
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

GIAN CARLO AGNOLI, EDELWEISS COTTI

Gli effetti elettrici dell'eccitamento di lamine miocardiche poste a differente profondità nella parete atriale di Mammifero

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 33 (1962), n.3-4, p. 164-169.

Accademia Nazionale dei Lincei

http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1962_8_33_3-4_164_0

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Fisiologia. — *Gli effetti elettrici dell'eccitamento di lamine miocardiche poste a differente profondità nella parete atriale di Mammifero* (*). Nota (**) di GIAN CARLO AGNOLI ed EDELWEISS COTTI, presentata dal Socio G. C. PUPILLI.

Abbiamo indagato l'attivazione del miocardio atriale del cuore isolato di Coniglio analizzandone i caratteri elementari, in particolare la direzione e la velocità di propagazione in coppie di territori della superficie epicardica, concentrici e rispettivamente di area pari a 0,78 e a 3 mm². A partire dal centro di tali aree, la derivazione dei potenziali, mediante il procedimento dipolare, è stata effettuata lungo quattro direzioni radiali a 45° tra loro, mediante un supporto polipolare piano [Agnoli e Cotti (1)].

I fenomeni elettrici che si derivano dalla superficie cardiaca hanno la loro origine nell'attivazione di fibre appartenenti sia agli strati immediatamente sottoepicardici, sia a quelli posti a profondità maggiore. L'ampiezza delle variazioni di potenziale trasmesse fisicamente in superficie da uno strato di fibre attive dipende, in generale, dal numero e dai caratteri reattivi degli elementi, oltre che dalla loro profondità; se poi, come nel nostro caso, si utilizza la derivazione dipolare, tale ampiezza varia col variare della distanza interpolare e dell'angolo formato dalla direzione di derivazione con quella di propagazione dell'eccitamento nelle fibre.

Riguardo al modo di operare di queste variabili, sono stati studiati da Cabrera (2) gli effetti della variazione della distanza interpolare e della profondità della sorgente bioelettrica nel caso in cui la derivazione si effettui da una fibra orientata parallelamente alla direzione di allineamento degli elettrodi. Se con V s'indica la differenza di potenziale derivabile direttamente mediante una coppia di elettrodi di distanza interpolare pari a d , l'ampiezza del segnale che la coppia medesima registra quando la fibra è alla profondità r , è allora $v = Vd/r^3$. Essendo nel nostro caso $d = 0,5$ mm, si deduce che sono trascurabili gli effetti elettrici di una fibra posta a livelli di profondità superiori al millimetro. Le stesse considerazioni valgono quando al posto della singola fibra si consideri un fascio di elementi di calibro costante, contenuti nell'unità di volume.

La trattazione fatta dal citato A. presuppone che il valore di V sia costante per ciascuna fibra e indipendente dalla profondità. Per contro le fibre miocardiche di Mammifero non hanno calibro costante entro la parete murale

(*) Lavoro eseguito, col sussidio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, negl'Istituti di Fisiologia umana e di Clinica medica generale dell'Università di Bologna.

(**) Pervenuta all'Accademia il 13 ottobre 1962.

(1) G. C. AGNOLI ed E. COTTI, « Arch. Sci. biol. », XLVI, 271 (1962).

(2) E. CABRERA, « Acta cardiol. belgica », IV, 231 (1949).

dei ventricoli: conforme alle ricerche del Ghigi ⁽³⁾, eseguite in 17 specie di Mammiferi, le fibre profonde dell'involucro proprio superano in grossezza quelle superficiali dell'involucro comune, l'eccedenza essendo in media del 25% a destra, del 58% a sinistra. Poiché l'effetto del maggior calibro è quello di aumentare la frazione del potenziale di azione di membrana, derivabile per giustapposizione diretta degli elettrodi alla superficie della fibra, si deduce che un aumento dell'area di sezione trasversa delle fibre profonde atriali, pari a quello che si osserva nelle miofibre ventricolari, è sufficiente a compensare in tutto o in parte, secondo la profondità dello strato in cui si realizza, la progressiva diminuzione di voltaggio che nelle nostre condizioni di derivazione presenta, con la distanza, il potenziale della singola fibra.

D'altra parte, nel corso di derivazioni extracellulari si ha sempre a che fare con gli effetti elettrici risultanti dalla sovrapposizione di campi elementari, documentata anche per il miocardio ventricolare di Cane [Trautwein ⁽⁴⁾]. Ora, l'aumento di calibro della fibra, se per un lato compensa gli effetti del decremento del suo potenziale, per l'altro importa necessariamente una proporzionale diminuzione del numero di fibre contenute nell'unità di volume. Poiché inoltre tale diminuzione è, in percento, superiore all'aumento del potenziale V [Agnoli e Cotti ⁽⁵⁾], ne segue che il potenziale generato dall'insieme delle fibre contenute nell'unità di volume contribuisce in modo meno efficace al potenziale di superficie, qualora si realizzi nelle fibre un aumento dell'area di sezione elementare. Indipendentemente dal fatto che il calibro sia costante ovvero aumenti come quello delle fibre ventricolari, è quindi trascurabile l'effetto elettrico delle fibre contenute nell'unità di volume (o in un multiplo di tale unità) e poste a livelli di profondità superiori al millimetro: ciò equivale a dire che l'effetto elettrico principale è fornito dall'attività dei primi 90-100 strati di fibre sovrapposte.

Le considerazioni precedenti si applicano ugualmente bene quando i contingenti profondi sono attivati nello stesso modo di quelli superficiali oppure hanno caratteri tali da generare un fronte indipendente, propagato in una diversa direzione. In questo caso, a partire dalla superficie epicardica avremo un insieme di strati sovrapposti le cui fibre costitutive conducono l'eccitamento in modo sincrono, nella stessa direzione e nello stesso senso: i fenomeni elettrici che si generano in questi strati costituiscono il fronte superficiale. Quando il confine «endocardico» del fascio di fibre che conduce il fronte superficiale è a un livello di profondità superiore al millimetro, gli effetti elettrici che si registrano nelle diverse direzioni per mezzo del supporto polipolare dipendono dalla propagazione di un fronte unico [Agnoli e Cotti ⁽⁵⁾]. Se il confine si avvicina alla superficie epicardica, si registreranno in superficie effetti elettrici indipendenti. Circa alla distribuzione del potenziale sui

(3) C. GHIGI, «Atti Acc. Sci. med. nat., Ferrara», XVII, 48 (1939-40).

(4) W. TRAUTWEIN, «Pflüger's Arch.», CCLII, 573 (1950).

(5) G. C. AGNOLI ed E. COTTI, «Rend. Acc. Naz. Lincei», Cl. Sci. fis. mat. nat., ser. 8^a, questo volume (1962).

diversi assi di derivazione, in quest'ultima condizione, vale anche per le fibre non direttamente esplorate quanto si è detto per un fronte unico superficiale, l'effetto elettrico essendo massimo nella direzione in cui si risolve la componente più ampia del fronte. Per altro, il fatto che tra superficie epicardica e lo strato di cui si considera la distribuzione del potenziale, avanzano altri fronti che sovrappongono più efficacemente le loro immagini elettriche, impedisce di valutare l'effetto della direzione di derivazione sull'ampiezza dei segnali trasmessi dal basso. Nelle derivazioni presso che perpendicolari alla direzione del fronte superficiale, il cui contributo al potenziale registrato sull'asse corrispondente è trascurabile, verranno derivati

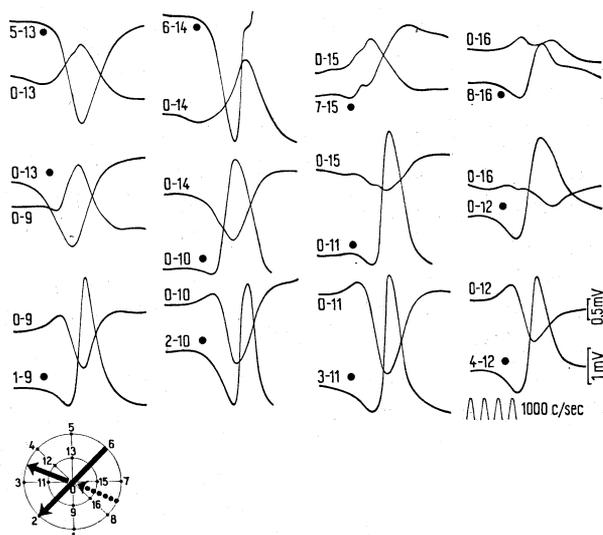


Fig. 1. - Divisione di un fronte superficiale in due fronti indipendenti.

Sede di derivazione: superficie antero-laterale dell'auricola sinistra. Le coppie di elettogrammi dipolari sono disposte in quattro colonne: i segnali di una stessa colonna sono quelli ottenibili con l'impiego dei cinque terminali di uno stesso diametro del supporto; per ciascuna coppia di elettogrammi registrati mediante tre terminali successivi, la deflessione è verso l'alto quando l'elettrodo comune a entrambe le derivazioni diviene negativo rispetto agli altri.

Per ulteriori particolari si veda la spiegazione nel testo.

quasi allo *stato puro* i potenziali profondi che risolvono sull'asse medesimo una componente efficace, mentre sugli altri assi, agli effetti elettrici del fronte superficiale si sovrappongono algebricamente quelli profondi.

I caratteri distintivi dei due fronti indipendenti, come si deduce dall'osservazione sperimentale nel caso di sovrapposizione dei potenziali profondi a quelli di superficie (fig. 1), sono i seguenti: *a*) differente ampiezza dei segnali, il voltaggio complessivo di quelli superficiali essendo in genere superiore al voltaggio dei segnali profondi; *b*) differente estensione superficiale, registrandosi il fronte profondo più spesso da un solo asse, su cui il fronte superficiale si proietta in modo sfavorevole; *c*) apparente incrociamiento

delle direzioni di propagazione dei due fronti per il sovrapporsi, in tempi differenti, delle rispettive immagini elettriche sulla superficie elettrodica; d) passaggio anticipato del fronte profondo per il centro del sistema di derivazione (0,21-1,2 msec), a causa della sua più rapida velocità di conduzione, che eccede del 25-100% quella del fronte superficiale.

Le sedi da cui si derivano più spesso potenziali trasmessi dalla profondità, sono la superficie antero-laterale e laterale dell'auricola sinistra e quella postero-laterale dell'atrio destro. Nel corso di derivazioni dall'atrio destro si osserva di frequente la dipendenza funzionale dell'attivazione di superficie da quella propagata in strati più profondi: il fronte superficiale segue infatti dappresso quello profondo, conservandosi costante entro il territorio esplorato tanto il rapporto delle rispettive velocità quanto quello geometrico delle loro direzioni di propagazione, ancorché queste ultime vadano incontro a successivi cambiamenti.

Passando da una regione all'altra dello stesso territorio esplorato si assiste talora al mascheramento degli effetti elettrici profondi. Ciò accade quando, in conseguenza di un cambiamento di direzione del fronte superficiale ovvero della divisione del medesimo in due contingenti centrifughi o infine dell'emergenza dalla profondità della parete di un fronte eccitatorio, una più efficace componente superficiale è risolta sull'asse di derivazione preferenziale del fronte profondo. Come esempio del fenomeno riportiamo la serie di tracciati della fig. 1. Dalle misure ottenute si deduce la propagazione di un fronte superficiale con velocità e direzione (parallela dell'asse 2-6) costanti e, nella sezione prossimale in una direzione normale alla precedente (freccia punteggiata dello schema), la propagazione di un fronte profondo che genera effetti elettrici di minore voltaggio. Entro il cerchio interno emerge un fronte che si propaga più rapidamente, in una direzione che è quella medesima del fronte profondo: gli effetti elettrici di quest'ultimo ne risultano mascherati. L'anticipo della componente centrifuga 0-12 del fronte autoctono sul segnale centripeto 0-16 del fronte profondo esclude che il primo si attui per la superficializzazione del secondo. Sempre nella sezione distale l'alto voltaggio dei segnali 0-11 e 3-11 dipende verosimilmente dal sovrapporsi degli effetti elettrici di entrambi i fronti superficiali.

Quanto all'ulteriore destino dei fronti profondi si noti che accade spesso di osservare la cessazione di un fronte in corrispondenza di una zona critica in cui si rendono superficiali onde di eccitamento provenienti dalla profondità della parete. In questi casi non si formano onde retrograde e i fenomeni eccitatori si propagano in genere nella stessa direzione del fronte prossimale. Quest'ultimo, in prossimità della zona critica, palesa modificazioni di vario tipo: in particolare, nei successivi punti esplorati sempre più vicini al confine, si registrano gli effetti di una diminuzione progressiva, a partire dalla superficie epicardica, dello spessore del fascio di fibre in cui si propaga il fronte prossimale. Quando questa riduzione libera lamine miocardiche a livelli di profondità inferiori al millimetro, viene in atto la possibilità di registrare effetti elettrici meno ampi e sempre significativi di un fenomeno ecci-

tatorio indipendente. In questi casi, mentre il fronte superficiale si esaurisce progressivamente, quello profondo guadagna invece, dal basso, un numero sempre maggiore di lamine miocardiche fino a che viene a costituire l'unico fenomeno eccitatorio dell'area esplorata.

La mancanza di corrispondenza tra le misure sperimentali ottenute sugli assi che limitano con la direzione di propagazione angoli $\geq 45^\circ$, e i valori dei rispettivi parametri che si calcolano per gli stessi angoli di proiezione applicando la legge del coseno alle misure ottenute sugli assi di ordinata angolare $< 45^\circ$ [Agnoli e Cotti ⁽⁹⁾], pone il quesito dell'esistenza o non di fronti indipendenti e, nella prima eventualità, quello dell'origine dei fronti medesimi in strati di differente profondità ovvero nello stesso strato superficiale. Abbiamo esposto dianzi le ragioni che consentono di distinguere gli effetti della sovrapposizione dei potenziali profondi a quelli di superficie e tratteremo ora del caso in cui più fronti di eccitamento provvedono all'attivazione di uno stesso numero di lamine miocardiche corrispondenti alla superficie di derivazione del supporto polipolare.

L'eccitamento della superficie miocardica che in una parte del territorio esplorato si attua per mezzo di un fronte unico, talora si associa alla presenza, nelle restanti parti del territorio medesimo, di due o più fronti che in uno stesso punto muovono da quello ovvero lo generano per confluenza. Circa ai valori dei parametri di tali fronti osserviamo che l'ampiezza massima dei segnali, la velocità di conduzione e la latenza locale di eccitamento sui rispettivi assi di proiezione preferenziale, sono equivalenti tra loro e non giustificabili sulla base della legge di variazione cosinusoidale, ammettendo un'attivazione temporalmente dispersa degli elementi di un unico fascio di fibre. Inoltre il consecutivo effettuarsi dei fenomeni eccitatori nelle diverse regioni dello stesso territorio e la mancanza d'incrociamiento dei medesimi contraddistinguono dunque quadri, in cui più fronti provvedono realmente all'attivazione degli strati miocardici superficiali.

La divisione di un fronte unico in due contingenti centrifughi si osserva, senza particolare elettività di sede, nei diversi territori esplorati dell'atrio sinistro, più spesso invece per derivazione da quelli appartenenti alla faccia supero-laterale dell'atrio destro. I due contingenti centrifughi limitano, con le loro direzioni, angoli del valore medio di 60° (da un minimo di 40° a un massimo di 90°); per entrambi i contingenti la conduzione dell'eccitamento ha una medesima velocità, in genere inferiore del 20-30% a quella del fronte unico centripeto. Accanto alle divisioni di fronti unici, i cui caratteri geometrici e funzionali sono determinati dalla disposizione e dalla grossezza delle fibre nei rispettivi fasci, alcuni quadri sperimentali fanno ritenere possibile l'occorrenza del fenomeno medesimo anche quando il sostrato morfologico, a causa della sua struttura plessiforme, non conduca l'eccitamento in una direzione unica e prestabilita. Ci riferiamo precisamente a quei casi di divisione di un fronte unico che si realizzano nel momento in cui il fronte medesimo s'incontra con un altro propagato nella stessa direzione e in senso contrario: i caratteri geometrici dei due fenomeni centrifughi originati dalla

divisione di uno di tali fronti, e in particolare le loro direzioni di propagazione, appaiono dipendere dalla topografia del miocardio ancora quiescente nell'area esplorata.

Quando dalla profondità della parete corrispondente al territorio esplorato emerge un fronte in anticipo sull'arrivo di un'onda di eccitamento propagata dalle aree adiacenti, coi terminali del semicerchio distale si derivano in superficie gli effetti elettrici dipendenti dalla propagazione di due fenomeni centrifughi: il quadro simula quindi la divisione di un fronte unico (fig. 1). Per altro, a differenza di quanto accade nelle divisioni reali, dei due fenomeni centrifughi, quello autoctono genera potenziali più ampi e conduce l'eccitamento con velocità che supera del 50-200% quella del fronte propagato dalle aree circostanti. Quest'ultimo in genere non presenta significative modificazioni e continua ad essere propagato nella stessa direzione, in media a 90° (da un minimo di 70° a un massimo di 135°) rispetto a quella del contingente autoctono. Talora lo scarto di potenziale e di velocità tra i due contingenti centrifughi si stabilisce durante la loro ulteriore propagazione, l'ampiezza e la velocità del fronte autoctono presentando quell'aumento progressivo che verosimilmente è in rapporto col graduale ridursi dell'inclinazione delle fibre interessate rispetto alla superficie esplorata.

La confluenza di due fenomeni eccitatori centripeti in un fronte unico, innanzi tutto si realizza quando un fascio di fibre risulta dalla convergenza di due altri differentemente orientati: in tal caso la direzione di avanzamento del fronte unico è quella comune a tutte le fibre del fascio esplorato. D'altra parte, in analogia a quanto si osserva per le divisioni reali, l'arrivo al territorio in esame di due onde di attivazione indipendenti e la successiva partenza di un fronte unico dal territorio medesimo possono effettuarsi anche quando, per l'accentuarsi del carattere plessiforme del miocardio di superficie, manca una vera e propria direzione preferenziale di conduzione dell'eccitamento. In questo caso ogni fronte è limitato, nella sua potenziale pluri-direzionalità di propagazione, dall'incontro con altri fenomeni propagati. Partendo da queste considerazioni, ci è stato possibile riconoscere alcune false immagini del fenomeno preso in esame, le quali si realizzano per l'incidenza obliqua, secondo angoli variabili da 70° a 160° , di due fronti diretti verso lo stesso punto. Nella zona d'incontro viene arrestato il fronte condotto meno favorevolmente, cioè quello che si propaga con velocità più lenta (in genere pari al 50-60% della velocità del fronte più rapido) ovvero che raggiunge in ritardo (0,3-0,5 msec) il territorio esplorato. L'altro fronte continua a propagarsi nella stessa direzione, talora subisce una transitoria diminuzione di velocità ovvero si suddivide realmente in due contingenti centrifughi.