

## AULA 10

### OS EFEITOS DA ALTITUDE

#### 10.1. O ambiente físico - altitude

O termo "elevada altitude" não é uma definição precisa. É considerado "elevada altitude" todas as elevações acima de 3000 metros, devido aos sintomas associados à ascensão. Estas regiões são encontradas no Havaí, Rochosas, Andes, Sierra Madre, Alpes, Atlas, Kilimanjaro, Antártida, Himalaia, etc.

a) Hipóxia: a porcentagem de O<sub>2</sub> na atmosfera é a mesma no topo do Everest como ao nível do mar. Esta porcentagem permanece constante até cerca de 110km, ao redor de 20,93%. Entretanto, como o gás é compressível, o número de moléculas por unidade de volume contidas ao nível do mar é maior do que no topo das montanhas. Ao nível do mar a pressão barométrica é de 760mmHg ou 1013hPa ou milibares, sendo o O<sub>2</sub> 20,93%, ou seja, 159mmHg ou 210 hectopascals. A 6000m a pressão é de aproximadamente 500hPa ou mb e portanto, a pressão parcial do oxigênio é de cerca de 100hPa. A carência deste elemento, nestas condições, é denominada de hipóxia.

b) O frio: outra característica dos ambientes elevados é a baixa temperatura. A temperatura cai, em média, 6°C por km ou 1 grau a cada 150 metros, independente da altitude ou latitude. O clima montanhês costuma oscilar muito durante o dia, podendo ter uma amplitude térmica média de 20°C em 24 horas, como em Zurique.

c) A umidade: a umidade, normalmente cai quando subimos. A combinação (ao extremo) de baixa umidade e baixa temperatura é bastante desconfortável aos seres humanos, podendo levar à desidratação e a trombose inicial das veias periféricas.

d) Radiação solar: com menor espessura atmosférica (caminho ótico) a radiação incidente é muito mais elevada e danosa (devido ao UV) nestas regiões.

#### 10.2. Transporte do O<sub>2</sub> do ar aos tecidos

Com o metabolismo basal, os tecidos do corpo consomem entre 220 e 260ml de oxigênio por minuto. O processo de respiração é uma complexa combinação de quatro mecanismos de transporte. Na ventilação o ar flui através da traqueia e brônquios para o espaço alveolar. Na difusão pulmonar o ar passa para os alvéolos através das paredes capilares alveolares para o sangue (arterial). O O<sub>2</sub> é carregado pelo sangue para os tecidos (3° estágio). No 4° estágio, há a difusão nos tecidos até a mitocôndria intracelular, onde será utilizado para a produção, em última instância, de energia (a pressão parcial do O<sub>2</sub> é de 2 a 3 hPa, no caso). Ver figura 1.

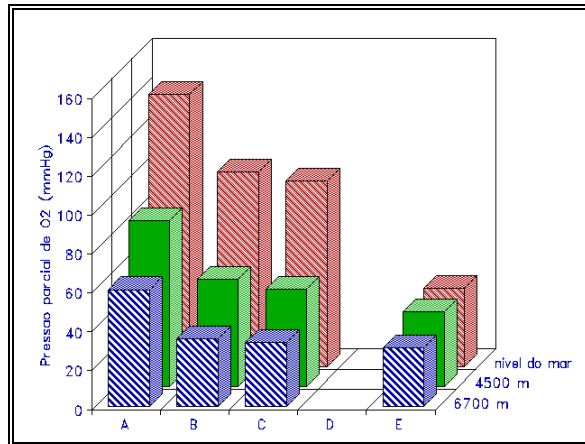


Figura 10.1. Média do gradiente de O<sub>2</sub> do ar inspirado até o sangue venoso em 3 diferentes altitudes, onde A = ar inspirado, B = nível alveolar, C = arterial, D = capilar e E = sangue venoso.

### 10.3. Efeitos da hipóxia prolongada no organismo

a) Alargamento da carótida: as carótidas são mais largas nos montanheseiros do que nas pessoas normais e sua largura aumenta com a idade, tanto em seres humanos como em animais domésticos (porcos, vacas, cachorros e coelhos).

b) Hipertensão (vascular) das artérias pulmonares: a hipóxia prolongada traz vasoconstrição suave nos músculos vasculares do pulmão indo de 12mmHg ao nível do mar, até 28 mmHg a 4500m de altitude. Quanto ao resto do organismo há uma relaxação suave nos vasos, devido ao aumento do volume sanguíneo e a congestão nos pulmões.

c) Descarga cardíaca e a circulação: há aumento na descarga cardíaca especialmente no ventrículo direito (com hipertrofia muscular), alargamento do tórax, aumento do volume sanguíneo de 80ml/kg para 100ml/kg, mais hemácias e diminuição de infartos e trombose (no altiplano peruano, por ex.).

d) Glândulas endócrinas: aumento da atividade geral, especialmente da adrenal, a pituitária posterior produz, com pequena exposição, hormônios diuréticos, depois produz o ADH (hormônio anti-diurético), devido à grande possibilidade de desidratação pela baixa umidade ambiental.

e) Coagulação do sangue: com a diminuição do número de plaquetas, corre-se menos risco de trombose.

f) Pele, nariz e unhas: aumenta o número de arteríolas e capilares, dando a coloração avermelhada à pele (além do aumento da hemoglobina). As unhas tornam-se escurecidas (devido à hipóxia) mesmo com o aumento da rede sanguínea. O nariz é mais largo para facilitar a entrada de ar.

### 10.4. Doenças de altitude

A) Doença de altitude aguda (ou de Monge, 1928): inicia-se de 6 a 96 horas após a exposição contínua à hipóxia. Sintomas: falta de ar, inspiração profunda, enjôo, aumento dos batimentos cardíacos, etc. Chama-se puna na Bolívia e orocho no Peru.

Os negros que sofrem de anemia falciforme (hemáceas deformadas) padecem mais intensamente desta doença.

O diagrama abaixo mostra os fatores envolvendo a doença de Monge

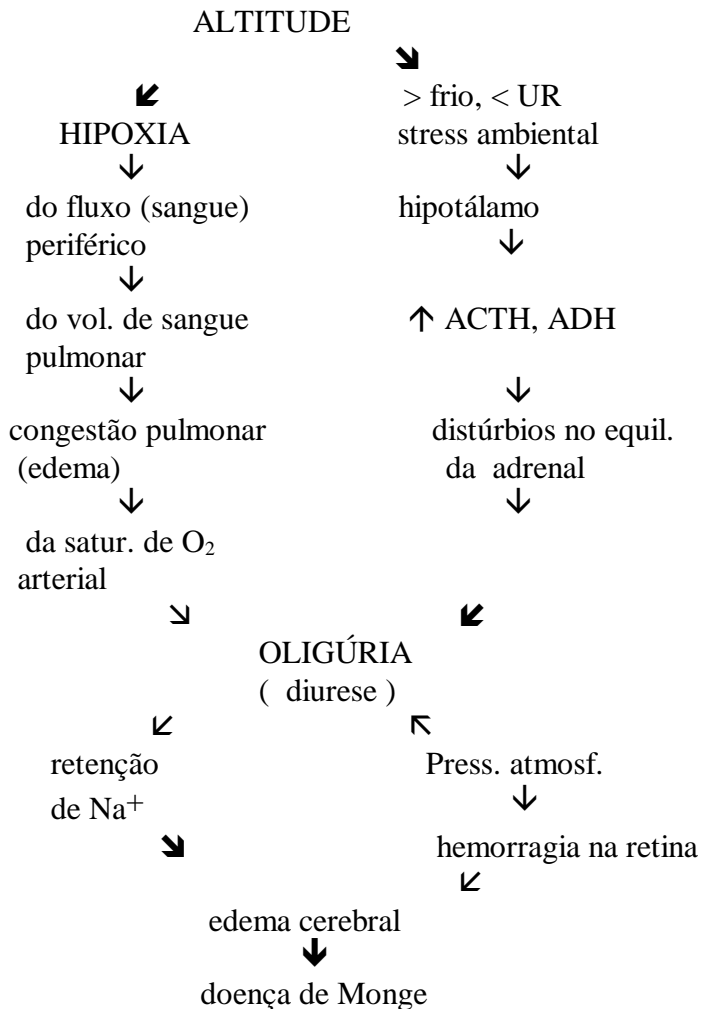


Figura 10.2. diagrama com fatores envolvendo a doença.

### 10.5. Aclimatização e doenças em animais

a) Gado: o gado não aclimatado sofre a doença-do-peito (em inglês "brisket disease"), comum em *Bos taurus*, levando a um edema pulmonar e sobrecarga no coração, sendo fatal.

b) Camelídeos de altitude: são a lhama (*Lama glama*), a alpaca (*Lama pacos*), o guanaco (*L.guanicoe*) e a vicunha (*L.vicugna*), todos andinos. Possuem artérias pulmonares de paredes finas que não se contraem na hipóxia, impedindo a congestão e o edema pulmonar. Suas hemoglobinas também têm maior afinidade pelo oxigênio.

c) Anfíbios: o sapo, estudado por J. Costeau, *Telmatobius culeus*, vive a 3810m, no lago Titicaca. Possui dobras na pele para aumentar sua superfície de absorção de O<sub>2</sub>, aumento na rede capilar da pele e ainda hemáceas pequenas e numerosas.

d) Comunidade eólica: são animais (artrópodes em geral), levados pelo vento a altitudes de 6000m ou mais.

### **10.6. Aclimatização e adaptação**

A acomodação é o primeiro processo de tolerância à hipóxia, com aumento da ventilação e da taxa cardíaca. A aclimatização é a segunda etapa, possuindo as características já mencionadas, levando alguns anos para obtê-la. A aclimatização natural ocorre nos indivíduos que já nascem na altitude. A longevidade destes indivíduos pode ser devida a inúmeros fatores, tais como: menor obesidade, trabalho árduo, dificuldades na data de nascimento, maior contato familiar, etc.