



DEPARTAMENTO DE  
**FISIOLOGIA**  
F M R P • RIBEIRÃO PRETO



## **CURSO DE MEDICINA**

### **FISIOLOGIA DOS SISTEMAS: CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIO**

## **MÓDULOS**

**2017**



**PROFESSORES:**

BENEDITO HONÓRIO MACHADO

DAVI JOSÉ de ALMEIDA MORAES

HÉLIO C. SALGADO

RUBENS FAZAN Jr.

**TÉCNICOS:**

CARLOS ALBERTO AGUIAR da SILVA

JACI AIRTON CASTANIA

MAURO de OLIVEIRA



## MÓDULOS \*

- Módulo 1 – Propriedades do Músculo Cardíaco (BHM)
- Módulo 2 – Bases Fisiológicas do Eletrocardiograma (HCS)
- Módulo 3 – Ciclo Cardíaco, Pulso e Bulhas (HCS)
- Módulo 4 – Circulação em Diferentes Territórios e Trocas Capilares (BHM)
- Módulo 5 – Mecanismos de Regulação da Pressão Arterial (BHM)
- Módulo 6 – Sistema Nervoso Autônomo e Circulação (HCS)
- Módulo 7 – Circulação Coronariana e Função Cardíaca (BHM)
- Módulo 8 - Aplicação dos Conceitos de Fisiologia Cardiovascular (RFJ)
- Módulo 9 – Mecânica Respiratória (DJAM)
- Módulo 10 – Transporte dos Gases no Sangue (DJAM)
- Módulo 11 – Circulação e Ventilação Pulmonar (BHM)
- Módulo 12 - Teste de Função Pulmonar (RFJ)
- Módulo 13 - Regulação Química e Neural da Respiração (DJAM)

- \* - Aula Teórica.
- Prática.
- Discussão das Questões Orientadoras.
- Avaliação por meio de questões descritivas relativas aos temas discutidos durante o módulo.

## AVALIAÇÕES:

- 13 Provas ao final de cada um dos Módulos (Peso 3).
- Prova de Fisiologia dos Sistemas: Cardiovascular e Respiratório – 23/06 (Peso 7).
- Nota Final: Somatória das Médias das Provas dos Módulos e da Prova de Fisiologia dos Sistemas: Cardiovascular e Respiratório.



## MÓDULO 1 PROPRIEDADES DO MÚSCULO CARDÍACO

Prof. Dr. Benedito H. Machado

### Questões Orientadoras

1. Comente as 4 propriedades fundamentais do músculo cardíaco.
2. Considerando as diferentes correntes iônicas envolvidas, explique em detalhes o potencial de repouso e o potencial de ação de uma célula muscular cardíaca de trabalho.
3. Explique as características eletrofisiológicas de uma célula de marcapasso cardíaco levando em consideração a permeabilidade da membrana e as diferentes correntes iônicas envolvidas.
4. Descreva e explique o período refratário absoluto da célula muscular cardíaca de trabalho durante o potencial de ação.
5. Caracterize do ponto de vista eletrofisiológico e mecânico uma extra-sístole.
6. Comente a participação do íon  $\text{Ca}^{2+}$  na contração da célula muscular cardíaca.
7. Compare o potencial de ação de uma célula muscular cardíaca de trabalho com o potencial de ação de um neurônio.
8. Explique a chamada “lei do tudo-ou-nada” para o músculo cardíaco e discuta se esse fenômeno também ocorre no músculo esquelético.
9. Explique como o músculo cardíaco, apesar de responder à “lei do tudo-ou-nada”, pode aumentar a força da contração.
10. Explique como a noradrenalina e a acetilcolina podem alterar a frequência de despolarização das células do marcapasso cardíaco.
11. Discuta o acoplamento entre as atividades eletrofisiológicas (potencial de ação) e mecânicas (contração) de uma célula muscular cardíaca de trabalho.
12. Explique como a noradrenalina pode aumentar a contratilidade do músculo cardíaco.
13. Descreva as características eletrofisiológicas do nóculo átrio-ventricular (A-V) e explique o significado funcional do retardo na condução do potencial de ação nesse nóculo.
14. Analise as influências do sistema nervoso simpático e parassimpático sobre o coração.



## MÓDULO 2 BASES DA ELETROCARDIOGRAFIA

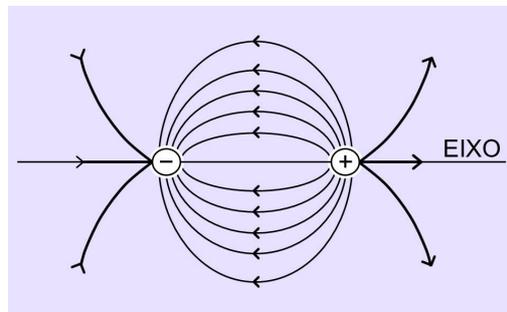
Prof. Dr. Helio Cesar Salgado  
Prof. Dr. Rubens Fazan Jr.  
Doutoranda Fernanda Brognara

### 1. CONCEITO DE DIPOLO

Conceito de dipolo segundo Scher (1974): **“Igual número de cargas positivas e negativas separadas por uma distância infinitesimal”**.

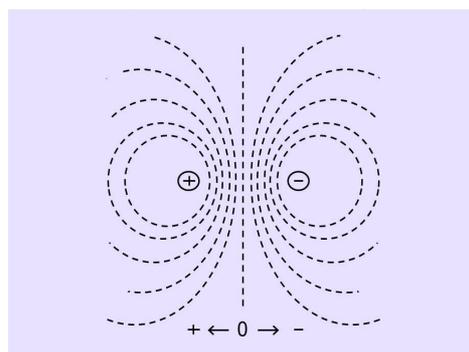
Uma única célula ativa, ou um agregado delas, pode ser considerado como um **“dipolo”** para fins eletrocardiográficos.

A distribuição das linhas de força de um dipolo, orientadas da carga positiva para a negativa está representada na Figura 1.



**Figura 1.** Distribuição das linhas de força de um dipolo.

A distribuição das linhas equipotenciais (ou isopotenciais) do campo elétrico gerado pelo dipolo ilustrado na Figura 1 está representada na Figura 2. A intersecção das linhas equipotenciais com as linhas de força faz um ângulo reto ( $90^{\circ}$ ).



**Figura 2.** Distribuição das linhas equipotenciais (ou isopotenciais).

O potencial (V) em um ponto (A) produzido por um dipolo, em um meio homogêneo e infinito, está representado na Figura 3, e tem as seguintes características:

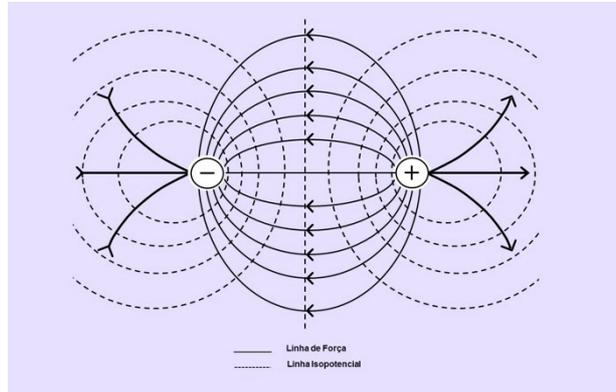
- É diretamente proporcional ao momento ( $\vec{m}$ ) do dipolo ( $\vec{m} = n^{\circ}$  de cargas por polo x distância entre os polos).
- É diretamente proporcional ao cosseno do ângulo ( $\theta$ ), formado pela linha que une o ponto em questão (A) e o centro da linha que une os dois polos (eixo do dipolo).
- É inversamente proporcional ao quadrado da distância (R) entre o ponto em questão (A)



e o centro da linha que une os dois polos.

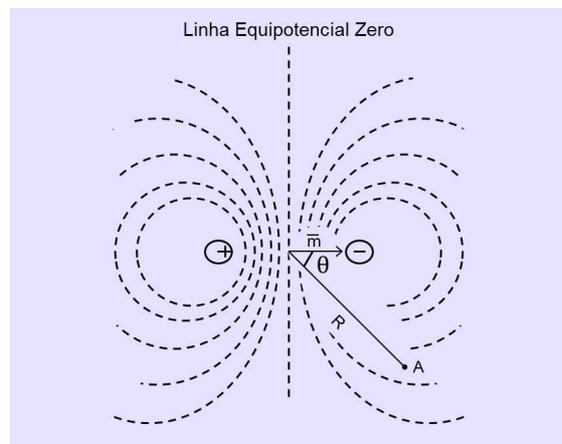
### Representação simultânea das linhas de força e isopotencial.

A Figura 3 ilustra as **linhas de força e isopotencial do campo de um dipolo**: 0= linha (ou plano) de isopotencial zero perpendicular ao eixo do dipolo, dividindo o plano (ou espaço) em 2 metades de potenciais opostos, positivo e negativo (Toscano Barbosa, 1976).



**Figura 3.** Representação simultânea das linhas de força e isopotencial.

### Representação do potencial (V) produzido por um dipolo em um determinado ponto de um meio condutor.



**Figura 4.** Representação do potencial (V) produzido por um dipolo no ponto A.

$$V_A = \frac{\vec{m} \cdot \cos\theta}{R^2}$$

Onde:

$V_A$  = potencial no ponto A.

$\vec{m}$  = momento do dipolo

$\theta$  = ângulo entre as linhas que une o ponto A ao centro da linha que une os dois polos.

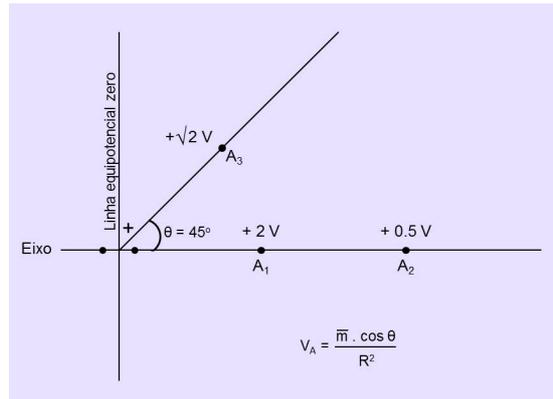
R = distância entre A e o centro da linha que une os dois polos.

### Exemplo de dipolo em meio condutor homogêneo.

A Figura 5 mostra que o potencial (V) em um dado ponto, é proporcional ao  $\cos\theta$ , e inversamente proporcional à  $R^2$ . Se o potencial em  $V_1$  é  $+2V$ , e se  $V_2$  está situado a uma distância 2 vezes maior do que  $V_1$ , do centro do dipolo, então o potencial em  $V_2$  é  $+0.5V$ . Se  $\theta = 45^\circ$  e se  $V_3$  é

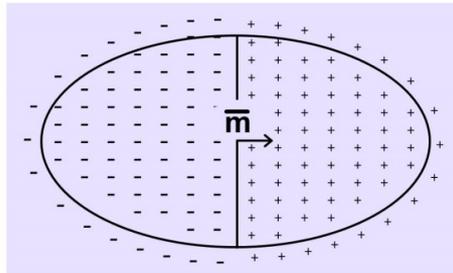


$V_1$  são equidistantes do centro do dipolo, então o potencial em  $V_3 = +2 \cos 45^\circ$ , que é igual à  $+\sqrt{2}$ .



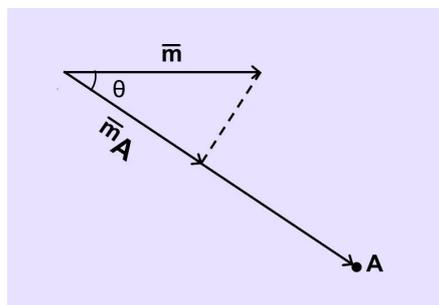
**Figura 5.** Importância do ângulo e da distância em relação ao centro do dipolo, na geração do potencial (V) em um dado ponto (A). (Berne e Levy, 1981).

Na prática, o conceito de dipolo é aplicado semi quantitativamente ou qualitativamente. Um agregado de cargas, tal como uma frente de onda no coração, é representado, por aproximação, como uma seta (vetor  $\vec{m}$ ) apontando na direção das cargas positivas. Por exemplo, vista externamente, uma célula parcialmente ativada, poderia ser representada como na figura 6.



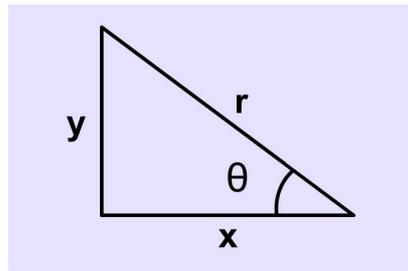
**Figura 6.** Representação vetorial (seta) de frente de onda de despolarização.

O vetor  $\vec{m}$  (Figura 6) está representado na Figura 7 de acordo com as relações trigonométricas.



**Figura 7.** Representação trigonométrica do vetor  $\vec{m}$ .

De acordo com a trigonometria, o cosseno de um ângulo ( $\theta$ ), em um triângulo retângulo, é dado pela relação entre o cateto adjacente (x) e a hipotenusa (r), como mostra a Figura 8.



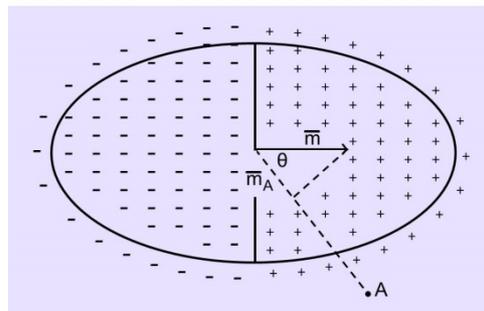
**Figura 8.** Relações trigonométricas em um triângulo retângulo.

Como  $\cos \theta = \frac{x}{r}$  a relação entre o momento  $\bar{m}$  do dipolo e o  $\cos \theta$  fica:

$$V_A = \bar{m} \frac{\cos \theta}{R^2} \quad \cos \theta = \frac{\bar{m}_A}{\bar{m}} \quad \text{ou} \quad \bar{m}_A = \bar{m} \cdot \cos \theta$$

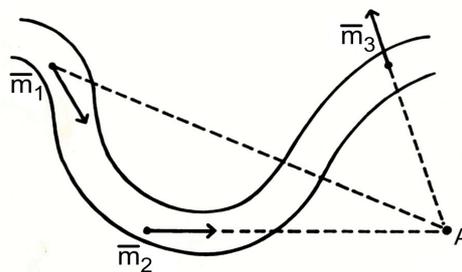
Portanto,  $V_A = \frac{\bar{m}_A}{R^2}$  onde  $\bar{m}_A$  é a projeção do vetor  $\bar{m}$  sobre a linha que une o ponto A ao centro da linha que une os dois polos. Portanto, o potencial em A é igual à razão entre a projeção de  $\bar{m}$  e o quadrado da distância do ponto A ao centro do dipolo.

A Figura 9 mostra estes conceitos transportados para uma fibra cardíaca (ou conjunto de fibras).



**Figura 9.** Relações trigonométricas entre o momento elétrico gerado por um dipolo e um ponto qualquer (A, por exemplo).

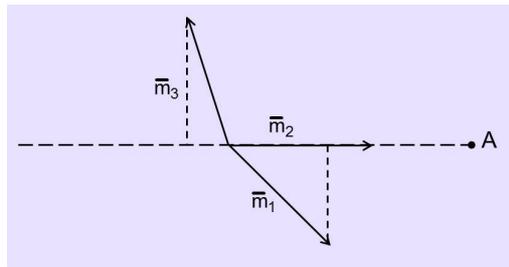
A Figura 10 mostra a orientação dos vetores elétricos resultantes, em uma situação onde a fibra é alongada e tortuosa.



**Figura 10.** Orientação dos vetores em situação mais próxima da anatômica.

Os vetores  $\bar{m}_1$ ,  $\bar{m}_2$ , e  $\bar{m}_3$  têm os mesmos módulos, porém orientações diferentes, e podem ser deslocados, paralelamente, para uma origem comum, como mostra a Figura 11 abaixo.

Deslocando-se, paralelamente, os vetores  $\bar{m}_1$ ,  $\bar{m}_2$ ,  $\bar{m}_3$  ficariam:



**Figura 11.** Deslocamento paralelo dos vetores para uma origem comum.

Nota-se na Figura 11 que a projeção de  $\vec{m}_1$  sobre a linha pontilhada A apresenta ângulo  $\theta < 90^\circ$ , portanto, a projeção do vetor  $\vec{m}_1$  sobre a linha pontilhada A é positiva.

O vetor  $\vec{m}_2$  quando projetado na linha pontilhada A, apresenta um ângulo  $\theta = 0^\circ$ , portanto, o vetor  $\vec{m}_2$  tem projeção máxima.

O vetor  $\vec{m}_3$  quando projetado na linha pontilhada A, apresenta um ângulo  $\theta > 90^\circ$ , portanto, sua projeção é negativa.

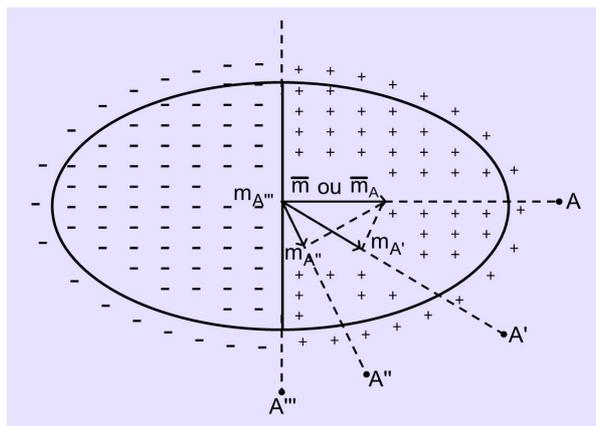
Logo, vetor cujo ângulo  $\theta$  é  $90^\circ$ , ou seja, se posiciona perpendicularmente à linha pontilhada, dá vetor resultante nulo.

A linha imaginária (tracejada na Figura 11) que une o centro (origem) do dipolo ao ponto A, é chamada **Linha de Derivação**.

## 2. CONCEITO DE DERIVAÇÃO (GESELOWITZ e SCHMITT)

**“Derivação é uma combinação de pelo menos 2 eletródios, algumas vezes interconectados com resistores ou mesmo amplificadores operacionais, que possibilita o registro de uma diferença de potencial”.**

É importante salientar que uma única projeção pode representar uma infinidade de vetores. A Figura 12 mostra a projeção de um mesmo vetor  $\vec{m}$  sobre diferentes linhas de derivação (A, A', A'' e A''').



**Figura 12.** Projeções de um mesmo vetor ( $\vec{m}$ ) sobre diferentes linhas de derivação.

$\vec{m}_A$  = projeção máxima, o vetor  $m$  é paralelo à linha de derivação (A), i.e.,  $\theta = 0^\circ$

$\vec{m}_{A'}$  = projeção positiva,  $0^\circ < \theta' < 90^\circ$

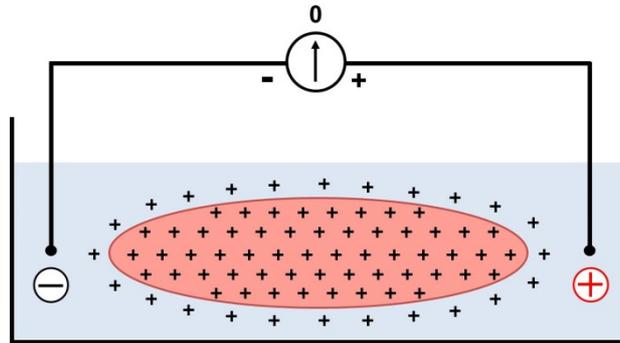
$\vec{m}_{A''}$  = projeção positiva, porém,  $< m_{A'}$  porque o ângulo  $\theta''$  é  $> \theta'$ .

$\vec{m}_{A'''}$  = projeção nula, porque  $\theta''' = 90^\circ$

**Vale lembrar que  $\cos 0^\circ = 1$ ,  $\cos 90^\circ = 0$  e  $\cos 45^\circ = 0,7$ .**

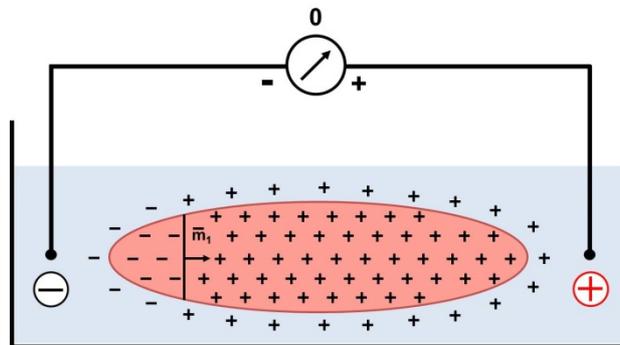


A Figura 13 mostra estes conceitos transportados para o coração dentro de um volume condutor homogêneo, utilizando-se um par de eletródios polarizados (+ e -) para o registro da atividade elétrica (diferença de potencial).



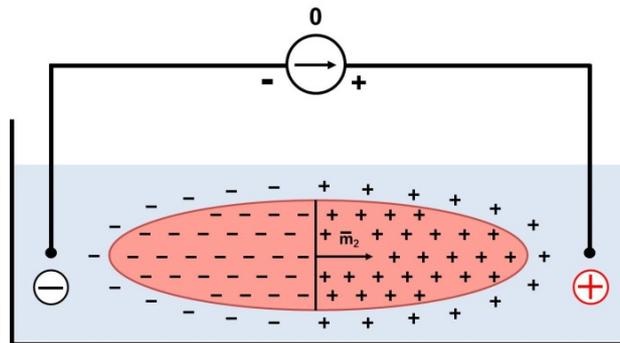
**Figura 13.** Representação da fibra totalmente polarizada.

A linha imaginária que une os dois eletródios na Figura 14 representa a derivação onde o vetor  $\bar{m}_1$  está projetado com amplitude máxima.



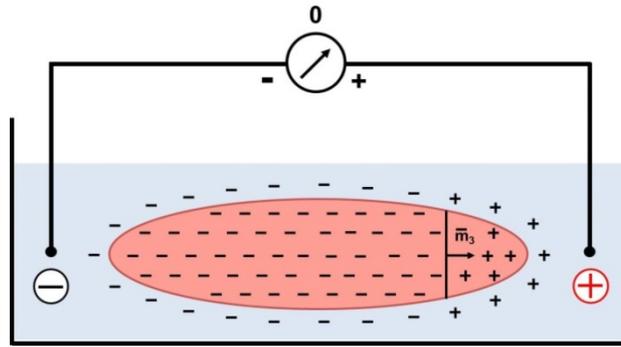
**Figura 14.** Representação do vetor resultante de fibra parcialmente despolarizada.

Na Figura 15  $\bar{m}_2$  é projetado, também, maximamente, só que o vetor tem amplitude  $> \bar{m}_1$  (representado na Figura 12), devido à maior frente de onda que o gerou.

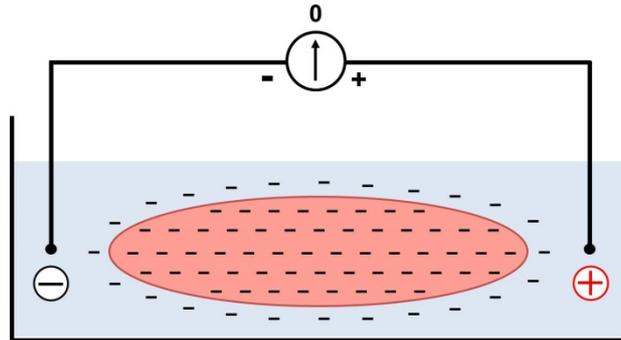


**Figura 15.** Representação do vetor resultante de fibra parcialmente despolarizada com frente de onda máxima.

Na Figura 15 o vetor  $\bar{m}_3$  - que poderá ter a mesma amplitude de  $\bar{m}_1$  - é, também, projetado maximamente sobre a linha de derivação. Somente que terá a mesma amplitude de  $\bar{m}_1$ .



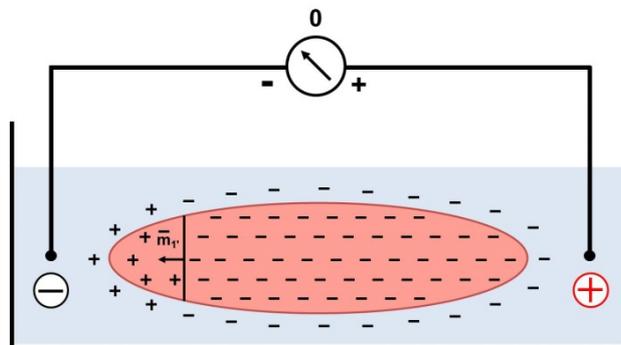
**Figura 16.** Representação do vetor resultante de fibra parcialmente despolarizada com frente de onda de mesma amplitude que na Figura 12.



**Figura 17.** Representação da fibra totalmente despolarizada.

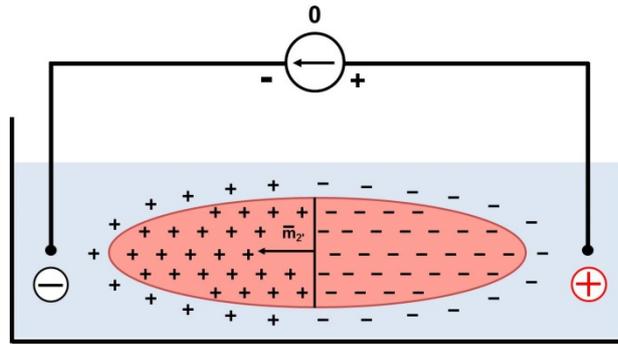
Considerando-se as Figuras 14, 15 e 16, nota-se que  $\bar{m}_1 = \bar{m}_3$  e  $\bar{m}_2 > \bar{m}_1$  e  $> \bar{m}_3$ .

O processo se continua, agora, após a despolarização total da fibra (coração) com o processo de repolarização, o qual é um fenômeno oposto à despolarização.

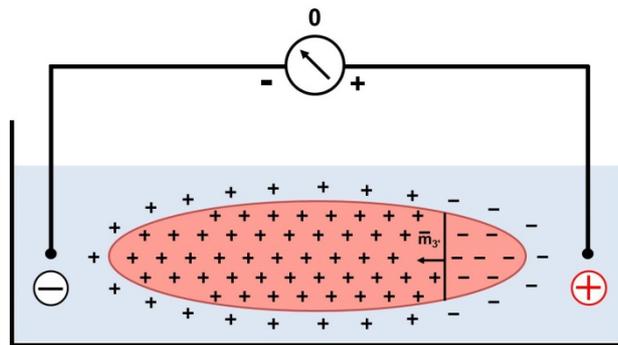


**Figura 18.** Representação do vetor resultante de onda de repolarização.

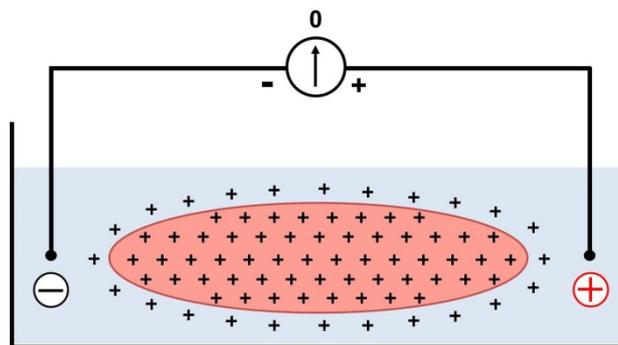
Assim, sucessivamente, temos os vetores  $\bar{m}_{2'}$  e  $\bar{m}_{3'}$  (Figuras 19 e 20). Quando a fibra (coração) se repolarizar totalmente, não haverá mais nenhum vetor resultante (Figura 21).



**Figura 19.** Representação do vetor resultante de fibra parcialmente repolarizada com frente de onda máxima.



**Figura 20.** Representação do vetor resultante de fibra parcialmente repolarizada com frente de onda de mesma amplitude que na Figura 12.

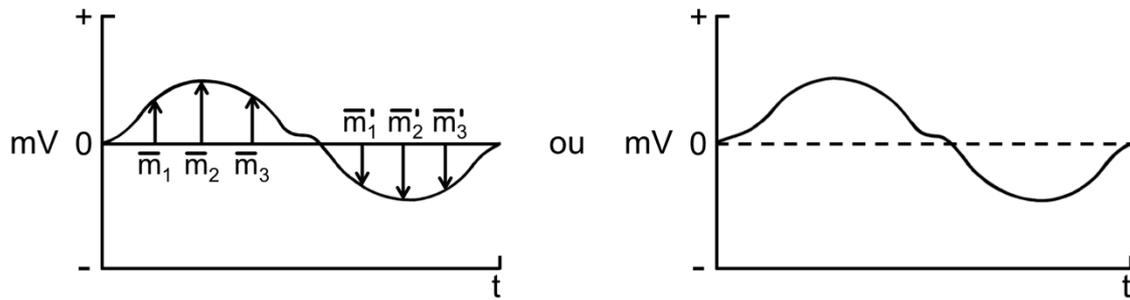


**Figura 21.** Representação da fibra totalmente repolarizada.

Chama-se atenção para o fato de que, tanto na despolarização (vetores  $> 0$ ), quanto na repolarização (vetores  $< 0$ , devido à orientação oposta) os vetores se iniciam com pequeno módulo (amplitude), atingem um máximo e depois, gradualmente, diminuem até zero.

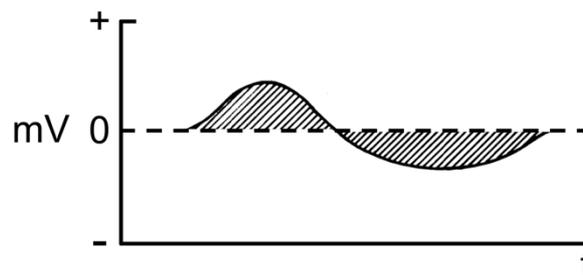
A forma escolhida para a fibra (coração), nos exemplos acima, foi proposital para que o frente de onda, que se traduz pelo vetor, se inicie pequena, atinja um máximo e volte à zero. Isto também é válido para a repolarização, somente que a polaridade é invertida.

O registro escalar (voltagem  $\times$  tempo) em um sistema qualquer está representado na Figura 22.



**Figura 22.** Registro escalar dos processos de despolarização e repolarização.

Na prática os fenômenos de despolarização e repolarização da fibra cardíaca, devido à sua evolução temporal, não são simétricos. Logo, a representação acima é didática, mas o correto seria a representação da Figura 18.



**Figura 23.** Registro escalar dos processos de despolarização e repolarização mostrando a assimetria das formas de ondas dos referidos processos.

Chama-se atenção para o fato de que as áreas de despolarização e repolarização são, necessariamente, iguais porque as mesmas cargas estão envolvidas em ambos os processos (despolarização e repolarização).

É importante lembrar que o potencial de ação do músculo cardíaco é composto por cinco fases descritas, brevemente, abaixo.

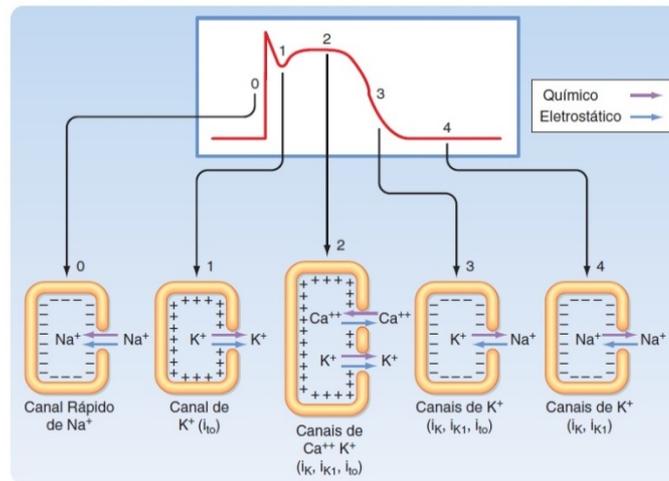
**Fase 0 (despolarização rápida):** Ambas as forças, eletrostáticas e químicas, favorecem a entrada de  $\text{Na}^+$  na célula pelos canais rápidos de  $\text{Na}^+$  para gerar a despolarização.

**Fase 1 (repolarização transitória e rápida):** Ambas as forças, eletrostáticas e químicas, favorecem o efluxo de  $\text{K}^+$  pelos canais  $i_{K1}$  gerando a repolarização parcial inicial.

**Fase 2 (platô):** Durante o platô, o influxo efetivo de  $\text{Ca}^{++}$  pelos canais de  $\text{Ca}^{++}$  é balanceado pelo efluxo de  $\text{K}^+$  pelos canais  $i_K$ ,  $i_{K1}$  e  $i_{to}$ .

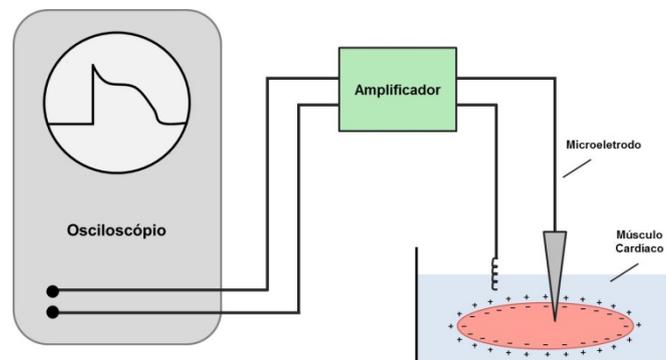
**Fase 3 (repolarização tardia):** As forças químicas que favorecem o efluxo de  $\text{K}^+$  através dos canais  $i_K$ ,  $i_{K1}$  e  $i_{to}$  predominam sobre as forças eletrostáticas que favorecem o influxo de  $\text{K}^+$  pelos mesmos canais.

**Fase 4 (repouso):** As forças químicas que favorecem o efluxo de  $\text{K}^+$  pelos canais  $i_K$  e  $i_{K1}$  excedem apenas ligeiramente as forças eletrostáticas que favorecem o influxo de  $\text{K}^+$  pelos mesmos canais.



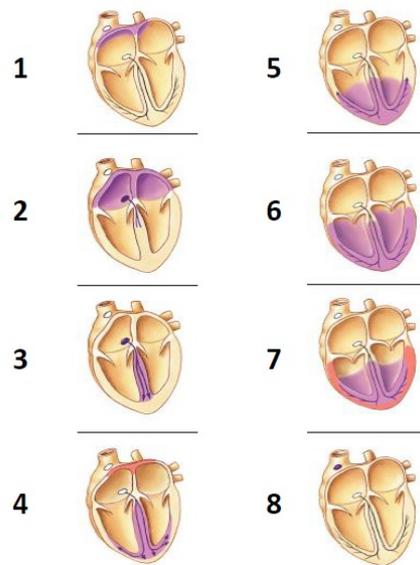
**Figura 24.** Principais correntes iônicas e canais que geram as várias fases do potencial de ação na célula cardíaca (Berne e Levy, 6ªEd).

O potencial transmembrana no miocárdio pode ser medido utilizando-se dois eletrodos. Um eletrodo que pode ser inserido em uma célula miocárdica sem lesá-la e outro que é o eletrodo de referência (mantido no meio onde se situa o tecido em estudo, cujo potencial é convenicionado como zero). Quando ambos os eletrodos estão mergulhados na solução fisiológica que banha o tecido, não se detecta diferença de potencial entre eles. Ao se introduzir o microeletrodo na célula ventricular, registra-se  $-90$  mV, sendo este o potencial de repouso. A Figura 25 mostra o registro obtido quando o miocárdio é estimulado, correspondente a um potencial de ação típico de célula miocárdica ventricular.



**Figura 25.** Registro do potencial de ação obtido quando o miocárdio é estimulado, correspondente a um potencial de ação típico de célula miocárdica ventricular.

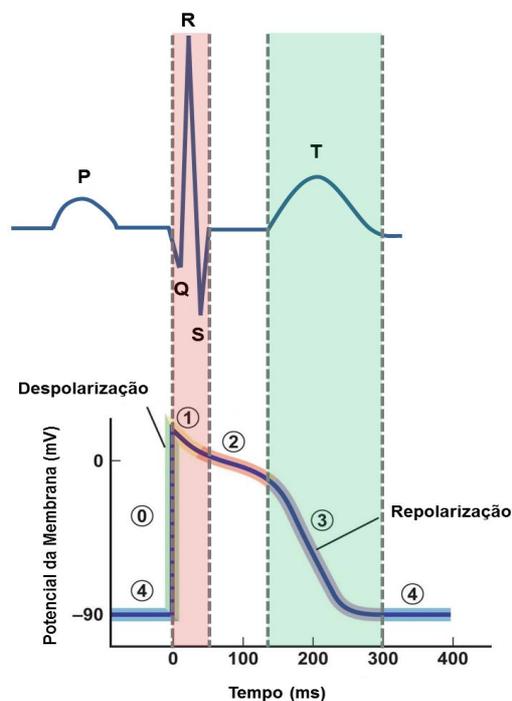
Além disso, como mostra a figura 26, a excitação do coração ocorre normalmente de forma ordenada, da base em direção ao ápice, o que permite o bombeamento efetivo do sangue. Essa excitação ordenada ocorre pelo sistema de condução do coração. O nódulo sinoatrial é o marcapasso do coração e inicia a distribuição dos potenciais de ação pelos átrios. Essa distribuição da excitação alcança o nódulo atrioventricular, onde a condução é retardada de tal sorte que a contração atrial possa ocorrer e os ventrículos sejam adequadamente encheidos. A excitação, em seguida, se espalha rapidamente pelos ventrículos, via fibras de Purkinje, de forma que os miócitos ventriculares possam contrair coordenadamente.



**Figura 26.** Sequência temporal da despolarização do coração. A propagação da onda de excitação é representada pela coloração roxa (autor desconhecido).

O registro eletrocardiográfico reflete a soma total dos eventos elétricos associados com a excitação cardíaca. Ele se deve ao fato de que o corpo humano funciona como um volume condutor, facilitando o registro destes eventos internos, por eletrodos posicionados na pele.

A figura abaixo compara os eventos de um eletrocardiograma (ECG), registrado na superfície do corpo, com a atividade de uma fibra miocárdica, registrada através de um microeletrodo intracelular. O complexo QRS (o ECG será explicado a seguir) sinaliza o momento da despolarização, ou seja, da ativação da célula miocárdica, e a onda T coincide com o processo de repolarização.



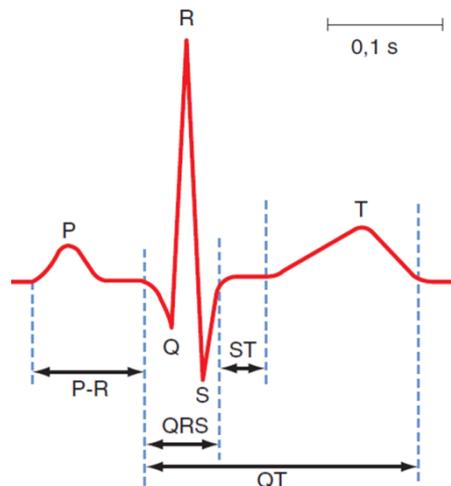
**Figura 27.** Eventos de um eletrocardiograma normal correlacionados com a atividade da fibra miocárdica. Os números de 0 a 4 representam as cinco fases do potencial de ação do músculo cardíaco.



### 3. O ELETROCARDIOGRAMA (ECG)

A atividade elétrica do coração é registrada através do eletrocardiógrafo, em um papel termosensível, com dimensões padronizadas. As linhas verticais representam amplitude (milivolts), e as linhas horizontais, tempo (segundos). A velocidade do papel é padronizada em 25 mm/s. A sensibilidade do galvanômetro é estabelecida de maneira que, 1 mV resulte em uma deflexão da pena registradora de 10 mm. O intervalo entre 2 linhas verticais é 0.04 s, e entre 2 linhas horizontais é 0.1 mV.

No ECG o período refratário absoluto dos ventrículos inclui: QRS, ST e as primeiras porções da onda T. O alargamento ou encurtamento do ST geralmente se associa com o alargamento ou encurtamento do período refratário absoluto, respectivamente.



**Figura 28.** Registro eletrocardiográfico normal (Berne e Levy, 6ªEd).

A figura acima é um registro eletrocardiográfico normal de um ciclo cardíaco, obtido através da derivação II (eletrodo da perna esquerda positivo x eletrodo do braço direito negativo – descrito a seguir).

Este registro foi ampliado, a fim de facilitar o reconhecimento de algumas fases importantes do eletrocardiograma, definidas a seguir:

- **Onda P:** apresenta pequena magnitude e representa a despolarização dos átrios.
- **Onda Q:** representa a despolarização do septo.
- **Onda R:** representa a despolarização dos ventrículos direito e esquerdo, com maior magnitude do esquerdo.
- **Intervalo PR:** intervalo que vai do início da ativação atrial, até o início da ativação ventricular; normalmente dura de 0.12 a 0.20s, e uma fração considerável do mesmo envolve a passagem do impulso através do nódulo AV. Representa a repolarização dos átrios.
- **Onda S:** representa a despolarização das porções próximas à base do coração (últimas a serem despolarizadas).
- **Onda T:** representa a repolarização dos ventrículos.
- **Segmento ST:** representa o intervalo entre o final da onda S e o início da onda T; em condições normais, repousa no segmento isoelétrico. Durante este intervalo os ventrículos estão despolarizados.
- **Intervalo QT:** Medido do início do complexo QRS até o final da onda T. Varia inversamente com a frequência cardíaca devido, em parte, ao encurtamento da duração do potencial de ação das



fibras miocárdicas durante o aumento da frequência cardíaca.

- Ponto J: ponto de junção do QRS com o segmento ST.
- Intervalo TQ: intervalo que vai desde o final de T até o início do QRS (ciclo seguinte).
- Linha isoelétrica: é a linha de base; é o ponto de início das ondas do ECG.

### 3.1. DERIVAÇÕES ELETROCARDIOGRÁFICAS

#### 3.1.1 Derivações Clássicas de Einthoven ou Derivações Bipolares

Em 1901 Willem Einthoven (Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1924) demonstrou a possibilidade do uso clínico da eletrocardiografia. Ele idealizou e foi responsável pela padronização das 3 derivações dos membros (**DERIVAÇÕES CLÁSSICAS**) e introduziu o conceito do triângulo para os eixos elétricos do coração.

As hipóteses de Einthoven envolvem as seguintes pré-suposições:

1. Os membros superiores e inferior esquerdo, representados por **BD** (braço direito), **BE** (braço esquerdo) e **PE** (perna esquerda), formam os vértices de um triângulo equilátero, cujo centro é o coração.
2. Os tecidos corporais e líquidos formam um volume condutor homogêneo.
3. As forças elétricas resultantes da ativação cardíaca podem ser representadas por um vetor situado no centro do triângulo.
4. As derivações bipolares fornecem um registro escalar da variação do potencial no plano frontal do corpo.

**Características do vetor: amplitude (módulo), direção e sentido.**

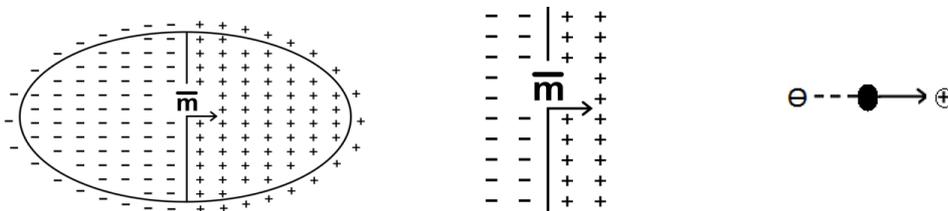
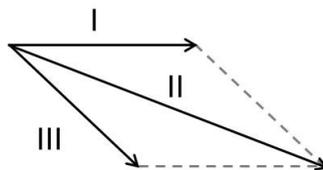


Figura 29. Conceito de vetor por meio de um dipolo elétrico.

**Regra do Paralelogramo:**

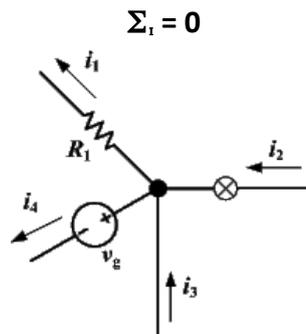


$$\Sigma R_i = \Sigma E \quad \text{ou} \quad \Delta V = RI$$

Figura 30. Representação da regra do paralelogramo.

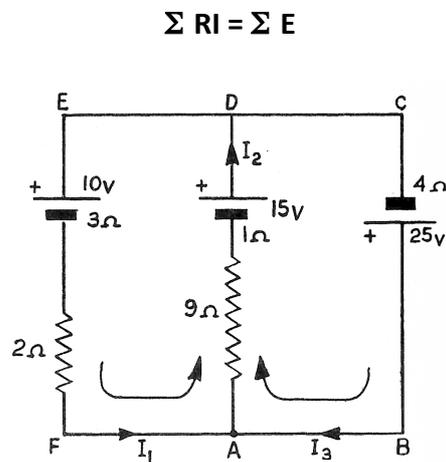


**1ª Lei de Kirchhoff** diz que “a soma das correntes que chegam a um ponto qualquer deve ser igual à soma das correntes que saem deste ponto”.



**Figura 31.** Ilustração da aplicação da 1ª Lei de Kirchhoff à análise de circuitos.

Já a **2ª Lei de Kirchhoff** diz que “a soma algébrica das **ddp** deve ser igual à soma algébrica das **fem** ao redor de qualquer caminho fechado, ao longo de um circuito”.



**Figura 32.** Ilustração da aplicação da 2ª Lei de Kirchhoff à análise de circuitos.

## TRIÂNGULO DE EINTHOVEN

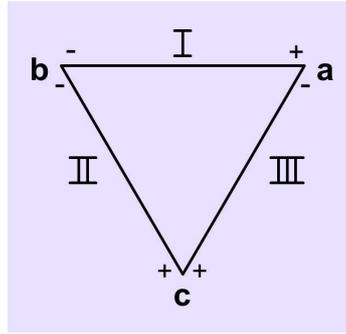
### Características:

- “Equilátero” no homem;
- Meio homogêneo, indefinido e isotrópico;
- Linha de derivação; linha que une os 2 eletrodos;
- A distância da linha de derivação aos eletrodos permite que o coração possa ser interpretado como um ponto situado no centro do triângulo, ou seja, no centro da derivação; os vetores se originam no centro do triângulo e terminam em uma linha perpendicular à linha de derivação; a linha de derivação “vê” a projeção do vetor sobre ela;
- Vetor perpendicular à derivação é nulo; paralelo é máximo;
- As polarizações estabelecidas por Einthoven fazem com que os principais fenômenos elétricos deem deflexões positivas no ECG, em condições normais, no homem;
- $DII = DI + DIII$ : de acordo com a 2ª Lei de Kirchhoff ( $AV = R.I$ ), ou seja, a soma vetorial de  $DI + DIII = DII$ .

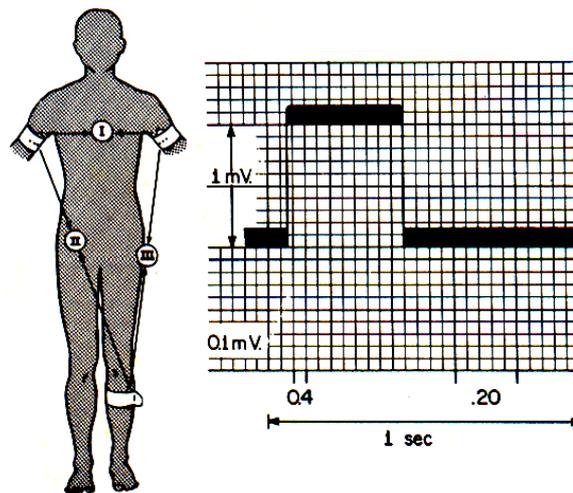
As derivações padrões são definidas como na Figura 27 e a disposição dos eletrodos para o



registro das derivações clássicas são representados na Figura 28.



**Figura 33.** Representação esquemática das 3 Derivações Clássicas de Einthoven (I, II e III). Onde: a = braço esquerdo, b = braço direito, c = perna esquerda, I =  $V_{ab}$ , II =  $V_{cb}$ , III =  $V_{ca}$ .



**Figura 34.** Disposição convencional dos eletrodos para o registro das derivações eletrocardiográficas padrão (Scher, 1974).

Aplicando-se a 2ª lei de Kirchhoff, tem-se:

$$V_{ca} + V_{ab} = V_{cb}$$

Isto porque, **b** é sempre negativo, e **a** será negativo em relação a **c**, e positivo em relação a **b**; **c** é sempre positivo.

Logo,

$$V_{II} = V_I + V_{III}$$

ou, simplesmente,

$$D_{II} = D_I + D_{III}$$

A qual é a “LEI DE EINTHOVEN”

A Lei de Einthoven estabelece:

**“A cada instante da ativação ou despolarização cardíaca, a soma algébrica dos potenciais das derivações I e III é igual ao potencial da derivação II”.**

Na realidade isto é derivado da observação de que os potenciais nas extremidades do triângulo,



segundo a polarização definida pelo Einthoven é igual a zero, ou seja:

$$V_{ca} + V_{ab} = V_{cb}$$

$$\text{Ou } (c - a) + (a - b) = (c - b)$$

$$c - \cancel{a} + a - \cancel{b} = c - b$$

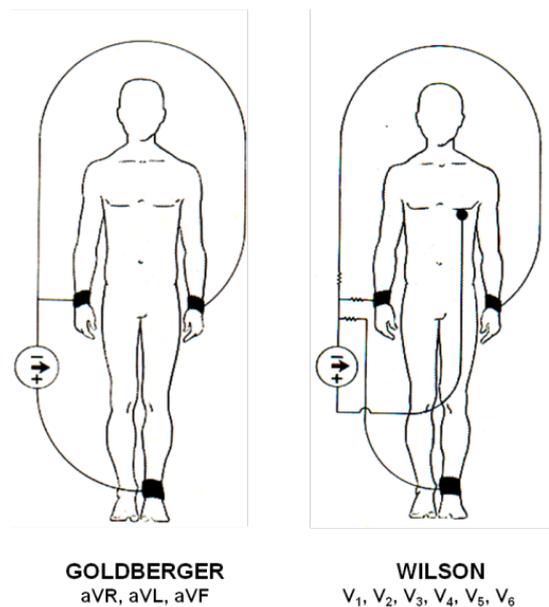
$$\cancel{c} - \cancel{c} = \cancel{b} - \cancel{b}$$

$$0 = 0$$

### 3.1.2 Derivações Unipolares Aumentada dos Membros

Nesse tipo de registro, dois dos membros são conectados ao terminal negativo do eletrocardiógrafo por meio de resistências elétricas, e o terceiro membro é conectado ao terminal positivo. Quando o **terminal positivo** está no **braço direito**, a derivação é denominada **aVR**; quando está no **braço esquerdo**, **aVL**; e quando está na **perna esquerda**, **aVF**.

Visando estabelecer o potencial elétrico absoluto de cada extremidade do corpo, Wilson, em 1934, desenvolveu um dispositivo, cujo potencial elétrico é nulo, que pode ser considerado um "terra virtual", denominado central terminal de Wilson. Portanto, registrando-se a diferença de potencial entre qualquer ponto da superfície corporal e a central terminal de Wilson, consegue-se um registro unipolar (Figura 29), ou seja, o potencial captado pelo eletrodo explorador é igual à variação absoluta do potencial elétrico daquele local. O ponto de potencial nulo é conseguido pela ligação dos três eletrodos conectados aos membros em um nó comum do circuito elétrico, obtendo-se assim um sistema fechado.



**Figura 35.** Conexões para registros unipolares (Scher, 1974).

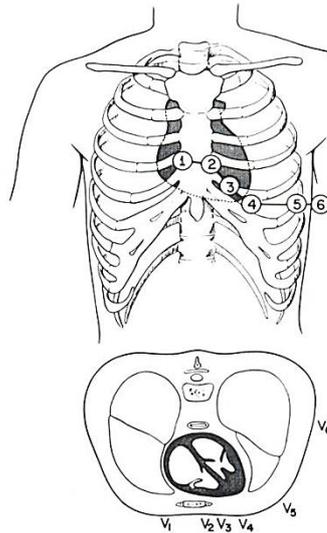
### 3.1.3 Derivações Unipolares Precordiais

O eletrocardiograma convencional é complementado pelo registro de seis outras derivações unipolares, em que a entrada negativa do amplificador é conectada a um ponto de potencial nulo e a positiva ao eletrodo explorador, o qual deve ser posicionado em seis posições específicas da região precordial, conforme mostrado na Figura 36. Os registros assim obtidos denominam-se derivações unipolares precordiais, que são numeradas de **V1 a V6**. Desta maneira, quando uma onda de despolarização se aproxima do eletrodo explorador, este irá registrar uma onda positiva (deflexão para cima na linha de registro). Ao contrário, será registrada uma onda negativa quando a onda de despolarização se afasta da posição em que está localizado o eletrodo explorador.



Os locais onde deve ser posicionado o eletrodo explorador para registro das derivações unipolares precordiais são definidos a seguir:

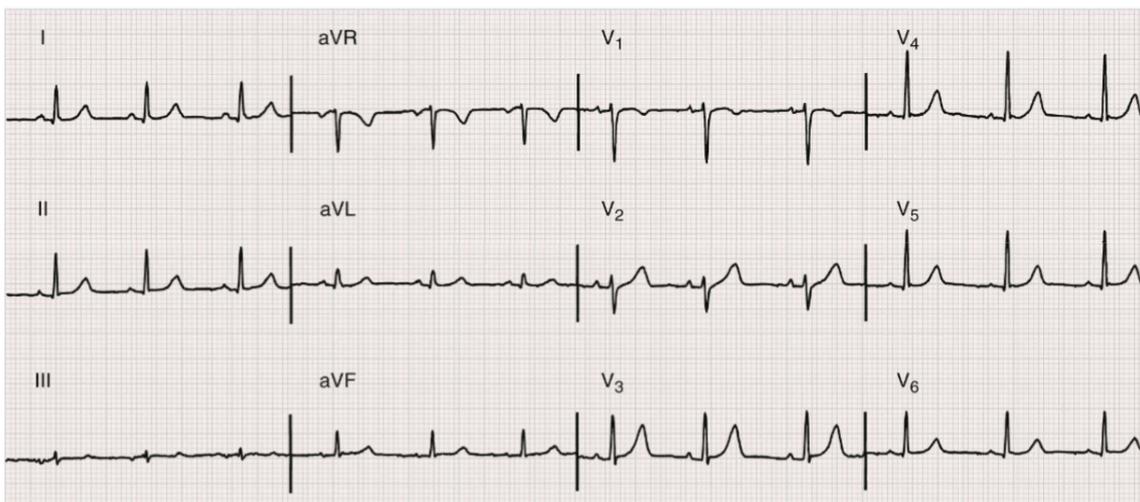
- V1** - quarto espaço intercostal, junto à borda direita do esterno;
- V2** - quarto espaço intercostal, junto à borda esquerda do esterno;
- V3** - no ponto médio entre V2 e V4;
- V4** - quinto espaço intercostal, sobre a linha hemiclavicular esquerda;
- V5** - quinto espaço intercostal, na altura da linha rutilar anterior esquerda;
- V6** - quinto espaço intercostal, na altura da linha rutilar média esquerda;



**Figura 36.** Posicionamento dos eletrodos na região precordial para o registro das derivações unipolares precordiais. Os números de 1 a 6 representam o local dos eletrodos (V1 a V6) (Scher, 1974).

Resumindo, a Figura 37 mostra o eletrocardiograma registrado a partir das 12 derivações:

- 3 bipolares clássicas (DI, DII e DIII)
- 3 unipolares (aVR, aVL e aVF)
- 6 no plano transversal (V1, V2, V3, V4, V5 e V6)



**Figura 37.** Eletrocardiogramas normais registrados pelas 12 derivações (bipolares clássicas, unipolares aumentadas e precordiais) (Mirvis and Goldberger, 2012).



## ROTEIRO PARA AULA PRÁTICA

### 1. ANÁLISE DO ELETROCARDIOGRAMA

#### PROCEDIMENTOS PRÁTICOS.

Registre o ECG de um colega, por meio do equipamento **PowerLab** (*ADInstruments, Sydney, Austrália*). Utilize as 3 derivações clássicas de Einthoven (I, II, III). Tenha presente que a velocidade do registro eletrocardiográfico é realizada com velocidade de 25 mm/s e calibração da amplitude de deflexão de 1 cm/mV.

Anote os seguintes dados do colega: nome, idade, sexo, peso, altura e tipo físico (longilíneo ou brevilíneo).

Após o registro das derivações I, II e III com o indivíduo na posição supina observe a regularidade das ondas P, complexo QRS e onda T. Por meio dos picos da onda R calcule a frequência cardíaca de repouso, contando o número de picos em 15 segundos e multiplicando por 4. Como está a frequência cardíaca de seu colega?

Examine, agora, as ondas P. Estão sempre presentes? Ondas P normais são pequenas, com um contorno delicado, e positivas nas 3 derivações. Elas indicam que o marca-passo cardíaco se situa no nódulo SA.

Examine o complexo QRS em cada derivação. Observe a relação da onda P com o QRS.

Por meio da derivação III, meça o intervalo PR, o qual, normalmente, não deve exceder 0.20 s. Um intervalo P-R prolongado indica um retardo anormal na condução do impulso do nódulo SA para, e, através do nódulo AV.

Usando a derivação II examine os complexos QRS a fim de determinar se a condução dos impulsos através dos ventrículos está normal. Meça a duração do QRS. Prolongamento do intervalo QRS além de 0.09s, geralmente indica retardo na condução dos impulsos através dos ventrículos (por ex. alteração do sistema de Purkinje).

Ainda na derivação II, examine a regularidade do ritmo. Meça a distância entre as ondas R e compare diferentes intervalos R-R. Há variação, por exemplo, com o ciclo respiratório?

Examine o segmento S-T na derivação II. Sua posição deve ser horizontal, em relação à linha isoelétrica, ou ligeiramente ascendente. Sua duração é, normalmente, 0.12 s.

Observe a amplitude e duração da onda T. Ela é, normalmente, positiva nas derivações I, II e III, e algumas vezes invertida na derivação III.

A tabela abaixo mostra os valores, na faixa normal de duração e voltagem, das diferentes fases do ECG para a derivação II:

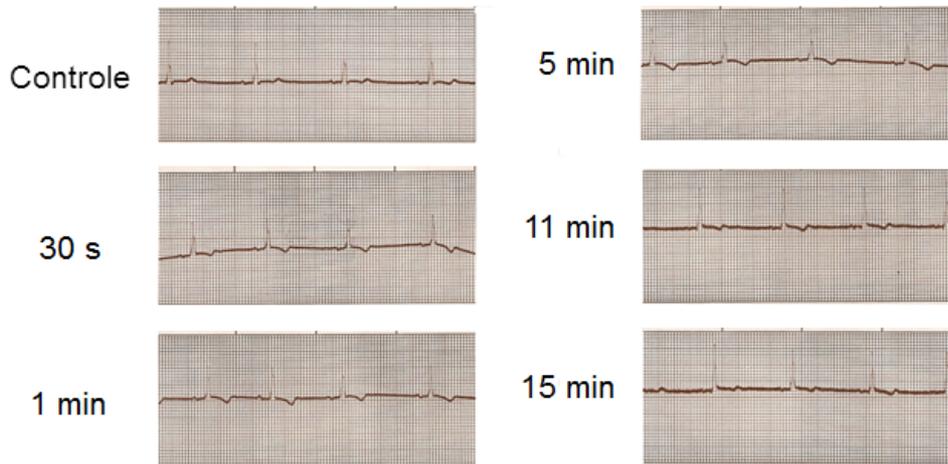
FASE	AMPLITUDE (mV)	DURAÇÃO (s)
onda P	0,2	0,08
intervalo P-R	---	0,06
segmento P-R	---	0,08
complexo QRS	0,8-1,1	0,04-0,09
segmento S-T	---	0,12
intervalo Q-T	---	0,36
onda T	0,3	0,16

### 2. ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DO ECG

#### *Alterações da onda T:*



**Teste da água gelada:** Selecione um indivíduo que tenha uma onda T pequena (0.1 - 0.2 mV), e positiva, em DIII. Usando duas derivações (DII e DIII), registre o ECG controle durante 15s, com velocidade de 25 mm/s. Peça ao indivíduo para se sentar, e beber cerca de 700 ml de água gelada (0° C). Em seguida, ele se deita e o ECG é repetido, imediatamente, até que uma alteração nítida da onda T seja observada (leva cerca de 2 min). A Figura 2, abaixo, ilustra o teste da água gelada. O que causa a alteração da forma da onda T? Por quê é mais bem observada em DIII?



**Figura 2.** Ilustração do teste da água gelada em um indivíduo normal (Derivação III).

### ***Eixo Elétrico Médio de Ativação do Coração***

O **eixo elétrico médio de ativação do coração** é o vetor resultante da despolarização dos ventrículos, calculado a partir da atividade elétrica (**QRS**) registrada em **duas derivações**. Ele é representado no triângulo de Einthoven com origem no centro do triângulo, e extremidade dada pela intersecção de duas perpendiculares correspondentes à atividade elétrica registrada pelas **duas derivações** escolhidas.

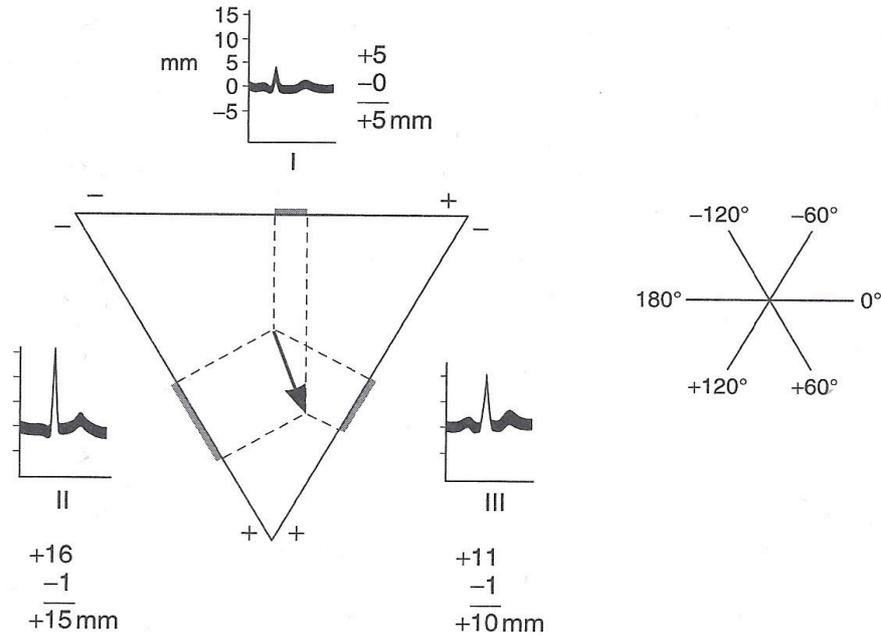
A Figura 3 ilustra o cálculo do eixo elétrico médio de ativação do coração utilizando-se, no caso, as três derivações clássicas do Einthoven (I, II e III). Ressaltando-se que duas derivações quaisquer são suficientes para tal fim.

Vale lembrar que a maioria dos autores recomenda medir, em voltagem (ou mm), a deflexão positiva - **onda R** - e a maior deflexão negativa - seja a **onda Q**, ou a **onda S**. Por outro lado, alguns autores recomendam somar as deflexões negativas (**ondas Q e S**) quando as mesmas estejam presentes. Diga-se de passagem, que ambos os métodos dão resultados semelhantes quanto à caracterização do eixo elétrico médio de ativação do coração.

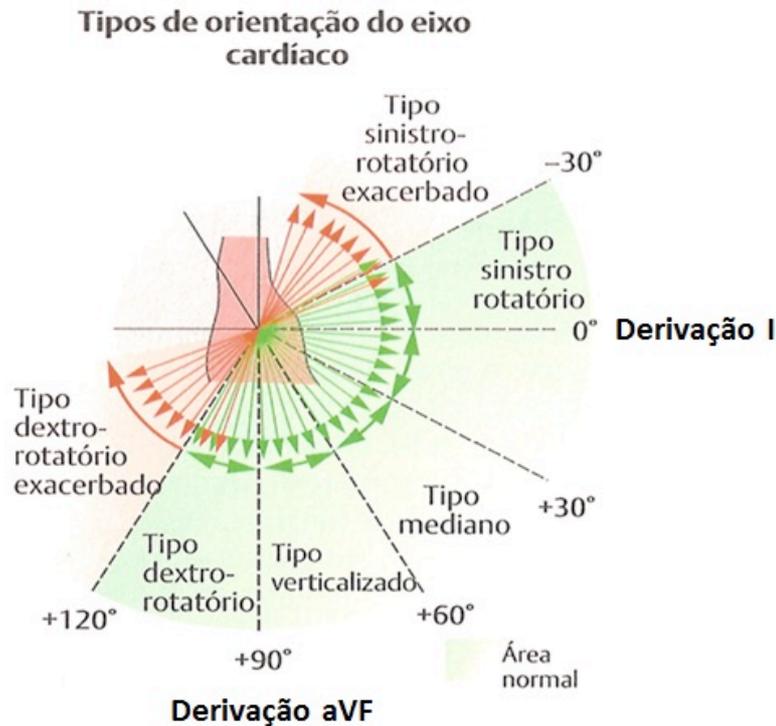
Do ponto de vista clínico, e por orientação das projeções dos vetores elétricos resultantes nos planos correspondentes, frontais, às derivações clássicas de Einthoven (I, II e III) e unipolares aumentadas (aVR, aVL, e aVF), geralmente, são utilizadas para o cálculo do eixo elétrico médio de ativação do coração a **Derivação I** (eletrodo no braço direito com polaridade negativa e no braço esquerdo positiva) e a **Derivação Unipolar aVF** [eletrodos nos braços direito e esquerdo configurando polaridade zero e na perna (tornozelo) esquerda positiva]; isto porque, as mesmas formam, entre si, quando posicionadas no centro do triângulo de Einthoven (Figura 4), um ângulo de 90°. Neste quadrante formado pelas derivações resultantes de **D1** e **aVF**, se situam os eixos elétricos médios de ativação do coração dos indivíduos normais, sejam os mesmos brevilineos ou longilineos, como ilustrado na Figura 4 a qual destaca os tipos de orientação do eixo elétrico médio de ativação do coração (eixo cardíaco) dos indivíduos brevilineos e longilineos, como



também dos indivíduos cujos eixos fogem deste quadrante normal, ou seja os dextro rotatórios (deslocam à direita) e os sinistros rotatórios (deslocam à esquerda).



**Figura 3.** Método de medição do eixo elétrico médio de ativação do coração. **BD:** Braço Direito; **BE:** Braço Esquerdo; **PE:** Perna Esquerda (Modificado de **Ganong 2000**).



**Figura 4.** Tipos de orientação do eixo elétrico médio de ativação do coração. (Silbernagl e Despopoulos, 2009)

#### **Alterações do eixo anatômico:**

Uma vez que a ponta do coração "cavalga" o diafragma, é possível mudar a posição do coração por meio de inspiração e expiração profundas.



Condições Experimentais:

- a) baixa velocidade do registro do ECG (1 mm/s)
- b) duas derivações (DI e DII)
- c) de preferência escolha um indivíduo com eixo entre  $30^\circ$  e  $60^\circ$

Manobras:

- a) ECG durante 15s com respiração normal
- b) ECG durante 15s com parada inspiratória profunda
- c) ECG durante 15s com respiração normal, novamente
- d) ECG durante 15s com parada expiratória profunda
- e) ECG durante 15s com respiração normal novamente.

Determine o eixo elétrico médio nas 3 manobras, e observe se mudaram de orientação.

### 3. PERGUNTAS ORIENTADORAS

1. Traçar o triângulo de Einthoven com as devidas polarizações. Identificar as respectivas derivações.
2. Imaginar um vetor instantâneo (de amplitude qualquer) perpendicular a DI, posicionando as projeções deste vetor em DII e DIII.
3. Calcular o eixo elétrico médio de ativação do coração.

### 4. BIBLIOGRAFIA

Cardiovascular Physiology. Ed. R. M. Berne e M.N. Levy. The C. V. Mosby Co., St. Louis, 1981.

Circulação e Respiração. Fundamentos de Biofísica e Fisiologia. Ed. A. Paes de Carvalho e A.P. Fonseca Costa. UFRJ. 1974.

Electrocardiogram. Allen M. Scher. In Physiology and Biophysics II. Circulation, Respiration and Fluid Balance. Ed. T. C. Ruch e H.D. Patton, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 1974.

Electrocardiography. D.B. Geselowitz e O.H. Schmitt, Biological Engineering, Ed. H.P. Schan, M.C. Graw – Hill Book, Co, 1969.

Fisiologia. Berne e Levy. 6ª Edição, Elsevier Editora, 2009.

Fisiologia. Margarida Aires. 4ª edição, Editora Guanabara Koogan, 2012.

Electrocardiography. D.M. Mirvis e A. L. Goldberger. In Braunwald's Heart Diseases. A textbook of cardiovascular medicine. 9<sup>th</sup> Edition. Volume 1. Elsevier Saunders, Philadelphia, PA, USA, 2012.

O registro do campo elétrico. E. Toscano Barbosa. In Fisiologia cardiovascular. Ed. Departamento de Fisiologia Cardiovascular e respiratória SBC. Fundo Editorial Byk-Prociencx, São Paulo, 1976.

The Circulation. An Integrative Physiologic Study. Ed. J.P. Henry e J.P. Meehan, Year Book Med. Publ. Inc. Chicago, 1971.

Tratado de Fisiologia Médica. Guyton & Hall. 12ª Edição, 2011.



### MÓDULO 3 CICLO CARDÍACO E HEMODINÂMICA

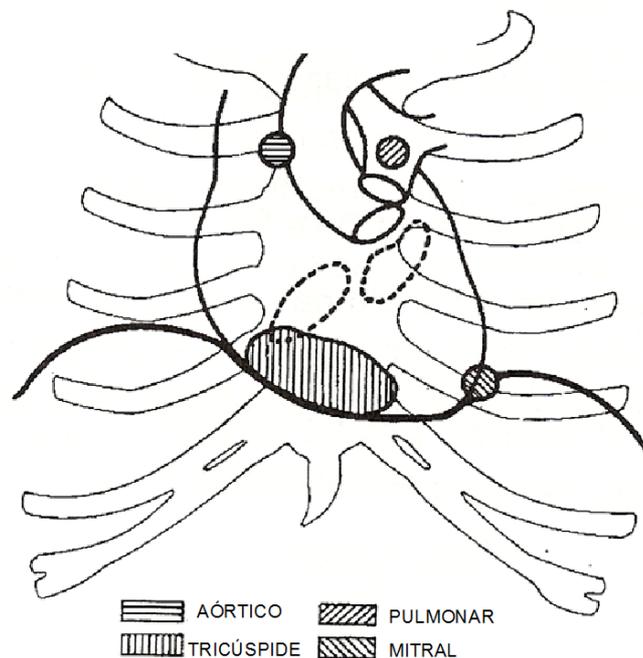
Prof. Dr. Helio Cesar Salgado

#### **Aula Prática: PRESSÃO ARTERIAL - PULSO ARTERIAL - BULHAS CARDÍACAS**

##### **INTRODUÇÃO**

A) Bulhas cardíacas - são audíveis em áreas extensas do tórax e mesmo no pescoço. Todavia, só se ouvem com nitidez na área precordial.

Examinando-se a figura 1, verifica-se que a projeção dos orifícios valvulares sobre o precórdio é favorável não só à identificação clara da primeira e da segunda bulha como, em certos casos, a dissociação dos sons resultantes do fechamento das válvulas sigmoides aórtica e pulmonar (desdobramento).



**Figura 1.** Localização dos focos de ausculta cardíaca na área precordial (Modificado de A. M. Scher. *Mechanical Events of the Cardiac Cycle. In. Physiology and Biophysics II. Circulation, Respiration and Fluid Balance. Ed. T. C. Ruch e H.D. Patton, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 1974*).

A ausculta é feita com o auxílio de um estetoscópio. Em geral, ouve-se bem a primeira e a segunda bulha; a terceira bulha e a quarta bulha – atrial - só são percebidas com clareza em adultos normais, quando se faz o registro fonocardiográfico das suas vibrações (veja nos livros os traçados fonocardiográficos). A primeira bulha tem um timbre surdo característico, intenso e grave; a segunda é mais aguda. O intervalo entre a primeira e a segunda é chamado **pequeno silêncio**, e o lapso entre a segunda e a primeira, **grande silêncio**.

Onomatopaicamente as duas bulhas são representadas pelas sílabas "**tum**" (primeira) e "**tá**" (segunda). Geralmente, ausculta-se o coração em vários pontos, denominados **focos de ausculta**.

Com a finalidade de identificar as bulhas, auscultaremos o foco mitral na região em que se observa o choque da ponta (4<sup>o</sup> ou 5<sup>o</sup> espaço intercostal esquerdo, a dois dedos distantes, medialmente, à linha hemiclavicular), e no foco aórtico (2<sup>o</sup> espaço intercostal direito,



imediatamente ao lado da borda direita do esterno).

O foco pulmonar corresponde à projeção no tórax da artéria pulmonar e está ao lado da borda esquerda do esterno, no 2<sup>o</sup> espaço intercostal. O foco tricúspide (projeção da válvula tricúspide no tórax) encontra-se sobre o esterno, na altura do ângulo interno do 5<sup>o</sup> espaço intercostal direito.

B) Pulso Arterial – Como as paredes arteriais são estruturas elásticas, o aumento da pressão na crosse da aorta, devido à ejeção de sangue durante a sístole ventricular, provoca uma deformação da parede da aorta que se propaga como uma onda ao longo de toda a árvore arterial, inclusive as arteríolas. O pulso arterial, portanto, representa a propagação periférica da distensão inicial sofrida pela raiz da aorta devido ao aumento da pressão nesse vaso durante a sístole ventricular. Esse pulso arterial sofre modificações em cada território do sistema arterial, devido às ondas refletidas que nascem nas bifurcações arteriais e também nas arteríolas.

A onda de pulso não deve ser confundida com a movimentação do sangue no interior dos vasos. O sangue ejetado do ventrículo esquerdo chega às artérias periféricas algum tempo depois da onda de pulso, pois esta se transmite pelas moléculas do líquido, e o faz mesmo que o sangue esteja imóvel: quando se faz a ligadura de uma artéria, percebe-se, claramente, a chegada de cada onda do pulso ao nível da obstrução, sem que o sangue circule no referido vaso. Não interprete, por conseguinte, o pulso arterial como devido à chegada de sangue às artérias periféricas, e nem identifique a velocidade do pulso à velocidade do sangue. Esta é cerca de 10 vezes menor que aquela.

Pode-se sentir o pulso na carótida comum (ao longo da borda medial do músculo esternocleidomastoideo), na artéria temporal superficial (a 3 ou 4 centímetros acima da extremidade órbita), na artéria humeral (internamente à margem do bíceps, próximo de suas inserções inferiores) ou, como se faz usualmente, na artéria radial, ao nível do punho, entre o rádio e o tendão do grande palmar. O punho é também chamado pulso porque é onde se pesquisa, frequentemente, o pulso arterial.

Colocando-se a polpa do indicador ou do médio sobre esses pontos, sente-se, nitidamente, o pulsar da artéria subjacente. O pulso se caracteriza por um choque breve, de início débil, que rapidamente atinge o máximo, e decresce um pouco mais lentamente.

Às vezes, ao colocar o dedo sobre a pele que recobre a artéria, o observador sente o seu próprio pulso digital. Evita-se esse inconveniente aumentando-se a superfície exploradora, ou seja, pesquisando-se o pulso com as polpas de 3 ou 4 dedos.

O estudo do pulso arterial dá informações valiosas sobre o funcionamento do aparelho cardiovascular (ritmo e frequência cardíaca, estado de elasticidade das artérias, etc.). Por meio de aparelhos adequados (os esfigmógrafos) é possível registrar as ondas de pulso (o traçado dessas ondas chama-se esfigmograma). Um pequeno botão, colocado sobre a artéria a estudar, transmite choques em um sistema inscitor registrando-os sobre uma tira móvel de papel. Conhecendo-se a velocidade do papel calcula-se não só a frequência do pulso como a duração de cada fase da onda.

C) Esfigmomanometria (medida da pressão arterial) - A pressão arterial é suscetível de ser medida indiretamente, avaliando-se a pressão que é necessária aplicar a uma artéria para vencer a pressão sanguínea e fazer cessar a circulação no seu interior.

Para se determinar a pressão arterial prefere-se o decúbito dorsal ou a posição sentada, porque a posição em pé dá valores um pouco maiores do que as reais.

Dois métodos são comumente usados:

1. Método palpatório - Por meio de um insuflador (veja figura 2), eleva-se rapidamente a pressão num manguito que envolve o braço, até uma pressão de 180-200 mmHg. Regule a válvula da pera para obter uma queda de pressão contínua e uniforme (cerca de 2-3 mmHg/segundo) e



observe o aparecimento do pulso da artéria radial (identificado previamente). A pressão do manguito no momento em que se palpa a primeira onda de pulso corresponde à pressão sistólica ou máxima. A pressão diastólica não pode ser medida por essa técnica.

2. Método auscultatório - A compressão de uma artéria transforma em turbilhonar o regime de fluxo lamelar (silencioso) do escoamento vascular do sangue observado em condições normais. Quando a pressão de compressão do vaso sobrepuja a do sangue, este deixa de circular. Diminuindo-se a pressão, gradativamente, nota-se um som claro e intenso a cada sístole ventricular, logo que o sangue volte a passar pela região comprimida. Esse som, bem audível, é produzido pelos turbilhões da coluna líquida que atravessa a porção do vaso cuja luz está diminuída pela compressão. O valor da pressão do ar no manguito, lido nesse momento, fornece a pressão sistólica. A pressão mínima – diastólica - é lida no instante em que o som se torna débil, desaparecendo em seguida, e que corresponde à tensão do manguito que é insuficiente para comprimir a artéria. Como ainda é discutido se a pressão diastólica deve ser auscultada quando notamos o abafamento, ou quando ele desaparece completamente, é aconselhável registrar ambos os valores (por exemplo: 120/80-70). Na maioria dos casos, o abafamento e o desaparecimento quase se confundem.

## **EXERCÍCIOS :**

### **Ausculda das bulhas**

1. Aplique o estetoscópio ao foco mitral de um colega e ouça as bulhas. Procure identificar a primeira e a segunda. Qual bulha é mais bem ouvida nesse foco? Note a diferença do timbre, de intensidade, e de altura que existe entre elas.

2. Ausculte o foco aórtico. Qual bulha é mais clara neste foco? Compare os sons ouvidos nesse foco com os do mitral.

3. Ausculte o foco tricúspide e o pulmonar.

4. Repita a ausculda após leve exercício (umas 15-20 flexões, por exemplo).

### **Pulso Arterial**

1. Coloque os três últimos dedos de uma das mãos sobre a artéria radial de um colega. Fazendo leve pressão, atente para o caráter do pulso normal (intensidade, duração, regularidade do ritmo).

2. Conte a frequência do pulso. Costuma-se exprimir a frequência em número de batimentos por minuto. Comumente contam-se os choques durante períodos de 15, 20 ou 30 segundos, extrapolando-se os resultados por minuto.

3. Pesquise e conte o pulso da artéria humeral e da artéria temporal superficial. Identifique o pulso da carótida comum. Simultaneamente, pesquise o pulso na carótida e na pediosa. São sincrônicos?

4. Imediatamente após um exercício (flexão das coxas sobre as pernas, 20 vezes) conte novamente a frequência cardíaca. Repita as observações.

### **Esfigmomanometria**

1. Pegue o aparelho de pressão (esfigmomanômetro), examine-o e procure saber como funciona.

2. Determine a pressão de um colega pelo método palpatório: coloque o manguito ao redor do braço, logo acima da prega do cotovelo e palpe o pulso da artéria radial. Insufle ar no manguito, e leia a pressão continuamente. No instante em que desaparece o pulso lê-se a pressão máxima. Vá, depois, soltando o ar; leia a pressão no momento em que voltar o pulso. Some os dois resultados e divida por dois. Abra completamente a válvula do insuflador para soltar todo o ar.



Repita a manobra após dois minutos.

3. Determine a pressão pelo método auscultatório. Aplique o manguito ao braço de outro colega. Palpe a artéria humeral (acima da prega do cotovelo, na margem interna do bíceps). Coloque sobre ela o estetoscópio. Não se ouve nada porque o sangue escoou em silêncio. Insufle ar no manguito até a pressão de 180-200 mmHg. Comece a soltar o ar, de forma que a pressão caia em 5 mmHg a cada segundo. Preste muita atenção ao momento em que aparece o primeiro som: leia e memorize o valor da pressão nesse momento. Quando os sons se abrandarem nitidamente, leia, também, seu valor. O maior deles representa a pressão sistólica, e o menor a diastólica. Repita a experiência. Pesquise, também, as pressões sistólica/diastólica em outros colegas do grupo. Anote todos os resultados.

Observações importantes sobre a tomada clínica da pressão arterial:

Existem fatores que podem afetar a exatidão e a estabilidade das cifras de pressão arterial por ocasião de sua medida. Entre elas incluem-se:

1. Ansiedade
2. Postura.
3. Uso de manguito-padrão em pessoas obesas.
4. Colocação errônea do manguito do esfigmomanômetro.
5. Congestão venosa devido a leituras rápidas e múltiplas.

1. A ansiedade influencia as cifras de pressão arterial elevando tanto a máxima quanto a mínima e aumentando a flutuação destas cifras em múltiplas leituras. Assim o efeito da ansiedade é reduzido repousando e tranquilizando o paciente entre as leituras, que devem ser feitas pelo menos em número de três.

2. Dependendo da atividade do reflexo compensador de alterações da pressão arterial, a posição ereta ou a posição supina podem fornecer leituras diferentes da pressão arterial. Assim a pressão arterial a ser considerada deverá ser aquela tomada na posição em que for mais baixa. Deve-se inicialmente tomar a pressão arterial com o paciente em posição supina.

3. O uso de manguito padrão em pessoas obesas (medindo-se a pressão arterial no braço) dá leituras falsamente altas tanto da pressão arterial máxima quanto da mínima. Nestas pessoas as leituras no braço serão exatas quando se usa manguito para coxa.

4. Em relação à espessura do membro utilizado, o uso de manguito muito estreito dá leituras falsamente altas e de manguito muito largo leituras falsamente baixas. Para que as leituras sejam exatas a largura do manguito deve ser aproximadamente 20% do diâmetro do membro explorado. O manguito deve ser aplicado a um membro de tal forma que fique uniformemente ajustado e completamente desinsuflado.

A pressão do manguito deve ser elevada rapidamente até 30 mmHg acima da pressão arterial máxima e, a seguir, reduzida à razão de 2-3 mmHg por batimento cardíaco.

5. Para se evitar a influência da congestão venosa, em leituras múltiplas e sucessivas, deve-se, entre as leituras, fazer com que a pressão do manguito diminua e permaneça em 0 (zero) durante vários segundos após a leitura da pressão arterial mínima.

### **Perguntas Orientadoras**

1. Represente, graficamente, e procure entender todos os eventos do ciclo cardíaco.
2. Analise cuidadosamente a relação temporal entre o eletrocardiograma e o ciclo cardíaco.
3. Descreva quais são as bulhas cardíacas, onde elas se situam no ciclo cardíaco, e quais são normalmente audíveis.



4. O que é o pulso arterial e quais são os fatores mais importantes na sua determinação?
5. Defina o que é pressão arterial sistólica, diastólica e pressão arterial média.
6. Descreva as alterações do volume de sangue nos ventrículos durante o ciclo cardíaco.

#### **BIBLIOGRAFIA**

Allen M. Scher. In Physiology and Biophysics II. Circulation, Respiration and Fluid Balance. Ed. T. C. Ruch e H.D. Patton, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 1974.



## MÓDULO 4

### CIRCULAÇÃO NOS DIFERENTES TERRITÓRIOS E TROCAS CAPILARES

Prof. Dr. Benedito H. Machado

#### Questões Orientadoras

1. Explique porque a pressão do sangue é diferente ao longo da circulação sistêmica e da circulação pulmonar?
2. Discuta os principais fatores envolvidos no equilíbrio entre a saída e a entrada de água nos capilares.
3. Discuta os fatores que determinam o retorno venoso e quais são as suas implicações no volume sistólico e no débito cardíaco.
4. Analise os diferentes fatores que podem influenciar o volume sistólico.
5. Discuta a inter-relação entre pressão, fluxo e resistência.
6. Analise a participação do débito cardíaco e da resistência periférica na determinação da pressão arterial.
7. Analise a importância das arteríolas no controle do fluxo sanguíneo para os diferentes territórios vasculares.
8. Destaque os principais mecanismos de regulação local (intrínseco) do fluxo sanguíneo.
9. Comente as principais características da circulação nos seguintes territórios vasculares:
  - a) Cerebral.
  - b) Renal.
  - c) Esquelético.
  - d) Esplâncnico.
  - e) Cutâneo.



## MÓDULO 5 MECANISMOS DE REGULAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL

Prof. Dr. Benedito H. Machado

### Questões Orientadoras

1. Comente a importância dos barorreceptores arteriais na regulação da pressão arterial. Analise o que pode ocorrer com a pressão arterial após a remoção desse sistema sensorial.
2. Explique o funcionamento dos barorreceptores arteriais.
3. Explique por que os barorreceptores arteriais não são eficientes na regulação da pressão arterial a longo prazo.
4. Descreva e explique a localização e a função dos quimiorreceptores periféricos.
5. Descreva as áreas bulbares envolvidas na regulação autonômica da pressão arterial.
6. Descreva as características eletrofisiológicas dos neurônios geradores da atividade simpática e como eles são modulados pela atividade dos barorreceptores arteriais.
7. Comente a importância do sistema nervoso autônomo simpático no controle do fluxo sanguíneo para os diferentes territórios vasculares.
8. Em situação de elevações ou quedas da pressão arterial explique as respostas autonômicas simpáticas e parassimpáticas para trazer a pressão arterial de volta ao seu nível normal.
9. Discuta os principais mecanismos de regulação da pressão arterial a longo prazo.
10. Analise a relação entre o controle do volume extracelular e a regulação da pressão arterial.
11. Destaque os principais hormônios envolvidos na regulação a longo prazo da pressão arterial.
12. Descreva uma situação fisiológica do seu dia-a-dia na qual o sistema renina-angiotensina é ativado.
13. Avalie as principais repercussões cardiovasculares decorrentes de um aumento mantido dos níveis circulantes de angiotensina II.



## MÓDULO 6

### SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E CIRCULAÇÃO

Prof. Dr. Rubens Fazan Jr.

#### 1. Variabilidade da Pressão Arterial e Frequência Cardíaca

O miocárdio, especialmente o sistema gerador e condutor de estímulos, e os sistemas arterial e venoso são modulados por um enorme número de eferências autonômicas. Igualmente grande é o número de aferências viscerais que se originam no coração e nos vasos. Desse modo, o sistema cardiovascular é capaz não apenas de realizar uma modulação fina de seu tônus autonômico basal, mas também de ajustar-se a estímulos fisiopatológicos multifatoriais.

Várias doenças cardiovasculares (isquemia miocárdica, insuficiência cardíaca, hipertensão arterial) ou sistêmicas (diabete melito) acompanham-se de maior ou menor grau de deficiência de controle autonômico cardiovascular.

A variabilidade natural de parâmetros cardiovasculares como intervalo cardíaco ou pressão arterial, reflete uma interação de diversos fatores que, em sua maioria, envolvem a influência do sistema nervoso autônomo sobre o aparelho cardiovascular - por exemplo: estresse ambiental, mudanças posturais, efeito mecânico da respiração no enchimento cardíaco, bem como modulações autonômicas sobre a resistência vascular e tônus venoso. Existe uma forte correlação entre a variabilidade da pressão arterial e/ou do intervalo cardíaco e a modulação autonômica sobre o sistema cardiovascular.

As diferenças funcionais entre os dois componentes do sistema nervoso autônomo (simpático e parassimpático) induzem diferentes padrões de variabilidade do intervalo cardíaco e/ou da pressão arterial, que são evidenciadas quando essas variabilidades são avaliadas no domínio da frequência (análise espectral). Um grande número de estudos em humanos ou animais de experimentação tem mostrado que as influências simpáticas e parassimpáticas sobre o coração e os vasos levam a padrões de variabilidade rítmica de baixa e alta frequência, respectivamente.

A grande maioria dos estudos de variabilidade cardiovascular no domínio da frequência utiliza, como ferramenta, a transformada rápida de Fourier ou abordagens paramétricas (método autorregressivo). Este último tem sido usado em estudos mais recentes, devido à sua capacidade de fornecer espectros de variabilidade a partir de séries temporais de curta duração. A decomposição de seqüências temporais de pressão arterial e/ou intervalo cardíaco, em seus componentes de frequência, requer condições de estacionariedade (estabilidade) dessas variáveis, o que às vezes limita o tamanho das séries temporais a serem utilizadas.

Em indivíduos normais, em repouso, a análise espectral mostra claramente três ritmos básicos de oscilação da pressão arterial e do intervalo cardíaco. Mais especificamente: um componente de muito baixa frequência (MBF:  $<0,03$  Hz), um componente de baixa frequência (BF: 0,03 a 0,15 Hz) e um componente de alta frequência (AF: 0,15 a 0,4 Hz).

Fatores humorais como óxido nítrico, fator natriurético atrial, catecolaminas da adrenal e, sobretudo o sistema renina-angiotensina participam na gênese da variabilidade de MBF do intervalo cardíaco e, principalmente, na pressão arterial. Por outro lado, a desnervação sino-aórtica em animais experimentais leva a um grande aumento das oscilações MBF da pressão arterial, indicando que mecanismos neurais reflexos mediados pelos barorreceptores arteriais também podem participar na modulação destas oscilações.

O componente de BF do espectro de variabilidade da pressão arterial corresponde às ondas de Mayer, e, apesar de certa controvérsia, é usualmente considerado como uma expressão da modulação simpática sobre os vasos e o coração. Estas ondas são reduzidas após bloqueio  $\alpha$ -adrenérgico e simpatectomia química. Adicionalmente, oscilações nessa faixa de frequência são observadas nos centros bulbares controladores da atividade simpática, bem como nas atividades



nervosas simpáticas periféricas, como por exemplo, na atividade simpática muscular em humanos. Mais recentemente, um mecanismo adicional mediado pelo óxido nítrico endotelial também tem sido proposto para explicar a gênese destas oscilações na pressão arterial. Entretanto ambos os componentes do sistema nervoso autônomo parecem ter importância na gênese da variabilidade de BF do intervalo cardíaco.

Os componentes AF das oscilações da pressão arterial e do intervalo cardíaco são fortemente acoplados à respiração. Há muito se conhece que um índice da modulação parassimpática sobre o coração, é a oscilação da frequência cardíaca que ocorre com a respiração (arritmia sinusal respiratória). Essa oscilação é quase que completamente abolida pelo bloqueio dos receptores muscarínicos colinérgicos em humanos, ratos e outras espécies e é síncrona com oscilações similares observadas na atividade nervosa vagal cardíaca. Assim, o componente AF das flutuações do intervalo cardíaco tem sido considerado como um índice de modulação vagal cardíaca. Já a variabilidade respiratória da pressão arterial, parece que se deve unicamente ao fator mecânico decorrente das alterações da pressão intra-pleural no enchimento ventricular e débito cardíaco.

Desse modo, apesar de uma certa complexidade e da falta de uma padronização metodológica adequada, a análise de flutuações do IC e da PA tem se tornado um crescente foco de interesse em estudos que envolvem o controle autonômico cardiovascular, não só em humanos, mas também em diversos modelos experimentais. Além do mais, o valor preditivo de risco cardiovascular de vários índices espectrais de variações do intervalo cardíaco e da pressão arterial tem sido comprovado por vários estudos clínicos. Por exemplo, registros ambulatoriais de 24 horas de pressão arterial mostraram que uma variabilidade aumentada da pressão arterial coincidiu isoladamente com um dano renal aumentado em pacientes hipertensos. Em pacientes com insuficiência cardíaca, reduções do componente BF do intervalo cardíaco parecem determinar um pior prognóstico e um risco aumentado de morte súbita. Assim, apesar do amplo debate sobre a sua interpretação fisiológica, o estudo das variações da pressão arterial e do intervalo cardíaco tem sido alvo de crescente interesse por parte de clínicos e cardiologistas.

## **Aula Prática**

**Objetivo:** Avaliar a variabilidade do intervalo cardíaco, medido por eletrocardiograma (ECG) convencional em um aluno voluntário. **Discutir:** (1) métodos de quantificação da variabilidade total do intervalo cardíaco – métodos estatísticos e geométricos; (2) métodos para identificação e quantificação de oscilações rítmicas na variabilidade do intervalo cardíaco – princípios e aplicação da análise espectral; (3) variabilidade do intervalo cardíaco em manobras onde há alteração no balanço simpato-vagal para o coração.

### **Material**

- aluno voluntário
- mesa reclinável
- eletrocardiógrafo convencional (com saída analógica)
- esfigmomanômetro
- microcomputador equipado com uma interface de conversão de sinal analógico para digital
- programa computacional para detecção do intervalo cardíaco, batimento a batimento
- programa computacional para cálculos em geral e análise espectral convencional por transformação de Fourier (planilha eletrônica tipo Microsoft Excel, Matlab, Prisma ou equivalente).

### **Protocolo**



1. Coloque o aluno voluntário confortavelmente na mesa reclinável e instale os eletrodos para registro da derivação II do ECG convencional.
2. Após um período de adaptação do aluno às condições da aula, inicie o registro do ECG em um microcomputador. O restante dos alunos deve manter silêncio durante o período de registro. Um (ou mais) aluno(s) deverá(ão) contar, minuto a minuto, a frequência respiratória do aluno que está sendo registrado.
3. Após 5 minutos de registro, peça ao voluntário que passe a respirar mais profundamente por um período de um minuto (marque no computador o início desse procedimento). Corra o papel do eletrocardiógrafo para registro em paralelo do ECG no papel e neste, anote os momentos de inspiração e expiração do aluno. Não esquecer que a frequência respiratória deve ser contada durante esse período também. Interrompa momentaneamente o registro do ECG para que o aluno voluntário possa descansar da hiperventilação. Aproveite esse intervalo para calcular e anotar a frequência respiratória contada pelos alunos.
4. Reinicie o registro do ECG (após período de descanso de 10 min.), e após 5 minutos de registro basal meça a pressão arterial do aluno voluntário. Incline subitamente a mesa para que o aluno assuma, passivamente, a posição ortostática (“tilt” teste) e repita a medida de sua pressão arterial. Marque no computador o momento do “tilt” e prossiga o registro por mais 3 minutos.

Análise dos dados obtidos: com o auxílio dos programas computacionais disponíveis, detecte as ondas R do ECG e calcule o intervalo entre ondas R adjacentes (intervalo R-R), gerando séries temporais, batimento a batimento, do intervalo cardíaco (tacogramas).

- No tacograma basal: (1) calcule o intervalo médio e observe a variabilidade apresentada pelos valores do intervalo cardíaco; (2) quantifique essa variabilidade por métodos estatísticos (variância, desvio padrão, coeficiente de variabilidade) e construa um histograma de distribuição dos valores encontrados (moda de 50 ms); (3) calcule um espectro do tacograma basal e identifique a presença de ritmos de variabilidade do intervalo cardíaco, anotando as frequências em que ocorrem. Note a relação entre a frequência respiratória contada e os ritmos de variação do intervalo cardíaco encontrados.
- Durante a respiração profunda: (1) Calcule um espectro do tacograma, nesse período e relacione os ritmos encontrados com a frequência respiratória contada durante o mesmo; (2) integre o espectro conforme descrito anteriormente e compare a magnitude da variabilidade em AF encontrada nesse período com a encontrada durante a respiração normal; (3) no registro em papel, verifique o que acontece com o intervalo cardíaco durante as duas fases da respiração profunda (inspiração e expiração).
- No “tilt” teste: (1) verifique o que acontece com o nível médio do intervalo cardíaco e da pressão arterial nessa manobra; (2) calcule um espectro de variabilidade do intervalo R-R antes e um após o “tilt” teste; (3) verifique as modificações no padrão de variabilidade do intervalo cardíaco induzidas pelo ortostatismo, calculando a razão BF/AF antes e após a manobra.

## 2. Exercício Físico

O exercício físico pode ser subdividido em duas categorias, de acordo com o maior, ou menor, envolvimento de grupos musculares esqueléticos. O exercício realizado na natação, corrida ou na bicicleta é denominado **isotônico** (rítmico, aeróbico), e tem um grande envolvimento de grupamentos musculares esqueléticos distintos. Já o exercício realizado no levantamento de peso, ou acionamento de um dinamômetro com uma ou duas mãos, é denominado de **isométrico** (anaeróbico), e tem o envolvimento de poucos grupamentos musculares esqueléticos distintos.

Os ajustes cardiocirculatórios no exercício físico ocorrem no sentido de prover um aporte sanguíneo adequado à musculatura esquelética em atividade, de acordo com as suas necessidades



metabólicas, eliminação do calor gerado pela atividade muscular e, muito importante, manter o suprimento sangüíneo para o coração e o cérebro.

A fim de que o suprimento sangüíneo à musculatura esquelética em atividade seja garantida, ocorre em ambos os exercícios, isotônico ou isométrico, um aumento do débito cardíaco decorrente de um aumento da frequência cardíaca e da força de contração do miocárdio (inotropismo) em função do aumento da atividade simpática e diminuição da atividade parassimpática. Quanto à resposta da pressão arterial ela pode ser muito diferente nestes exercícios. A vasodilatação que ocorre, em grande parte, na musculatura esquelética no exercício **isotônico** tende a reduzir a resistência periférica total, compensando o aumento do débito cardíaco e fazendo com que a pressão arterial diastólica se eleve muito pouco. Já no exercício **isométrico** o aumento do débito cardíaco não é acompanhado pela diminuição da resistência na musculatura esquelética resultando em um grande aumento tanto da pressão arterial diastólica quanto da sistólica.

Na aula prática de hoje serão realizados os dois tipos de exercícios. O **isotônico** será realizado em uma bicicleta ergométrica e o **isométrico** em um dinamômetro.

### EXERCÍCIO ISOTÔNICO (BICICLETA ERGOMÉTRICA)

Com o colega sentado na bicicleta, em repouso, e respirando normalmente, faça o registro do ECG em DII. Observe as características das ondas e anote a FC. Em seguida, interrompa o registro do ECG e meça a PA sistólica e diastólica, com o esfigmomanômetro, e anote.

Solicite ao colega que realize na bicicleta um exercício com **carga leve**, durante 3 min. Registre a FC por meio do ECG ao final (30s) do período e interrompa o registro. Porém, com o colega ainda realizando o exercício, meça, também, a PA sistólica e diastólica, e anote. Continue o exercício, agora com **carga moderada** durante 3min, e repita os registros de FC e PA sistólica e diastólica, como anteriormente, e anote. Continue o exercício, agora com **carga máxima** durante 3 min. Repita os registros de FC e PA sistólica e diastólica, como nas vezes anteriores, e anote.

Após o exercício com carga máxima, faça o registro da FC e PA durante a recuperação, ou seja, 1, 2, 4 e 6 min após o término do exercício, e anote a FC e a PA sistólica e diastólica.

durante o exercício: FC (ordenada) x 3 cargas (abcissa)

PA (ordenada) x 3 cargas (abcissa)

após o exercício: FC (ordenada) x tempo (min)

PA (ordenada) x tempo (min)

De posse dos dados obtidos antes (repouso) e durante o exercício **isotônico**, procure responder às seguintes questões:

O que ocorreu com a FC durante o exercício?

O que ocorreu com a PA sistólica e diastólica durante o exercício isotônico?

Quais foram as prováveis influências autonômicas (simpática e parassimpática) sobre a FC e PA durante o exercício isotônico?

Pergunta Orientadora

- O que você presume estar ocorrendo, durante este tipo (**isotônico**) de exercício, com outros parâmetros cardiocirculatórios tais como, débito cardíaco, inotropismo cardíaco, resistência periférica total, fluxos coronariano, cerebral, esplâncnico e renal? Como é a atuação do sistema nervoso autônomo (simpático e parassimpático) nestas respostas?



## EXERCÍCIO ISOMÉTRICO (DINAMÔMETRO)

Com o colega sentado em repouso, respirando normalmente, faça o registro do ECG em DII. Observe as características das ondas e anote a FC. Em seguida, interrompa o registro do ECG e meça a PA sistólica e diastólica, com o esfigmomanômetro, e anote. Solicite, agora, ao colega que inicie a compressão do dinamômetro e faça a compressão máxima possível. Após 30s do início da compressão do dinamômetro, reinicie o registro do ECG e meça a PA e anote. Compare os valores de FC e PA (sistólica e diastólica) em repouso, e após 30s do início do exercício. Durante a recuperação, registre o ECG e a PA (sistólica e diastólica) aos 1, 2 e 5 min após o término do exercício.

De posse dos dados obtidos antes (repouso), durante e após o exercício **isométrico**, construa os gráficos de PA (sistólica e diastólica) e FC em função do tempo e procure responder às seguintes questões:

- 1) O que ocorreu com a FC durante o exercício?
- 2) O que ocorreu com a PA sistólica e diastólica durante o exercício **isométrico**?
- 3) Quais foram as prováveis influências autonômicas (simpática e parassimpática) sobre a FC e PA durante o exercício isométrico?

Pergunta Orientadora:

- O que você presume estar ocorrendo, durante este tipo (**isométrico**) de exercício, com outros parâmetros cardiocirculatórios tais como, débito cardíaco, inotropismo cardíaco, resistência periférica total, fluxos coronariano, cerebral, esplâncnico e renal? Como é a atuação do sistema nervoso autônomo (simpático e parassimpático) nestas respostas?

### 3. Reflexo de Mergulho

O teste de resfriamento da face (TRF) com temperatura de 0°C, por exemplo, causa bradicardia e vasoconstrição periférica, reflexas, a exemplo do reflexo de mergulho. O TRF tem sido sugerido como um teste de avaliação das funções de vias autonômicas (parassimpática e simpática). O TRF é útil na avaliação da função TRIGÊMEO - VAGO - CORAÇÃO, e da função TRIGÊMEO - SIMPÁTICO - VASOMOTRICIDADE.

Devido às aferências do TRF dependerem de receptores de estiramento (intrapulmonar, por exemplo) e pressão (barorreceptores, por exemplo), este teste pode diferenciar anormalidades entre a via vago - coração e a via transdutor (barorreceptor) - aferência (vagal ou glossofaríngea).

#### Procedimento Experimental

Deixe por um período adequado (1h) duas compressas imersas em água mantida a 0°C (mistura de água e gelo).

Faça o registro eletrocardiográfico (Derivação II) de um colega, em posição supina, durante um período controle (registros periódicos de aproximadamente 10s, durante 5 minutos). A velocidade do papel deverá ser baixa. A seguir aplique as compressas bilateralmente na face, durante 40s e registre o ECG periodicamente, durante a aplicação das compressas. Após 40s, retire as compressas e continue acompanhando o ECG, periodicamente, por cerca de 2 min.

Meça os valores da frequência cardíaca, antes, durante e após o TRF e faça um gráfico plotando frequência cardíaca (bpm) x tempo (min). Interprete os resultados.



**MÓDULO 7**  
**CIRCULAÇÃO CORONÁRIA E FUNÇÃO CARDÍACA**

Prof. Dr. Benedito H. Machado

**Questões Orientadoras**

- 1- Descreva o fluxo sanguíneo coronariano esquerdo nas diferentes fases do ciclo cardíaco.
- 2- Analise as variações na resistência ao fluxo coronário que ocorre na sístole nos ventrículos direito e esquerdo.
- 3- Comente a importância dos mecanismos metabólicos no controle do fluxo coronariano.
- 4- Descreva a participação dos componentes autonômicos simpático e parassimpático na modulação do fluxo sanguíneo nas coronárias no repouso e no exercício físico.
- 5- Discuta a inter-relação entre a pressão aórtica e o fluxo sanguíneo nas coronárias esquerda e direita durante a sístole.
- 6- Numa situação de exercício físico correlacione as alterações que ocorrem na frequência cardíaca e no débito cardíaco com o consumo de oxigênio pelo miocárdio.
- 7- Compare a extração de oxigênio do sangue arterial nas coronárias com os demais territórios vasculares.
- 8- Discuta a auto-regulação do fluxo coronário.
- 9- Correlacione a espessura das paredes ventriculares esquerda e direita com os respectivos níveis de pressão ventricular na sístole e na diástole.
- 10- Analise os principais fatores locais (intrínsecos) que influenciam a resistência coronária.
- 11- Comente os principais fatores determinantes do  $MVO_2$ .
- 12- Discuta a lei de Laplace no contexto da contração das câmaras cardíacas.
- 13- Analise o significado funcional da velocidade de desenvolvimento da pressão intraventricular ( $dP/dt$ ).
- 14- Descreva os fatores que determinam o volume sistólico.
- 15- Discuta a importância do relaxamento miocárdico na função ventricular.



## MÓDULO 8

### MÓDULO 8: Aplicações dos Conceitos de Fisiologia Cardiovascular

Prof. Dr. Hélio César salgado

#### MANOBRA DE VALSALVA

**CONCEITO:** Esforço expiratório contra a glote fechada ou contra uma coluna de Hg (ou água). Determina grande aumento da pressão intrapleural e intrapulmonar.

**OBJETIVO:** Observar e explicar as alterações na pressão arterial (PA) e frequência cardíaca (FC) em função do aumento da pressão intra-abdominal.

**PARTICIPANTES:** Um voluntário para se submeter ao teste e um supervisor.

**EQUIPAMENTOS:**

1. Um registrador do ECG (eletrocardiógrafo).
2. Um registrador da pressão arterial (esfigmomanômetro) e estetoscópio.
3. Cronômetro.
4. Coluna de Hg

**PROCEDIMENTO:** Acomode o voluntário, sentado, confortavelmente. Registre o ECG e a PA periodicamente, durante 15-20 min. A seguir, solicite ao voluntário soprar em um coluna de Hg, até atingir 40 mmHg, mantendo esta pressão durante 20-30s. Neste período registre a PA e o ECG. Continue o registro da PA e do ECG por mais 5 min após o final da insuflação da coluna de Hg.

**PERGUNTAS:**

1. Qual seria o mecanismo responsável pelo aumento da PA?
2. A variação da FC precede, ou segue, o aumento da PA? Existe uma relação causa - efeito neste fenômeno?
3. Existem situações análogas desencadeadoras de respostas circulatórias semelhantes a esta?

**COMENTÁRIOS:**

Este experimento demonstra a inter-relação entre o *retorno venoso*, o *débito cardíaco*, e a PA. Após a insuflação da coluna de Hg (ou compressão da veia cava), existe um rápido aumento do *retorno venoso*, devido ao influxo de sangue ao coração (1-5 s), seguido por uma nítida queda (5-60 s) deste último *retorno venoso*. O *débito cardíaco* diminui em consequência da queda do *retorno venoso*, induzindo uma queda das pressões arteriais sistólica e diastólica. A queda da PA ativa o reflexo barorreceptor aumentando a FC. Após o término da insuflação da coluna de Hg (compressão da veia cava) este processo é revertido, e um aumento reflexo da PA pode ser observado.

Uma seqüência semelhante destes fenômenos ocorre, regularmente na tosse, defecação e levantamento de peso (Berne e Levy, 4ª Edição, 1981). Em indivíduos idosos pode levar a uma perda de consciência ao fazer esforço para a defecação, e até em jovens que associam compressão abdominal com hiperventilação.

#### TESTE DE ESTRESSE AO FRIO

**OBJETIVO:** Observar as alterações cardiovasculares causadas por um estresse ambiental.



**PARTICIPANTES:** Um voluntário para se submeter ao teste e um supervisor.

**EQUIPAMENTOS:**

1. Recipiente com água gelada;
2. Um eletrocardiógrafo;
3. Um registrador de pressão arterial (esfigmomanômetro) e estetoscópio;
4. Cronômetro;
5. Termômetro.

**PROCEDIMENTO:**

Acomodar o voluntário, sentado, confortavelmente. Registrar a pressão arterial (PA) e a frequência cardíaca (FC) por meio do eletrocardiograma (ECG), 3 a 5 vezes, num intervalo de 5 minutos. A seguir, solicitar que o voluntário imersa sua mão livre (sem o esfigmomanômetro) no recipiente com água gelada, mantendo por 1 minuto. Neste período registre a PA e a FC aos 30 e 60 segundos. Solicite ao voluntário que retire a mão da água gelada, e repita a mensuração da PA e da FC a cada minuto, até que estes parâmetros retornem aos seus valores normais.

Subtraia o valor médio das pressões sistólica e diastólica obtidas antes da imersão, daqueles obtidos durante, e após, a imersão. Isso proverá um índice da labilidade da PA.

**PERGUNTAS:**

1. Quais mecanismos neurais poderiam explicar as mudanças na PA?
2. O efeito na pressão arterial sistólica foi maior do que na diastólica? O que pode ter gerado isso?
3. As mudanças na FC são mediadas via reflexo barorreceptor? Quais evidências dão suporte à sua resposta?

**COMENTÁRIOS:**

Este experimento demonstra a labilidade na PA após um estresse ambiental. Esse teste foi sugerido como um índice de seleção de indivíduos potencialmente hipertensos, que apresentam um aumentam em 23 mmHg em ambas as pressões arteriais, sistólica e diastólica, sendo indicativo de uma hiperreatividade (*Hines and Brown, Am. Heart J. 11:1, 1936*). Esse teste já não é mais considerado como um bom teste de seleção, entretanto ele continua tendo seus defensores (*Wood et al., Hypertension 6:301, 1986*).

O aumento no volume sanguíneo ejetado tem efeito predominante na pressão arterial sistólica (ação inotrópica positiva do sistema nervoso simpático), e alterações da FC e resistência periférica total promovem o aumento predominante da pressão arterial diastólica. Devido ao o concomitante aumento da FC e da PA, as alterações da FC não são causadas pelo reflexo baroreceptor.

### **ALTERAÇÕES POSTURAIS (Tilt)**

**OBJETIVO:** Avaliar os mecanismos envolvidos no controle da pressão arterial durante alterações posturais.

**PARTICIPANTES:** Um voluntário para se submeter ao teste e um supervisor.

**EQUIPAMENTOS:**

1. Eletrocardiógrafo;



2. Esfigmomanômetro e estetoscópio;
3. Cronômetro;
4. Mesa reclinável.

**PROCEDIMENTO:**

Acomodar o voluntário, decúbito dorsal, confortavelmente na mesa reclinável. Após um período de adaptação do voluntário às condições da aula inicie um registro da pressão arterial (PA) e da frequência cardíaca (FC), 3 a 5 vezes em um intervalo de 5 minutos. A seguir, incline subitamente a mesa para que o aluno assuma, passivamente, a posição ortostática (*tilt test*) e repita as medidas da PA e FC, continuando o registro do ECG por mais 3 minutos.

**PERGUNTAS:**

1. Qual mecanismo poderia explicar as mudanças na PA e FC?
2. As mudanças na FC são mediadas via reflexo barorreceptor? Que evidências suportam sua resposta?

**COMENTÁRIOS:**

Considerável saída de sangue do tórax durante a ortostase inicia uma seqüência de eventos que reflete ambas as mudanças induzidas, mecanicamente, pela influencia da gravidade no sistema circulatório, e aquelas causadas pelos resultados de respostas reflexas neurais. Quando a postura muda subitamente, ocorre uma diminuição do volume sistólico. O aumento da FC, geralmente, não é suficiente para manter o débito cardíaco. Assim, para prevenir uma maior queda no débito cardíaco, uma significativa vasoconstrição periférica ocorre quando a posição corporal muda de uma posição supina para a ortostática elevando discretamente a PA.



## MÓDULO 9 MECÂNICA DA RESPIRAÇÃO

Prof. Dr. Davi J. A. Moraes

### Questões Orientadoras

1. Quais são os músculos envolvidos na inspiração e expiração durante o repouso e o exercício?
2. Quais são os valores normais das pressões alveolares e intrapleurais durante o ciclo respiratório? Explique por que a pressão intrapleural é menor que a pressão alveolar.
3. Desenhe a curva pressão-volume dos pulmões (diagrama de complacência). Explique a histerese da curva.
4. Considerando a lei de Laplace, explique a importância da tensão superficial na superfície do alvéolo. Discuta o papel do surfactante pulmonar na redução da tensão superficial.
5. Discuta a curva pressão-volume do pulmão, mostrando o trabalho inspiratório.
6. Explique qual é a diferença entre espaço morto anatômico e fisiológico.
7. Quais os fatores que determinam a resistência das vias aéreas?
8. Por que a resistência das vias aéreas é diminuída em altos volumes pulmonares?
9. Quais os efeitos de uma ativação simpática, ou parassimpática, sobre a resistência à passagem do ar nas vias aéreas inferiores? Justifique sua resposta considerando os neurotransmissores e receptores envolvidos.



**MÓDULO 10**  
**TRANSPORTE DOS GASES NO SANGUE**

Prof. Dr. Davi J. A. Moraes

**Questões orientadoras**

- 1- Discuta os mecanismos envolvidos no transporte de oxigênio ( $O_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) pelo sangue entre os alvéolos e as células.
- 2- Discuta qual é a pressão parcial do  $O_2$  no ar atmosférico ao nível do mar.
- 3- Qual é a capacidade de transporte de  $O_2$  dissolvido em 100 mL de sangue?
- 4- Qual é a capacidade de transporte de  $O_2$  pelas hemoglobinas contidas em 100 mL de sangue?
- 5- Observe cuidadosamente uma curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina e procure entender o significado da mesma.
- 6- Considerando a curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina, explique qual é o volume de  $O_2$  dissociado na circulação periférica para cada 100 mL de sangue.
- 7- Discuta os fatores determinantes da capacidade de difusão pulmonar do  $O_2$ .
- 8- Descreva e reflita sobre as pressões do  $O_2$  no ar alveolar, no sangue arterial e no sangue venoso.
- 9- Descreva e explique os fatores que podem deslocar a curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina para a direita com destaque para o efeito Bohr.
- 10- Descreva e explique as diferentes formas de transporte do  $CO_2$  pelo sangue.
- 11- Discuta a influência do nível de saturação de  $O_2$ -hemoglobina sobre o transporte de  $CO_2$  pelo sangue (efeito Haldane).
- 12- Considerando que o consumo de  $O_2$  de uma pessoa adulta em repouso é de 250 mL/min, estabeleça uma relação entre o débito cardíaco em repouso (~5 L sangue/min) e a dissociação de  $O_2$  para cada 100 mL de sangue.
- 13- Discuta algumas alterações que podem ocorrer na curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina numa situação de exercício físico aeróbico.



**MÓDULO 11**  
**CIRCULAÇÃO E VENTILAÇÃO PULMONAR**

Prof. Dr. Benedito H. Machado

**Questões Orientadoras**

1. Faça um esquema para caracterizar e discutir as três zonas da perfusão pulmonar, tendo como referência a artéria pulmonar.
2. Explique por que no ápice pulmonar as unidades alvéolo-capilares são melhor ventiladas do que perfundidas.
3. Qual é a região mais ventilada do pulmão? Explique a sua resposta.
4. Discuta a relação entre a ventilação e a perfusão nas diferentes zonas pulmonares. Em qual delas a troca gasosa é mais eficiente?
5. Explique por que os capilares da base pulmonar são melhor perfundidos do que os capilares do ápice pulmonar.
6. Destaque o principal motivo para que a ventilação e a perfusão pulmonar sejam diferentes nas zonas pulmonares.
7. Explique por que amostras de sangue coletadas dos capilares do ápice pulmonar apresentam uma maior saturação de oxigênio.
8. Explique por que a pressão de oxigênio no sangue arterial não é igual a pressão do oxigênio nos alvéolos.



## MÓDULO 12 TESTE DE FUNÇÃO PULMONAR

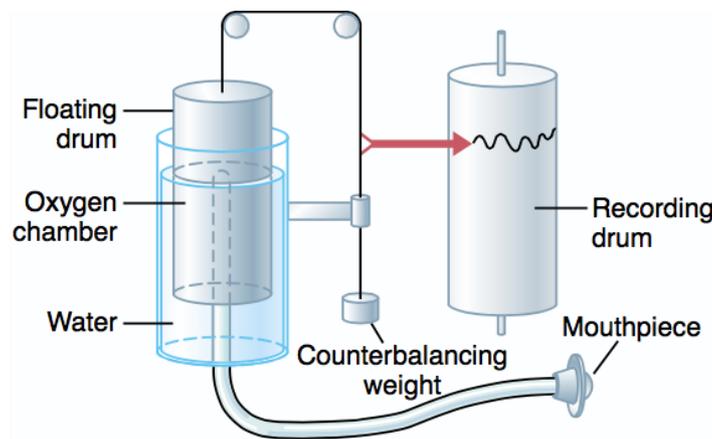
Prof. Dr. Rubens Fazan Jr.

A medida dos volumes e capacidades pulmonares, ou seja, os volumes de ar que entram e saem dos pulmões durante a atividade respiratória (normal ou forçada), é de fundamental importância na avaliação da função do sistema respiratório. Os principais métodos utilizados para realizar essas medidas são a espirometria e a pneumotacografia.

### ESPIROMETRIA

Construído por John Hutchinson (1811-1895), o espirômetro foi o primeiro aparelho usado para quantificar a função pulmonar.

Confeccionado em alumínio, o espirômetro é constituído de um reservatório contendo ar atmosférico (ou oxigênio puro), mergulhado em um compartimento com água para impedir que esse ar saia do aparelho e permitir a livre excursão do reservatório para cima e para baixo, durante a inspiração e a expiração respectivamente (Figura 1A).



**Figura 1:** Representação esquemática de um espirômetro (modificado de Guyton e Hall 10<sup>a</sup>. Edição)

O método consiste na inspiração do ar contido no reservatório através de um bocal, sendo o dióxido de carbono eliminado através de uma válvula. Através de uma pena acoplada ao reservatório, os movimentos respiratórios são registrados em um papel que passa sob essa pena inscritora. Durante a expiração, o cilindro sobe e a pena desce, marcando um gráfico em movimento. Dessa forma, o volume corrente (VC), o volume de reserva inspiratório (VRI) e o volume de reserva expiratório (VRE) podem ser mensurados. O volume total exalado é chamado de capacidade vital (CV) (Figura 2).

Entretanto, permanece nos pulmões um volume de gás após uma expiração máxima, chamado volume residual (VR). Este volume não pode ser medido com um espirômetro. Dois métodos possibilitam a mensuração deste volume, a diluição do gás Hélio (He) e a pletismografia de corpo inteiro.

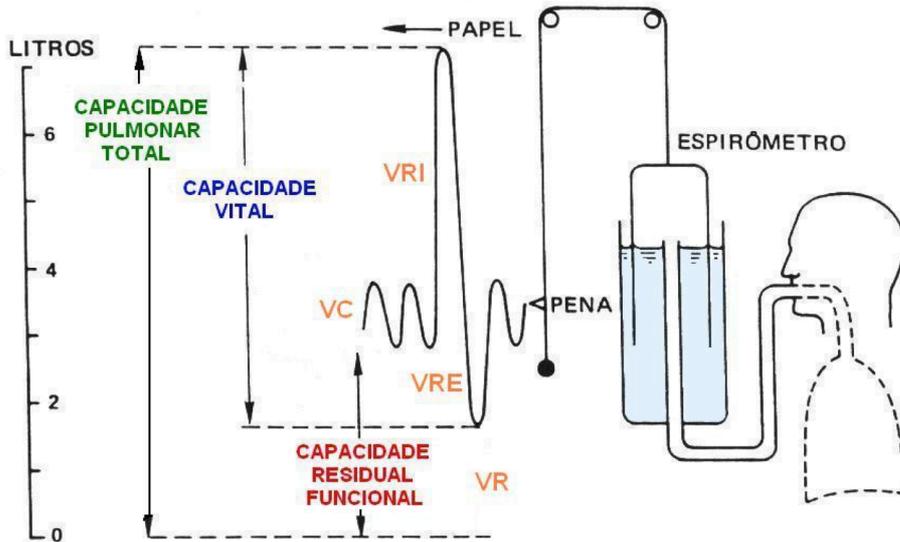


Figura 2: Volumes e Capacidades Pulmonares. Adaptado de West (1996).

A espirometria representa uma importante ferramenta na área da Fisiologia Respiratória, pois continua sendo um método altamente confiável e bastante usado para a avaliação clínica do paciente.

### PNEUMOTACOGRAFIA

O método de pneumotacografia foi introduzido pelo alemão Fleisch (1925). A medida da ventilação através desse método depende da lei de Poiseuille (1840). De acordo com essa lei, os tubos retos apresentam fluxo laminar que é dado por:

$$\text{Fluxo} = \Delta P \times (\pi r^4) / (8 \eta l), \text{ em que:}$$

$\Delta P$  = diferença de pressão, representa a diferença de pressão entre os sistemas de tubos;

$r$  = raio;

$\eta$  = viscosidade;

$l$  = comprimento do tubo

Se o conjunto de tubos e o gás utilizado forem sempre os mesmos, a equação pode ser simplificada da seguinte forma:

$$\text{Fluxo} = \Delta P / R, \text{ em que:}$$

$R$  = resistência (Compare lei de Ohm:  $I = \Delta V / R$ )

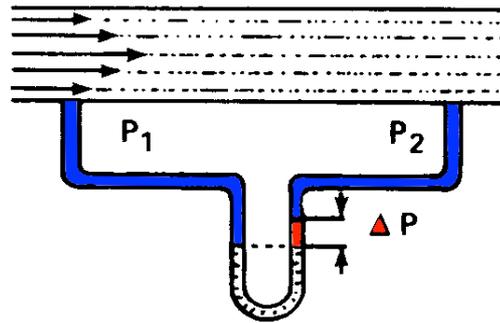
O sistema de pneumotacografia (Figura 2) consiste de um tubo com subdivisões paralelas no interior desse que servem para manter fluxos laminares de gases. A inspiração e expiração promovem alterações no gradiente de pressão do sistema. Essas alterações são medidas através de um transdutor de pressão diferencial de alta sensibilidade, conectado nos dois lados do sistema.

O pneumotacógrafo não fornece o volume corrente diretamente. Atualmente, os sistemas que processam os sinais proporcionam a visualização e a quantificação do fluxo respiratório e derivam o volume corrente expirado e inspirado. A calibração pode ser realizada passando-se, simplesmente, um volume conhecido de ar através do sistema de tubos.



**Vantagens do método:** trata-se de um sistema aberto que permite estudar respostas ventilatórias durante o exercício ou em outras condições dinâmicas. Além disso, o sistema utilizado na pneumotacografia proporciona informações instantâneas necessárias em alguns testes de função pulmonar, como por exemplo, curvas de fluxo / volume.

**Desvantagens do método:** esse método requer que a narina esteja fechada para que os ciclos respiratórios sejam realizados pela boca através de um conector. Esse procedimento pode alterar o padrão respiratório dos pacientes e dos animais experimentais.



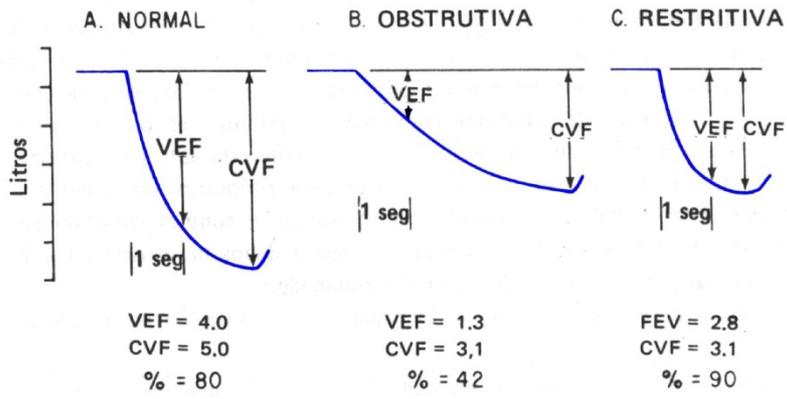
**Figura 3:** Componentes do sistema de pneumotacografia.

### TESTE DA FUNÇÃO PULMONAR (PNEUMOTACOGRAFIA)

#### **Volume expirado forçado durante um segundo ( $VEF_1$ ) comparado com a capacidade vital forçada (CVF)**

Este teste é rotineiramente usado para avaliar a função pulmonar. Os procedimentos do mesmo são quase iguais aos realizados para obter somente a capacidade vital (CV) do pulmão. Tal teste exige que um indivíduo saudável expire aproximadamente 80% da capacidade vital forçada durante um segundo. Assim, é preciso que o indivíduo inspire o volume máximo e, em seguida, faça uma expiração com o máximo de força, sendo esta tão forte e rápida quanto possível. Quando há algum tipo de doença obstrutiva a pessoa não consegue expirar 80% do volume pulmonar em 1 segundo durante a expiração forçada porque há redução do fluxo do ar expirado. Para expirar tal porcentagem o indivíduo demora mais tempo (Figura 3B). Sendo assim, o  $VEF_1$  é uma importante ferramenta na detecção de doenças como: asma e enfisema.

A figura 3 mostra o perfil da expiração forçada em um indivíduo normal (A), em um paciente com **uma doença obstrutiva (B)** e em um paciente com **doença restritiva (C)**. Nesta última, o paciente é capaz de expirar 80 a 90 % da capacidade vital durante o primeiro segundo da expiração forçada. Porém, a capacidade vital mostra-se reduzida (o volume total expirado é menor em comparação aos valores obtidos em indivíduos saudáveis).



**Figura 3:** Determinação do volume expiratório forçado e capacidade vital forçada.



**MÓDULO 13**  
**REGULAÇÃO QUÍMICA E NEURAL DA RESPIRAÇÃO**

Prof. Dr. Davi J.A. Moraes

**Questões Orientadoras**

1. Como a respiração é controlada? Quais os principais componentes desse controle?
2. Onde estão localizados os quimiorreceptores envolvidos no controle da ventilação? Quais são os estímulos específicos para estes receptores? Qual a importância relativa de cada um deles durante as alterações da  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$  e do pH no sangue arterial?
3. Descreva os grupamentos de neurônios bulbares e pontinos envolvidos na geração e no controle da atividade respiratória.
4. Observe o registro da atividade do nervo frênico e explique os mecanismos neurais envolvidos na geração da inspiração e também os mecanismos envolvidos na expiração em condições de repouso e de exercício físico.
5. Como se processa o controle respiratório do equilíbrio ácido-base? Discuta as alterações na ventilação alveolar, no pH e  $P_{CO_2}$  no sangue arterial em condições de alcalose e acidose metabólica.
6. Quais são os efeitos do exercício físico no equilíbrio ácido-base do sangue?
7. Como explicar o aumento da ventilação que ocorre no exercício físico?
8. Explique o funcionamento do reflexo de Hering-Breuer.
9. O que ocorre com a ventilação de uma pessoa quando ela se desloca para altitudes elevadas (acima de 3000 m)? Como ocorre e qual a vantagem da aclimatação desenvolvida com a permanência prolongada nessas altitudes?