

# The early history of the synapse: From Plato to Sherrington

Max R. Bennett

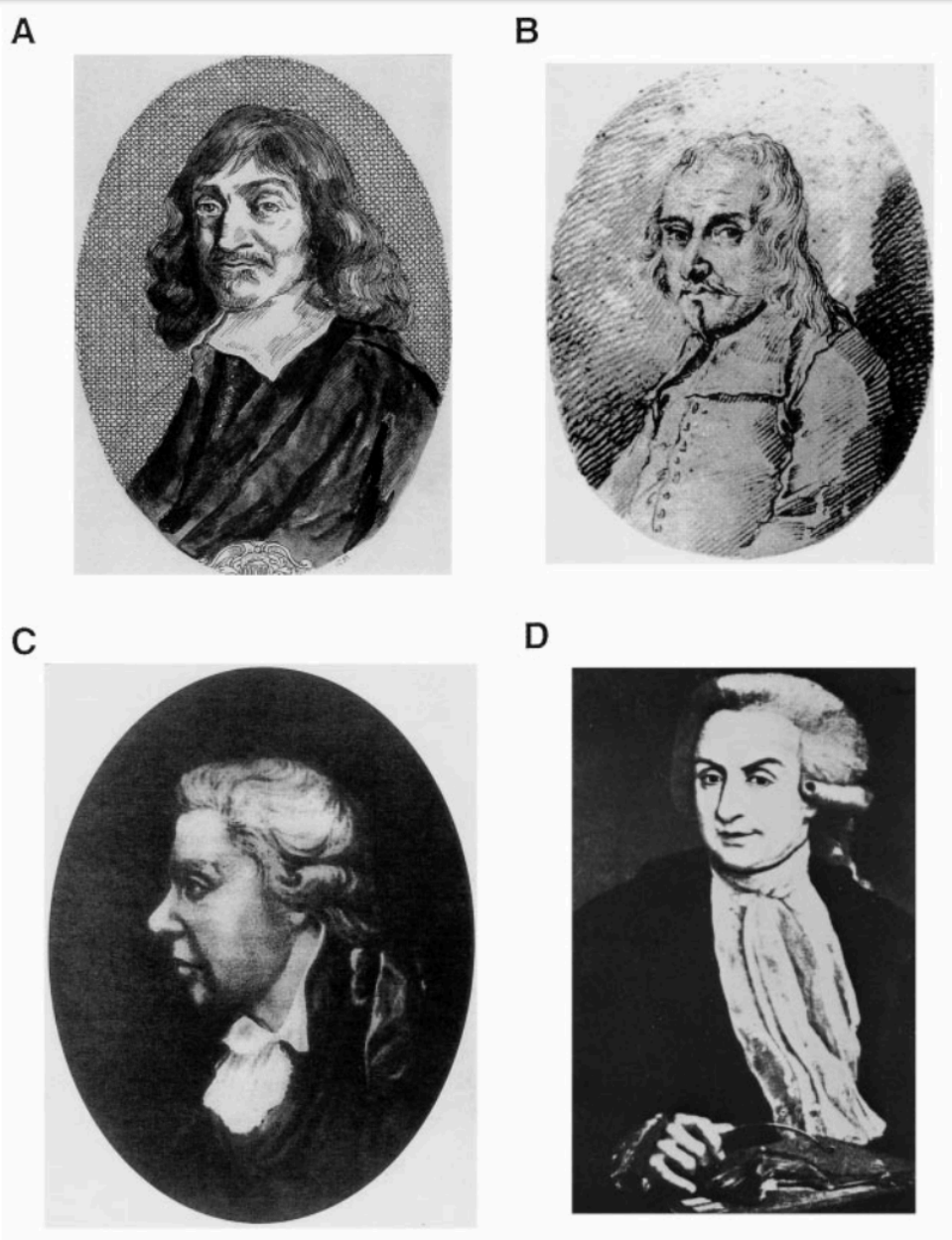
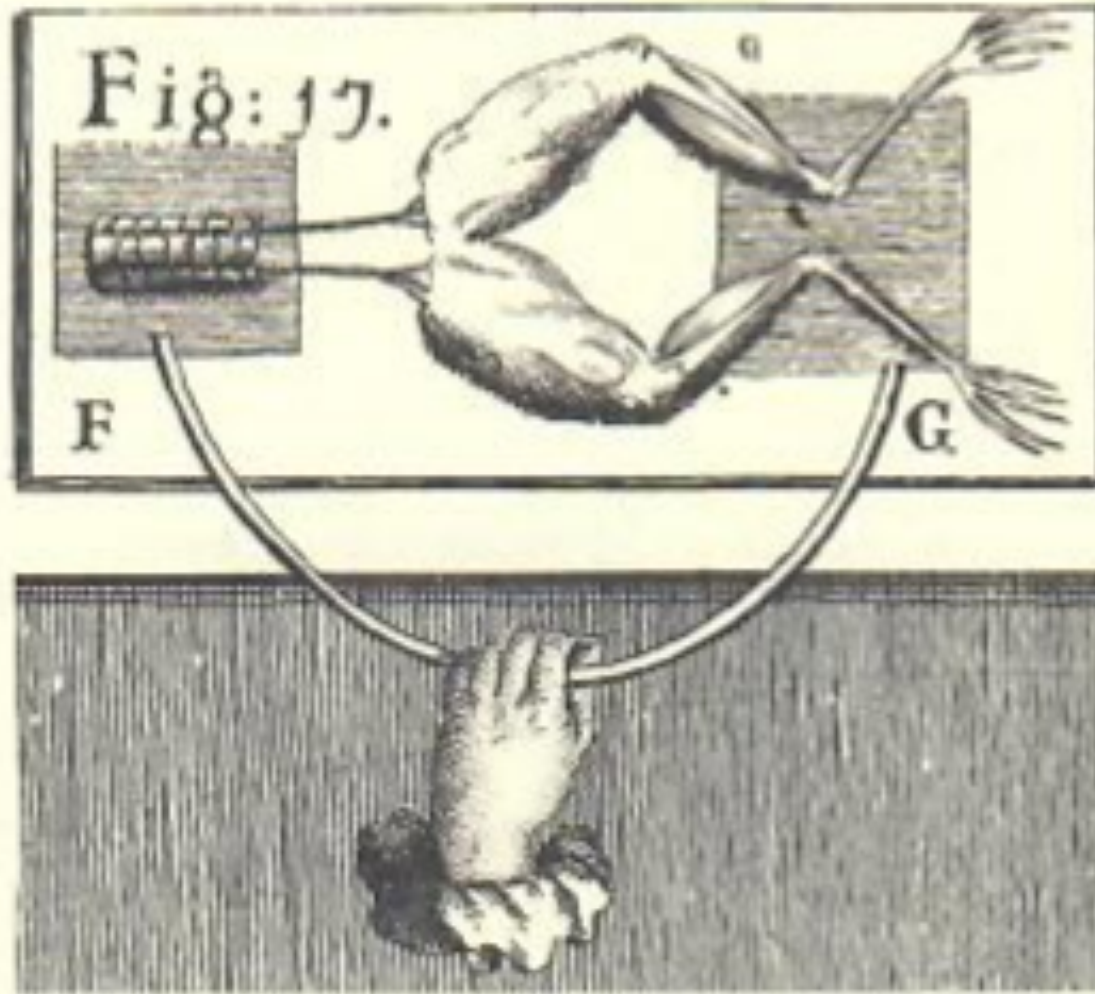
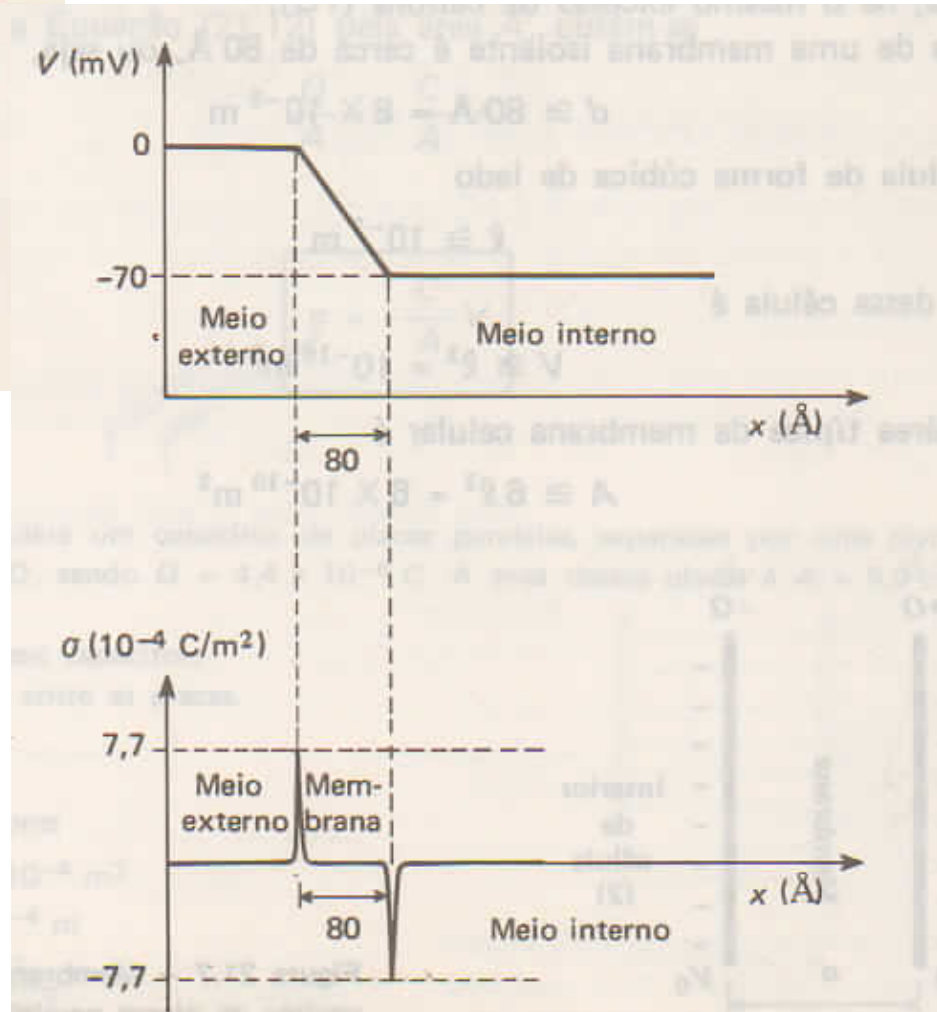
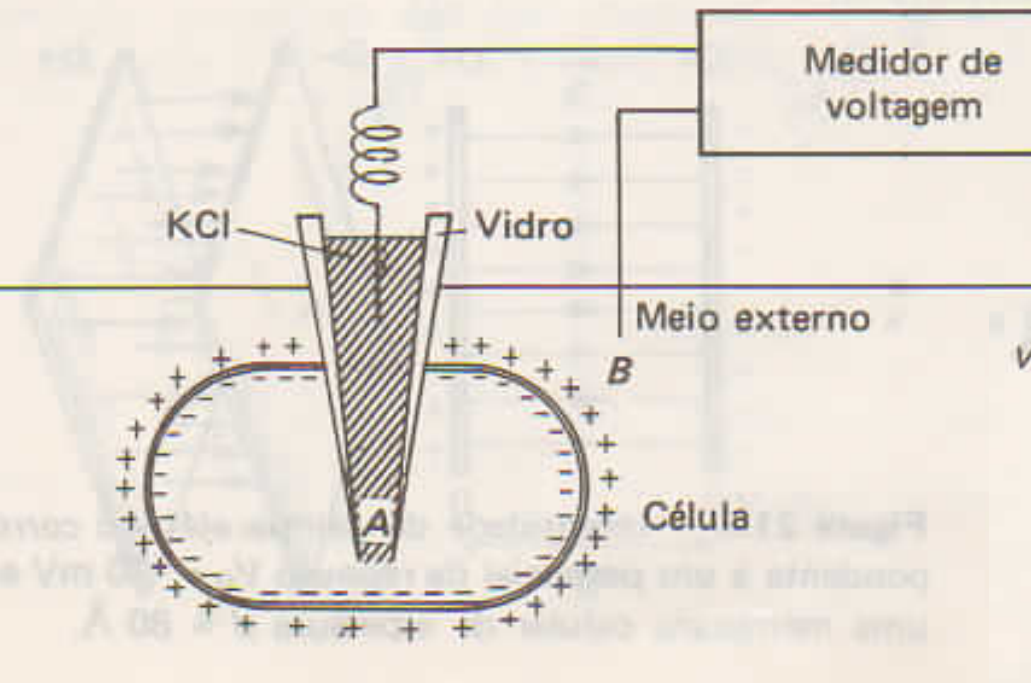


FIG. 2. The principal contributors to our understanding of nerve conduction and transmission in the 17th and 18th centuries: from corpuscles to electricity. (A) R. Descartes (1596–1650) (From [6]. Reprinted with permission). (B) Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679) (From [13]. Reprinted with permission). (C) Felice Fontana (1733–1805) (From [7]. Reprinted with permission). (D) Luigi Galvani (1737–1798) (From [13]. Reprinted with permission).

# Luigi Galvani



# Medida do potencial elétrico (de repouso) na célula



# Origem do potencial elétrico (de repouso) na célula

Presença de solução de sais no interior e exterior das células.

Os fluidos dentro e fora da célula são sempre neutros,

Presença de uma membrana celular (lipídica) similar a um capacitor;

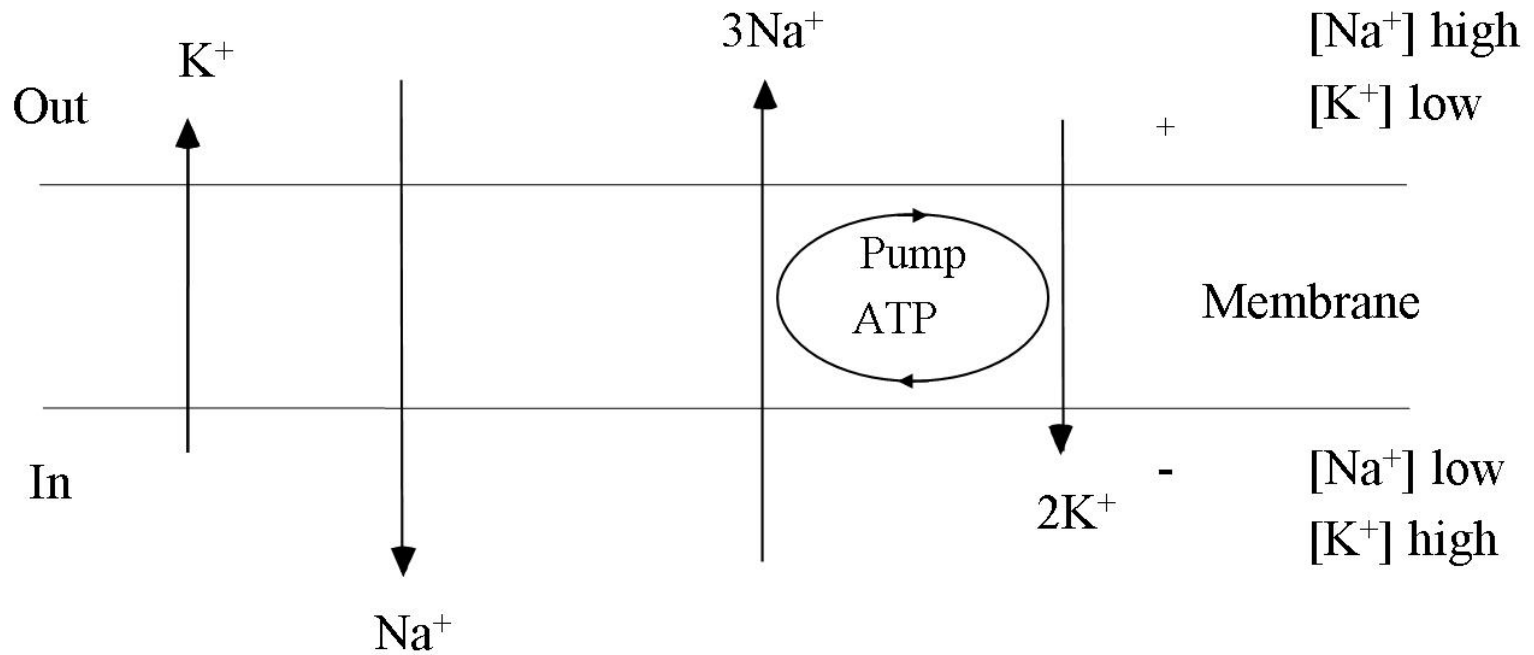
Cargas elétricas em excesso,  $+Q$  e  $-Q$ , geram o potencial elétrico

Íon	Concentração C(1) fora da célula ( $10^{-3}$ mol/ℓ)	Concentração C(2) no interior da célula ( $10^{-3}$ mol/ℓ)
$K^+$	2,25	124
$Na^+$	109	10,4
$Ca^{++}$	2,1	4,9
$Mg^{++}$	1,25	14,0
$Cl^-$	77,5	1,5
$HCO_3$	26,6	12,4
Íons orgânicos	13	74

# Potencial de ação e corrente transmembrânica

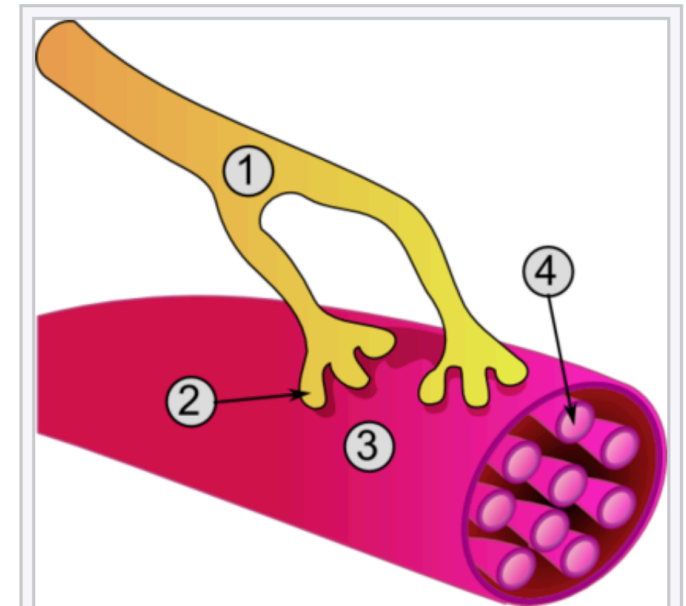
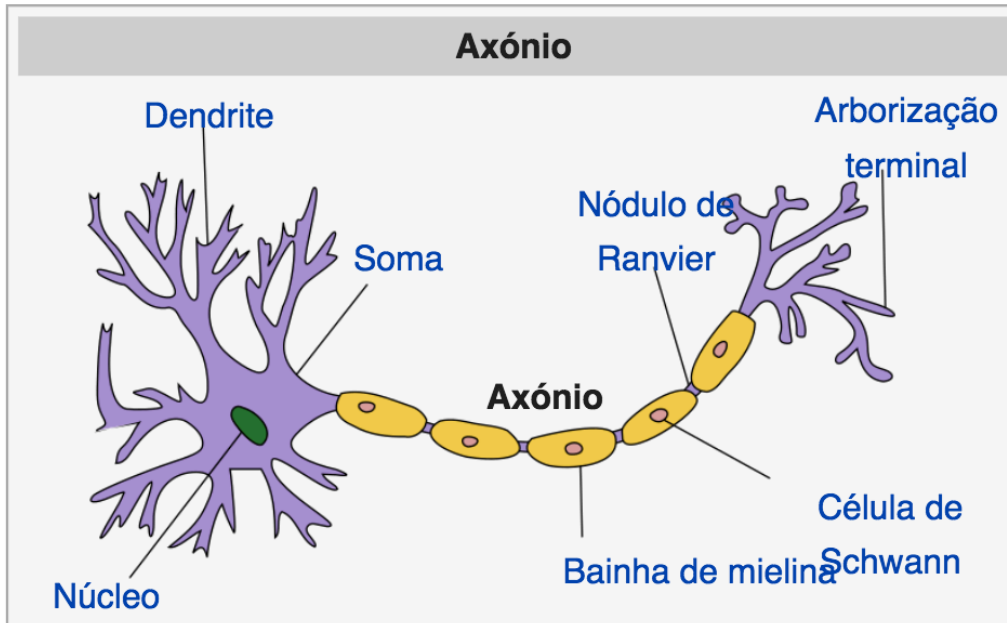
## A. Passive Flux

## Active Transport



# Potencial de ação nas células (nervosa, muscular e muscular cardíaca)

Potencial e ação de uma célula é a variação do potencial elétrico gerada por estímulos externos a célula e se propaga ao longo delas.



Visão global da junção neuromuscular:

1. Axônio
2. Placa motora
3. Fibra muscular
4. Miofibrila

# Tipos de células nervosas

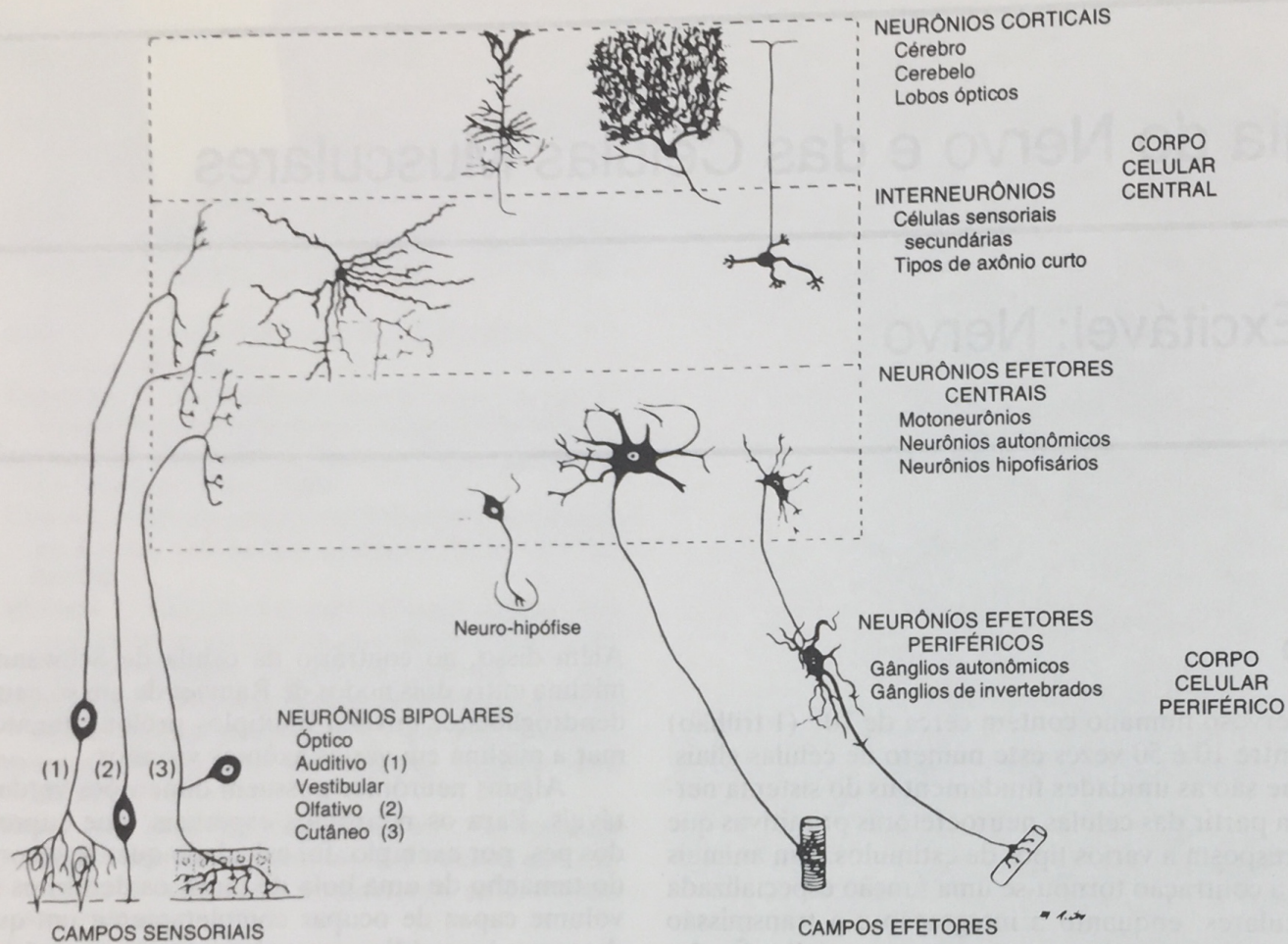
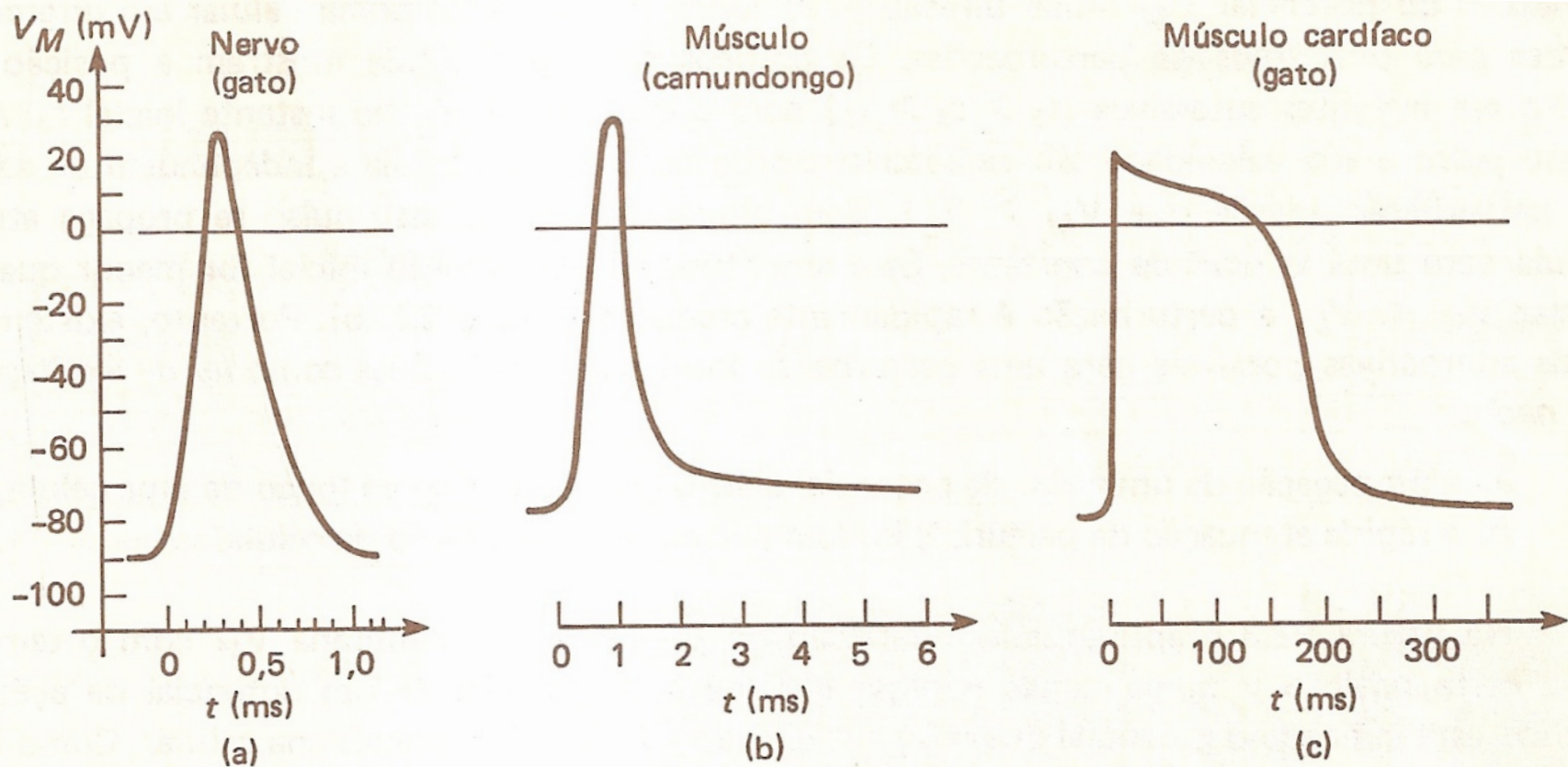


Fig. 2.1 Tipos de neurônios do sistema nervoso central de mamíferos. Veja também a Fig. 8.2. (Reproduzido, com permissão, de Bodian, D.: Introductory survey of neurons. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 1952; 17:1.)





**Figura 22.1** – Potenciais de ação de uma célula nervosa de gato (a), uma célula muscular de camundongo (b) e uma célula do músculo cardíaco de gato (c).

# Geração do potencial de ação

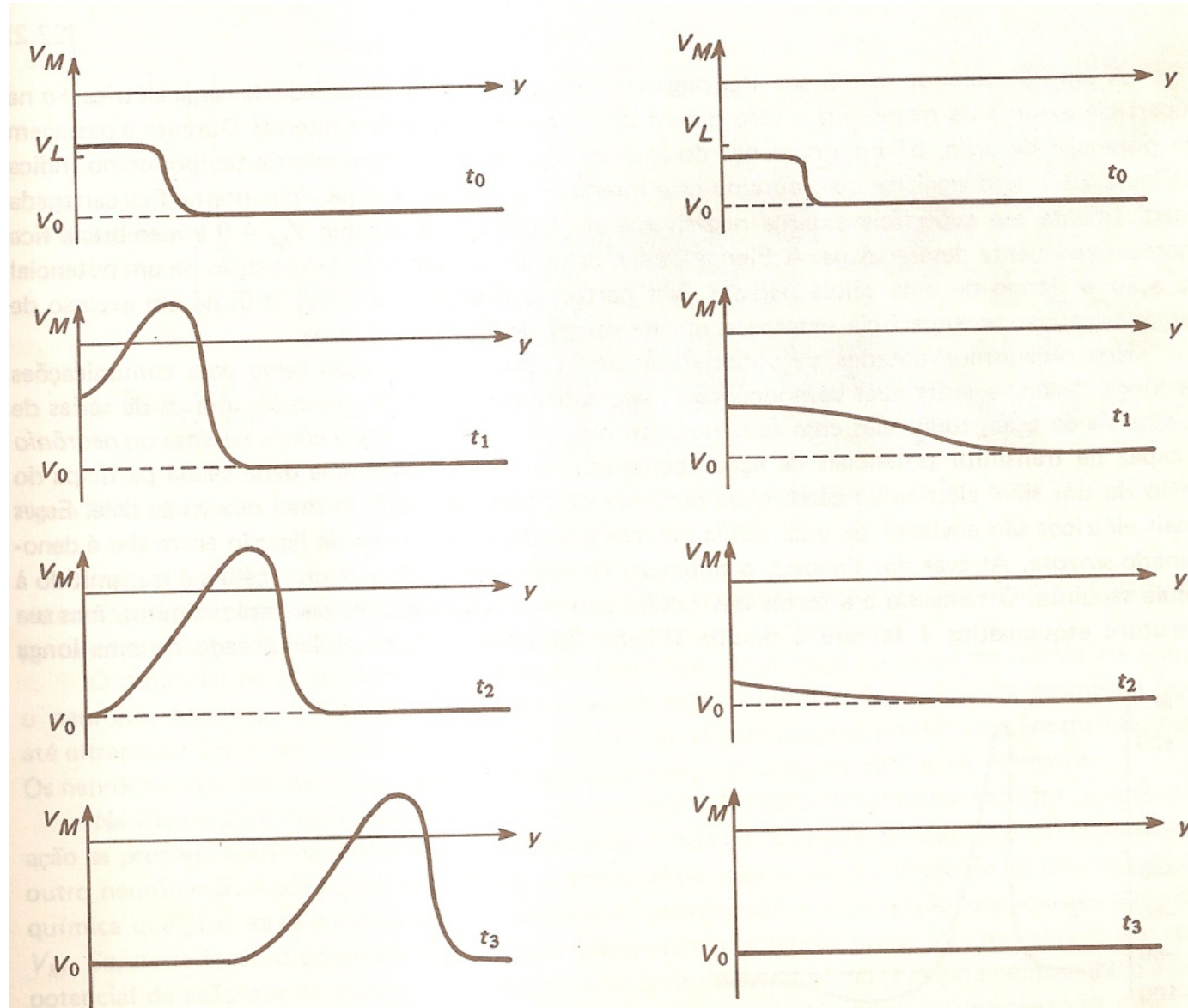


Figura 22.2 – Evolução temporal de duas perturbações diferentes produzidas no potencial de uma membrana excitável. Em (a)  $V_M > V_L$  e em (b)  $V_M < V_L$ .

# Potencial de ação e corrente transmembrânica

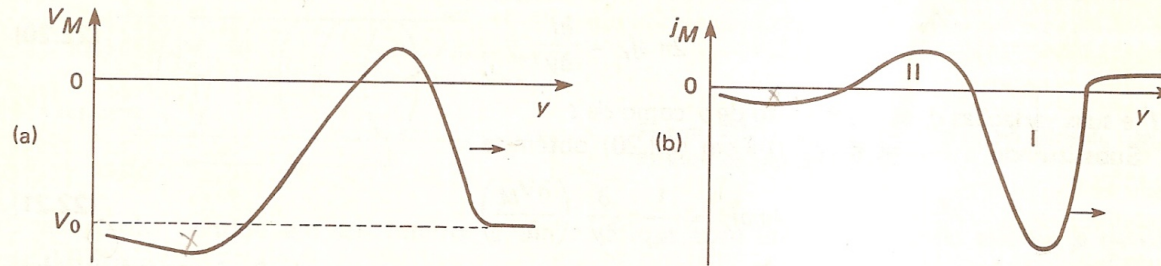
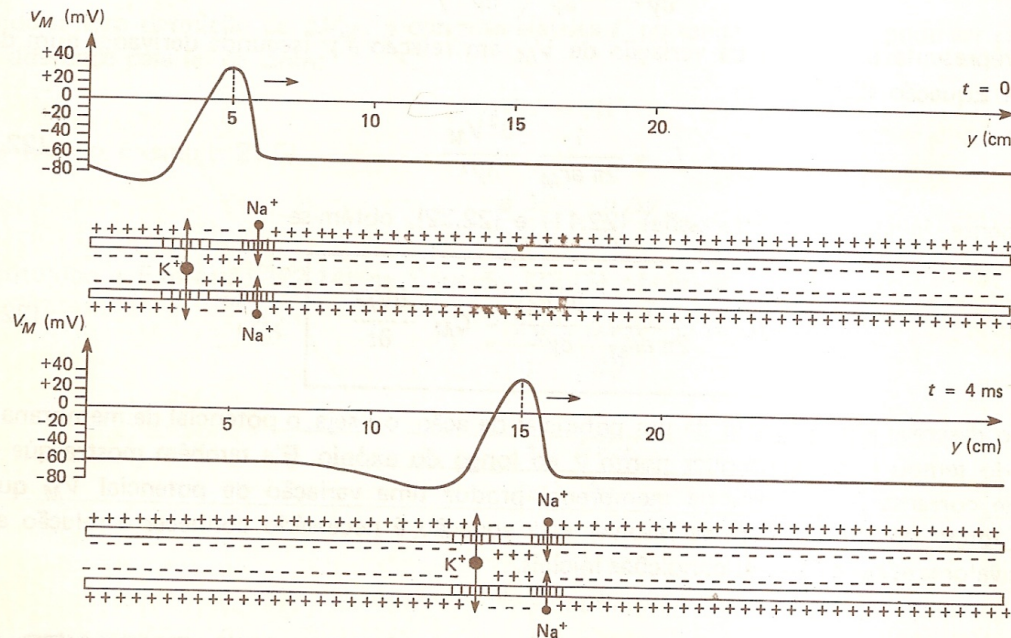


Figura 22.9 — Potencial de membrana  $V_M$  e densidade de corrente  $j_M$  em função da coordenada  $y$  ao longo de um axônio, em determinado instante.



# Variação da condutância elétrica da membrana

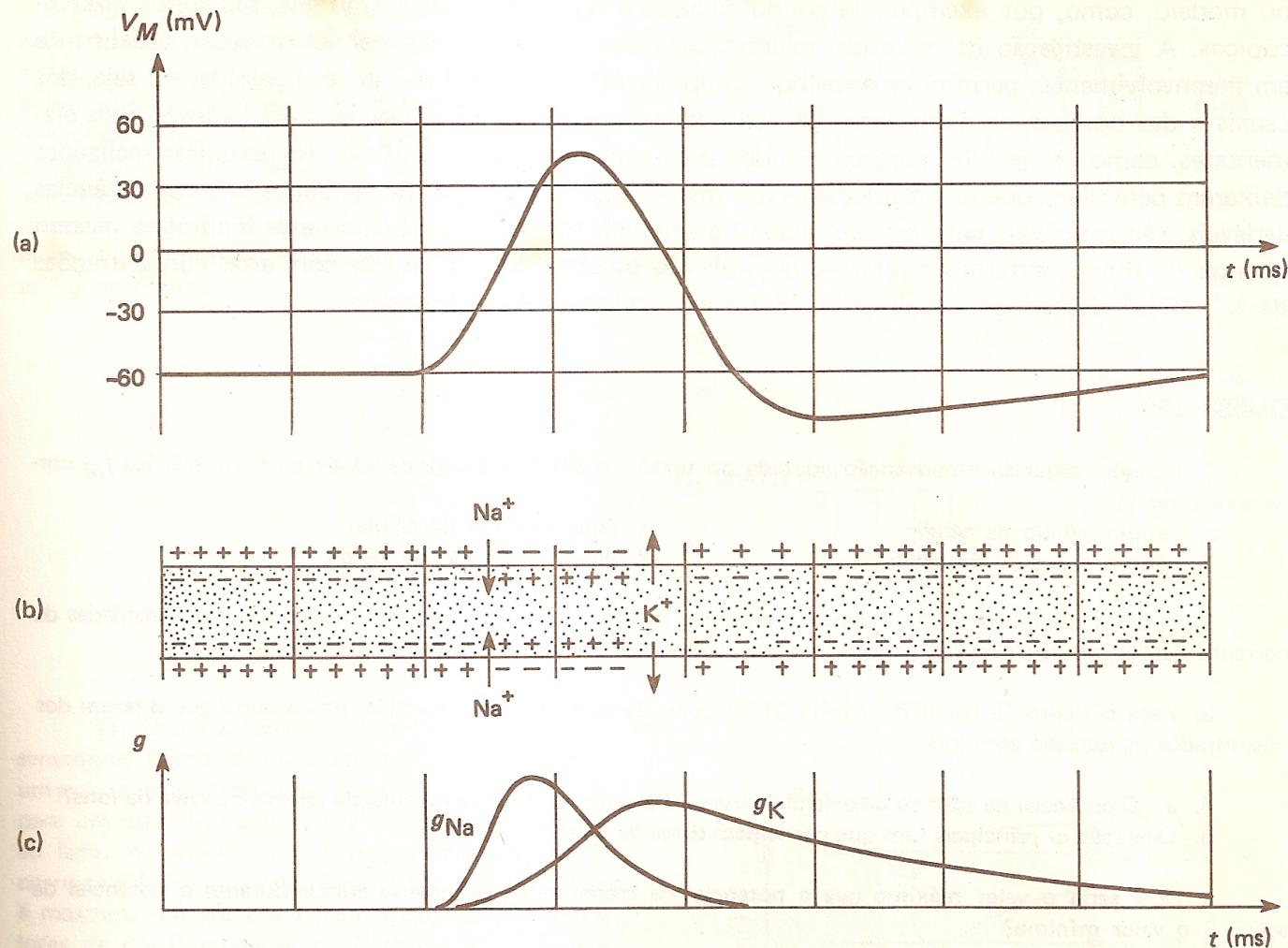
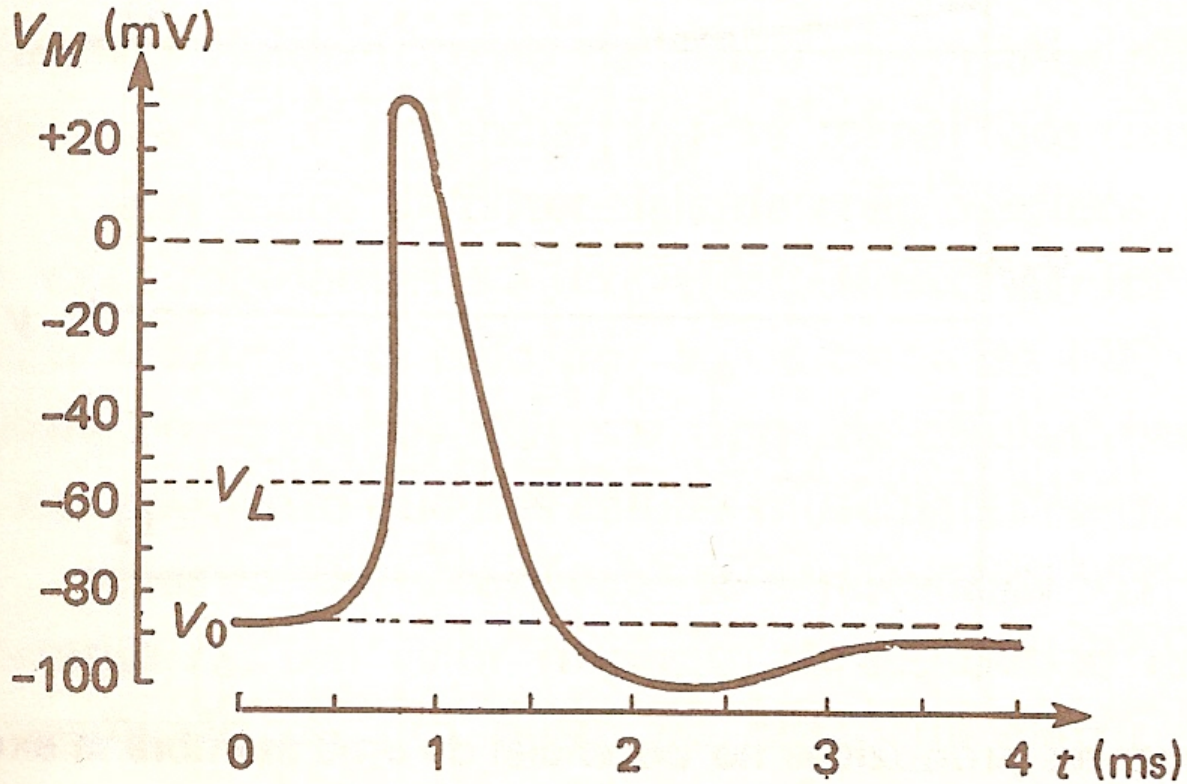


Figura 22.14 – (a) Variação do potencial de ação com o tempo; (b) variação da densidade superficial de carga elétrica na membrana do axônio; (c) variação das condutâncias elétricas da membrana de um axônio durante a passagem de um potencial de ação.

# Potencial de ação ao longo do tempo

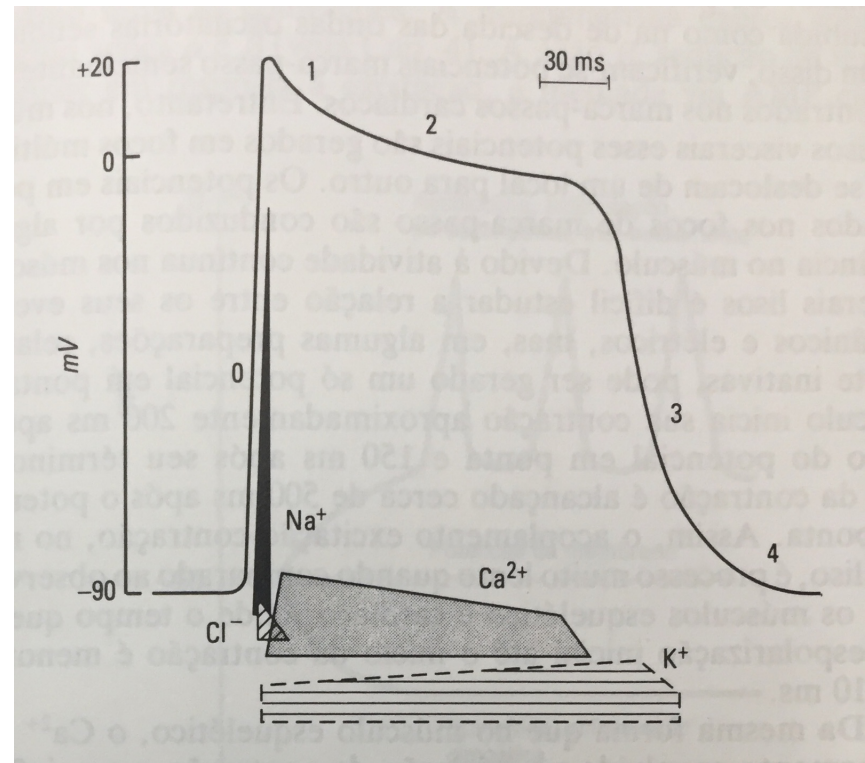


# Origem da corrente durante o ciclo cardíaco

As células do miocárdio despolarizam e repolarizam durante cada ciclo cardíaco. Tamanho típico:  $100\mu\text{m}$  por  $10\mu\text{m}$ .

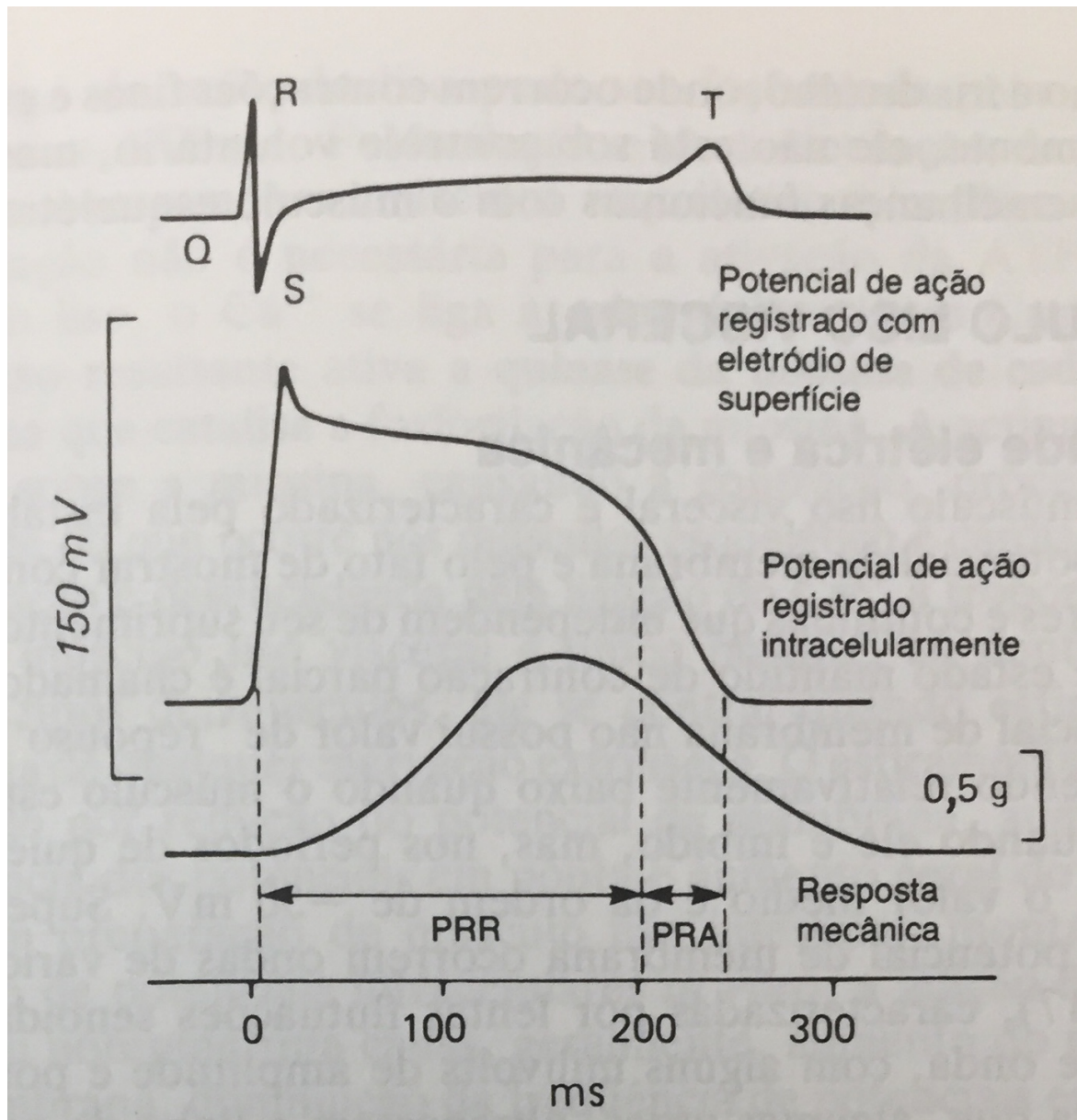
- 0) fluxo de sódio ( $\text{Na}^+$ ) para o interior da célula;
- 1) Fluxo de potássio ( $\text{K}^+$ ) para o exterior
- 2) Fluxo de cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) para o interior o que mantém uma queda mais lenta;
- 3) Abertura dos canais de  $\text{K}^+$  com estabelecimento do potencial negativo no interior da célula em 4).

Fisiologia médica, W. F. Ganong

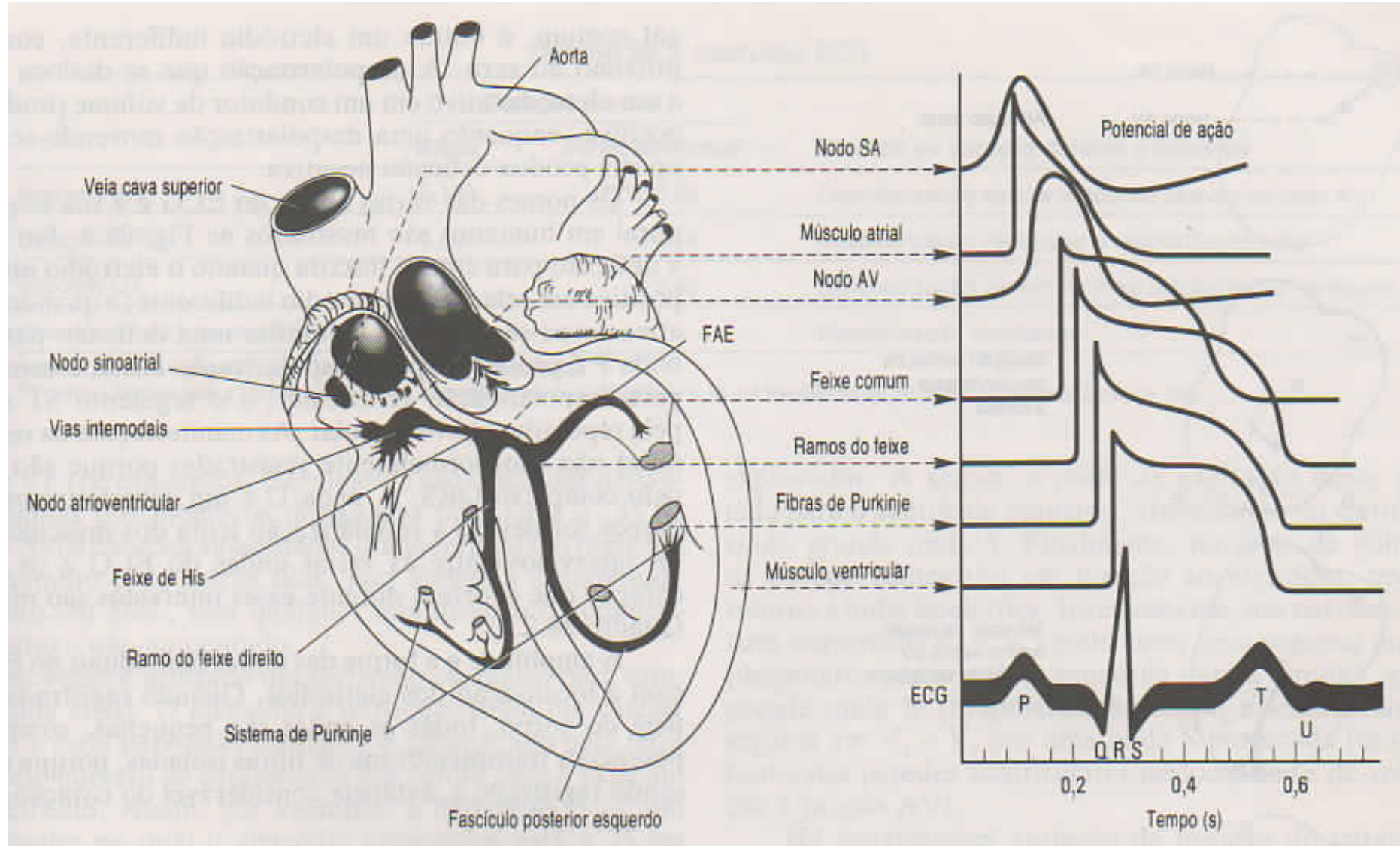


**Fig. 3.14** Fases do potencial de ação da fibra muscular cardíaca e as correspondentes alterações das condutâncias iônicas através da membrana do músculo. 0, despolarização; 1, repolarização inicial rápida; 2, fase do platô; 3, repolarização tardia rápida; 4, linha de base. (Modi-

# Potencial de ação e resposta mecânica do coração



# Sistema de condução elétrica no coração



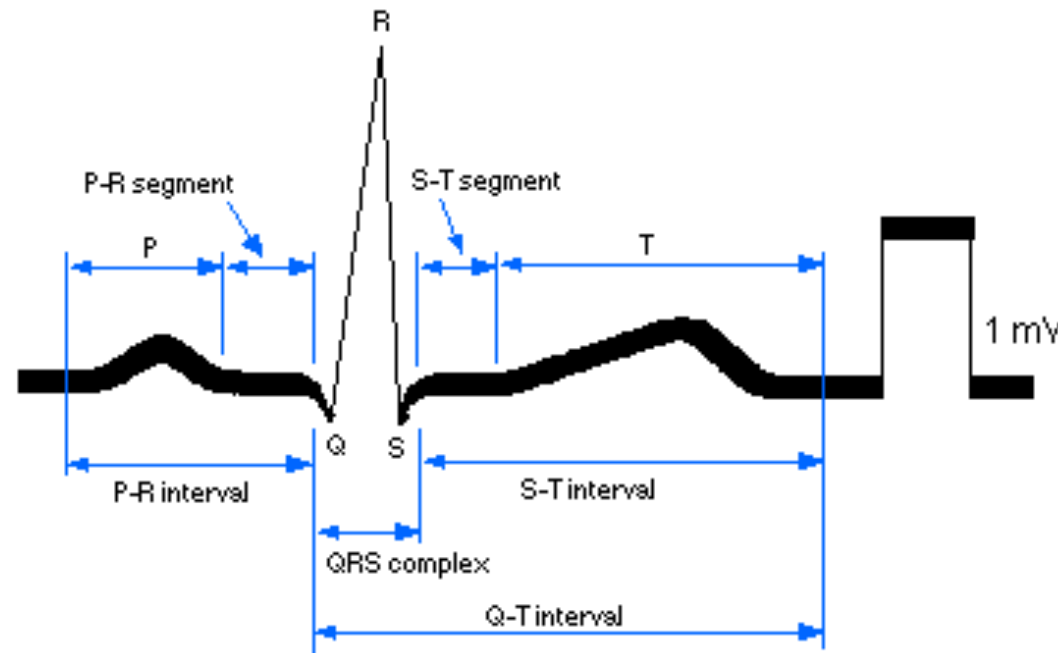
Os potenciais de ação transmembrana típicos para os nós AS e AV, outras partes do sistema de condução, e os músculos atrial e ventricular são mostrados juntamente com a correlação com a atividade elétrica registrada no meio extracelular, i. e., o eletrocardiograma.



# Eletrocardiograma

As variações de potencial elétrico que são originários da soma dos potenciais de ação das células cardíacas podem ser registradas na superfície do corpo.

Desconsiderando as inúmeras possibilidades de determinar o potencial elétrico nas diferentes partes do corpo, temos um exemplo típico de sinal elétrico do coração na figura que segue.



Normal Values for Amplitudes and Durations of ECG Parameters:

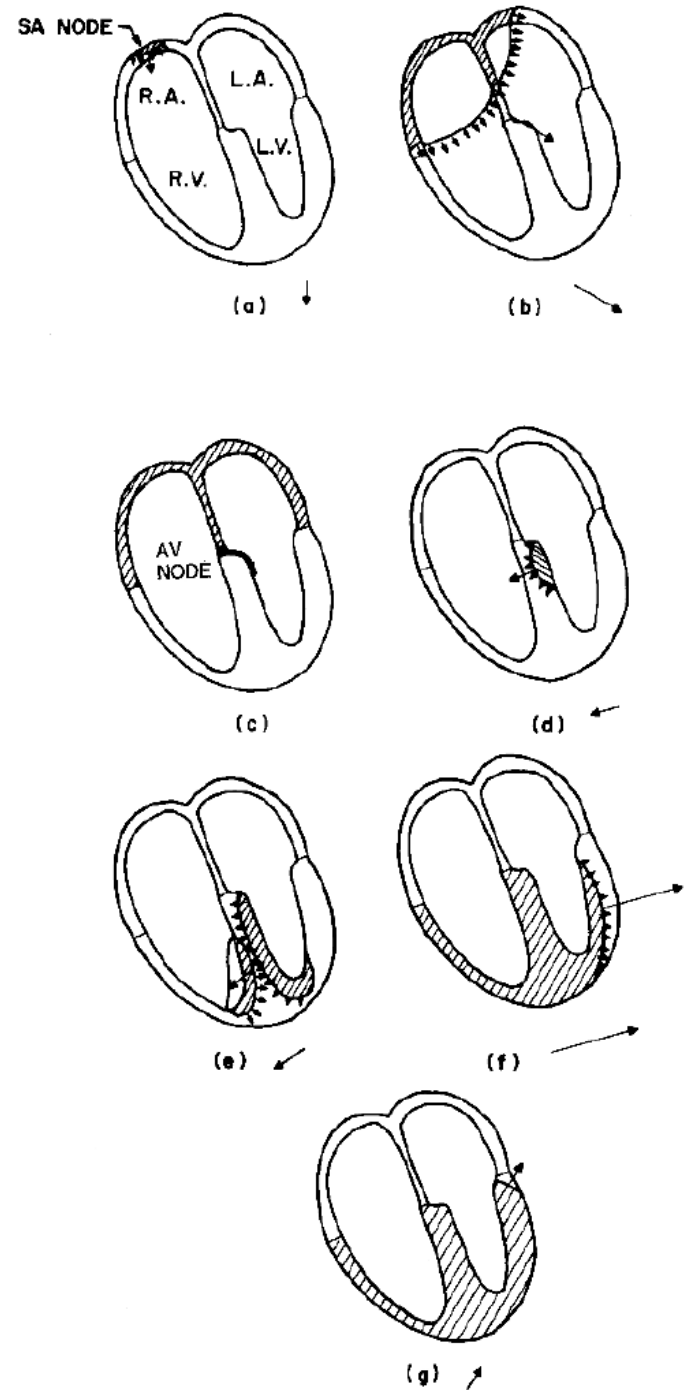
Amplitude:	P wave	0.25 mV	Atrial Depolarization
	R wave	1.60 mV	
	Q wave	25% of R wave	
	T wave	0.1 to 0.5 mV	Ventricular Repolarization
Duration:	P-R interval	0.12 to 0.20 sec	
	Q-T interval	0.35 to 0.44 sec	
	S-T segment	0.05 to 0.15 sec	
	P wave interval	0.11 sec	
	QRS interval	0.09 sec	Ventricular Depolarization

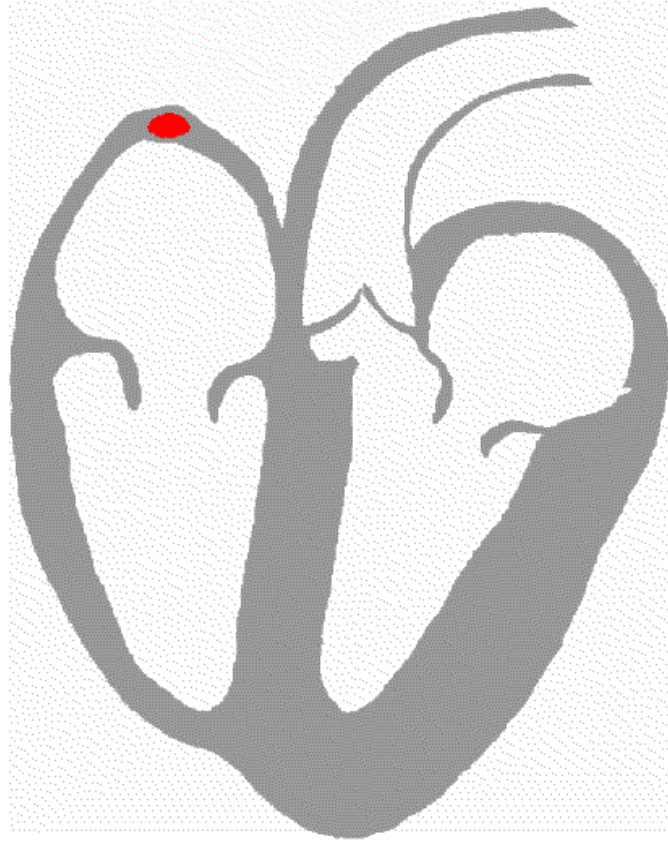
## Propagação da excitação cardíaca

A figura ao lado representa as fases do Potencial de Ação da massa muscular do miocárdio.

As flechas são a representação do vetor de corrente que se gera devido ao fluxo de íons nas células.

A consequência desta corrente é o movimento muscular dos músculos do coração que geram uma sequência ordenada da contração dos átrios, contração dos ventrículos e relaxamento de todas as quatro câmaras.





# Dipolo de corrente

Dipolo elétrico: um par de cargas opostas com igual magnitude é denominado como um dipolo elétrico.

O momento de dipolo é a medida desta polaridade

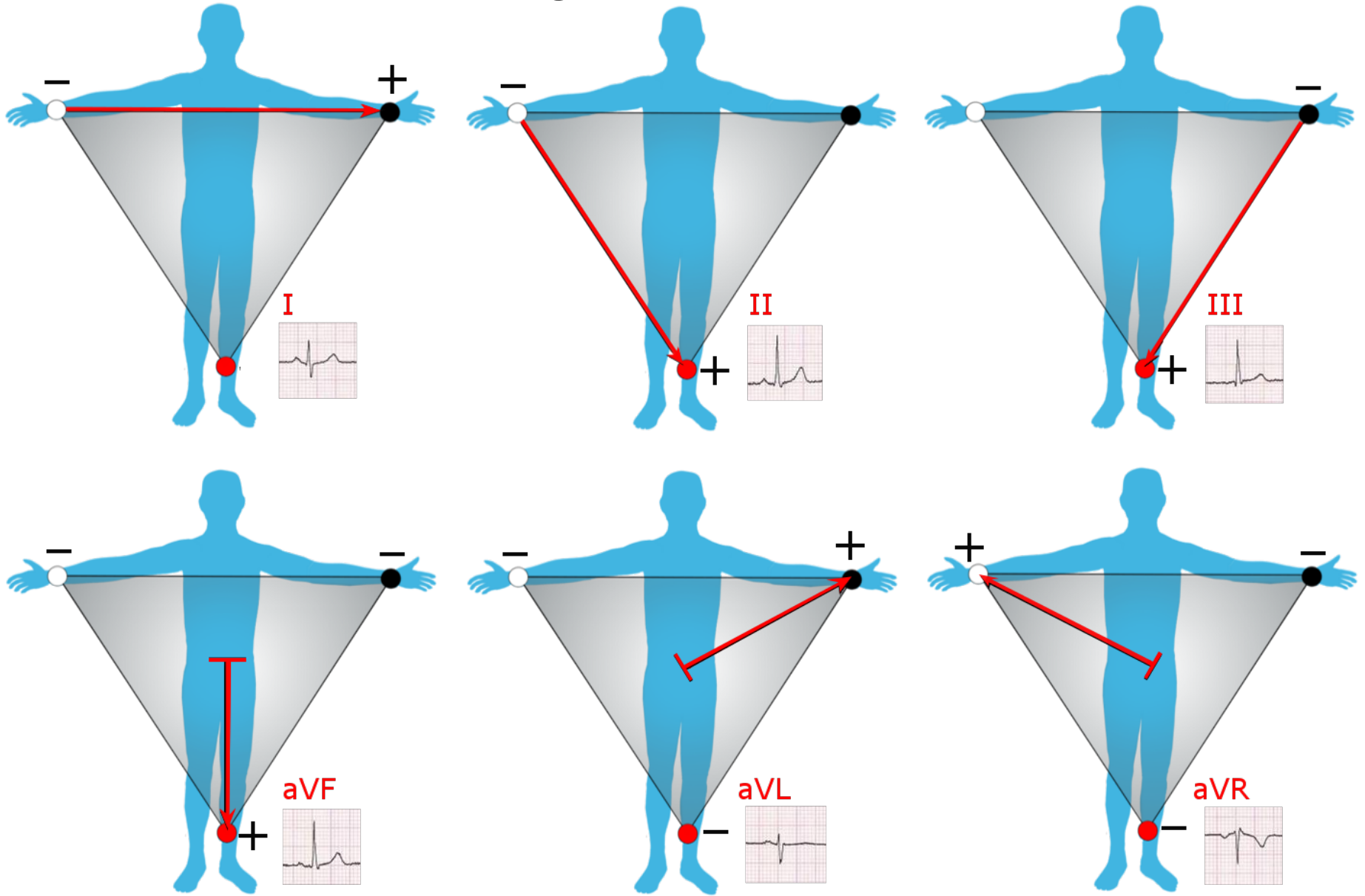
Dipolo de corrente: A combinação de uma fonte e um sumidouro de corrente elétrica com igual magnitude é chamado de dipolo de corrente.

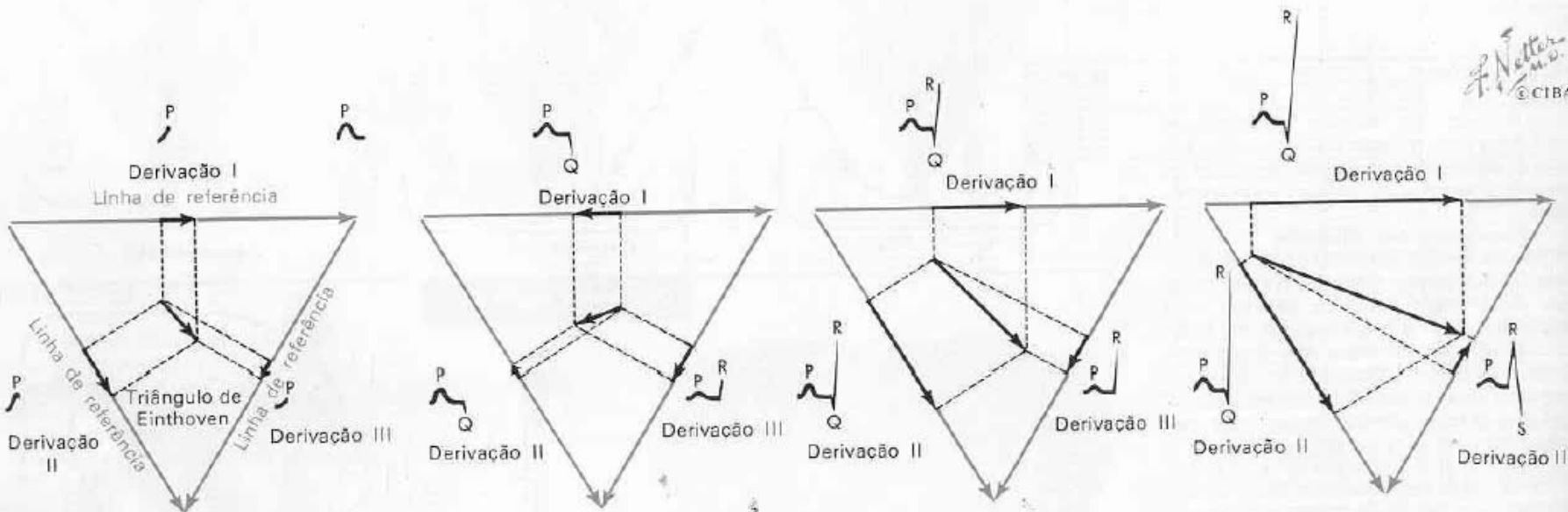
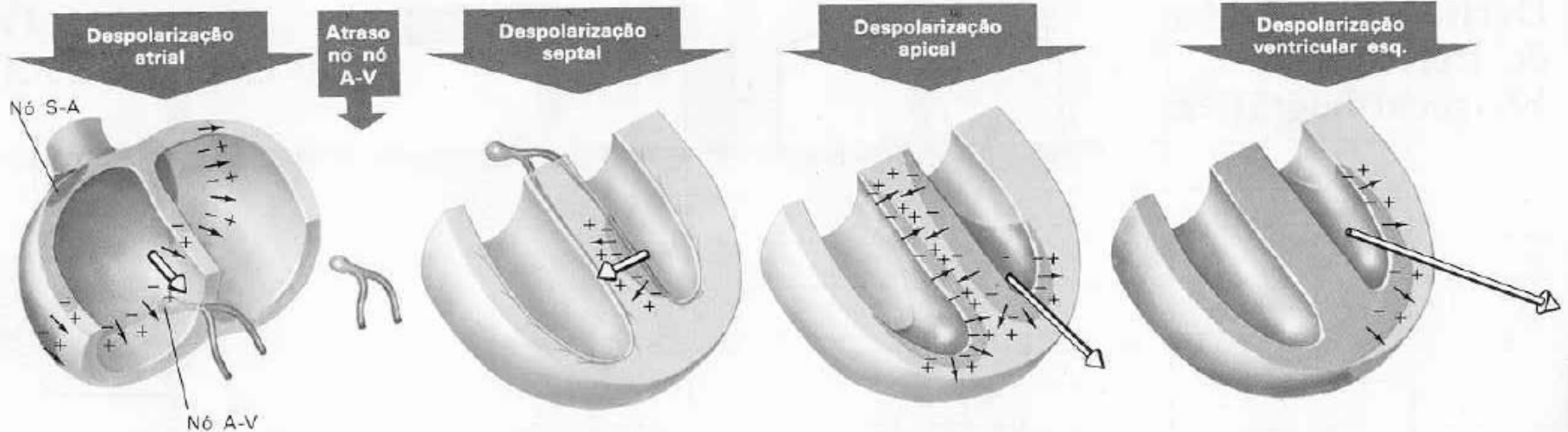
Momento de dipolo de corrente um potencial de ação numa célula

Cálculo da diferença de potencial entre dois pontos.

Apresentar a configuração típica da medida de um eletrocardiograma.

# Triângulo de Einthoven





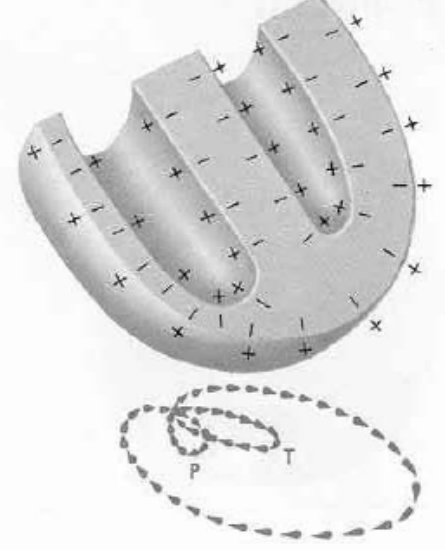
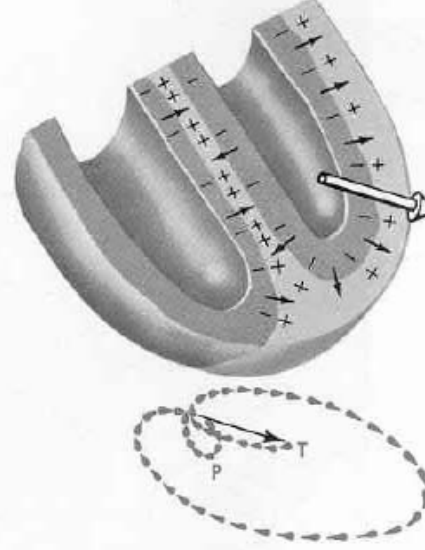
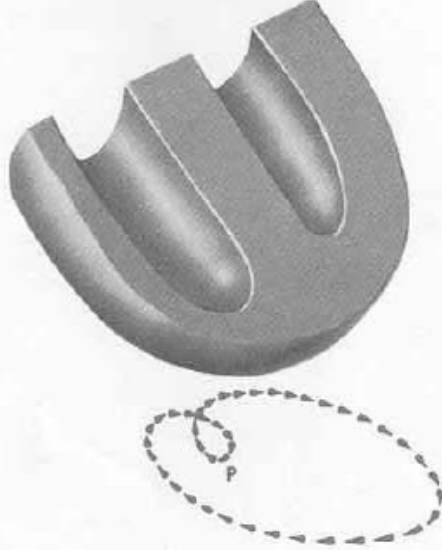
F. Netter M.D.  
 © CIBA

Despolarização  
ventricular esq. tardia

Ventrículos  
despolarizados

Repolarização  
ventricular

Ventrículos  
repolarizados



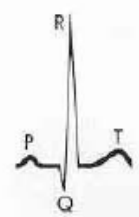
Derivação I



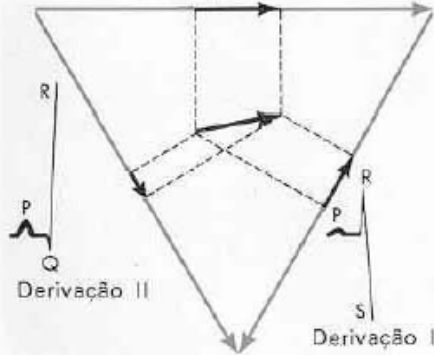
Derivação I



Derivação I

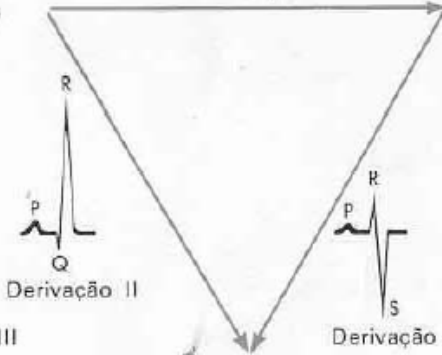


Derivação I



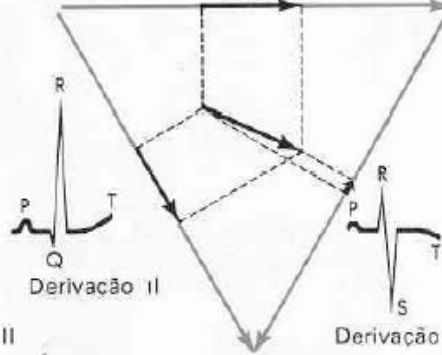
Derivação II

Derivação III



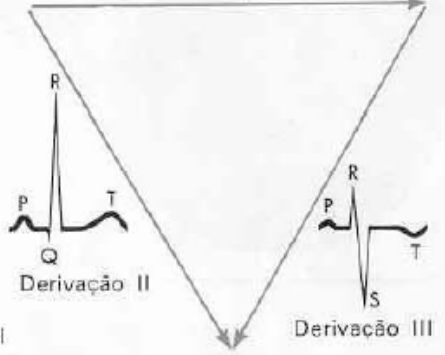
Derivação II

Derivação III



Derivação II

Derivação III

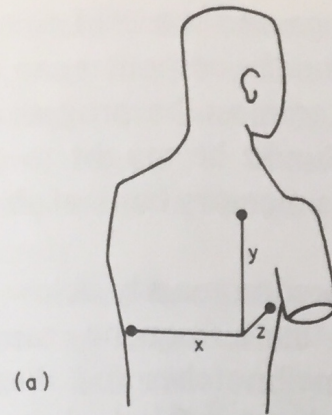


Derivação II

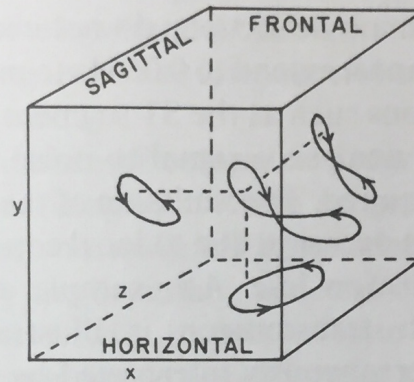
Derivação III

F. Netter  
M.D.  
© CIBA

# Vetorcardiograma

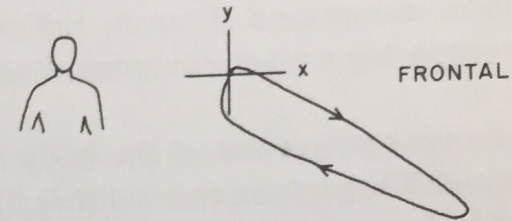


(a)

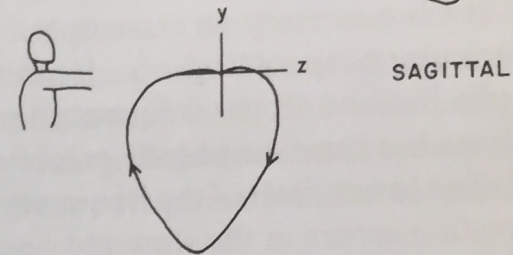


(b)

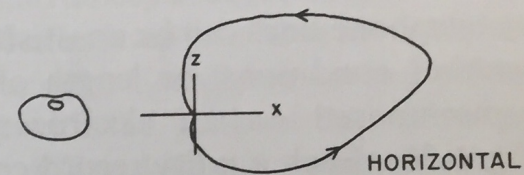
FIG. 6.18



FRONTAL



SAGITTAL



HORIZONTAL

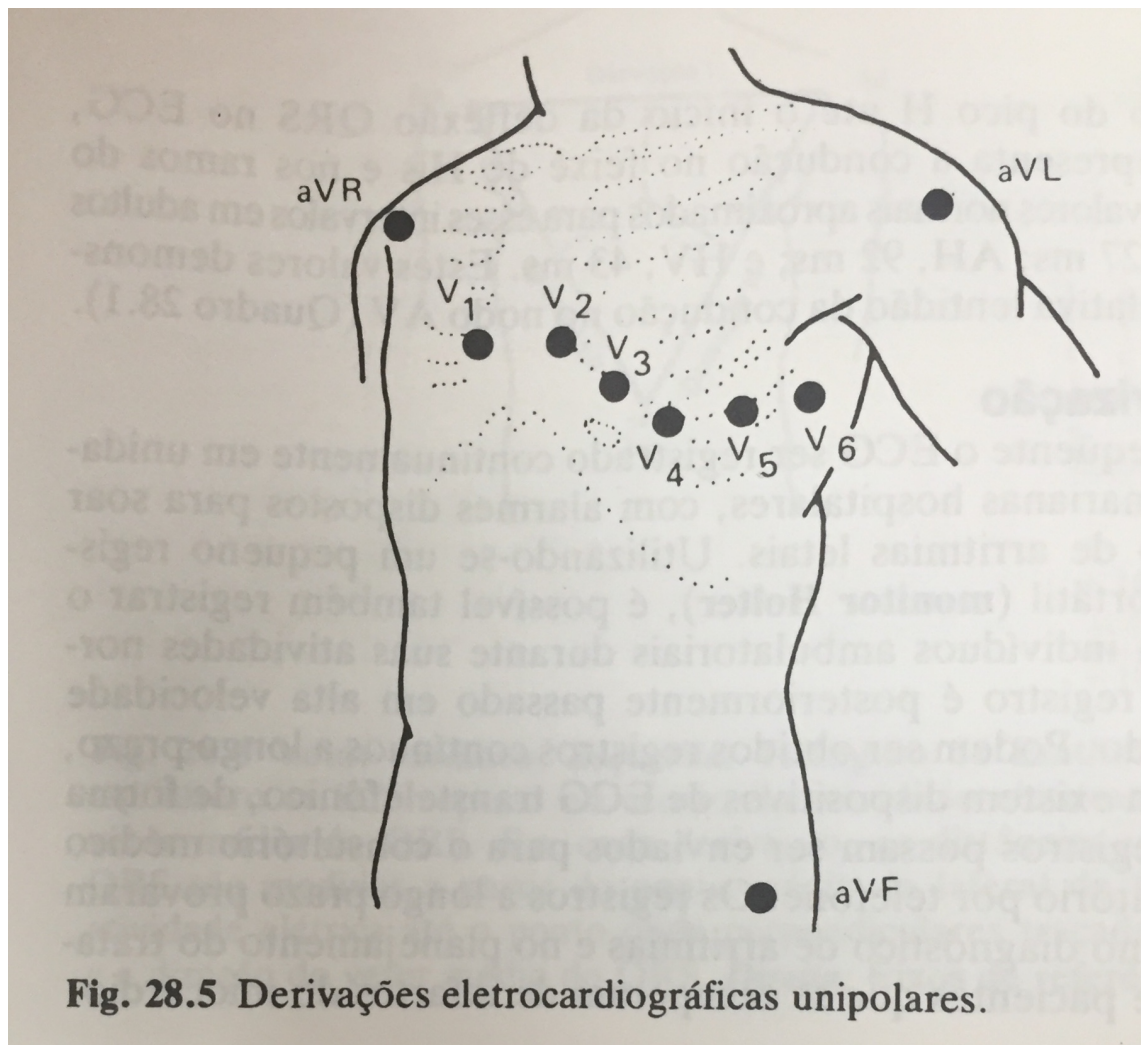
FIG. 6.19

FIG. 6.18 (a) Position of probes in vector cardiography. (b) Central loop is actual motion of the vector dipole of the heart. The projection of this motion is shown on the three planes. [Redrawn from Grishman and Scherlis (1952).]

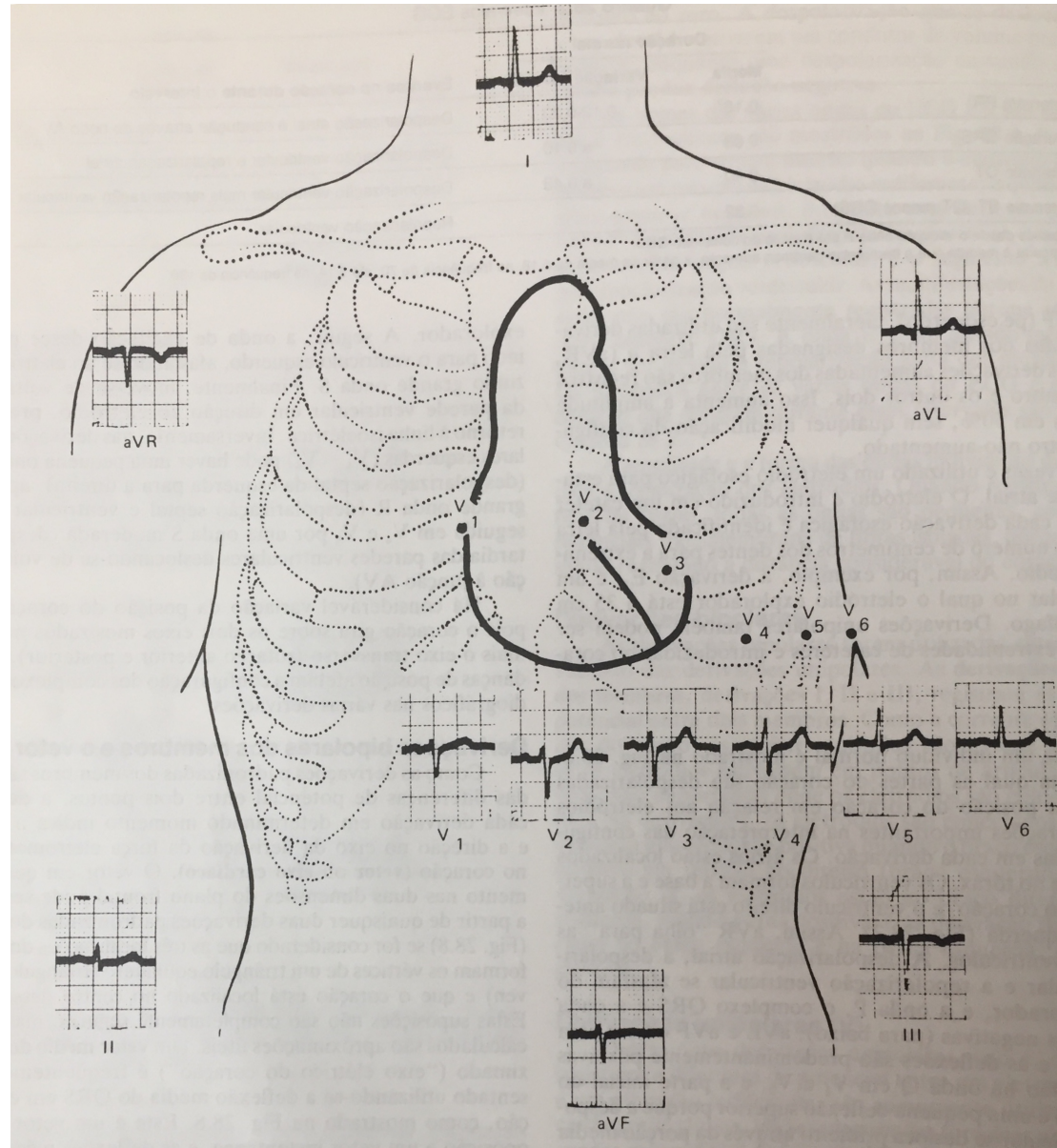
FIG. 6.19 Example of three planar projections of a heart dipole as seen on an oscilloscope trace.



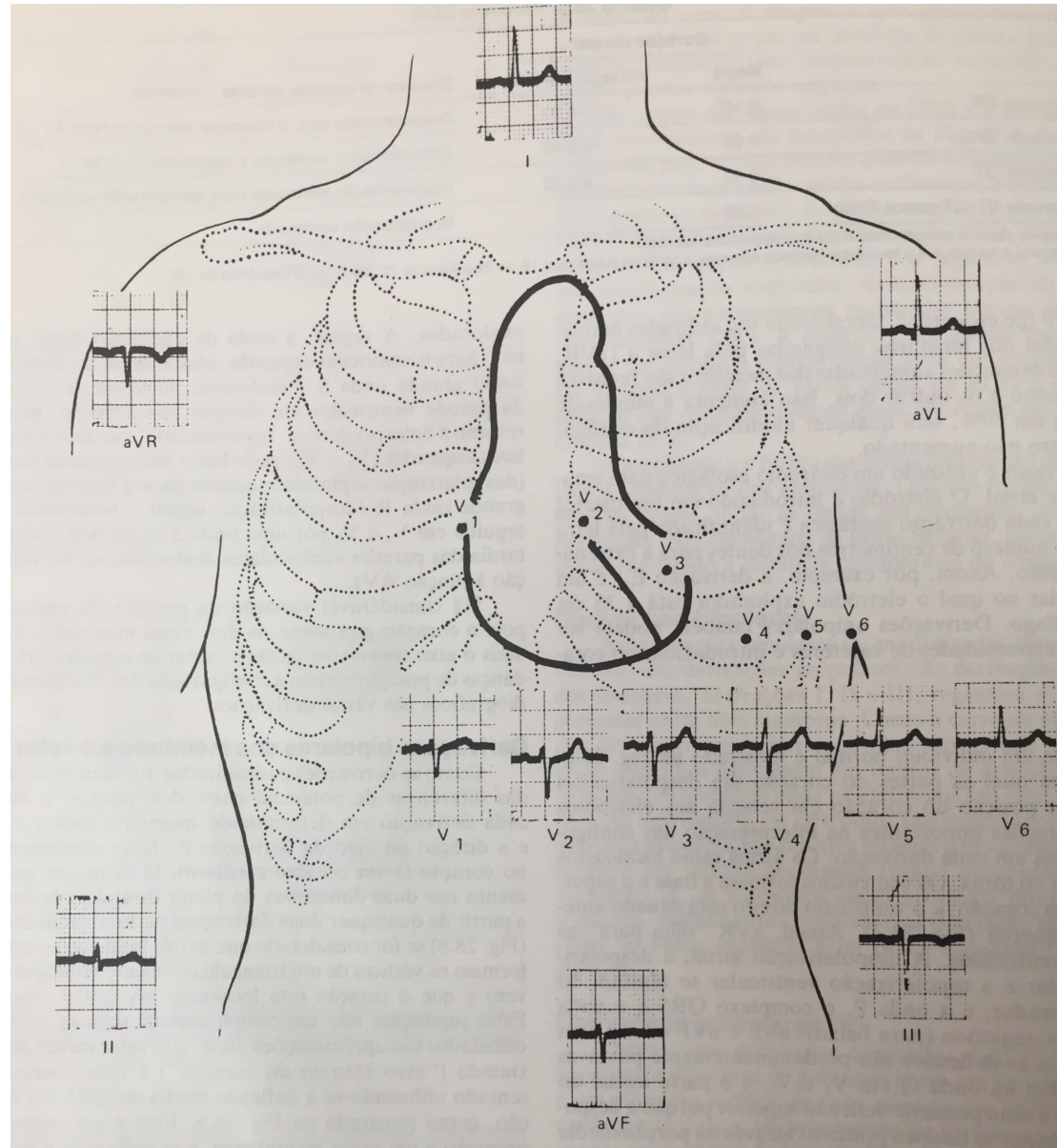
# Eletrocardiograma

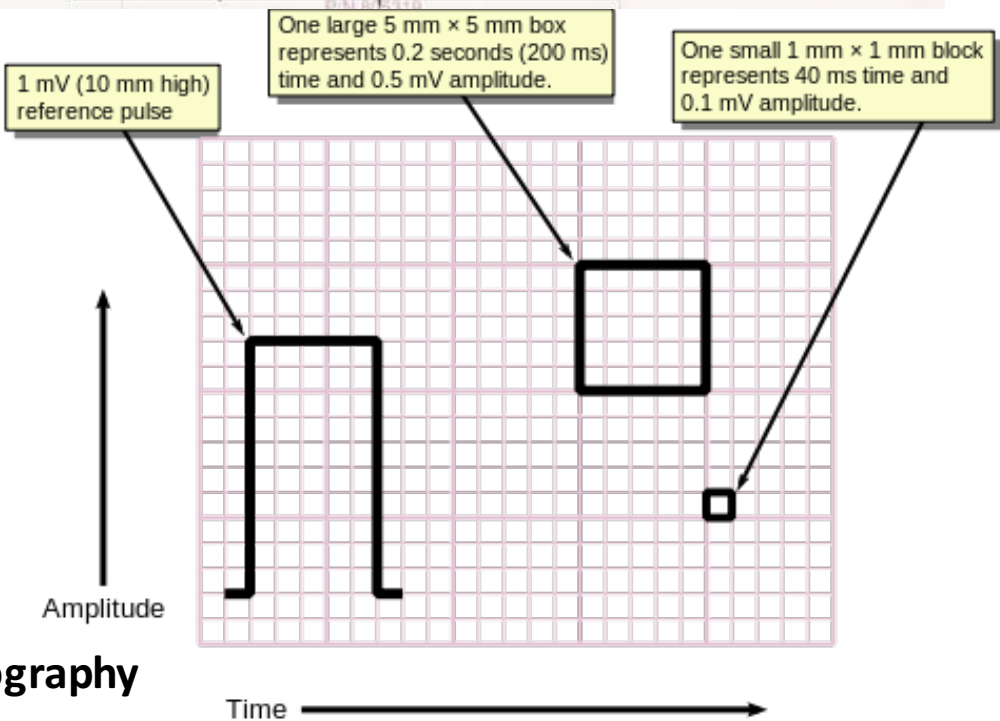
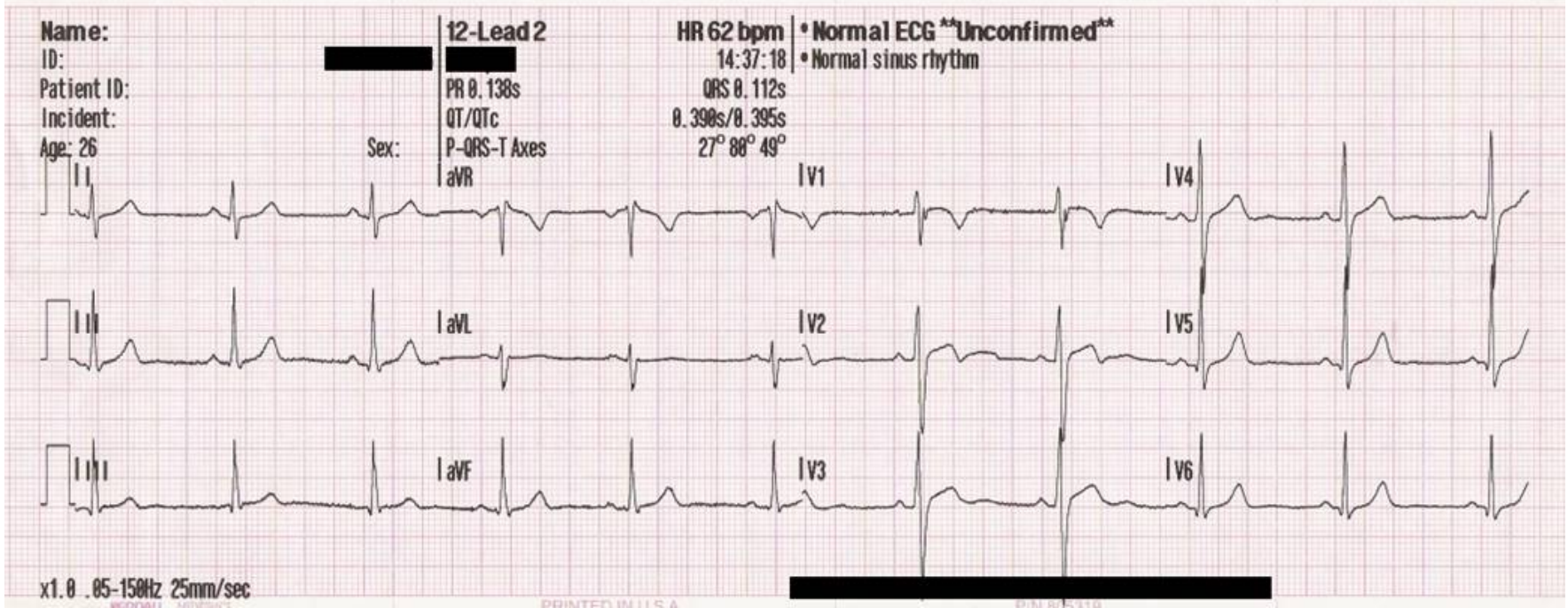


# Eletrocardiograma



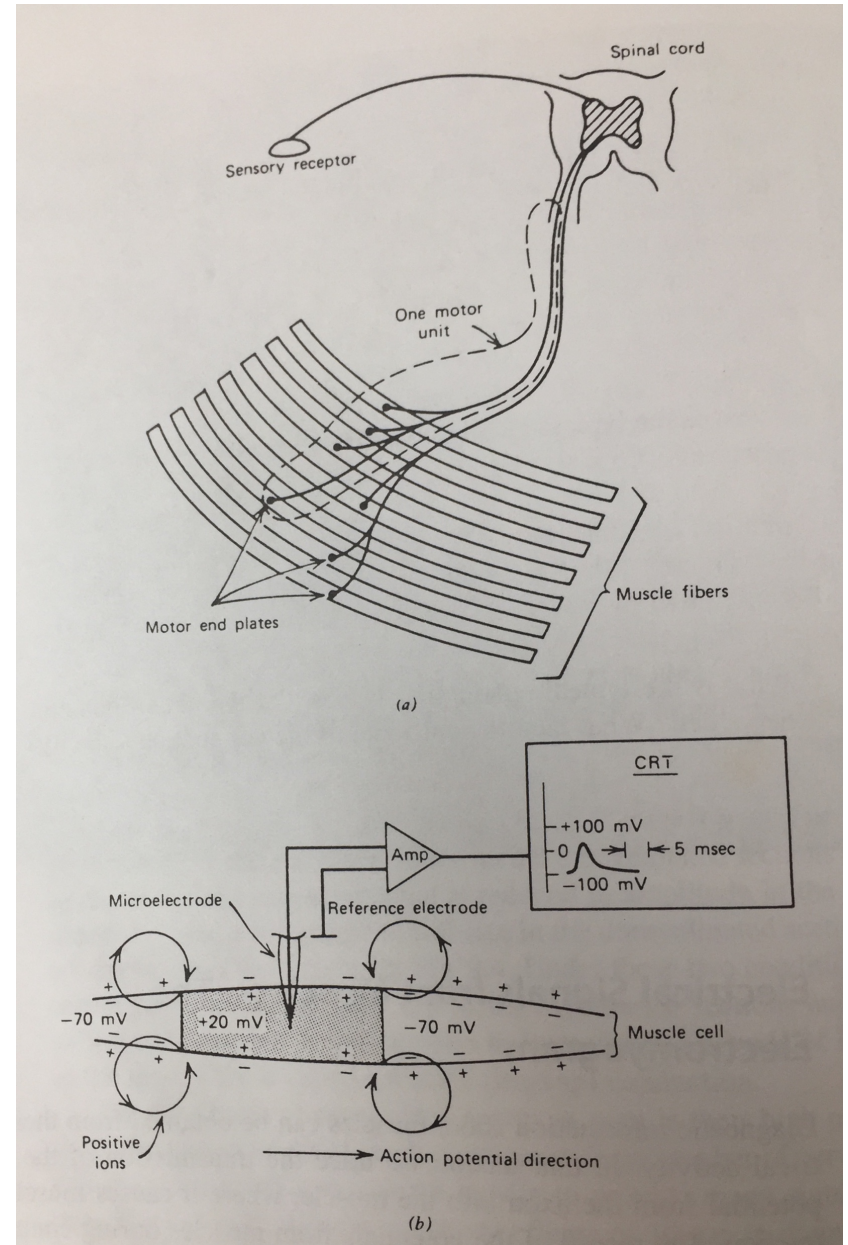
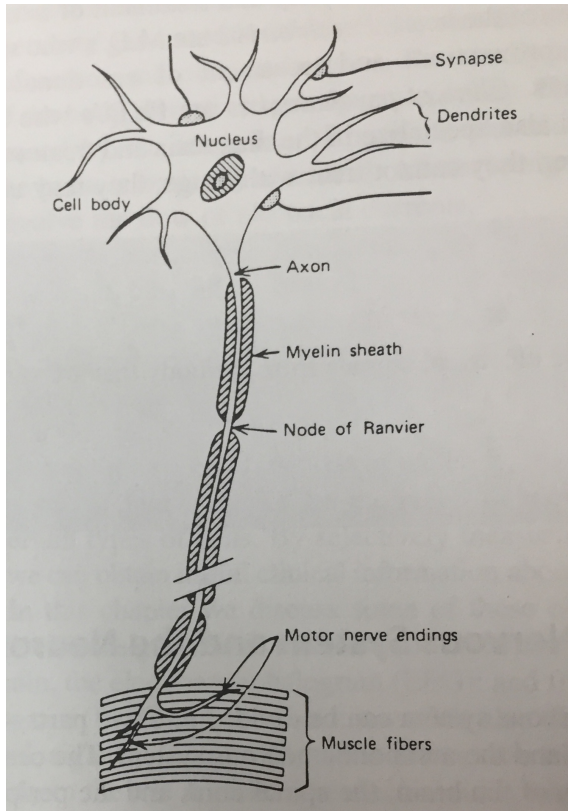
# Eletrocardiograma



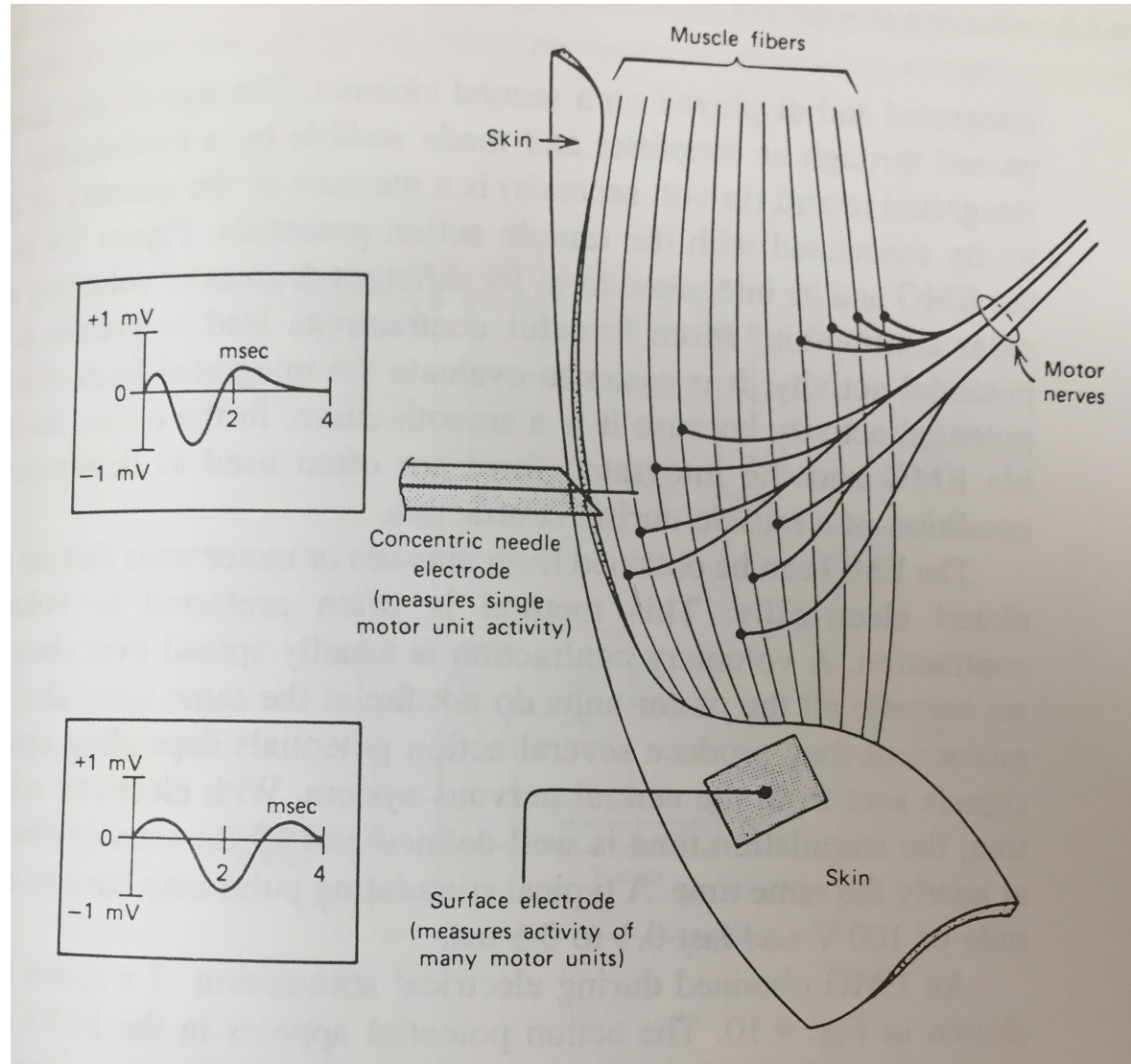


# Registro do Eletrocardiograma

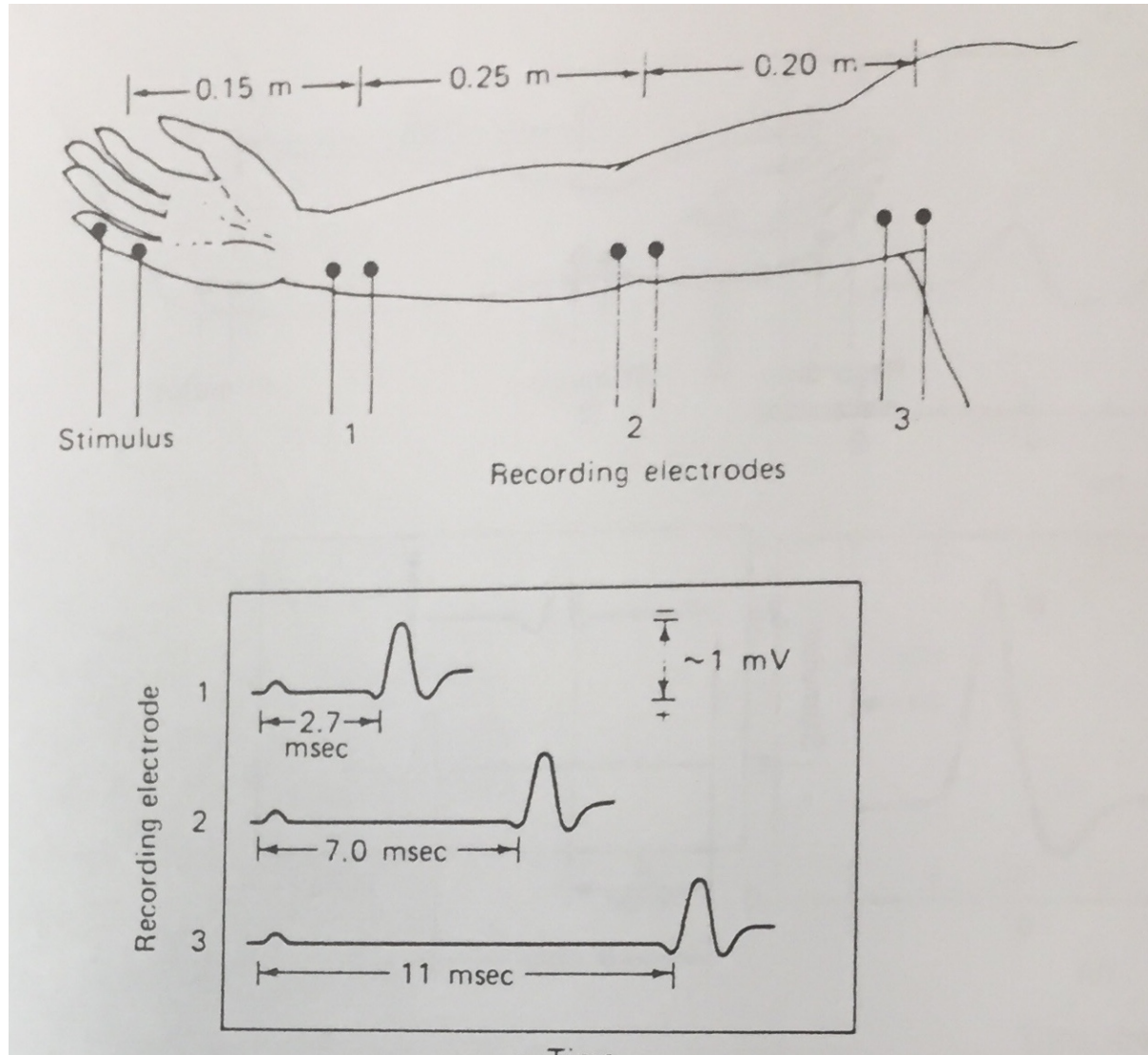
# Sinais elétricos do músculo (eletromiografia)



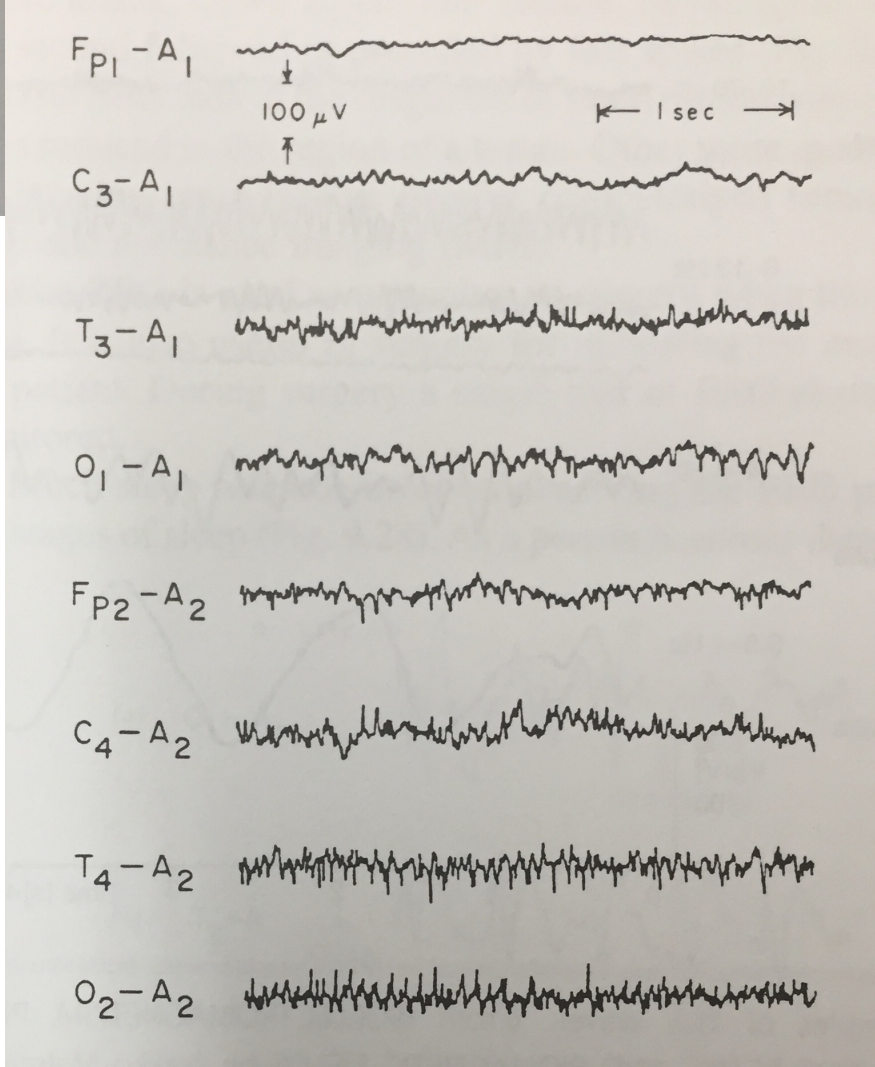
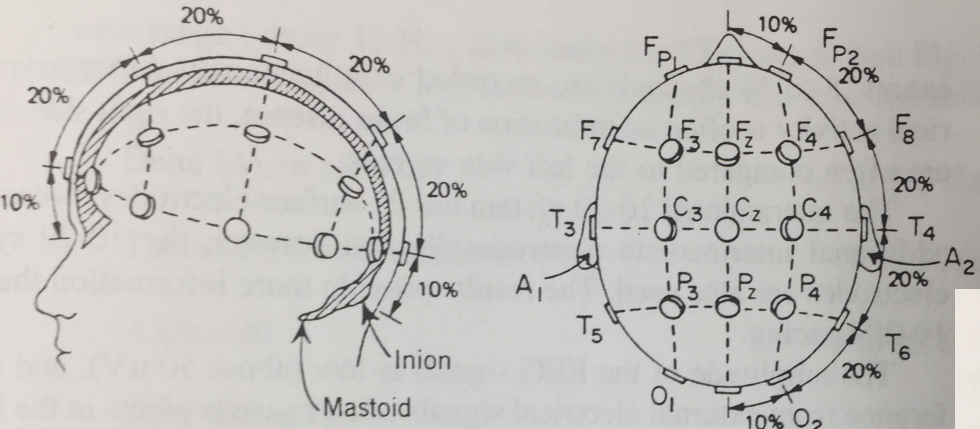
# Sinais elétricos do músculo (eletromiografia)



# Velocidade de condução do sistema nervoso por eletromiografia

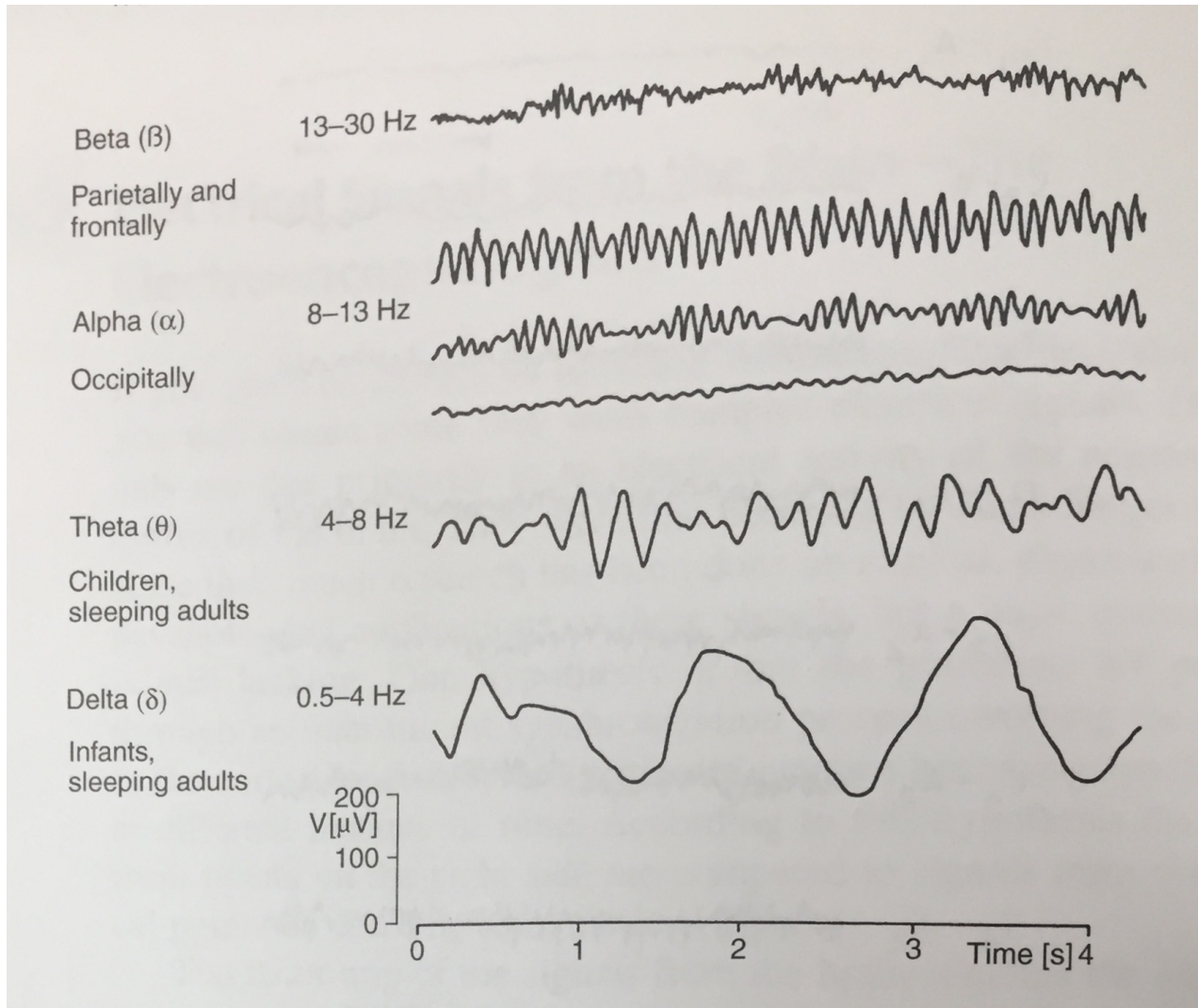


# Eletroencefalograma

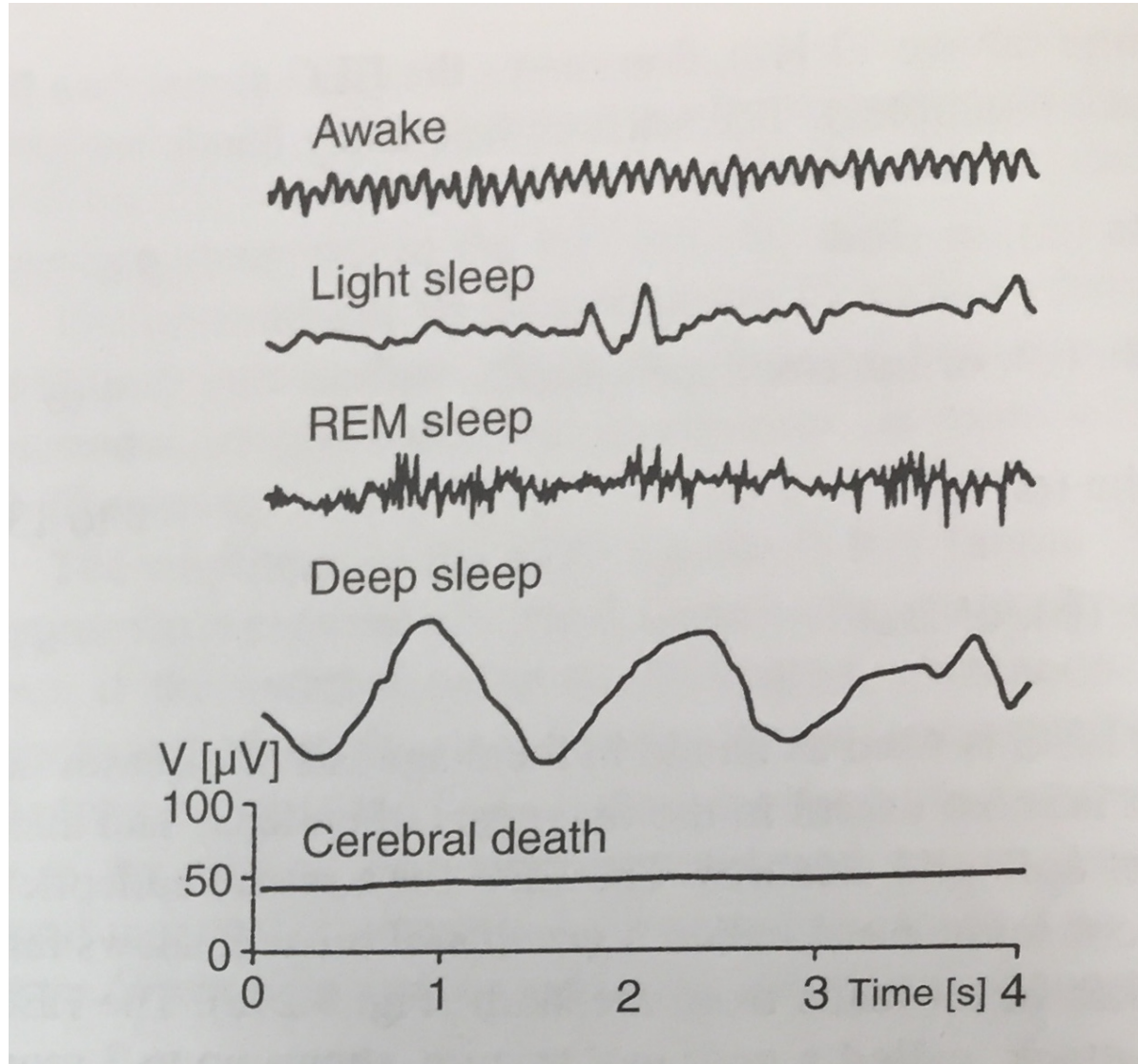




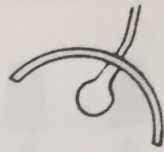
# Eletroencefalograma



# Electroencefalograma



Photostimulator

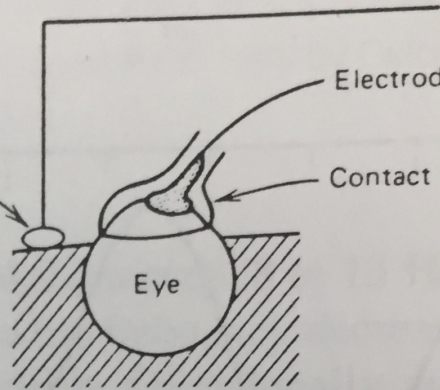


Electrode

Contact lens

Reference electrode

Eye



# Eletroretinograma

