

Elettrocardiogramma in età pediatrica



Agata Privitera

AOU Policlinico Catania

Cardiologia Pediatrica

Presidio San Marco

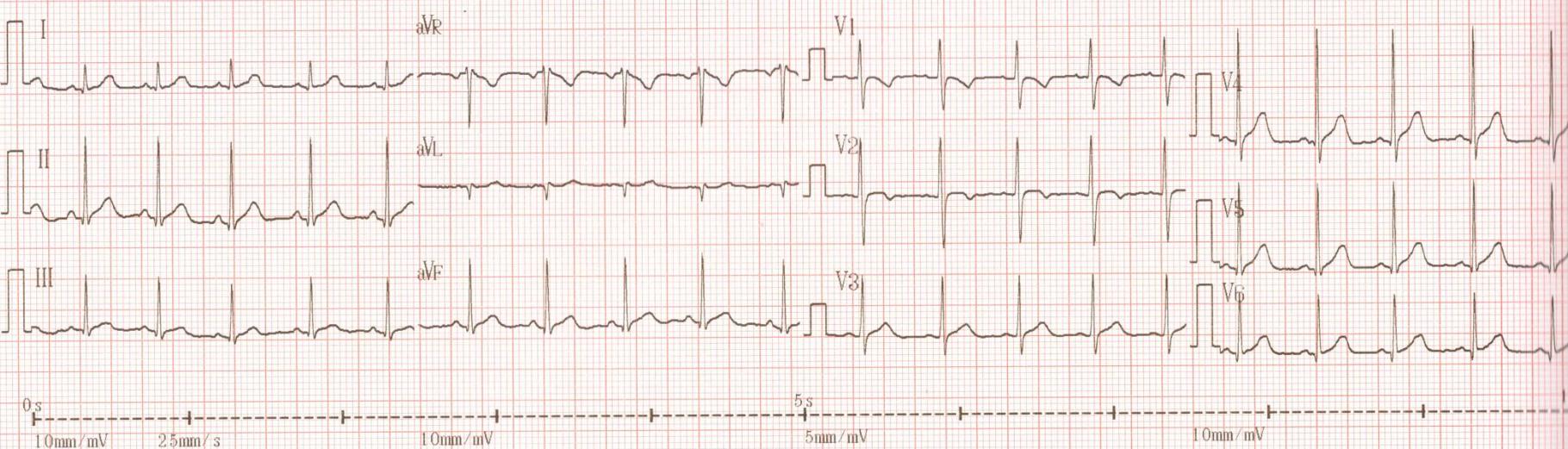
www.cardiologiapediatricact.com

Padova 30/01/2026

Elettrocardiogramma a 12 derivazioni

Il tuo intervento su:

- Embriologia del sistema di conduzione
- Rilevazione del ritmo embrionale
- ECG normale nel bambino
 - Valutazione dell'ECG neonatale e i successivi cambiamenti nelle varie fasi di crescita
- Riconoscimento dell'ECG normale nel bambino e nell'adolescente.
- Caratteristiche elettrocardiografiche nelle varie cardiopatie congenite e nelle cardiopatie congenite operate



Embriologia Tessuto di conduzione

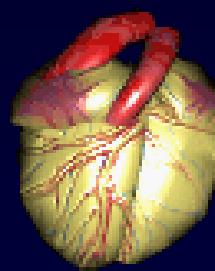


Agata Privitera

AOU Policlinico Catania
Cardiologia Pediatrica
Presidio San Marco

www.cardiologiapediatricact.com

Padova 30/01/2026



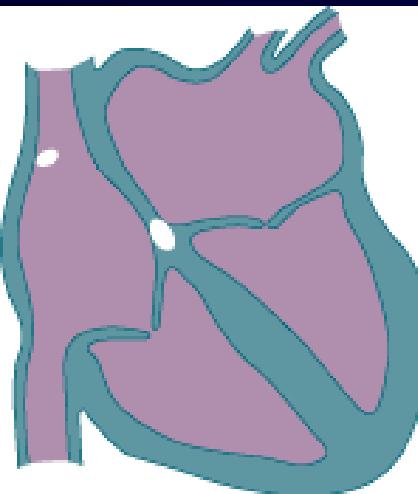
Il cuore

È un muscolo involontario dotato di contrazione spontanea

Ha la funzione di spingere il sangue in quantità adeguata al fabbisogno dell'organismo

Un ciclo cardiaco completo è costituito:

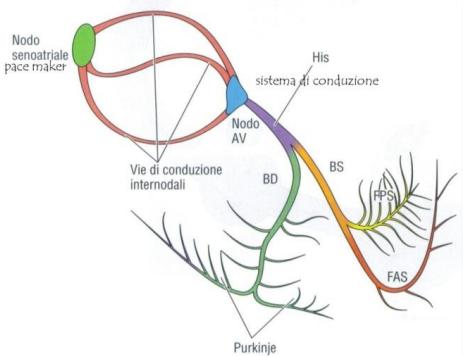
1. da una diastole e da una sistole atriale
2. da una diastole e da una sistole ventricolare



Una Stimolazione Elettrica precede e determina la contrazione meccanica

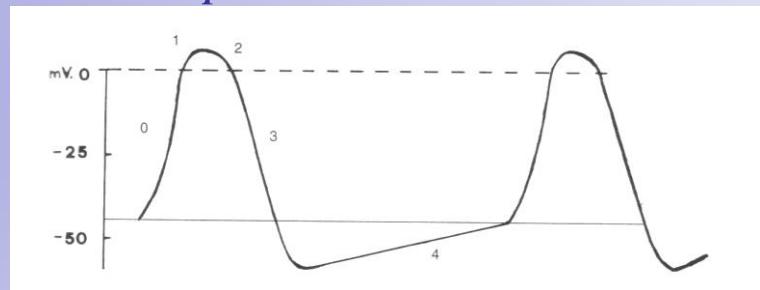
Fibrocellule cardiache suddivisione:

Miocardio specifico
(cellule deputate alla attività elettrica):

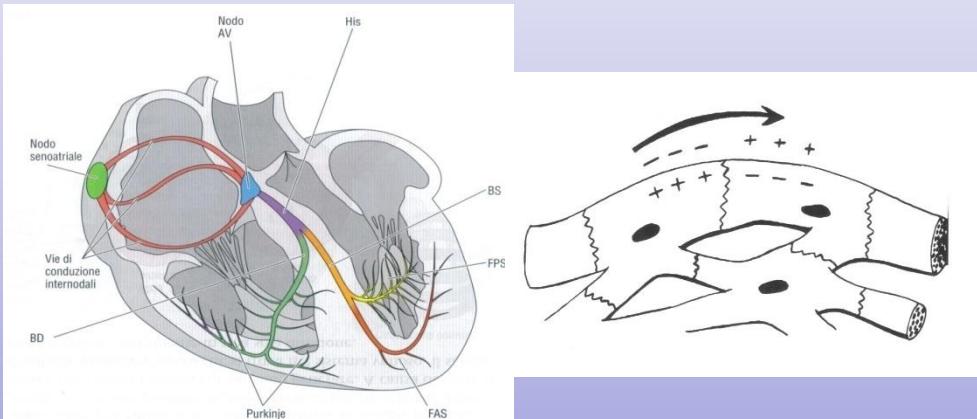


- Nodo seno atriale
- Nodo atrioventricolare
- Fascio di His
- Branche
- Rete del Purkinje

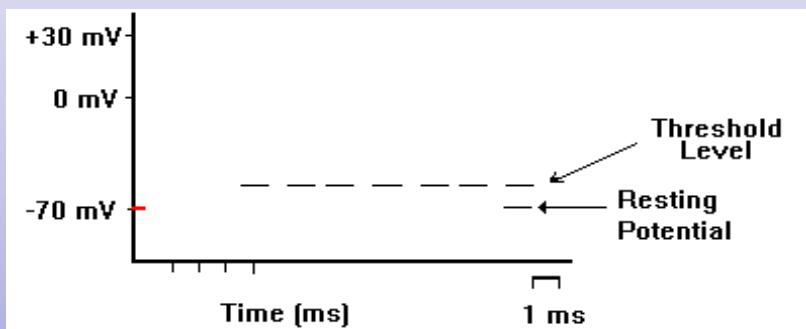
Si depolarizzano spontaneamente durante la fase di recupero (4) fino a dare un potenziale d'azione a -30mV



Miocardio comune
(cellule deputate alla contrazione meccanica):



vengono depolarizzate dalle cellule pacemaker



Embriologia Cuore

Sviluppo Cardiovascolare

Inizia con la formazione di **precursori mesodermici precardiaci** durante il processo della gastrulazione
3° settimana

Formazione dell'Abbozzo Cardiaco

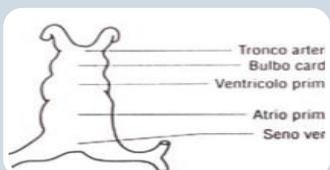
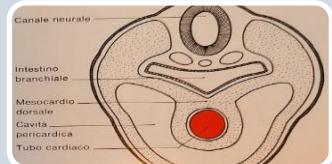
parte del mesoderma laterale migra dalla linea primitiva fino al davanti della membrana faringea e si unisce con la parte omologa del lato opposto

dalla delaminazione di questa porzione originano le pareti della futura cavità pericardica

Splancopleura

Somatopleura

Nella splancopleura al 20° giorno compaiono prima delle isole e poi per confluenza dei tubi endocardiaci



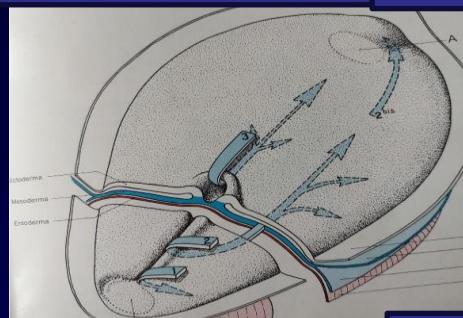
Tubi Cardiaci
21 giorni

Confluenza centrale
tubo cardiaco

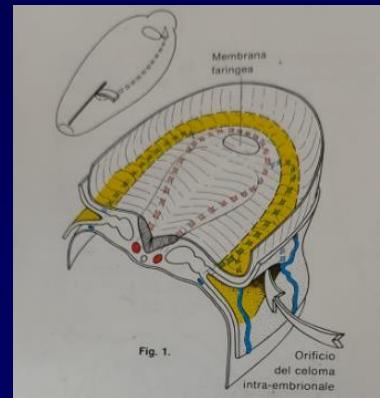
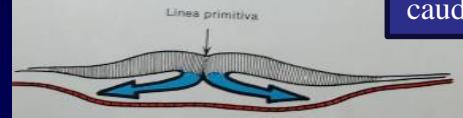
Tubo cardiaco primitivo
FHF 22° giorni

Gastrulazione fine 2° settimana: formazione del terzo foglietto embrionale il cordo-mesoderma per scivolamento dell'ectoderma a livello della linea primitiva (15°giorno)

craniale



caudale



Sviluppo Cardiovascolare e Identità Regionale

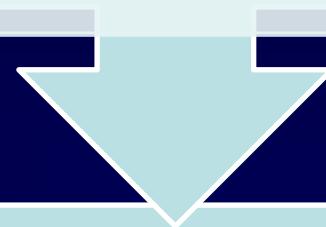
Prima Attività cardiaca a 23 giorni (4° settimana) dal miocardio primitivo FHF

Caratterizzato da conduzione lenta e depolarizzazione spontanea (FC 80-90 bpm)

In questa fase, tutte le cellule miocardiche possiedono un'attività di pacemaker.

Le contrazioni sono inizialmente peristaltiche e l'impulso viaggia in senso caudo-craniale.

contrazione è garantita dall'espressione del canale pacemaker Hcn4 (responsabile della corrente "funny") nelle cellule dell'area di afflusso del tubo



22-28° giorni Cellule del secondo campo cardiaco (SHF), responsabile dell'allungamento, inizialmente localizzate nel mesoderma splanchnico dorsale dietro al FHF, migrano e si localizzano ai due poli del tubo cardiaco primitivo FHF:

SHF Anteriore o (craniale) al polo superiore formerà il ventricolo destro e conotronco

SHF Posteriore o caudale formerà atri, setto atriale, seno venoso e **nodo seno atriale, branca destra e rete di Purkinje destra**

FHF miocardio ventricolare sinistro, **nodo AV, fascio di His branca sn sistema di Purkinje sinistro**

Sviluppo Cardiovascolare e Identità Regionale

24-28 giorni Il tubo cardiaco va incontro a ripiegamenti all'interno della cavità pericardica che cresce meno si distinguono:

- zona di ingresso l'atrio primitivo che si pone dietro, rispetto alla regione ventricolare
- E il ventricolo primitivo compreso tra bulbo in avanti e gli atrii dietro

35°-40° giorno

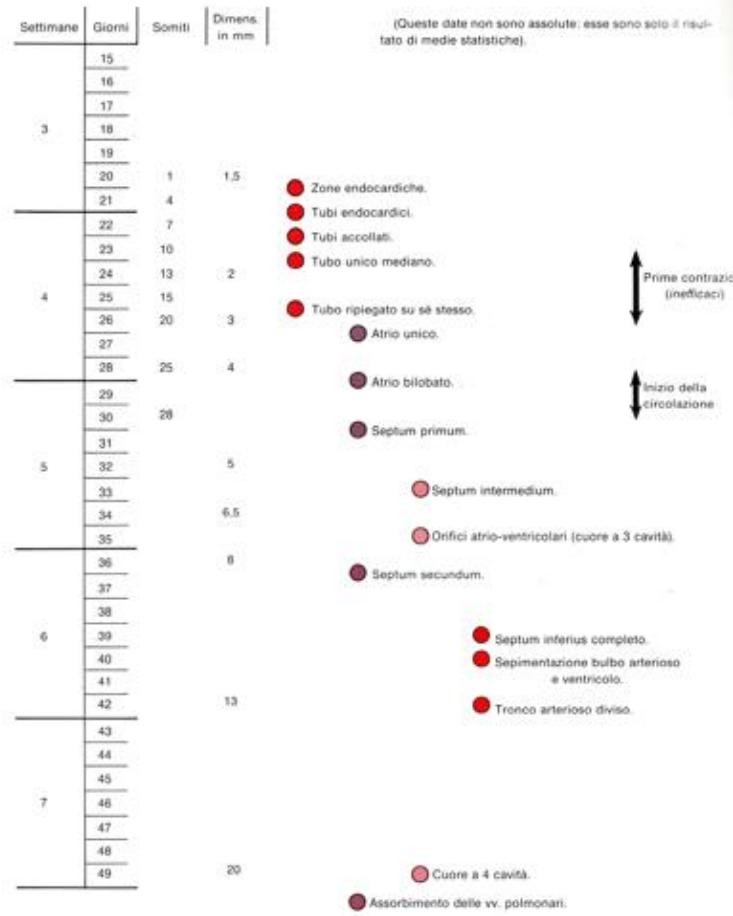
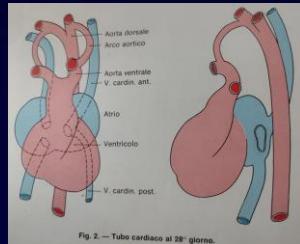
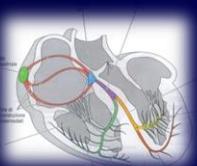
- Si accentua separazione tra atrii e ventricoli, cuscinetti endocardici Anulus Fibroso
 - struttura isolante si sviluppa per fornire una barriera elettrica tra atrii e ventricoli, lasciando il fascio di His come unico ponte di comunicazione

Il canale atrioventricolare è diviso in due orifizi sino a formare gli apparati valvolari atrioventricolari

Formazione setto intermedio ventricolare

5° 6° settimana

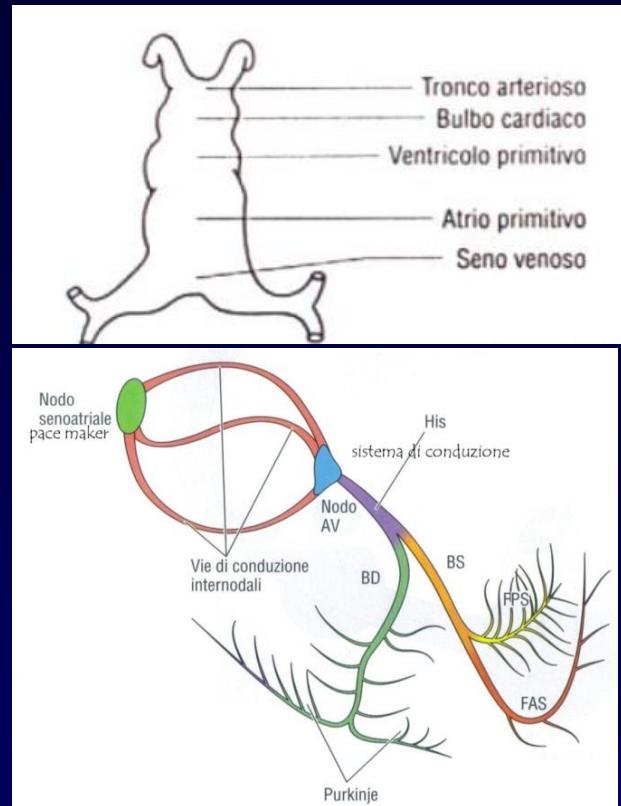
- Divisione atrii
- Divisione ventricoli
- Formazione NSA e NAV e conduzione
 - (Fc 80-110 bpm)



Tessuto di conduzione cardiaco (CCS - Cardiac Conduction System) embriologia

Il CCS è costituito da cardiomiositi (circa l'1% del totale), responsabile della generazione e della propagazione dell'impulso elettrico.

- le cellule del sistema di conduzione **non sono elementi "nuovi", bensì aree di miocardio che mantengono uno stato fenotipico embrionale** (*caratterizzato da conduzione lenta ed elevata automaticità*), mentre il resto del tessuto si differenzia in miocardio di lavoro (*conduzione rapida ed elevata contrattilità*)



Note: Nelle prime fasi dello sviluppo (22-23 giorni), il tubo cardiaco è formato da quello che viene chiamato miocardio primario.

Questo tessuto ha una caratteristica fondamentale: conduce l'elettricità molto lentamente e ha proprietà di pacemaker

- Nodo seno atriale
- Nodo atrioventricolare
- Fascio di His
- Branche
- Rete del Purkinje

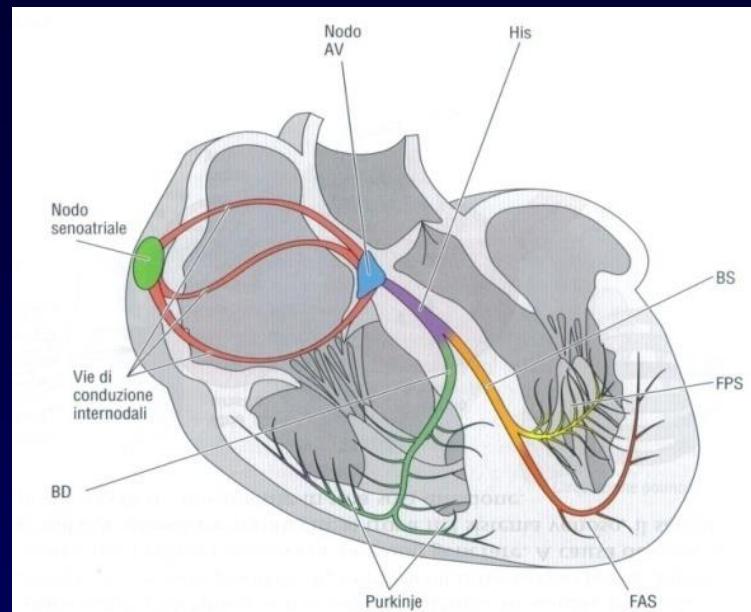
Sviluppo Cardiovascolare e Identità Regionale

Per raggiungere questo assetto finale, sono necessari **molteplici imput trascrizionali**, che forniscono una distinta identità regionale alle camere atriali e ventricolari in formazione.

Tali fattori di trascrizione appartengono alla famiglia **T-box**

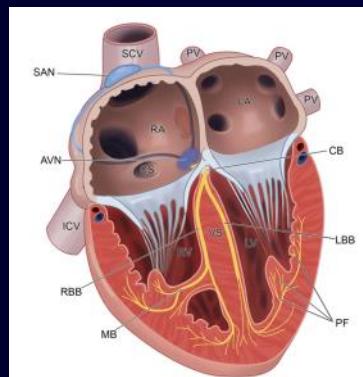
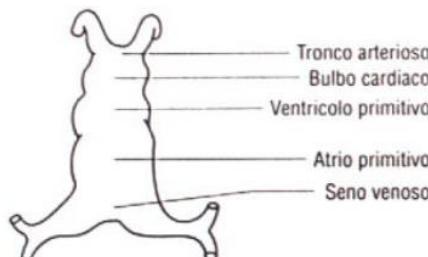
Durante la cardiogenesi i microRNA e i membri della famiglia T-box presentano espressione dinamica:

I microRNA regolano indirettamente i membri della famiglia T-box in modo tessuto-dipendente e tempo-dipendente



Durante l'embriogenesi (5-6° settimana) alcune cellule del mesoderma cardiogenico ricevono segnali specifici dai fattori di trascrizione Tbx2, Tbx3, Tbx5 e Nk2.5: e possono agire come attivatori trascrizionale, repressori trascrizionali o come definizione dell'area di trasformazione

Embriologia: Nodo Seno Atriale (NSA)



Il NSA alla 5-6° settimana di sviluppo (35-40 giorni) deriva da una popolazione cellulare miocardio (SHF) pro-pacemaker dal polo venoso dell'embrione (seno venoso, pavimento atrio destro).

L'attività elettrica si sposta gradualmente dalla giunzione del seno venoso al NSA definitivo

Sono identificate dall'espressione di Hcn4 il gene responsabile della "corrente funny" (If), che permette l'autodepolarizzazione delle cellule pacemaker

Tbx3 e Shox2: Repressore trascrizionale, blocca i geni della contrazione rapida (Nppa, Cx40 e Cx43), mantenendo il fenotipo "lento e automatico e continuano ed esprimere i geni attivati da tbx5
Rende attivo il gene Hcn4 responsabile della "corrente funny" (If)
TBX5: creano lo spazio del nodo, bloccano l'intrusione di NKX2.5

Istologia cellule NSA

Morfologia:

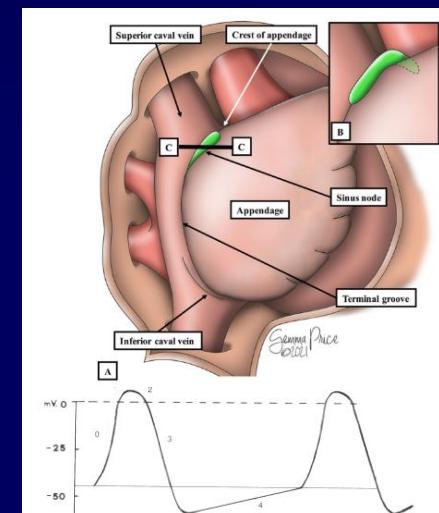
Sono piccoli ed hanno una forma fusata o stellata

Citoplasma:

Appare chiaro poiché contiene pochissime miofibrille e scarsamente organizzate ricche di glicogeno

Connessioni:

Sono immerse in un abbondante tessuto connettivo ricco di fibre collagene ed elastiche



Nodo Seno Atriale (NSA)

Anatomia

- è una piccola struttura a forma di a virgola o mezzaluna, lunga circa 15-20 mm e larga 2-3 mm
- nell'1% può avere una forma a ferro di cavallo

Sede

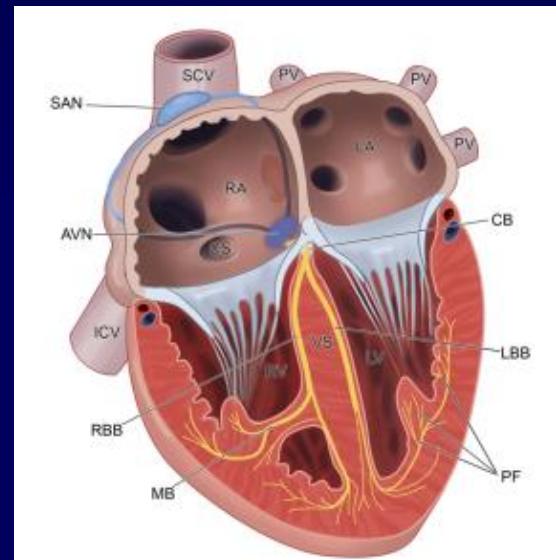
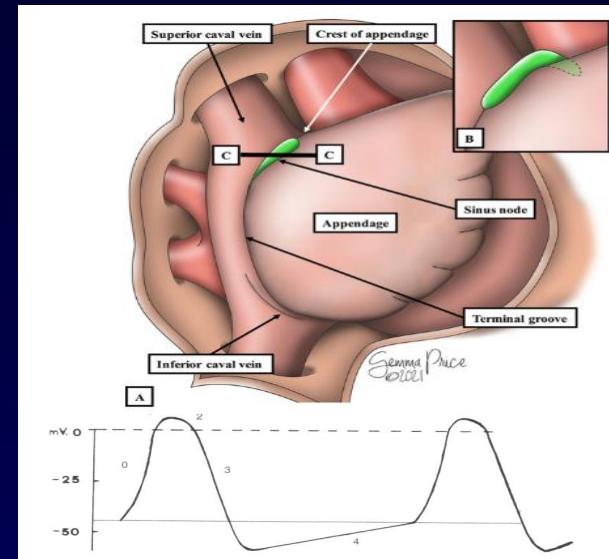
- Si trova nell'atrio destro, in sede sub-epicardica, tra la giunzione vena cava superiore e auricola destra. Il suo punto di riferimento anatomico interno è il solco terminale
- *NSA a destra, poiché a dx manca l'espressione del gene Pitx2 (freno), abbondantemente rappresentato nell'atrio sinistro*

Vascolarizzazione

- È servito dall'arteria del nodo del seno:
- nel 60% dei casi origina dalla coronaria destra
- nel 40% dalla circonflessa (coronaria sinistra)

Innervazione

- È riccamente innervato dal sistema nervoso autonomo (Simpatico e Parasimpatico/Vago), già dal secondo trimestre, che ne modula la velocità ma non ne genera il battito



Funzione Principale NSA

L'AUTOMATISMO

- Capacità di generare impulsi elettrici senza stimoli esterni
- Il NSA è il "**Ritmo dominante**" per la presenza di canali ionici che depolarizzano più rapidamente rispetto alle altre sedi di tessuto dotato di depolarizzazione spontanea

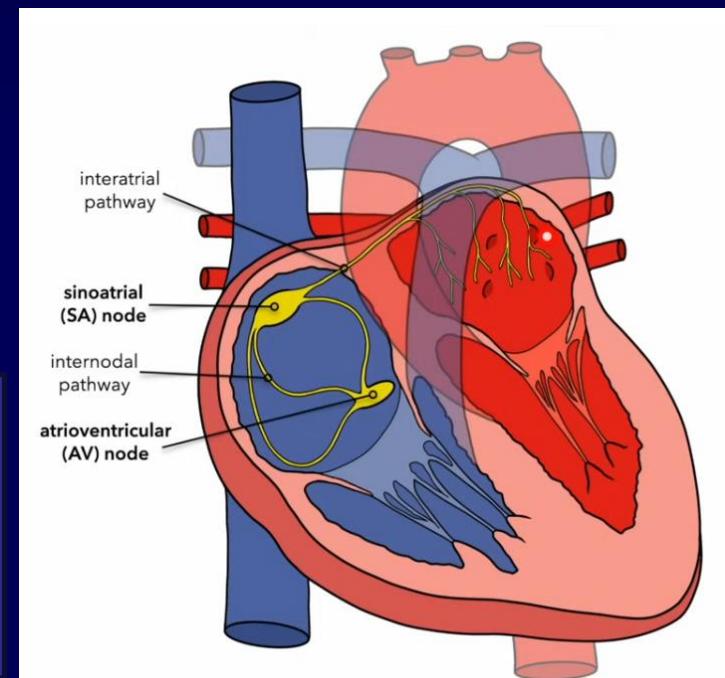
Se il NSA fallisce, intervengono centri sussidiari (come il nodo AV), ma a frequenze molto più basse

Frequenza intrinseca età dipendente

- Neonato 130-140 bpm
- Adolescente 100-110 bpm
- Età adulta 60-100 bpm

Conduzione: l'impulso viaggia tramite:

- fascio di Bachmann per l'atrio sinistro
- fasci internodali sino a raggiungere il nodo atrio-ventricolare

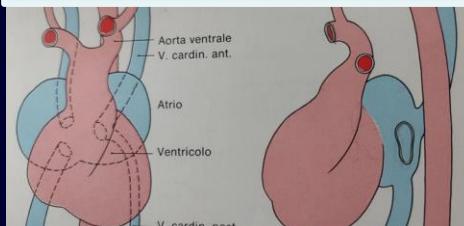


Formazione Nodo Atrioventricolare (NAV)

NAV: deriva da **cellule miocardiche primordiali** situate nella parete del canale atrioventricolare primitivo (FHF), durante il ripiegamento del tubo cardiaco (5^a settimana),

Il setto interatriale e quello interventricolare si fondono (tramite i cuscinetti endocardici)

il tessuto del nodo viene incorporato nella parte postero-inferiore del setto interatriale destro



Le cellule del sistema di conduzione non si differenziano in miocardio comune.
Tra i fattori di trascrizione che entrano in funzione:

Tbx2 fondamentale nelle prime fasi: mentre atri e ventricoli crescono rapidamente

le cellule marcate da **Tbx2** proliferano molto lentamente definendo i confini esatti tra tessuto del nodo ed il resto del cuore

Tbx3: Reprime l'espressione di geni come Nppa (che codifica per il peptide natriuretico atriale) e Gja1 (che codifica per la Connexina veloce 43) mantenendo il fenotipo "lento" connessina Cx 45 e Cx30 .2

Resta attivo il gene Hcn4 responsabile della "corrente funny" (If), che permette l'autodepolarizzazione Fc 40-50 bpm. Autodepolarizzazione frenata da NKX2.5

Tbx5:

Attiva il TBX3

Definisce i confini dove formarsi il nodo AV

Recluta NKX2.5 per integrità di collegamento tra nodo AV e Fascio di His

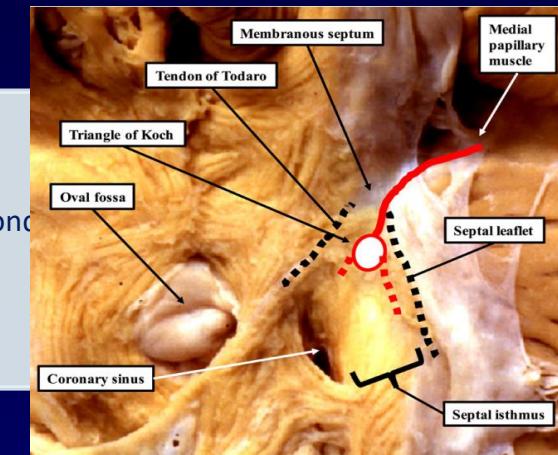
Nodo atrioventricolare (NAV)

Sede

- Si trova nel subendocardio nell'atrio destro, all'interno del Triangolo di Koch delimitato da:
 - Tendine di Todaro: prolungamento fibroso della valvola della vena cava inferiore (Eustachio) e la valvola del seno coronarico (Tebesio).
 - Lembo settale della valvola tricuspide
 - Ostio del seno coronarico

Vascularizzazione

- È servito dall'arteria del nodo atrioventricolare:
- Nel 80-90% dei casi origina dalla coronaria destra in corrispondenza della crux cordis
- nel 10-20% dalla circonflessa (coronaria sinistra)



Innervazione

- Parasimpatico: Tramite il nervo vago (prevalentemente il vago di sinistra) rilascia acetilcolina e rallenta la conduzione aumentando il tempo di ritardo tra atrio e ventricolo.
- Simpatico: Tramite i nervi cardiaci provenienti dai gangli della catena simpatica cervicale e toracica, rilascia noradrenalina, che accelera la conduzione atrioventricolare

Nodo atrioventricolare (NAV)

Anatomia

- Il nodo è una piccola massa di tessuto muscolare cardiaco specializzato, di forma ovoidale di circa 3-5 mm di lunghezza
- Si distinguono tre zone principali:
 - **Zona di transizione (AN)** deriva da SHF: Cellule che collegano il miocardio atriale al nodo
 - **Zona compatta (N)** deriva da FHF: Il nucleo centrale del nodo, dove le cellule sono densamente impacchettate e intrecciate.
 - **Zona dei fascicoli (NH)** deriva da SHF: Dove le cellule iniziano ad allinearsi parallelamente per trasformarsi nel Fascio di His

Cellule Nodo AN: cellule transizionali, periferia nodo a contatto con atrio destro e circondano la parte compatta del corpo (zona compatta N), ricevano impulsi dai miociti atriali e li convogliano verso la zona N, qui inizia il rallentamento di conduzione

- **Via veloce** per un maggior numero di proteine di connessione (C40), in sede antero-superiore vicino all'apice del triangolo di Koch lungo il tendine di Todaro e la conduzione, che dopo aver superato il nodo centrale, raggiunge il fascio di His
- **Via lenta** poster-inferiore vicino all'ostio del seno coronarico, arriva un tempuscolo dopo nel corpo del NAV e si blocca perché lo trova refrattario dalla via veloce

Nodo NH si trovano nella porzione inferiore del nodo e le cellule sono disposti in fila longitudinale, in modo di accelerare l'impulso verso il fascio di His

- Appena superato il corpo fibroso centrale diventano Fascio di His

Embriologia: Nodo atrioventricolare

Proprietà Intrinseche

- Ritardo atrioventricolare di circa 0.09-0.12 sec
- Automatismo spontaneo
- Frequenza intrinseca: 40-60 bpm

Istologia cellule NAV (corpo)

Morfologia:

Cellule P o pacemaker : Sono piccole di forma ovoidale o stellata

Citoplasma:

Appare chiaro poiché contiene pochissime miofibrille e scarsamente organizzate e contiene glicogeno

Disposizione/ Connessioni:

Disposte a rete intrecciate formano un groviglio plessiforme, sono immerse in un abbondante tessuto connettivo ricco di fibre collagene ed elastiche

Funzione Principale del NAV

Ritardo elettrico nel nodo atrioventricolare (NAV) che dura circa 0,09 - 0,12 secondi),

- I meccanismi principali che spiegano "fisicamente" come il nodo riesce a rallentare la conduzione creando un (Effetto "Imbuto") sono:
 1. Le cellule del nodo atrioventricolare sono molto più piccole rispetto ai comuni miociti atriali o alle fibre di Purkinje.
1. In un conduttore elettrico o biologico, minore è il diametro, maggiore è la resistenza al passaggio della corrente
 2. La densità delle Giunzioni Gap (proteine dette connessine), che permettono agli ioni di fluire da una cellula all'altra, è molto basso e la loro resistenza è elevata, aumentando il tempo per attraversare l'intera struttura
 3. Il Potenziale d'Azione è dipendente dal Calcio di tipo L ("Risposta Lenta") , di conseguenza, la fase di depolarizzazione (l'inizio del segnale elettrico) è lenta

Sequenza contrazione atriale/ventricolare

- Senza questo rallentamento gli atrи e i ventricoli si contrarrebbero quasi contemporaneamente

Protezione (Filtro):

- Impedisce che tutti gli impulsi raggiungono i ventricoli proteggendo il cuore da frequenza potenzialmente letale, se gli atrи iniziano a battere troppo velocemente (come ad esempio nella fibrillazione atriale)

Pacemaker di Riserva

- Può prendere il controllo del ritmo cardiaco, generandolo a una frequenza di circa 40-60 bpm se la funzione NSA viene meno

Fascio di His e Branches

Fascio di His e branchi derivano da una popolazione di cellule del miocardio ventricolare trabecolato (5-6° settimana) sotto l'influenza trascrizionale NKX2.5

Nkx2.5: Reclutatore di cellule, guida la trasformazione del miocardio ventricolare trabecolato in fibre specializzate, fascio di His e branchi



Sotto l'influenza di fattori di trascrizione specifici Tbx3, Tbx5 e Irx3, deviano dal destino di "miocardio di lavoro" per specializzarsi nella conduzione elettrica

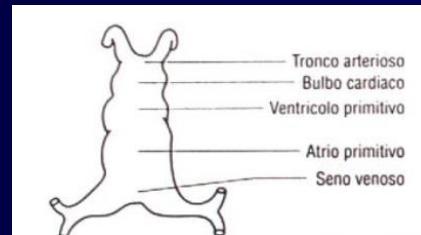
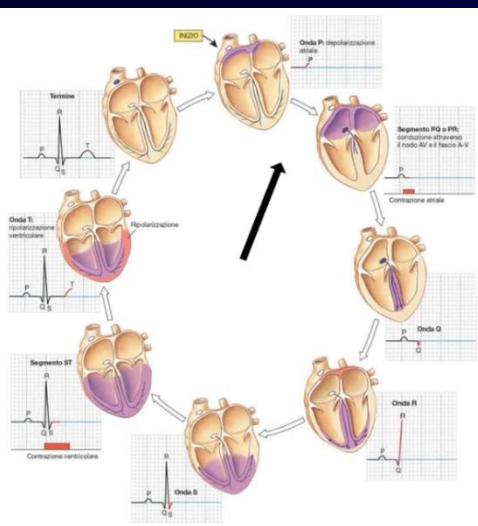
Tbx5: Attivatore dei geni della corrente rapida, stimola la produzione di Connexina 40 (Cx40) e i canali del Na (Scn5A)

NKX2.5: in sinergia garantisce che venga eseguito

Tbx3: Repressore

impedisce che le cellule diventano miocardio comune. Favorisce l'espressione dei geni HCN4 (If), tenuto a freno dal Nkx2.5 (sopprime l'automotricità

Irx3 Selettore specifico per fascio His e branchi
assicura che la Connexina 40 (veloce) sia presente e la Connexina 43 (tipica del muscolo normale) assente



Tubo cardiaco 4^a-5^a settimana

N.B. NkX2.5 resta attivo per tutta la vita, serve a mantenere l'identità delle branchie, in sua assenza le cellule «dimenticano» di essere conduttori elettrici e possono morire o trasformarsi causando blocchi di branca

Proprietà Intrinseche

- Elevata velocità di conduzione
- Automatismo spontaneo
- Frequenza intrinseca 20- 40 bpm

Fascio di His e Branches

**Istologia
Fascio di
HIS,
Branches
e rete
del
Purkinje**

Morfologia:

Sono molto grandi con miofibrille scarse e disposti in periferia, striatura poco evidenti

Citoplasma:

Appare molto chiaro e "pallido" per l'altissimo contenuto di glicogeno e scarsità di miofibrille, confinate solo alla periferia della cellula

Connessioni:

Sono collegate tra loro da numerose gap junction (giunzioni comunicanti) ricche di Connexina 40, che permettono il passaggio quasi istantaneo del segnale elettrico fino a 2-4 m/s contro lo 0.3-1 m/s del miocardio comune

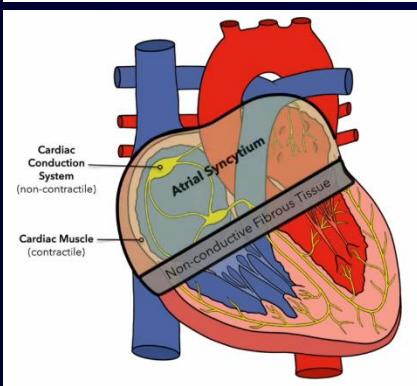
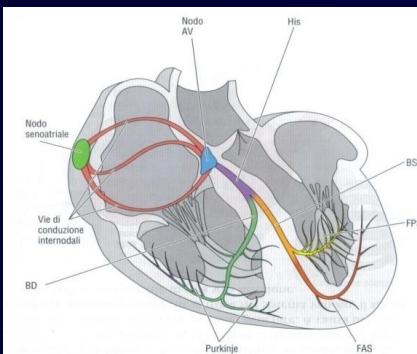
La propagazione coordinata dell'impulso dipende dall'espressione differenziale delle **connessine (Cx)**, proteine che formano le giunzioni comunicanti

| Caratteristiche | Miocardio atriale | Miocardio comune | Cellule nodali SA | NAV | Fibre di Purkinje | Isolamento Elettrico |
|-----------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|--|------------------------|---|
| Dimensioni | Piccole e sottili | Medie | Piccole | Piccole | Molto Grandi | Parallelamente alla crescita del cuore, queste cellule vengono isolate elettricamente dal resto del miocardio tramite tessuto connettivo, fatta eccezione per punti specifici (come le fibre di Purkinje). Questo isolamento garantisce che l'impulso segua un percorso preciso e coordinato. |
| Miofibrille | Meno dense, più periferiche | Numerose e ordinate | Scarse e disordinate | Scarse e disordinate | Scarse e Periferiche | |
| Striatura | Regolari ma ramificati | Evidente | Poco Evidente | Poco evidente | Poco Evidente | |
| Glicogeno | Moderato | Basso | Alto | Alto | Molto abbondante | |
| Connessine | Cx40 e Cx43 | CX43 | Cx45 | Cx45 AN e Cx30.2 N (massimo rallentamento) | Cx40 | |
| Velocità | Veloce 0.5-1 m/s | Media 0.3-0.5 m/s) | Molto lenta (0.02 - 0.05 m/s) | Molto lenta (0.01-0.05 m/s) | Molto rapida (2-4 m/s) | |

| Componente | TBX3 | TBX5 | NKX2-5 | Irx3 | Funzione principale |
|---------------|------|------|--------|-------------------|---|
| NSA | ++++ | + | -/+ | - | Generazione Ritmo |
| NAV | ++++ | ++ | ++ | ++ (solo zona NH) | Rallentamento AV fisiologico |
| Fascio di His | ++ | ++++ | ++++ | ++++ | Passaggio sicuro atri ai ventricoli |
| Branche | + | ++++ | ++++ | ++++ | Velocità massima (sincronia Ventricolare) |

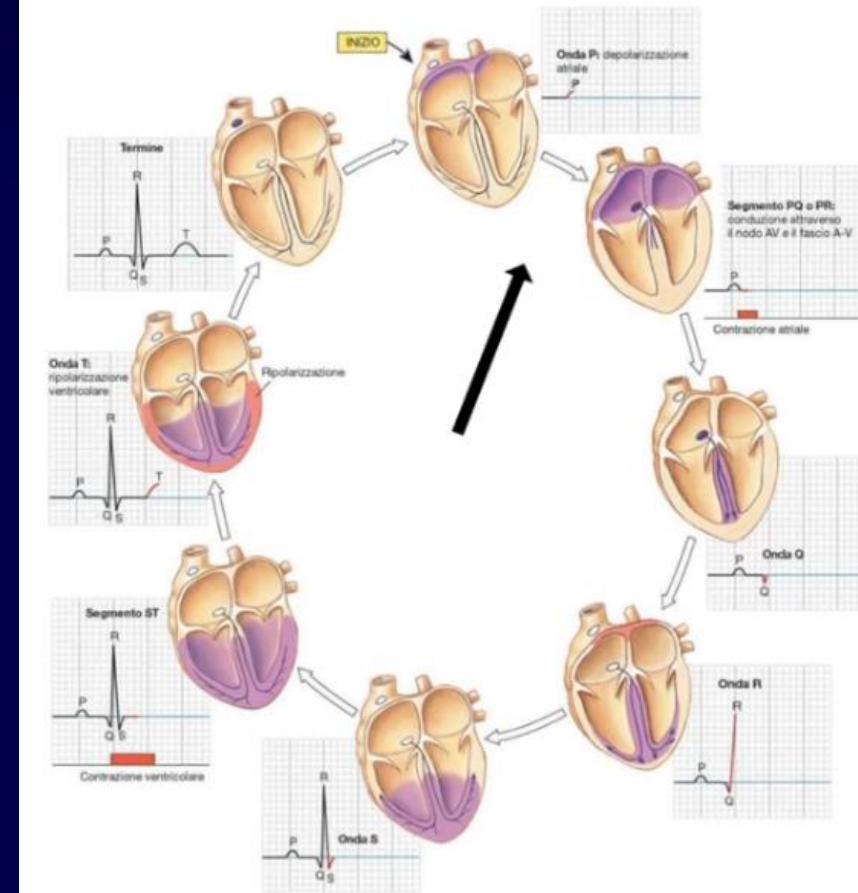
Isolamento Elettrico

Parallelamente alla crescita del cuore, queste cellule vengono isolate elettricamente dal resto del miocardio tramite tessuto connettivo, fatta eccezione per punti specifici (come le fibre di Purkinje). Questo isolamento garantisce che l'impulso segua un percorso preciso e coordinato



Sistema di conduzione completo:

Il pattern di attivazione ventricolare si inverte: da una conduzione «base-apice» si passa ad un'attivazione «apice-base». Questo permette ai ventricoli di contrarsi in modo efficiente per spingere il sangue verso i tratti di efflusso



Fascio di His e Branchie

Anatomia e Sede

- Fascio di His: Attraversa lo scheletro fibroso del cuore lungo il margine inferiore della parte membranosa del setto interventricolare.
- Al vertice della parte muscolare del setto, il fascio di His si divide:
- Branca Destra: Un fascio sottile che scende sul lato destro del setto, raggiunge l'apice.
- Branca Sinistra: Più larga e piatta, si divide precocemente in fascicoli (anteriore, posteriore e talvolta settale) che si distribuiscono sotto l'endocardio del ventricolo sinistro.
- Fibre di Purkinje: Rete terminale subendocardica che distribuisce l'impulso ai ventricoli.

Vascolarizzazione

- Fascio di His: dall'arteria del nodo AV (Coronaria Destra) e dai rami perforanti settali dell'Arteria Interventricolare Anteriore (ramo della Coronaria Sinistra).
- Branca Destra e fascicolo anteriore della Branca Sinistra: Irrorati principalmente dai rami perforanti dell'Arteria Interventricolare Anteriore.
- Fascicolo posteriore della Branca Sinistra: dalla arteria Interventricolare Anteriore e Posteriore

Innervazione

- è modulato dal sistema nervoso autonomo:
- Simpatico: I nervi cardiaci (noradrenalina) aumentano la velocità di conduzione e l'eccitabilità delle fibre.
- Parasimpatico: Il nervo Vago (acetilcolina) ha un effetto molto debole sul fascio di His e branchie rispetto ai nodi (effetto protezione: evita che una stimolazione vagale eccessiva, blocchi completamente la conduzione veloce nei ventricoli)

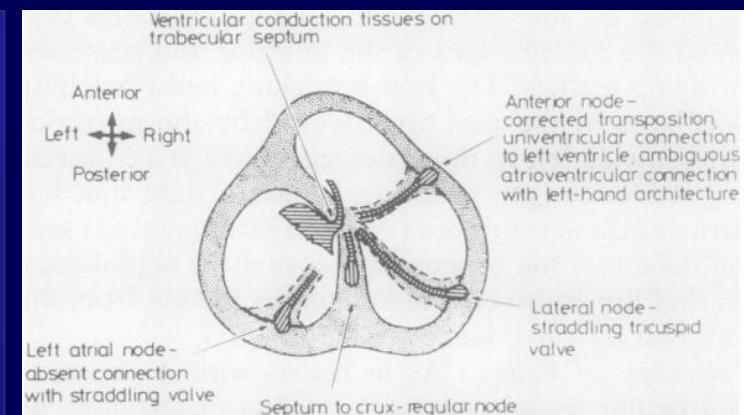
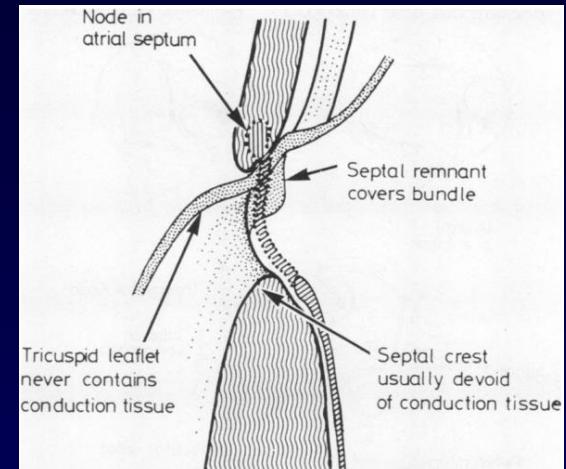
Considerazioni Sistema di Conduzione NAV, fascio di His e Branches

Le branchie (dx,sn) sono sempre a cavallo della cresta del setto ventricolare muscolare (tra questo e il setto membranoso), indipendentemente dal fatto che tale setto sia allineato o disallineato

Quando il setto atriale è allineamento al setto ventricolare, l'apice del triangolo di Koch è adiacente alla cresta del setto muscolare

Il disallineamento tra queste strutture settali impedisce al normale NAV di entrare in contatto con le branchie sempre localizzate sul setto muscolare ventricolare.

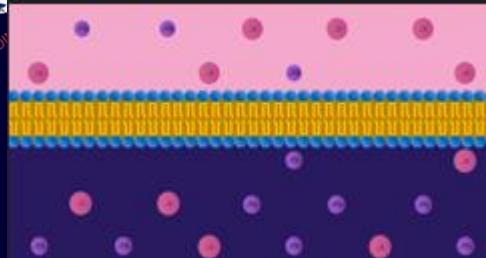
In questa circostanza, un nodo anomalo dà origine all'asse di conduzione atrio-ventricolare, con localizzazione del NAV nel punto più vicino dove la cresta del setto ventricolare muscolare incontra l'anello valvolare destro





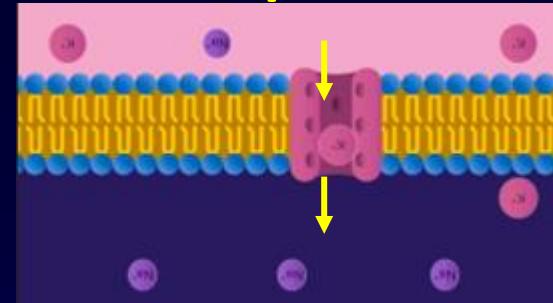
Potenziale di Membrana e Depolarizzazione

Potenziale di membrana riposo



Interno -

Esterno +



La membrana cellulare è formata da un doppio strato di fosfolipidi:

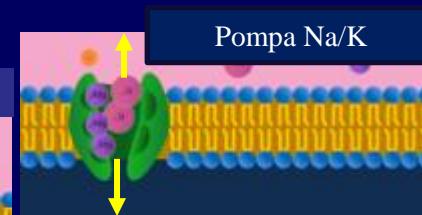
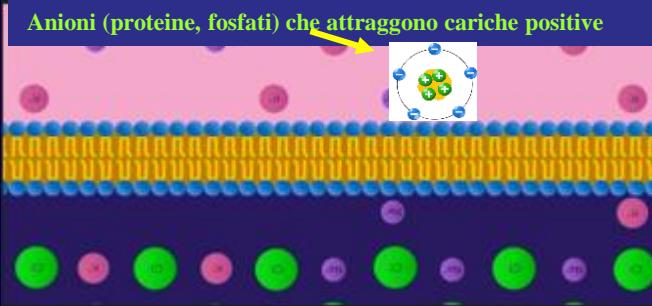
- componente idrofoba di entrambi rivolta una verso l'altra all' interno
- Le cellule miocardiche sono polarizzate per la diversa carica di ioni K⁺ all'interno e di ioni Na⁺ all'esterno
- La differenza di potenziale è nell'ordine di -60 -90 mV a seconda della cellula

La membrana cellulare risulta semi-permeabile prevalentemente agli ioni K⁺, attraverso canali ionici specifici, che tendono a far uscire il K⁺ per concentrazione ionica, ma sono trattenute da:

- gradiente elettrico che si oppone a quello chimico,
- Presenza di grossi anioni non diffusibili
- pompa sodio/potassio il cui ruolo è fondamentale nella fase 4

Concentrazione Ioni in mEq

| Ioni | Extracellulare (E) | Intracellulare (I) | Rapporto (E/I) |
|------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Na ⁺ | 145 | 15 | 9,7 |
| K ⁺ | 4 | 150 | 0,027 |
| Cl ⁻ | 120 | 5 | 24 |
| Ca ⁺⁺ | 2 | 10 alla -4 | 2X10 alla 4 |



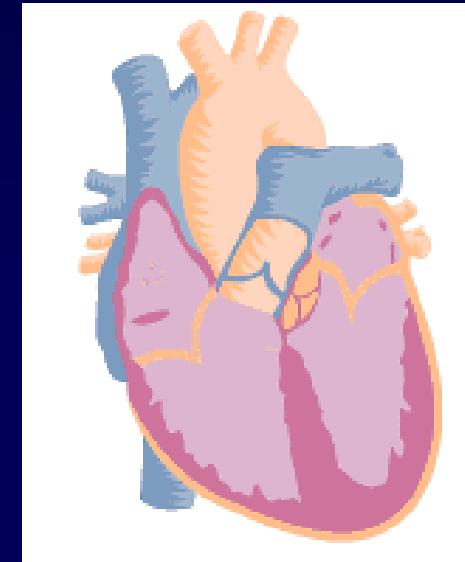
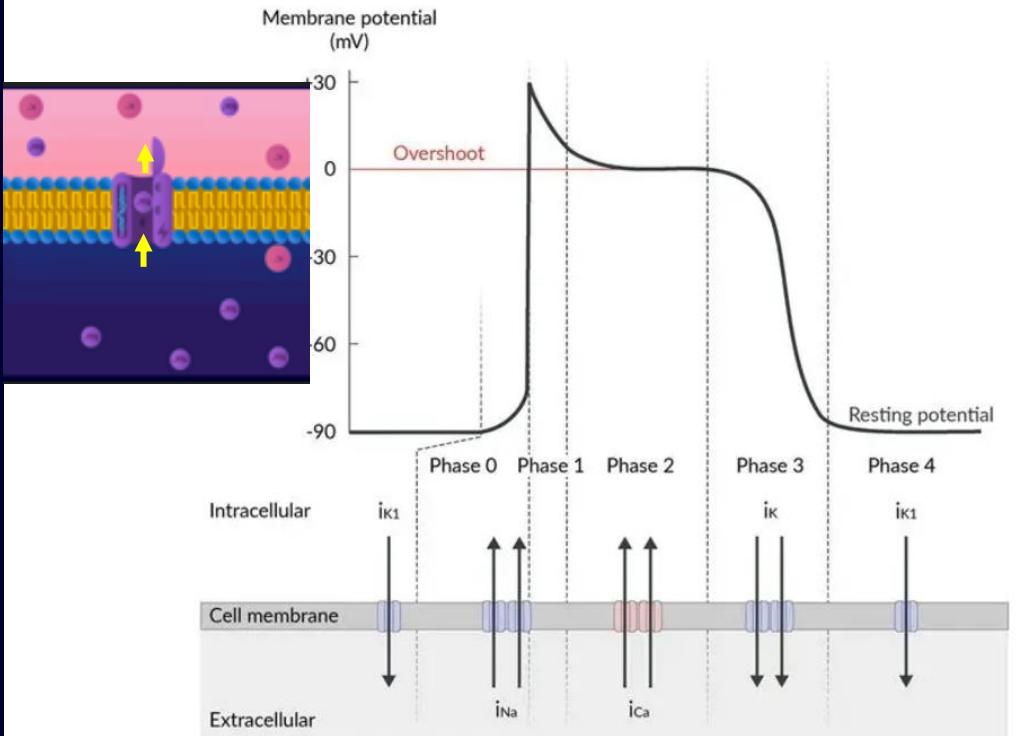
Potenziale di Depolarizzazione o Azione Cellula muscolare

Fase 0 depolarizzazione

Uno stimolo depolarizzante fa aumentare improvvisamente la permeabilità della membrana agli ioni Na^+ Corrente interna di (i_{Na}) e allo stesso modo, in maniera meno determinante, per i canali del Ca^{++} corrente interna (i_{CaL})

Sino a raggiungere un potenziale da - 90 mV a + 30 mV

Fasi del potenziale d'azione cardiaco



Potenziale di Ripolarizzazione, Recupero Cellula Muscolare

Fase 1 ripolarizzazione precoce caratterizzata da:

- Correnti in uscita ioni K⁺ (Ito1 e Ito2)
- Correnti in entrata ioni: Na⁺(tardivo), Cl⁻, Ca⁺⁺ (IcaL)

Come risultato di queste correnti il potenziale di membrana passa da +30 mV a 0 mV

Fase 2 ripolarizzazione lenta o plateau

- Inattivano i canali d'ingresso del Na⁺
- Continuano i canali d'ingresso del Ca⁺⁺ (IcaL)
- Contemporaneamente si manifestano due canali in uscita del K⁺ (Ikr, Iks) (r= rapid, s=slow)

Si realizza un bilanciamento fra le cariche positive che escono K⁺ e quelle positive che entrano Ca⁺⁺

Fase 3 rapida

- Si chiude la corrente di ingresso di ioni Ca⁺⁺
- Continuano i canali del K⁺ (Ikr e Iks) in uscita secondo un gradiente chimico

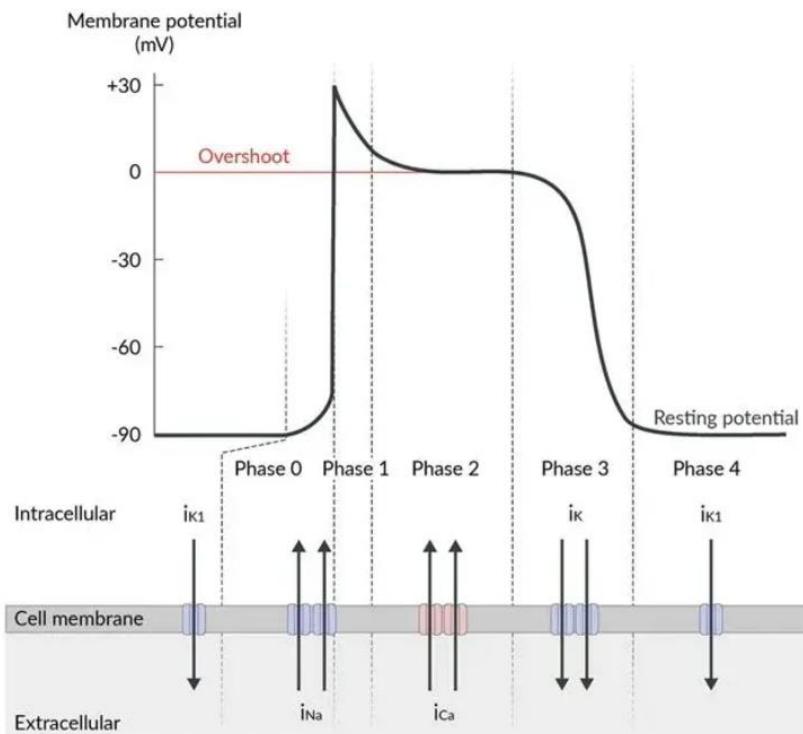
La cellula riacquista un potenziale negativo -90 MV ma con concentrazioni ioniche differenti da quella iniziale

Fase 4 potenziale di riposo

- Pompa Na/K (Ina-k) scambia 3 ioni Na⁺ con 2 ioni K⁺ (ATP dipendente e trasportano ioni contro gradiente di concentrazione a spese di energia)
- Trasportatore Na/Ca (NCX) scambia 3 ioni Na⁺ (interno) con 1 ione Ca⁺⁺ (all'esterno)
- Canali del K⁺ in uscita

Durante la fase 4 il potenziale negativo si mantiene stabile nelle cellule sino alla successiva depolarizzazione

Fasi del potenziale d'azione cardiaco



Depolarizzazione cellule NSA e NAV lente o calcio dipendenti

Il potenziale di membrana base (fase 4) depolarizzazione spontanea parte da -60 mV ed è caratterizzata dalle seguenti correnti:

Fase 4 Chiusura dei canali del K(I_K) attivi nella fase 3, meno cellule positive in uscita favoriscono la depolarizzazione cellulare

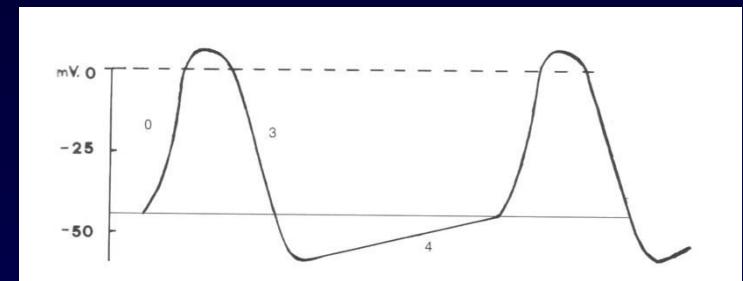
Corrente Funny (If) appena la cellula si è iperpolarizzata determina ingresso di ioni Na⁺ e ioni K⁺ con progressiva riduzione del potenziale negativo

Corrente del calcio (I_{CaL}) corrente di ioni Ca⁺⁺ in entrata si attivano a -50 mV sono canali transitori che danno la spinta verso la soglia critica

trasportatore Na/Ca (NCX) scambia 3 ioni Na⁺ (interno) con 1 ione Ca⁺⁺(all'esterno) contribuisce in maniera determinante a raggiungere il valore soglia -40 mV

Pompa Na/K (I_{Na-K}) scambia 3 ioni Na⁺ con 2 ioni K⁺ lavora costantemente, per mantenere i gradienti di concentrazione, in questo contesto lavora in direzione opposta

Il Bilanciamento tra queste correnti determina la pendenza della Fase 4 e, di conseguenza, la frequenza cardiaca.



Fase 0 o potenziale d'azione:

- corrente in ingresso di ioni Ca⁺⁺ (I_{CaL})
- + 10- + 20 mV

Ripolarizzazione ventricolare

Fase 1 e 2 mancano

Fase 3 Corrente dei canali del K⁺ (I_{Kr} e I_{ks}) in uscita secondo un gradiente chimico

Depolarizzazione cellulare fascio di HIS e rete del Purkinje

Fase 0 depolarizzazione

Uno stimolo depolarizzante aumenta improvvisamente la permeabilità della membrana agli ioni Na^+ . Corrente interna di (I_{Na}) e allo stesso modo per i canali del Ca^{++} corrente interna (I_{Ca})

Sino a raggiungere un potenziale da -90 mV a $+30 \text{ mV}$

Fase 2 ripolarizzazione lenta o platou

- Inattivano i canali d'ingresso del Na^+
- Continuano i canali d'ingresso del Ca^{++} (I_{CaL})
- Contemporaneamente si manifestano due canali in uscita del K^+ ($I_{\text{Kr}}, I_{\text{Ks}}$) ($r = \text{rapid}, s = \text{slow}$)

Si realizza un bilanciamento fra le cariche positive che escono K^+ e quelle positive che entrano Ca^{++}

Fase 1 ripolarizzazione precoce caratterizzata da:

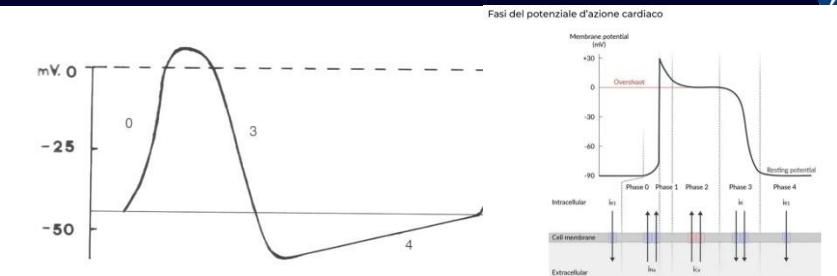
- Correnti in uscita due per gli ioni K^+ ($I_{\text{to1}} \text{ e } I_{\text{to2}}$)
- Correnti in entrata Na^+ (tardivo), Cl^- , Ca^{++} (I_{CaL})

Come risultato di queste correnti il potenziale di membrana passa da $+30 \text{ mV}$ a 0 mV

Fase 3 rapida

- Si chiude la corrente di ingresso di ioni Ca^{++}
- Continuano i canali del K^+ (I_{Kr} e I_{Ks}) in uscita secondo un gradiente chimico

La cellula riacquista un potenziale negativo ma con concentrazioni ioniche differenti da quella iniziale



Il potenziale di membrana base (fase 4) depolarizzazione spontanea parte da rispettivamente da $-85 \text{ a } -90 \text{ mV}$ ed è caratterizzata dalle seguenti correnti:

1. **Corrente Funny (If)** appena la cellula si è iperpolarizzata -90 mV determina ingresso principalmente di ioni Na^+ e in parte di ioni K^+ con riduzione del potenziale negativo
2. **Corrente del calcio (Icat)** corrente di ioni Ca^{++} in entrata si attivano a $-60 \text{ a } -50 \text{ mV}$ sono canali transitori, meno predominanti rispetto alle cellule del NSA e NAV e danno la spinta verso la soglia critica
3. **trasportatore Na/Ca (NCX)** scambia 3 ioni Na^+ (interno) con 1 ione Ca^{++} (all'esterno) contribuisce in maniera determinante a raggiungere il valore soglia -40 mV
4. **Pompa Na/K (Ina-k)** scambia 3 ioni Na^+ con 2 ioni K^+ lavora costantemente, per mantenere i gradienti di concentrazione, in questo contesto lavora in direzione opposta

Nel fascio di His e nelle fibre di Purkinje, la corrente If è meno intensa rispetto al NSA, per cui il loro ritmo intrinseco è più lento. Frequenza di scarica spontaneo 20-40 bpm

Periodo Refrattario cellule Ca++ dipendenti

Periodo Refrattario cellule Na+ dipendenti

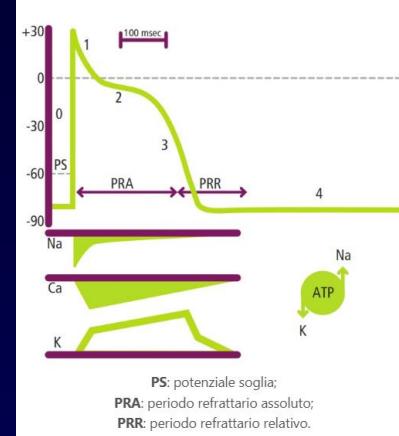
Assoluto o effettivo (PRE)

Dalla fase 0 depolarizzazione rapida a quasi fine della fase 3 ripolarizzazione

Relativo (PRR) -50mV/-60 mV

alcuni canali del calcio hanno recuperato la loro configurazione originale, però per generare un potenziale d'azione è necessario uno stimolo più intenso

il battito che si genera è solitamente più debole e la velocità di conduzione più debole (fenomeni di rientro).



Assoluto o effettivo (PRE)

Dalla fase 0 depolarizzazione rapida a quasi fine della fase 3 ripolarizzazione

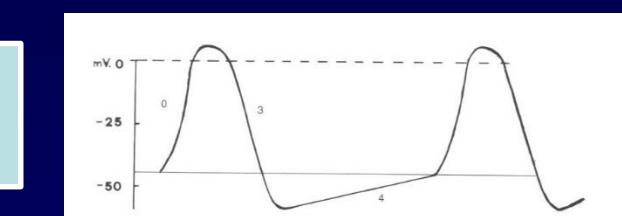
Relativo (PRR) -40mV/-50 mV e parte della fase 4

Le cellule del NSA, se depolarizzate in anticipo, si resettano e riparte il potenziale d'azione

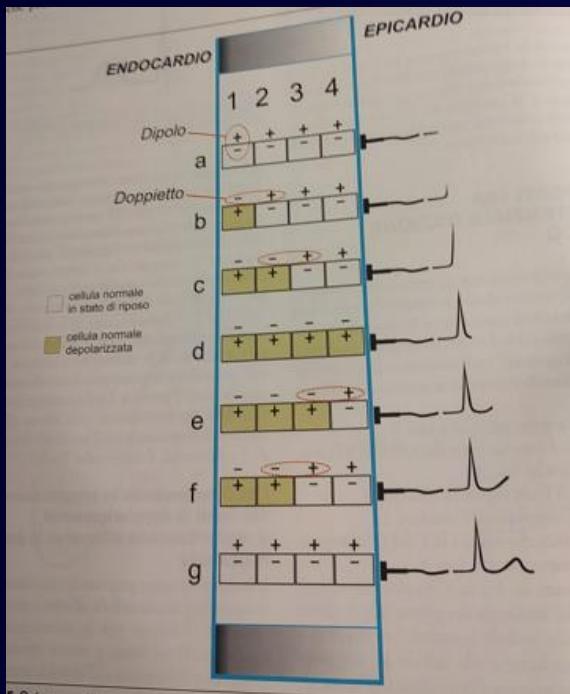
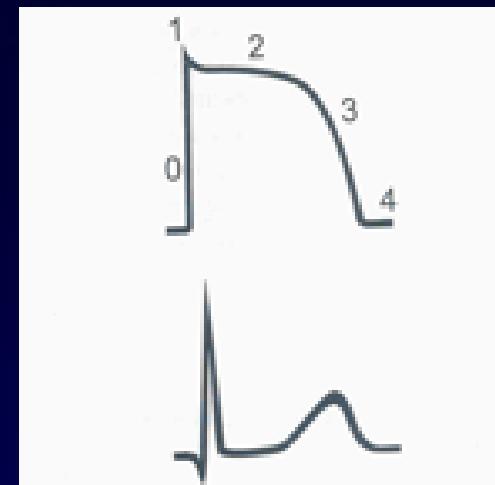
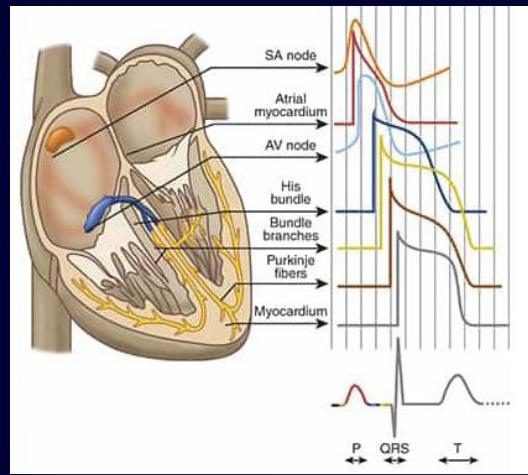
Cellule NAV generano un potenziale d'azione con una fase 0 di risalita molto lenta e un'ampiezza ridotta.

Si traduce in un aumento nel tempo del battito successivo

Questo rallenta la conduzione del segnale attraverso il nodo (proteggendo i ventricoli da un numero elevato di impulsi). Si traduce in aumento del PR



Il sistema di conduzione His –Purkinje ha il periodo refrattario assoluto più lungo tra tutti



| Potenziale d'Azione | ECG |
|---------------------|---------------------------|
| Fase 0 | QRS |
| Fase 1 | Punto J |
| Fase 2 | Tratto ST |
| Fase 3 | Onda T |
| Fase 4 | Isoelettrica Tratto T-QRS |

Depolarizzazione cellulare: direzione endocardio -> epicardio
Ripolarizzazione cellulare: direzione epicardio -> endocardio

Elettrocardiogramma in età pediatrica



GRAZIE!

Agata Privitera
AOU Policlinico Catania
Cardiologia Pediatrica
Presidio San Marco

www.cardiologiapediatricact.com

Padova 30/01/2026