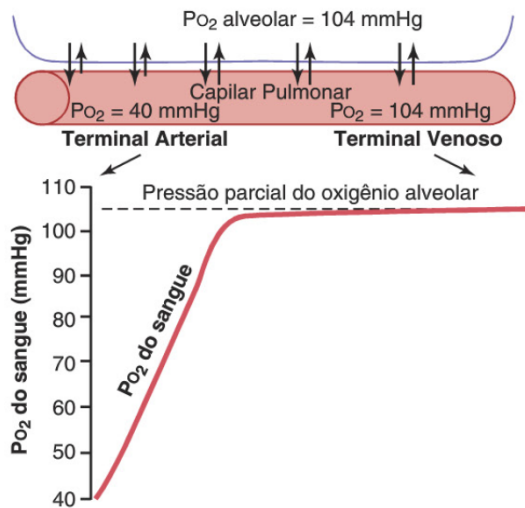


Fisiologia: Transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue e nos líquidos teciduais

* o transporte de oxigênio e dióxido de carbono pelo sangue depende tanto da difusão quanto do fluxo de sangue

Difusão do oxigênio dos alvéolos para o sangue capilar pulmonar

- * a P_{O_2} do oxigênio gasoso no alvéolo é em média, de 104 mmHg
- * a P_{O_2} do sangue venoso que entra nos capilares pulmonares, em sua porção arterial, é em torno de 40 mmHg
- * a diferença de pressão faz com que o oxigênio se difunda para os capilares pulmonares
- * a P_{O_2} do sangue aumenta até o nível da P_{O_2} do ar alveolar

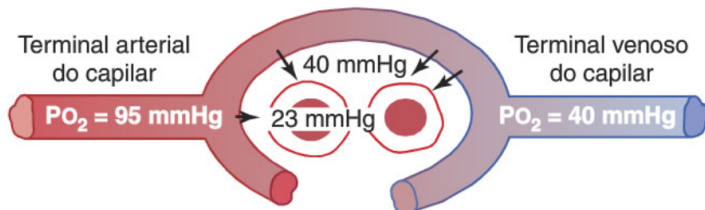


Transporte de oxigênio do sangue arterial

- * 98% do sangue que entra no AE acabou de passar pelos capilares alveolares e foi oxigenado até a P_{O_2} em torno de 104 mmHg
- * os outros 2% do sangue é derivado da circulação brônquica que supre os tecidos profundos dos pulmões, denominado "fluxo da derivação"
- * essa mistura venosa de sangue faz com que a P_{O_2} do sangue que chega ao coração esquerdo diminua para cerca de 95 mmHg

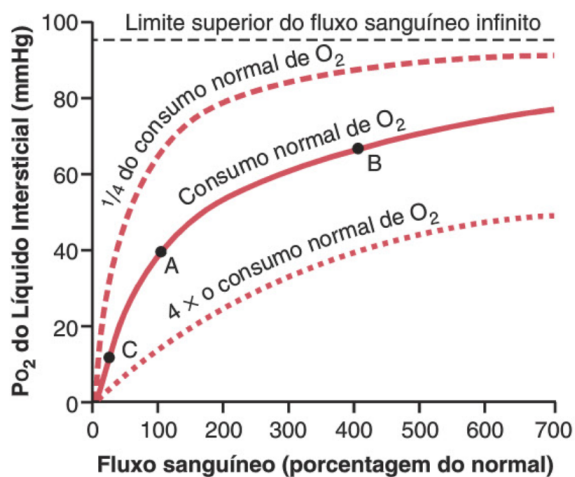
Difusão de oxigênio dos capilares pulmonares para o líquido tecidual

- * a P_{O_2} no líquido intersticial que banha as células teciduais é em média 40 mmHg
- * a enorme diferença de pressão permite a rápida difusão do oxigênio do sangue capilar para os tecidos
- * a P_{O_2} capilar diminui até alcançar o nível da P_{O_2} do interstício, 40 mmHg



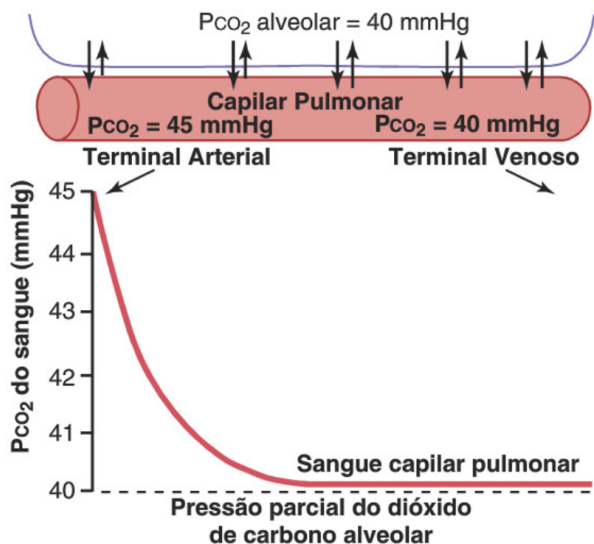
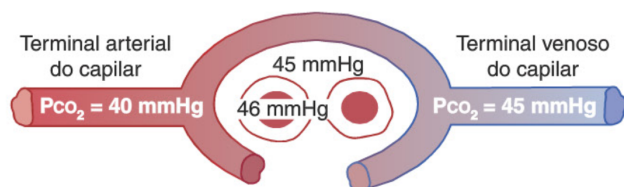
Efeito do fluxo sanguíneo e intensidade do consumo de oxigênio na P_{O_2} tecidual

- * se o fluxo de sangue por determinado tecido aumentar, maior quantidade de oxigênio é transportada para os tecidos, e a P_{O_2} tecidual fica correspondentemente maior
- * o limite superior a que a P_{O_2} pode atingir mesmo com o fluxo sanguíneo máximo é 95 mmHg, porque essa é a pressão do oxigênio no sangue arterial
- * se as células usarem mais oxigênio para o seu metabolismo do que o normal, ocorre redução da P_{O_2} do líquido intersticial
- * em suma, a P_{O_2} tecidual é determinada pelo balanço entre (1) a intensidade do transporte de oxigênio para os tecidos e pela (2) intensidade de consumo do oxigênio pelos tecidos



Difusão de CO_2 dos tecidos periféricos para os capilares e dos capilares pulmonares para os alvéolos

- * em cada ponto da cadeia de transporte gasoso o dióxido de carbono se difunde em direção exatamente oposta a difusão do oxigênio
- * as diferenças de pressão para causar a difusão do dióxido de carbono são bem menores que as diferenças de pressão necessárias para causar a difusão do oxigênio
- * P_{CO_2} intracelular: 46 mmHg \rightarrow P_{CO_2} intersticial: 45 mmHg \rightarrow P_{CO_2} no terminal arterial do capilar: 40 mmHg \rightarrow P_{CO_2} no terminal venoso do capilar: 45 mmHg \rightarrow P_{CO_2} do ar alveolar: 40 mmHg

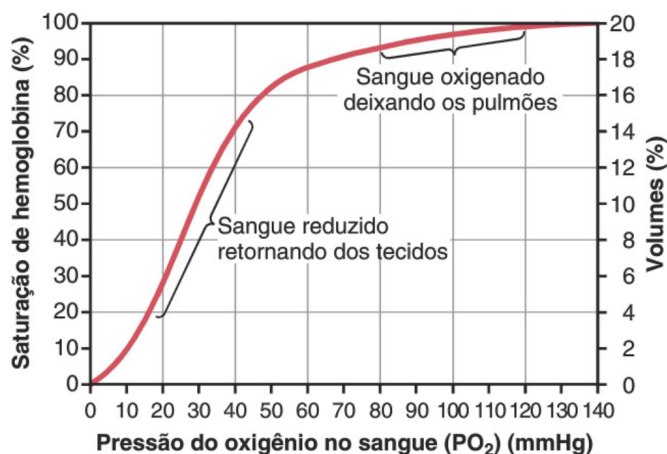


Combinação de oxigênio com a hemoglobina

- * sob condições normais, o oxigênio é transportado para os tecidos quase inteiramente pela hemoglobina
- * quando a P_{O_2} é alta, como nos capilares pulmonares, o oxigênio se liga a hemoglobina, mas quando a P_{O_2} é baixa, como nos capilares teciduais, o oxigênio é liberado da hemoglobina
- * a saturação usual de oxigênio do sangue arterial sistêmico é em média 97%, já no sangue venoso normal que retorna dos tecidos periféricos, a P_{O_2} é cerca de 40 mmHg e a saturação de hemoglobina é em média de 75%
- * se a hemoglobina estiver 100% saturada, 100 mL de sangue conseguem se combinar a exatos 20 mL de oxigênio, expresso em 20 volumes percentuais
- * a quantidade total de oxigênio ligado a hemoglobina no sangue arterial sistêmico normal (97% saturado) é de 19,4 mL por 100 mL de sangue

* ao passar pelos capilares teciduais, essa quantidade é reduzida em média para 14,4 mL (P_{O_2} de 40 mmHg com 75% de saturação)

* assim, cerca de 5 mL de oxigênio são transportados dos pulmões para os tecidos a cada 100 mL de fluxo sanguíneo



quanto menor a P_{O_2} no interstício, maior a oferta

Transporte de oxigênio durante o exercício intenso

* durante o exercício intenso, a P_{O_2} do líquido intersticial cai do valor normal de 40 mmHg para o valor de 15 mmHg

* apenas 4,4 mL de oxigênio permanece ligados à hemoglobina em cada 100 mL de sangue

* 15 mL são a quantidade de oxigênio liberada para os tecidos, por cerca de 100 mL de fluxo sanguíneo

* o débito cardíaco pode aumentar de seis a sete vezes

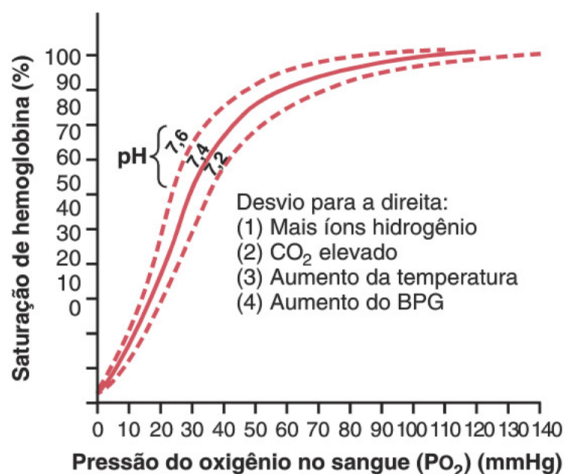
* multiplicando-se o aumento do débito cardíaco pelo aumento do transporte de oxigênio em cada volume de sangue (o triplo), resulta em um aumento de 20 vezes do transporte de oxigênio para os tecidos

Curva de dissociação de oxigênio-hemoglobina

Efeito Bohr: enquanto o sangue atravessa os tecidos, o CO_2 se difunde das células para o sangue, aumentando a P_{CO_2} , que, por sua vez, aumenta a concentração de H_2CO_3 e íons H^+ no sangue → curva de dissociação de oxigênio-hemoglobina se desloca para a direita, forçando a liberação de oxigênio pela hemoglobina para os tecidos

* em condições de hipóxia que durem mais do que poucas horas, a quantidade de BPG (2,3-bifosfoglicerato) no sangue aumenta, deslocando a curva ainda mais para a direita

* durante o exercício, vários fatores desviam a curva para a direita: os músculos liberam mais CO_2 e aumentam a sua temperatura, forçando a liberação de oxigênio pela hemoglobina para os tecidos



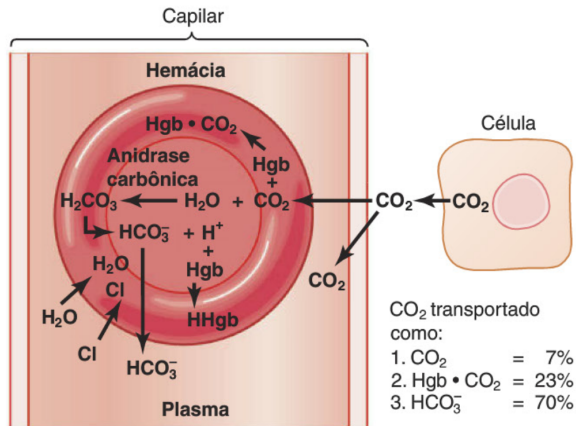
Transporte de dióxido de carbono no sangue

* 4 mL de CO_2 é transportado dos tecidos para os pulmões em cada 100 mL de sangue

* o dióxido de carbono é transportado no sangue principalmente na forma de **íon bicarbonato** (70% do CO_2), além da **carbaminoemoglobina CO_2Hgb** (23% do CO_2) e **dissolvido** (7%)

Transporte de CO₂ na forma de íon bicarbonato

- * o dióxido de carbono dissolvido no sangue reage com a água para formar o ácido carbônico, sendo esse processo catalisado pela enzima **anidrase carbônica**
- * formado nas hemácias, o H₂CO₃ se dissocia em íons hidrogênio e íons bicarbonato
- * grande parte dos íons hidrogênio se combina com a hemoglobina das hemácias, que atua como um poderoso tampão ácido-básico
- * grande parte dos íons HCO₃⁻ se difunde das hemácias para o plasma, enquanto os íons cloreto se difundem para as hemácias através da ação da proteína carreadora de bicarbonato-cloreto
- * o conteúdo de cloreto nas hemácias venosas é muito maior do que o das hemácias arteriais, fenômeno denominado *desvio de cloreto*



Efeito Haldane

- * inverso do efeito Bohr, **ocorrendo nos pulmões, em que a ligação do oxigênio com a hemoglobina tende a deslocar o dióxido de carbono do sangue**
- * **a ligação do oxigênio com a hemoglobina faz com que esta passe a atuar como ácido mais forte, deslocando o CO₂ do sangue para os alvéolos de duas maneiras:**
 - ⇒ quanto mais ácida a hemoglobina, menos ela tende a se combinar com o CO₂ para formar carbaminoemoglobina, deslocando grande parte do CO₂ na forma de carbamino no sangue
 - ⇒ essa maior acidez faz com que a hemoglobina libere íons hidrogênio que se ligam aos íons bicarbonato para formar o ácido carbônico, que por sua vez se dissocia em CO₂ e água, sendo o CO₂ liberado do sangue para os alvéolos e, depois, para o ar