

CONCEITOS SOBRE HEMORREOLOGIA E MICROCIRCULAÇÃO HUMANAS.

J. Martins e Silva¹

TEMA 4 – MICROCIRCULAÇÃO: ESTRUTURA E FUNÇÕES PRINCIPAIS

Estrutura – A *microcirculação* é o segmento da rede vascular que perfunde os tecidos corporais, constituída pelos vasos mais estreitos da circulação (arteríolas, capilares e vénulas). Por via das anteriores características, a microcirculação contrasta com a *macrocirculação*, a qual veicula o sangue entre os diversos órgãos através de artérias, veias e anastomoses arteriovenosas. Em condições fisiológicas, o sangue proveniente das artérias flui para as arteríolas (ramificações finais do sistema arterial), donde passa aos capilares e, destes, para as vénulas (segmentos iniciais do sistema venoso), que desembocam nas veias de retorno, até ao coração (Fig. 2).

As arteríolas (diâmetro: 10-100 μm), apesar de conterem somente uma a duas camadas de músculo liso, são estruturas com abundante inervação pelo sistema simpático, de que resulta serem estes vasos os principais determinantes da *resistência vascular periférica*, na dependência de receptores pós-juncionais α_1 e α_2 . Explica-se assim que a maior varia-

ção nos valores da pressão sanguínea e da velocidade de perfusão sanguínea ocorra exactamente na transição das arteríolas para os capilares. Algumas das arteríolas (com cerca de 8 μm de diâmetro médio) que transportam o sangue directamente para as vénulas sem que este passe pela rede capilar, são designados por *meta-arteríolas* ou *arteríolas terminais*. Estas anastomoses arteriovenosas estão igualmente sob o controlo do simpático. Não participam nas trocas de gases, nutrientes ou produtos metabólicos.

As vénulas pós-capilares (diâmetro: 10-50 μm) estão limitadas ao en-

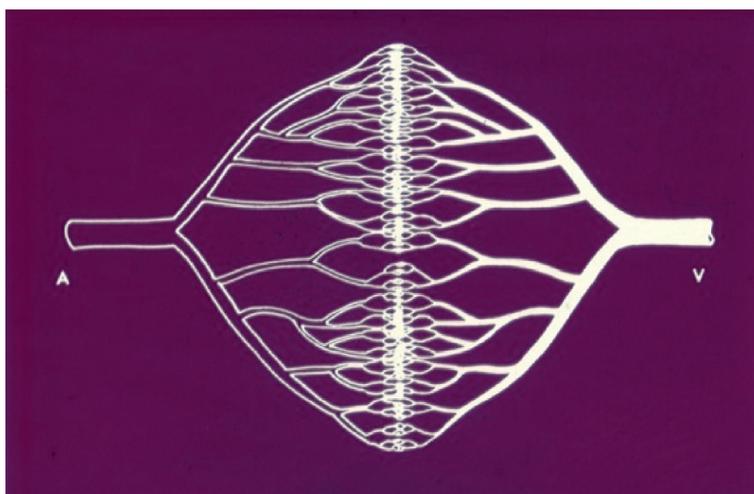


Fig 2. Esquema do sistema vascular, com macro e microcirculação. As artérias (A) ramificam-se sucessivamente até originarem capilares, após o que estes convergem na formação de veias (V).

¹ Professor catedrático aposentado e ex-director do Instituto de Bioquímica Fisiológica/Biopatologia Química da Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa. Sócio fundador e 1º presidente da SPHM.

dotélio e membrana basal envolvente, enquanto as vénulas de maiores dimensões (50-200 μm) incluem uma camada muscular e elástica mais fina do que a das arteríolas. A inervação simpática, extensiva somente às vénulas de maiores dimensões, influencia o respectivo tónus, com implicações na pressão hidrostática capilar, mas com escasso efeito na regulação microvascular. Um outro tipo de vénulas, cujo endotélio se caracteriza por células cubóides (donde a designação de vénulas de endotélio alto), permite, em situações de infecção, a passagem directa dos linfócitos dos capilares para os gânglios linfáticos regionais.

Os capilares, que são os vasos mais estreitos (diâmetro: 5-10 μm) e pequenos da rede circulatória, estão reduzidos a uma monocamada endotelial (de epitélio escamoso), envolvida por uma camada fibrosa muito fina (membrana basal) e células contraícteis (pericitos). Não possuem adventícia nem camada média e, portanto, não têm inervação. Na transição com as arteríolas, estão localizados anéis musculares, designados como *esfíncteres pré-capilares*, dependentes do simpático.

Os capilares são o sector ideal para as trocas sangue/tecidos. Estes microvasos não actuam isolados; pelo contrário, unem-se entre si, formando uma rede embebida nos órgãos perfundidos. Esta rede é tanto mais densa quanto maior for a actividade metabólica do tecido local, de modo a assegurar as suas trocas com o sangue. As variações da pressão arterial sistémica são como que absorvidas pelas arteríolas, pelo que é mínima a sua repercussão no fluxo capilar.

A membrana basal subjacente ao epitélio capilar pode configurar três tipos, com localização electiva em determinados órgãos: contínuo, fenestrado ou descontínuo. No tipo *contínuo* (p.ex., pele, pulmões, músculo esquelético, sistema nervoso central) a membrana basal não tem interrupções de continuidade, o que limita as trocas apenas a moléculas pequenas, como as de água e iões, através das estreitas junções intercelulares. O tipo *fenestrado* (p.ex., glomerulos renais, glândulas exócrinas, mucosa intestinal) caracteriza-se por apresentar poros ou perfurações (diâmetro 60-80 nm) que possibilitam a passagem de moléculas pequenas. O tipo *descontínuo*, ou *sinusoidal* (p.ex., fígado, medula óssea, baço) é o mais permeável a moléculas de maiores dimensões (p.ex. proteínas séricas) e células sanguíneas (eritrócitos e leucócitos) através das aberturas da membrana basal (diâmetro: 30-40 μm) e dos intervalos das junções intercelulares do endotélio.

A microcirculação, além dos componentes que transportam sangue, inclui também os linfáticos e respectivos ductos colectores, a referir em separado.

Funções – A microcirculação intervém nas seguintes funções principais:

- Irrigação tecidual;
- Pressão sanguínea,
- Trocas líquidas transcapilares entre o sangue e os tecidos irrigados;
- Oxigenação tecidual, fornecimento de nutrientes e remoção de CO₂ e produtos locais;
- Temperatura corporal;
- Protecção anti-inflamatória.

Estas funções estão distribuídas por três sectores funcionais distintos:

- *Sector de resistência* – representado pelas arteríolas;
- *Sector de trocas* – constituído pelos capilares (em grande parte);
- *Sector de estagnação transitória* – inclui as vénulas.

A inervação simpática dos esfíncteres pré-capilares e meta-arteríolas está na origem das contracções e relaxamentos regulares autónomos, de que resulta o fluxo intermitente capilar. Esta *vasomotilidade* contribui, ainda, para o valor da resistência vascular periférica.

As anastomoses formadas a partir das meta-arteríolas na pele contribuem para regulação da temperatura corporal; ao aumentarem o fluxo cutâneo elevam também as perdas térmicas, ao contraírem-se, reduzem o fluxo sanguíneo local, preservando o calor corporal.

As trocas de substâncias entre o sangue e os tecidos irrigados integram, indubitavelmente, a função mais importante que, em sentido lato, fundamenta a nutrição celular. Embora a grande parte destas trocas ocorra na rede capilar, também existem trocas de líquidos e macromoléculas através das junções celulares das vénulas mais pequenas. Os electrólitos e moléculas pequenas atravessam a parede capilar através de poros, enquanto a glicose requer um sistema de transporte activo. As moléculas proteicas atravessam dificilmente os poros membranares, ocorrendo parte por pinocitose.

As moléculas de água têm a particularidade de atravessar a membra-

na capilar por dois mecanismos: difusão ou filtração.

A difusão transcápilar, que totaliza cerca de 80.000 L/dia (cerca de 10 vezes do que o valor do débito cardíaco e da perfusão sanguínea capilar), é bidireccional ao longo do trajecto de cada capilar. No entanto, por não existirem, normalmente, diferenças no gradiente de concentração da água entre os dois lados da membrana, o valor final do fluxo é nulo, de acordo com a *lei de Fick* ($F = kA (C_2 - C_1) / t$) para a difusão, em que F , fluxo; k , constante de permeabilidade da membrana a cada substância; $C_2 - C_1$, diferença de concentração nos dois lados da membrana; A , área de superfície da membrana em que ocorrem as trocas; t , espessura da membrana), através da qual o valor da difusão de cada substância é proporcional à diferença de concentrações através da membrana e à área superficial, e inversamente proporcional à espessura dessa membrana.

As trocas transcapilares de gases respiratórios, nutrientes e produtos metabólicos, são determinadas também pela difusão, ainda que, nestes casos, o fluxo ocorra no sentido da respectiva concentração mais baixa.

Pelo contrário, a filtração transcápilar da água (com volumes muito inferiores aos da difusão) é determinada pelo desequilíbrio local entre as pressões hidrostática e oncótica (*forças de Starling*). No total, cerca de 20 L de água são movimentadas para o exterior na extremidade arterial dos capilares de todo o organismo, enquanto 18 L são reabsorvidas na extremidade venosa. Assim, a filtração num ou noutro sentido decorre ao longo do capilar em sectores distintos. A diferença residual (cerca de

2L/dia) retorna à circulação como constituinte linfático. Enquanto este processo tem particular utilidade para as trocas de água, não é quase utilizada por gases, nutrientes ou produtos metabólicos.

Entre as substâncias transferidas predominam os gases respiratórios (O_2 , CO_2), água, electrólitos produtos azotados, glicose, lípidos e dro-

gas. Os gases difundem facilmente através das paredes capilares, bem como a água e lípidos. Porém, cerca de 2/3 do oxigénio difunde para os tecidos a nível das arteríolas, sobrando o restante para difusão capilar. A difusão do oxigénio para os tecidos irrigados é assegurada, em condições fisiológicas, pelo elevado gradiente a que chega aos tecidos, em média igual a 50-55 mmHg, muito superior ao conteúdo de oxigénio intracelular (Fig.3).

De acordo com a teoria original dos cilindros de Krogh (Fig.4), cada cone de oxigenação representaria o território teórico oxigenado por um capilar. À medida que o sangue fluísse da extremidade arterial para a venosa, diminuiria a PO_2 do sangue (de 95 para 40 mmHg), causando a redução gradual do raio de tecido oxigenado. Para compatilizar o modelo com a realidade, cada capilar como estaria em paralelo com outros, adjacentes, que transportariam o sangue em sentido inverso, entre si. Deste modo, por justaposição e orientação oposta de cones, todo o tecido seria virtualmente oxigenado pela rede capilar local, excepto a zona em que contactariam entre si, onde não haveria oxigenação ou seria muito baixa. Esta zona de hipoxia ou *anoxia* tenderia a aumentar em condições anormais, nomeadamente, por diminuição da P_{2O_2} , ou da extracção de oxigénio pelos tecidos, ou maior afinidade da hemoglobina para o oxigénio ou rarefacção da rede capilar local. O facto de estar estabelecido, actualmente, que a maior parte da oxigenação tecidual é iniciada a partir das arteríolas não invalida os resultados teóricos do modelo.

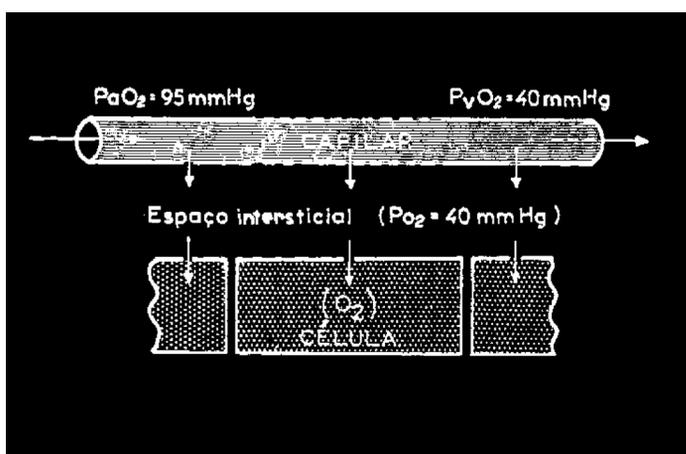


Fig.3. Diferencial da pressão de oxigénio existente, em média, no sangue arterial venoso e espaço intersticial e venoso, admitindo-se que nas células seja igual ou inferior a 5mmHg. Estas condições são extremamente favoráveis à difusão do oxigénio do sangue para os espaços celulares envolventes.

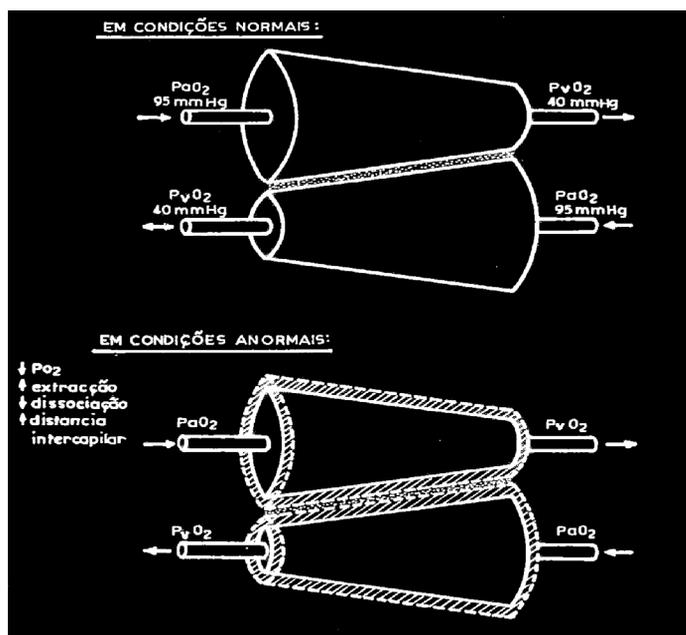


Fig.4. Modelo de oxigenação de Krogh, adaptado.