

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO  
DEPARTAMENTO DE FISILOGIA  
CURSO DE CIÊNCIAS MÉDICAS**

**FACULDADE de  
RIBEIRÃO PRETO**



**FISIOLOGIA  
CARDIOVASCULAR E  
RESPIRATÓRIA  
MÓDULOS**

**2015**

## FISIOLOGIA CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIA

FACULDADE de  
RIBEIRÃO PRETO

### PROFESSORES:

BENEDITO H. MACHADO

DAVI JOSÉ DE ALMEIDA MORAES

HÉLIO C. SALGADO

RUBENS FAZAN JR.

### TÉCNICOS:

CARLOS ALBERTO AGUIAR DA SILVA

JACI AIRTON CASTANIA

LENI G. H. BONAGAMBA

MAURO DE OLIVEIRA

SCIENTIA  
TERMINUM  
AMOVERE

## MÓDULOS (\*)

- Módulo 1 – Propriedades do Músculo Cardíaco – BHM
- Módulo 2 – Bases Fisiológicas do Eletrocardiograma – HCS
- Módulo 3 – Ciclo Cardíaco e Hemodinâmica – HCS
- Módulo 4 – Circulação nos 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 Coronária e Função Cardíaca – BHM
- Módulo 8 – Aplicação dos Conceitos de Fisiologia Cardiovascular – RFJ
- Módulo 9 – Mecânica da Respiração – HCS
- Módulo 10 – Volumes e Capacidades Pulmonares – RFJ
- Módulo 11 – Transporte dos Gases – HCS
- Módulo 12 – Perfusão Pulmonar/Regulação da Ventilação – BHM

(\*)

- Aula Teórica
- Prática e/ou Vídeo
- Discussão das Perguntas Orientadoras

## AVALIAÇÕES DE CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIO

- Prova de Fisiologia Cardiovascular – 12/06 – Peso 6,0
- Prova de Fisiologia Respiratória – 22/06 – Peso 4,0
- Nota Final: Somatória das Médias das Provas de Fisiologia Cardiovascular e Fisiologia Respiratória

## MÓDULO 1

### PROPRIEDADES DO MÚSCULO CARDÍACO

#### **Aula “Prática” (vídeo): CARDIOGRAMA DE TRAÇÃO NO CORAÇÃO DE ANFÍBIO**

<http://rfi.fmrp.usp.br/~fisiocardio/Aula-Cardiograma/Roteiro-Cardiograma.htm>

Prof. Dr. Benedito H. Machado

O coração do sapo consta de um ventrículo, dois átrios e um seio venoso, no qual desembocam as veias cavas. Do ventrículo sai um bulbo arterial que se bifurca em dois vasos calibrosos: um esquerdo, que origina a carótida primitiva, esquerda, a artéria pulmocutânea (que se distribui à pele e ao pulmão por seus ramos: artéria cutânea e artéria pulmonar) e a artéria intestinal primitiva; o direito tem distribuição semelhante, mas o ramo grande toma o nome de aorta primitiva, e provê a irrigação dos órgãos urogenitais, membros inferiores, etc.

O sangue venoso desemboca, pelas das veias cavas, no seio venoso, e deste passa ao átrio direito, de onde vai ao ventrículo. O arterial vem dos pulmões e da pele, para o átrio esquerdo (a pele tem função respiratória nos anfíbios), e depois ao ventrículo.

O sangue arterial e o venoso são lançados, ambos, no ventrículo único do sapo (como dos anfíbios em geral) porém, não se misturam senão em proporções mínimas. Quando o ventrículo se contrai, o sangue passa para o bulbo arterial, também em mistura mínima, vai para os vasos periféricos e completa o circuito (há um controle de resistência nos vasos que permite a passagem do sangue venoso e o arterial em tempos diferentes, de tal modo a não se misturarem).

Na aula de hoje, serão estudados, no coração do sapo, alguns aspectos das quatro propriedades fundamentais do miocárdio: automatismo, excitabilidade, condutibilidade e contratilidade.

#### SEQÜÊNCIA:

1º. Imobilização do sapo por destruição do SNC.

2º. Abertura do tórax para expor o coração.

☞ *Com o coração em sua posição normal, e depois com ele rebatido para trás, identifique as câmaras cardíacas. Qual é a seqüência das contrações?*

**3º.** Isolamento do vago esquerdo: com o membro anterior esquerdo bem estendido, no oco axilar, por debaixo do tronco vsculo-nervoso do membro, existe um tendo nacarado. Próximo  linha mediana, por cima do tendo nacarado, nas bordas de uma massa muscular, corre um vaso e um nervo. Este  o vago. A certificao de que  mesmo o vago,  feita observando-se os efeitos da estimulao elétrica do nervo sobre a freqncia cardíaca (FC).

**4º.** O corao,  preso através de uma linha, ao migrafo que está conectado ao fisigrafo.

☞ *Identifique as deflexões do traçado com as contraes das várias cavidades.*

#### A. Automatismo

Os estímulos responsáveis pela excitao do miocárdio podem nascer em qualquer das fibras cardíacas. Existem, no entanto, certas zonas (zonas de marcapasso) com diferenciao anatmica e funcional (tecido nodal) que possuem essa propriedade de gerar estímulos (automatismo) de maneira característica, e o fazem com uma freqncia própria. A zona de automatismo que possui a freqncia mais alta, passa a comandar a ativao cardíaca, submetendo as demais fibras ao seu próprio ritmo.

A freqncia das zonas de marcapasso pode ser alterada, por modificaes dos íons, da temperatura e, especialmente, do sistema autonômico (com seus intermediários químicos, a noradrenalina e a acetilcolina).

☞ *Tente identificar onde se situa, no sapo, o marcapasso cardíaco. Para tanto, observe cuidadosamente a seqncia dos batimentos e, também, o local onde, por alterao da temperatura, se conseguem mudanças da FC.*

**5º.** Estimulao do vago com estímulos elétricos repetidos, com os seguintes parâmetros: freqncia de 50 Hz; durao de 2 ms e intensidade de 2 Volts:

a) durante 1 minuto

b) durante 2 minutos

c) indefinidamente, caso os 2 minutos não sejam suficientes, até que apareçam novamente os batimentos (escape vagal)

☞ *Por que diminui a FC quando se estimula o vago? A que se deve o escape vagal?*

**6º.** Noradrenalina: aplicao sobre o seio venoso de algumas gotas da soluço de noradrenalina.

☞ *Modificou a FC? Por qu?*

**7º.** Acetilcolina: aplicação de acetilcolina (após ter lavado o coração com Ringer e a FC ter voltado ao normal).

☞ *Modificou a FC? Por quê?*

### B. Excitabilidade

É a propriedade que tem o miocárdio de reagir (potencial de ação e contração) quando estimulado. O coração, funcionalmente, comporta-se como um sincício: ativando-se um ponto, todo o órgão responde. Cada uma das respostas às ativações regulares do marca-passo, constitui uma sístole cardíaca; quando qualquer outro ponto, que não aquele que tem a função de marca-passo cardíaco, consegue excitar o coração, a resposta extra que se origina chama-se extrassístole. Podemos estudar a excitabilidade cardíaca, verificando a possibilidade de obtenção de extrassístole, com estímulos elétricos em diferentes fases dos batimentos normais.

**8º.** Estimulação do ventrículo com estímulos isolados supramáximos (3V), por meio de eletródios nele inseridos, durante a sua contração, e na fase de relaxamento.

☞ *Quando obteve extrassístole? Que ocorreu com os batimentos normais, especialmente com a distância entre a extrasístole e o primeiro batimento normal depois dela?*

### C. Conduzibilidade

Agora já se sabe onde se localiza o marca-passo, e se sabe que por condução e ativação, o potencial de ação vai percorrer todo o coração, fazendo com que ele responda como um todo.

**9º.** Passagem de um fio grosso entre o seio venoso e os átrios de modo a interromper a condução.

☞ *O que ocorre com o batimento das cavidades cardíacas?*

**10º.** Outra ligadura entre os átrios e o ventrículo.

☞ *O que ocorre com o batimento das cavidades cardíacas?*

### D. Contratilidade

É a propriedade que tem o miocárdio de contrair-se. Funcionando o coração como um sincício, ele responde como um todo à lei do tudo-ou-nada: ou responde como uma contração total ou não responde. Isso entretanto, não quer dizer que não possa

variar a quantidade de energia conseguida por um dado batimento, ou que não possa regular a contractilidade. Vários SÃO os fatores que interferem na contractilidade: íons, a seqüência das ativações, o simpático, etc.

**11º.** Constatação da lei do tudo-ou-nada. Com a ligadura colocada entre o seio e as aurículas, e o ventrículo parado, é aplicado nele estímulos isolados com intervalos de 15 s. Inicialmente com voltagem baixa, aumentando, progressivamente, até obter resposta.

☞ *Aumentando ainda mais a voltagem (estímulo supramáximo) cresce a amplitude da contração? Por quê?*

☞ *Observe a influência da freqüência sobre a contractilidade com a aplicação de estímulos supramáximos numa seqüência rápida (cada 3 segundos). Variou a amplitude dos batimentos? O que é o fenômeno da escada? Como se explica?*

**12º.** Adrenalina: a intervalos de 15 segundos, foram obtidos 5 contrações (estímulos elétricos). Após aplicação de adrenalina no ventrículo foram repetidas outras 5 estimulações, usando os mesmos parâmetros.

☞ *Variou a amplitude das contrações? Por quê?*

### **Perguntas Orientadoras**

1. Considerando as diferentes correntes iônicas envolvidas, explique em detalhes o potencial de ação de uma célula muscular cardíaca.
2. Explique as características eletrofisiológicas de uma célula de marca-passo cardíaco levando em conta a permeabilidade da membrana e as diferentes correntes iônicas envolvidas.
3. Descreva e explique o período refratário absoluto da célula muscular cardíaca durante o potencial de ação.
4. Caracterize do ponto de vista eletrofisiológico e mecânico uma extra-sístole.
5. Comente o papel do íon  $\text{Ca}^{2+}$  na contração da célula muscular cardíaca.

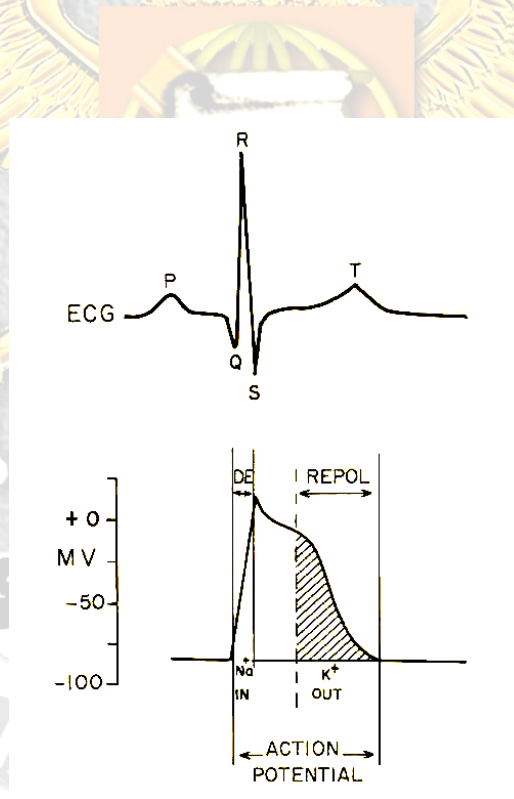
## MÓDULO 2

## BASES FISIOLÓGICAS DO ELETROCARDIOGRAMA

Prof. Dr. Hélio Cesar Salgado

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 eletródios 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 micro-eletrodo intracelular.



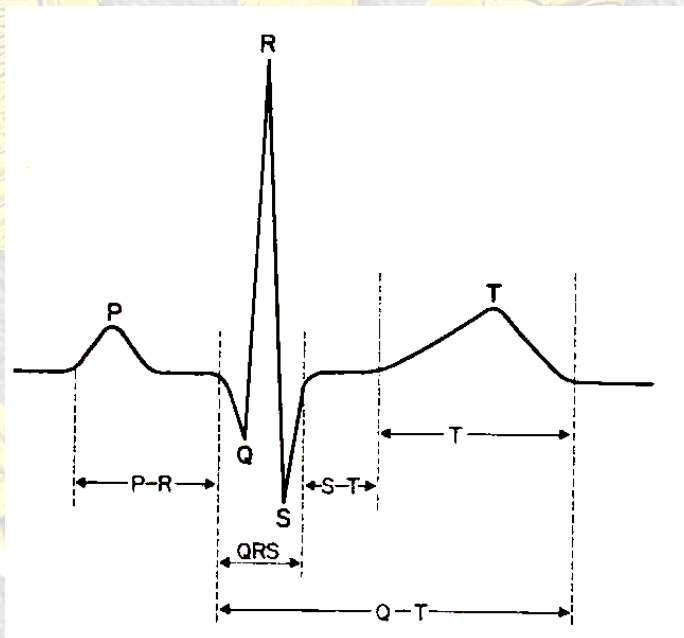
O complexo QRS (o ECG será explicado a seguir) sinaliza o momento da despolarização, ou seja, da ativação da célula miocárdica, e a onda T coincide com o processo de repolarização.



## O ELETROCARDIOGRAMA

A atividade elétrica do coração é registrada através do eletrocardiógrafo, em um papel termossensível, 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.



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).

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

**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.

**Segmento ST:** representa o intervalo entre o final da onda S e o início da onda T; em condições normais, repousa no segmento isoeletrico. 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 isoeétrica: é a linha de base; é o ponto de início das ondas do ECG.

### ANÁLISE DO ELETROCARDIOGRAMA

Registre em um colega o ECG, por meio das 3 derivações clássicas de Einthoven (I, II, III). Tenha presente que a velocidade do papel é de 25 mm/s e a calibração da amplitude de deflexão é 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. Através 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 0.09 s, 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 isoeétrica, 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 (ms)
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

## ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DO ECG

### Alterações da onda T:

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 15 s, com velocidade de 25 mm/s. Peça ao indivíduo para sentar-se, 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). O que causa a alteração da forma da onda T? Porque é melhor observada em DIII?.

### Alterações do eixo anatômico:

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

Condições Experimentais:

- baixa velocidade do eletrocardiógrafo (1 mm/s)
- duas derivações (DI e DII)
- de preferência indivíduo com eixo entre 30° e 60°

Manobras:

- ECG durante 15s com respiração normal
- ECG durante 15s com parada inspiratória profunda
- ECG durante 15s com respiração normal, novamente
- ECG durante 15s com parada expiratória profunda
- ECG durante 15s com respiração normal novamente.

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

### Perguntas Orientadoras:

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

## MÓDULO 3

## CICLO CARDÍACO E HEMODINÂMICA

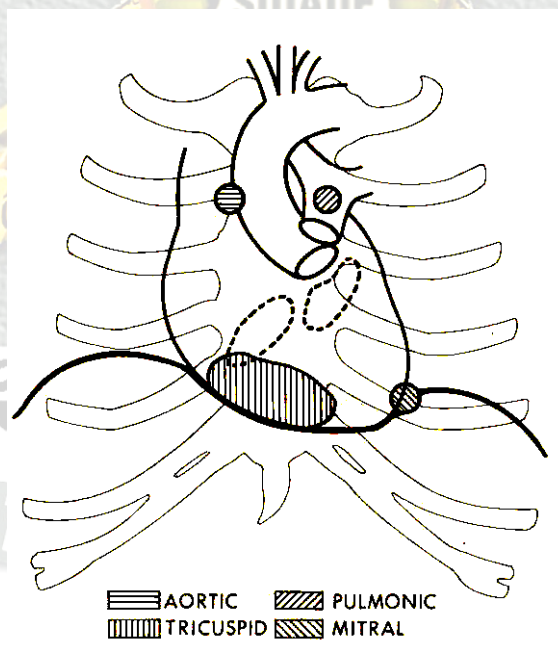
Prof. Dr. Hélio Cesar Salgado

**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 sigmóides aórticas e sigmóides pulmonares (desdobramento).



A ausculta é feita com o auxílio de um estetoscópio. Em geral ouve-se bem a primeira e a segunda bulhas; a terceira bulha e a 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, dois dedos 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 o 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 crossa da aorta (e na artéria pulmonar) devido à ejeção de sangue durante a sístole ventricular, provoca uma deformação das paredes da artéria 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 (e artéria pulmonar) devido ao aumento da pressão nesses vasos 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, 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 esternocleidomastóideo), 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, freqüentemente, 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 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 freqüência 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 inscricor registrando-os sobre uma tira móvel de papel. Conhecendo-se a velocidade do papel calcula-se não só a freqüência 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 sangüínea e fazer cessar a circulação no seu interior.

Para se determinar a pressão arterial prefere-se o decúbito dorsal ou a posição de sentado, porque a posição de 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 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 melhor 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 primitiva. 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 escoar 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 tomada. 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.

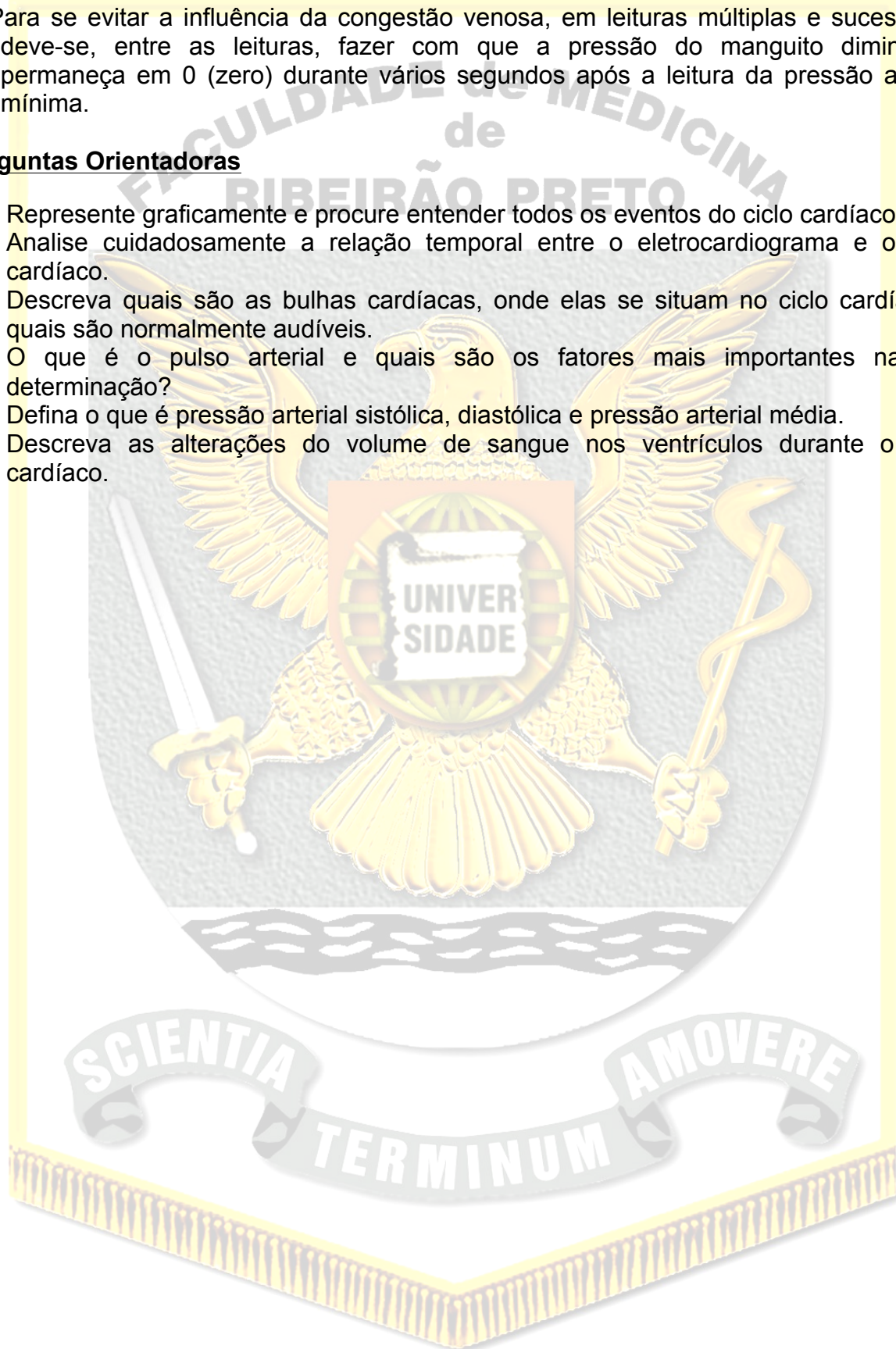


A pressão do manguito deve ser elevada rapidamente até 30 mmHg acima da pressão arterial máxima e, a seguir, reduzida à razão de 2-3 mmHg por batimento cardíaco.

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.



## MÓDULO 4

### CIRCULAÇÃO NOS DIFERENTES TERRITÓRIOS E TROCAS CAPILARES

Prof. Dr. Benedito H. Machado

1. Explique porque a pressão do sangue apresenta variações ao longo da circulação sistêmica. Como varia a pressão na circulação pulmonar?
2. Circulação capilar: características anatômicas e mecanismos envolvidos na troca capilar.
3. Características hemodinâmicas da circulação venosa. Fatores que determinam o retorno venoso. Relação entre retorno venoso e débito cardíaco
4. Volume sistólico: conceito; características da ejeção do sangue durante uma sístole cardíaca; fatores que o determinam; efeitos das alterações posturais.
5. Equação de Poiseuille: inter-relação entre pressão, fluxo e resistência. Conceito de resistência periférica. Distribuição da resistência ao longo da circulação sistêmica.
6. Participação do débito cardíaco e da resistência periférica na determinação da pressão arterial.
7. Conceito de condutância do sangue num vaso e sua relação com a resistência. Regime de fluxo sanguíneo lamelar e turbilhonar Efeitos da variação do hematócrito e da viscosidade do sangue sobre a resistência vascular e o fluxo sanguíneo.
8. Importância das arteríolas na distribuição regional do fluxo. Fatores intrínsecos e extrínsecos envolvidos na contração do músculo liso das arteríolas.
9. Mecanismos de regulação local do fluxo sanguíneo. Autorregulação do fluxo sanguíneo. Hormônios vasodilatadores, ou vasoconstritores, envolvidos no controle do fluxo sanguíneo.
10. Circulação cerebral: anatomia, autorregulação, fatores metabólicos.
11. Circulação renal: anatomia, autorregulação, inervação simpática, regulação humoral.
12. Musculatura esquelética: mecanismos neurais e locais de regulação do fluxo.
13. Circulação esplâncnica: mecanismos neurais e locais; autorregulação.
14. Circulação na pele: termorregulação; fatores humorais circulantes; glândulas sudoríparas.

## MÓDULO 5

### MECANISMOS DE REGULAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL

#### ***Aula Prática: Regulação Neural da Pressão Arterial (Vídeo)***

<http://rfi.fmrp.usp.br/~fisiocardio/Aula-Regulacao-PA/Roteiro-PA-cao.html>

Prof. Dr. Benedito H. Machado

No tronco cerebral (bulbo) existem estruturas responsáveis pela regulação da pressão arterial, as quais por meio do balanço autonômico simpático e parassimpático controlam o débito cardíaco (DC) e a resistência periférica (RP). Essa regulação envolve mecanismos sensoriais (neurônios aferentes), mecanismos de integração (centros bulbares e superiores) e eferentes autonômicos, de forma que qualquer desvio na pressão arterial seja imediatamente corrigido.

A aferência dos mecanismos sensoriais periféricos para as estruturas bulbares no SNC é representada por:

- a. neurônios pressorreceptores aórticas e carotídeas, sensíveis às deformações da parede arterial, causadas pela pressão intravascular.
- b. neurônios aferentes da área cárdio-pulmonar, que respondem a distensões mecânicas daquela região.
- c. neurônios quimiorreceptores (na aorta e carótidas) cuja atuação se faz presente em situações de hipóxia.

As informações fornecidas por esses receptores, tornam possíveis os ajustes circulatórios momentâneos, por meio de respostas reflexas. Estas respostas são ainda moduladas, por informações providas de estruturas mesencefálicas e corticais, e que estão envolvidas na adequação da circulação em diferentes estados comportamentais, como por exemplo o exercício físico.

Com relação à circulação, é interessante ressaltar que estímulos aplicados, seja sobre o coração, seja sobre os vasos (arteríolas), implicam na alteração da pressão arterial, uma vez que a pressão é determinada, a cada instante, pelo equilíbrio dinâmico entre a entrada e a saída de sangue do sistema arterial: a entrada é regulada pelo coração [ $DC = \text{volume sistólico (VS)} \times \text{frequência cardíaca (FC)}$ ] e a saída, controlada pelo grau de constrição das arteríolas (RP), que determina o fluxo arteriolar. A pressão arterial é determinada pelo DC e pela RP ( $PA = DC \times RP$ ).

Os objetivos destes experimentos são: 1) observar as respostas circulatórias às várias manipulações mecânicas, químicas e nervosas no cão, evidenciando alguns aspectos do controle da pressão arterial e 2) analisar os registros eletrocardiográficos nas diferentes situações experimentais.

### ROTEIRO

#### Procedimento Experimental

##### 1. Preparação Cirúrgica

O cão é anestesiado por uma mistura de Uretana (600 mg/kg) e Cloralose (60 mg/kg) injetada i.v., precedida, 30 minutos antes, pela injeção subcutânea de Morfina (2 mg/kg). O animal é colocado em decúbito dorsal em uma calha de madeira e suas patas fixadas à mesma.

Após entubar o cão (cânula de plástico), observe que o pneumotacógrafo é adaptado ao ponto em que há maior expansão da caixa torácica.

Na linha mediana, face ventral do pescoço, é feita uma incisão longitudinal ampla (cerca de 5 cm) na pele e tecido subcutâneo. Ainda na linha mediana, e por divulsão com tesoura, a musculatura pré-traqueal é separada até atingir a traquéia. Ao lado da traquéia, e num plano um pouco mais profundo, é encontrado, a cada lado, o feixe vaso-nervoso do pescoço: o qual é isolado bilateralmente numa grande extensão. Com

cuidado, sem lesar o vago, este é separado da carótida comum, isolando-a com cordonê, e preparado para ligá-lo e seccioná-lo, posteriormente.

Ainda no pescoço, mais lateralmente, é localizado e isolado uma das jugulares anteriores, canulando-a para injeção das drogas. Uma das artérias femorais, é canulada e conectada ao transdutor para registro da pressão arterial. Eletrodos são colocados para registro eletrocardiográfico de tal forma que a diferença de potencial entre o membro anterior direito, e o membro posterior esquerdo (Derivação DII) seja registrada simultaneamente a PA pulsátil e a ventilação pulmonar. O polígrafo é ligado e regulada a sensibilidade das penas para obter bons traçados de pressão, respiração e eletrocardiograma. É importante, antes de cada manobra ser realizada, esperar que a pressão e a respiração voltem ao normal, registrando sempre um novo controle: cada experimento terá seu próprio registro controle.

## 2. Seqüência Experimental

### 2.1. Traçados normais de pressão arterial (PA), respiração e ECG:

O sistema possui características adequadas para registrar, com fidelidade, a onda de pressão arterial. Procure, com velocidade adequada, conhecer a forma da onda de pressão, e, com os valores de calibração do transdutor de pressão, avalie as pressões sistólica (PS) e diastólica (PD) e calcule a PAM (vide observação a seguir).

- Qual é a pressão sistólica e a diastólica? A que se devem?
- Qual é o valor da PAM?
- O que é PAM?
- Qual é a FC?
- Qual é a influência da respiração sobre a circulação (FC e PA)?

Obs.: Embora o valor exato da pressão arterial média só possa ser conhecido quando calculado, para cada onda de pressão; e, embora não exista nenhuma fórmula que dê seu valor exato em todos os casos, costuma-se, com finalidades práticas, estimar a PAM, acrescentando-se à PD, 40% da pressão diferencial (PS - PD):

$$PAM = \frac{40(PS - PD) + PD}{100}$$

Assim, por exemplo, se a PS = 120 mmHg e a PD = 80 mmHg, a PAM calculada será de 96 mmHg.

### 2.2. Reconhecimento das ondas do ECG e influência da respiração sobre a FC

Procure:

- Identificar todas as ondas do ECG. A que se deve cada uma delas? O que significam os segmentos isoelétricos (potencial zero sem deflexões) que separam as várias ondas? Qual é a FC?
- O espaço entre os vários ciclos é regular? Há alguma correspondência com a respiração? Com a inspiração, ou com a expiração? Procure explicar.

### 2.3. Efeitos da Noradrenalina (NOR) e da Acetilcolina (Ach) sistêmicas

Injete intravenosamente (injeção rápida):

1 mg de NOR

1 mg de Ach

Aguarde sempre a pressão voltar ao normal entre uma injeção e outra.

- O que ocorreu com a PA, com a FC e com a respiração em cada uma das injeções?
- Onde atua a NOR? Algum mecanismo reflexo de regulação da PA é ativado?
- Qual a ação da Ach? Tem significado fisiológico esses efeitos da Ach?

### 2.4. Efeito da oclusão bilateral das carótidas comuns

Com as pinças arteriais apropriadas, oclua durante 1 minuto ambas as carótidas simultaneamente.

- O que ocorreu com a PA, a FC e a respiração?

b. Esquematize a sucessão de fenômenos que devem ter ocorrido entre a oclusão e a resposta.

### 2.5. Efeito da Asfixia

A respiração será feita num circuito fechado (saco plástico) durante 2 minutos.

- Ocorreram alterações na PA, na FC e na respiração?
- Esquematize os mecanismos que entram em ação para produzir os efeitos observados.

### 2.6. Efeito da vagotomia bilateral sobre a FC e a PA

- Registre o ECG controle.
- Ligue os vagos e seccionos em rápida seqüência. O que houve com a FC? Como explicar essa modificação? Persistem ainda as influências respiratórias sobre a FC? Por quê?
- O que ocorre com a PA?

### 2.7. Efeitos da NOR e Ach sistêmicas após a Vagotomia

Repita o item 2.3. O resultado foi igual? Quais as razões?

### 2.8. Efeito da oclusão bilateral das carótidas comuns após vagotomia

Repita o item 2.4. Houve diferença na resposta da oclusão, com e sem vago? Por quê?

### 2.9. Efeitos da embolia gasosa

Injete, através do cateter previamente inserido na jugular, 50 ml de ar na circulação sangüínea do animal:

- Descreva a seqüência de eventos observados.
- A parada cardíaca é concomitante à alteração do registro de PA? Por quê?

## **Perguntas Orientadoras**

- Comente a importância dos barorreceptores arteriais na regulação da pressão arterial. Analise o que pode ocorrer com a PA após a remoção deste sistema.
- Explique porquê os barorreceptores arteriais não são eficientes na regulação da pressão arterial a longo prazo.
- Descreva as estruturas do tronco cerebral (bulbo) envolvidas na regulação autonômica da pressão arterial.
- Comente a importância do sistema nervoso autonômico no controle do fluxo sangüíneo vascular.
- Descreva os mecanismos de regulação da pressão arterial a longo prazo, destacando a importância do sistema rins-líquidos corporais.
- Comente a participação dos diferentes hormônios envolvidos na regulação a longo prazo da PA.

## MÓDULO 6

### SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO E CIRCULAÇÃO

Prof. Dr. Hélio César Salgado

#### 1. Variabilidade da Pressão Arterial e Freqüência 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 freqüência (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 freqüência, respectivamente.

A grande maioria dos estudos de variabilidade cardiovascular no domínio da freqüência 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 freqüência, 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 sangüíneo 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 independentemente 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**

- 1- Reveja os principais aspectos anatômicos da circulação coronária (arterial e venosa).
- 2- Descreva o fluxo sanguíneo coronariano nas condições de repouso e de exercício físico.
- 3- Reflita sobre o consumo de oxigênio pelo miocárdio ( $MVO_2$ ).
- 4- Discuta a auto-regulação do fluxo coronariano com destaque para a possível participação da adenosina.
- 5- Descreva as variações na resistência ao fluxo coronário que ocorre na sístole e na diástole nos ventrículos direito e esquerdo.
- 6- Comente a importância dos mecanismos metabólicos no controle do fluxo coronariano.
- 7- Descreva a participação dos componentes autonômicos simpático e parassimpático na modulação do fluxo sanguíneo nas coronárias.
- 8- Considere a atividade simpática e os fatores metabólicos para explicar as variações no fluxo sanguíneo coronário durante o exercício físico.
- 9- Esquematize e descreva a inter-relação entre a pressão aórtica e o fluxo sanguíneo nas coronárias esquerda e direita.
- 10- Numa situação de exercício físico correlacione as alterações que ocorrem na frequência cardíaca e no débito cardíaco com o consumo de oxigênio pelo miocárdio.
- 11- Compare a extração de oxigênio do sangue arterial nas coronárias com os demais territórios.
- 12- Correlacione a espessura das paredes ventriculares esquerda e direita com os respectivos níveis de pressão ventricular na sístole e na diástole.
- 13- Estabeleça em gráficos a relação entre a pressão aórtica e o fluxo coronário físico e a resistência coronária total.
- 14- Discuta os efeitos da contração do miocárdio sobre o fluxo coronário médio e a  $PO_2$  do sangue no seio coronário.
- 15- Discuta os efeitos da ativação simpática sobre o  $MVO_2$  e as alterações no fluxo coronário médio.
- 16- Descreva os fatores que influenciam a resistência coronária extravascular e vascular.
- 17- Comente os 2 principais fatores determinantes do  $MVO_2$ .
- 18- Discuta a lei de Laplace no contexto da contração das câmaras cardíacas com destaque para a pré- e a pós-carga.
- 19- Descreva os principais parâmetros de ejeção do coração.
- 20- Definir os seguintes parâmetros da função ventricular: a) fluxo médio de ejeção; b) fração de ejeção e c) velocidade de desenvolvimento da pressão intraventricular ( $dP/dt$ ).
- 21- Descreva os fatores que determinam o volume sistólico.
- 22- Discuta a importância do relaxamento miocárdico na função ventricular.

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

Prof. Dr. Hélio César salgado

**FACULDADE de MEDICINA  
de  
MANOBRA DE VALSALVA  
RIBEIRAO PRETO****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 sangüíneo 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 barorreceptor.

#### 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:**

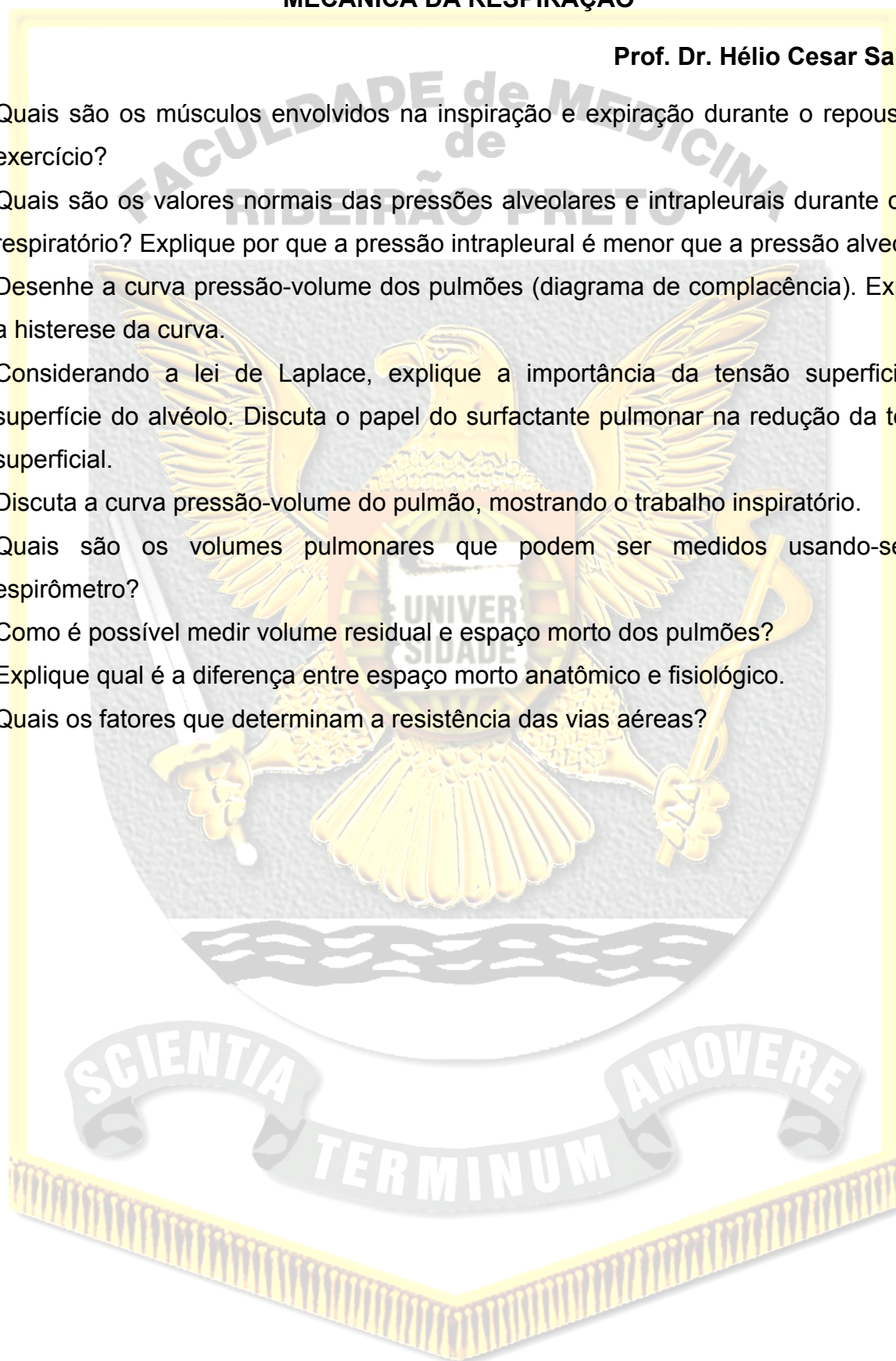
1. Qual mecanismo poderia explicar as mudanças na PA e FC?
2. As mudanças na FC são mediadas via reflexo barorreceptor? Que evidências suportam sua resposta?

**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. Hélio Cesar Salgado**

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. Quais são os volumes pulmonares que podem ser medidos usando-se um espirômetro?
7. Como é possível medir volume residual e espaço morto dos pulmões?
8. Explique qual é a diferença entre espaço morto anatômico e fisiológico.
9. Quais os fatores que determinam a resistência das vias aéreas?





A avalia  
Capacida  
desse vc

aplicado. Os principais métodos utilizados para realizar essas medidas são a espirometria e a pneumotacografia

## LMONARES

rof. Dr. Rubens Fazan Junior

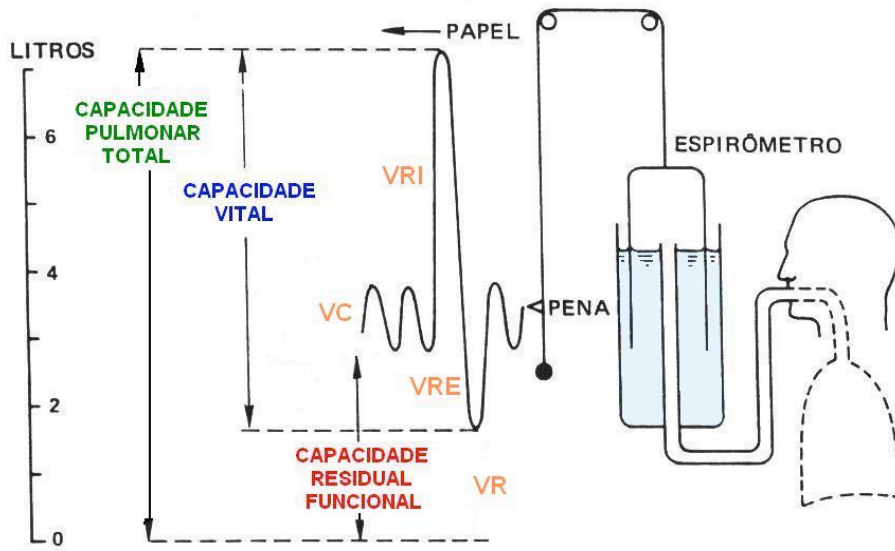
de Volume Corrente e da  
ser expirado. Para o cálculo  
forçada, depende do teste

## 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 oxigênio puro, mergulhado em um compartimento com água para impedir o escape dos gases e permitir a livre excursão do reservatório para cima e para baixo, durante a inspiração e a expiração respectivamente (Figura 1A).

O m  
senc  
acoç  
Dura  
mov  
e o'  
é ch  
Entr



vés de um bocal,  
és de uma pena  
s em um papel.  
um gráfico em  
inspiratório (VRI)  
me total exalado  
piração 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.

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:

**Fluxo =  $\Delta P/R$** , em que:

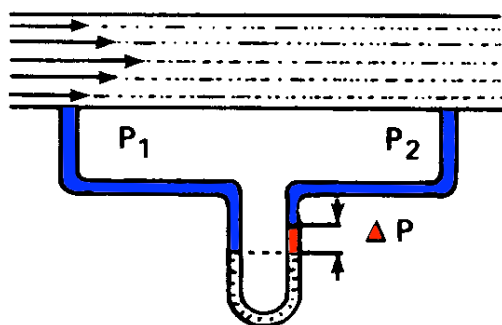
$R$  = resistência (Compare lei de Ohm:  $I = \Delta V/R$ )

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 2:** Componentes do sistema de pneumotacografia.

### TESTE DA FUNÇÃO PULMONAR (PNEUMOTACOGRAFIA)

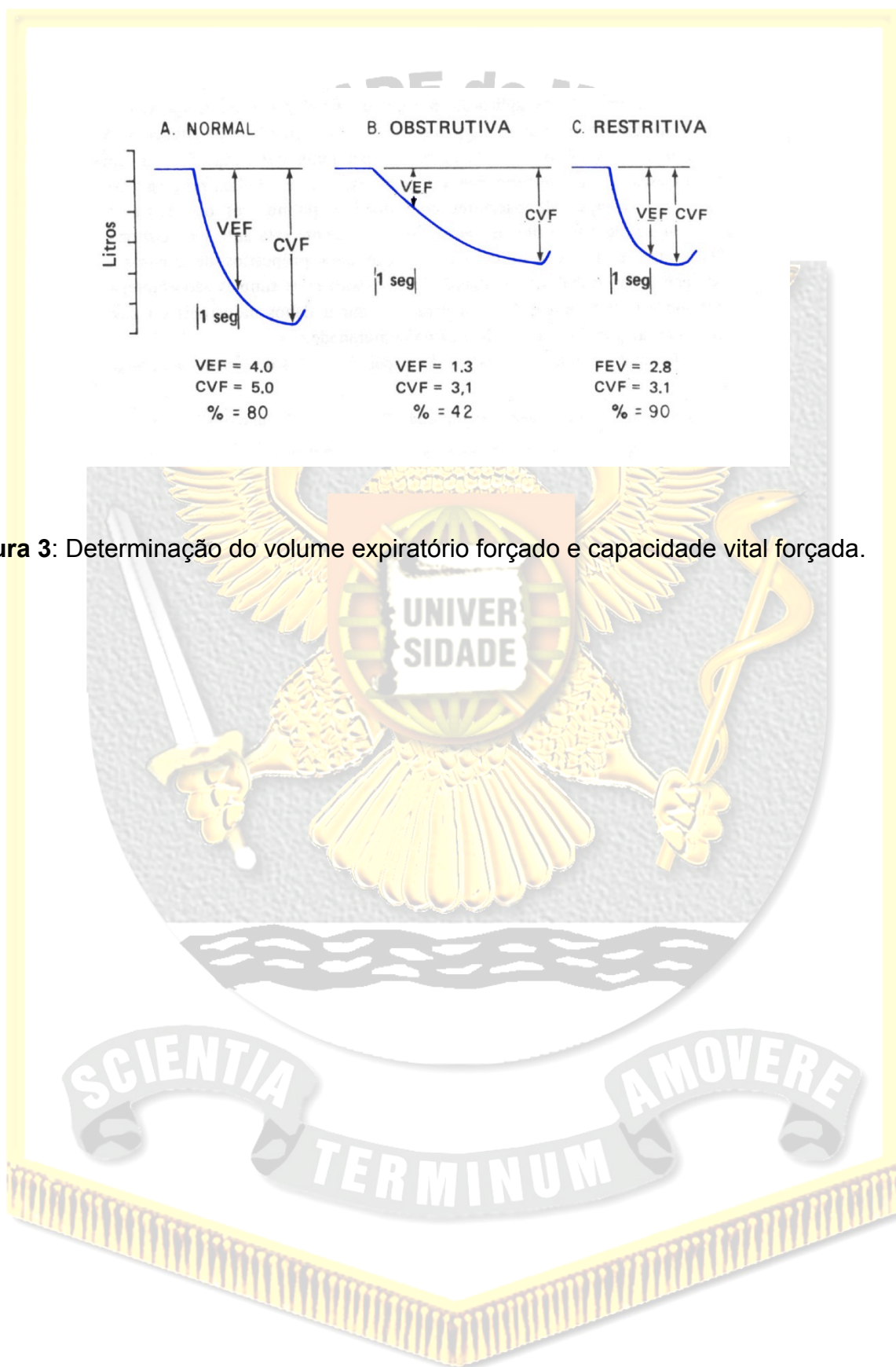
#### **Volume expirado forçado durante um segundo ( $VEF_1$ ) comparado com a capacidade vital forçada (CVF)**

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 rápido 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).



## MÓDULO 11

## TRANSPORTE DOS GASES

Prof. Dr. Hélio César Salgado

## Perguntas orientadoras:

- 1- Considere e 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- Descreva e reflita sobre o nível da saturação (%) de  $O_2$  no sangue arterial e no sangue venoso.
- 8- Descreva as 4 etapas determinantes para que a respiração pulmonar seja eficiente nos vertebrados.
- 9- Descreva e entenda o significado da lei de Fick.
- 10- Discuta os fatores determinantes da capacidade de difusão pulmonar do  $O_2$ .
- 11- Descreva e reflita sobre as pressões do  $O_2$  no ar alveolar, no sangue arterial e no sangue venoso.
- 12- Descreva e explique os fatores que podem deslocar a curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina para a direita com destaque para o efeito Bohr.
- 13- Descreva e explique as diferentes formas de transporte do  $CO_2$  pelo sangue.
- 14- Discuta a influência do nível de saturação de  $O_2$ -hemoglobina sobre o transporte de  $CO_2$  pelo sangue (efeito Haldane).
- 15- 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.
- 16- Discuta algumas alterações que podem ocorrer na curva de dissociação  $O_2$ -hemoglobina numa situação de exercício físico aeróbico.

## MODULO 12

## PERFUSÃO PULMONAR / REGULAÇÃO DA VENTILAÇÃO

Prof. Dr. Benedito H. Machado

**A) PERFUSÃO PULMONAR**

1. Faça um esquema para caracterizar e discutir as três zonas da perfusão pulmonar.
2. Explique porquê no ápice pulmonar as unidades alvéolo-capilares são melhor ventiladas do que profundidas.
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?

**B) REGULAÇÃO DA VENTILAÇÃO**

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?
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?