, Witsenburg M, Schrama E, et al. New normal limits for the paediatric electrocardiogram. Europ Heart J 2001;22:702-11.
4. Ghazala Q, Sharieff MD, Sri O, Rao MD. The Pediatric ECG. Emerg Med Clin N Am 2006;195-208.
5. O'Connor M, McDaniel N, Brady WJ. The pediatric electrocardiogram. Part I: Age-related interpretation. Am J Emerg Med 2008; 26:221-8.
6. Dickinson DF. The normal ECG in childhood and adolescence. Heart 2005;91:1626-30.
7. Schwartz PJ, Garson Jr A, Thomas Paul, et al. Linee guida per l'interpretazione dell'elettrocardiogramma neonatale. Task Force della Società Europea di Cardiologia. Ital Heart J Suppl 2003;4:138-53.
8. Drs Gentles, Nicholson & Skinner Electrocardiograph. Paediatric Cardiology, December 2009.

A sinistra, dall'alto in basso:

Figura 8. ECG normale in bambino di 6 mesi con asse elettrico a +90° (isoelettrica in DI, maggior positività in aVF).

Figura 9. Ipertrofia ventricolare destra, 4 anni. Da notare l'asse elettrico a +120°, alta onda R in V1, profonda onda S in V6.

Figura 10. Ipertrofia ventricolare sinistra, 10 anni. Da notare deviazione assiale sinistra (asse elettrico a circa -30°), profonda e larga onda S in V1, alta onda R in V6, ST sottoslivellato e onda T negativa in V6 (ipertrofia tipo "strain pattern").

Figura 11. Metodo della tangente per il calcolo del QTc; nell'immagine a destra, l'onda U sovrapposta alla T viene inclusa nella misurazione.