

Texto Base: Aula 21, 22, 23 e 24

Níveis de organização dos seres vivos

Hamilton Haddad

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção. Ao ser produzido, o conhecimento novo supera outro que antes foi novo e se fez velho e se ‘dispõe’ a ser ultrapassado por outro amanhã” (Paulo Freire, “Pedagogia da Autonomia”, citado na Proposta Curricular do Estado de São Paulo para a Disciplina de Ciências – Ensino Fundamental, Ciclo II)

UM POUCO DE HISTÓRIA...

Os primeiros pensadores

“A água é o princípio de tudo”, teria dito o primeiro filósofo da história ocidental: Tales de Mileto. Outros o seguiram, como Anáxímenes, que identificou o princípio de todas as coisas no ar, ou Heráclito, que disse que tudo vinha do fogo. Esses primeiros pensadores são alguns dos chamados filósofos pré-socráticos, que viveram na Grécia entre os séculos VII e IV antes de Cristo. O centro de suas investigações foi a natureza. A busca por uma explicação racional para os fenômenos naturais os levou a tentar descobrir a origem, o princípio absoluto do qual tudo deriva; em grego, o *arkhé*. Sabemos atualmente que água, ar e fogo não são a origem de tudo o que existe. Entretanto, longe de serem soluções ingênuas, a ideia de que pode ser possível explicar a complexidade dos fenômenos naturais com base em princípios simples e universais é um objetivo incansavelmente buscado pela ciência até os dias de hoje. Quando utilizamos um conjunto de equações que descreve a queda de um lápis e, ao mesmo tempo, é capaz de colocar um satélite em órbita, estamos, de certa forma, fazendo isso. Esses primeiros investigadores estavam, portanto, imbuídos do mais puro espírito científico, de modo que podemos considerá-los tanto os primeiros filósofos quanto os primeiros cientistas. A palavra grega *phýsis* designa a totalidade da natureza, isto é, tudo o que existe (incluindo o homem). Ela deu origem tanto à palavra *física* quanto à *fisiologia*. No entanto, a distinção entre essas duas disciplinas, uma relacionada ao funcionamento do universo e a outra relacionada ao funcionamento do organismo só foi realizada séculos mais tarde. Dessa forma, os filósofos pré-socráticos, interessados no estudo da natureza como um todo, podem ser considerados os primeiros *physiologói*, ou fisiólogos: os “estudantes da natureza”.

Citamos alguns filósofos que conceberam a *phýsis* como unitária, isto é, propuseram um princípio único para a natureza. Outros pensadores pré-socráticos, no entanto, adotaram soluções pluralistas, como foi o caso do

filósofo e médico Empédocles. Para ele, tudo o que existe seria composto por uma mistura de quatro elementos: ar, água, terra e fogo, as “raízes de todas as coisas”. Estas quatro essências fundamentais seriam unidas e separadas por duas forças opostas, o amor (*philia*) e o ódio (*neikos*), atração e repulsão. Outros filósofos, como Leucipo e Demócrito, sugeriram a idéia, tão ousada quanto fabulosa, de que tudo seria constituído de espaço vazio, no qual se movimentariam partículas sólidas indivisíveis: os átomos (do grego *tomos*, que significa divisão; *a-tomos*: aquilo que não se divide). A teoria atômica era uma teoria materialista e mecanicista, pois tentava explicar a complexidade dos fenômenos naturais em termos de matéria e movimento. O perpétuo movimento inerente aos átomos no vácuo era concebido como sendo o resultando de um mecanismo de causa e efeito, resultado das colisões entre eles. A mecanicidade, esse aspecto fundamental da proposta atomista, presente também na teoria de Empédocles, provocou uma grande reação nos pensadores que o sucederam.

Assim como para os pré-socráticos, o estudo da *phýsis* foi uma preocupação central nas investigações de Aristóteles (384-321 a.C.). A Terra ocupa o centro de seu universo, que é dividido em duas grandes regiões: supralunar e sublunar. Tudo que está acima da Lua seria composto por uma quinta-essência: o éter. Nessa região, caracterizada pela perfeição, os corpos celestes estariam em eterno movimento circular, formando esferas concêntricas em torno da Terra. Já abaixo da Lua, tudo seria composto por uma mistura dos quatro elementos (terra, fogo, água e ar), e estaria sujeito à geração e à destruição, a um começo e um fim. No mundo sublunar, o movimento natural do fogo e do ar tenderia para o alto. Já os corpos pesados, que conteriam os elementos terra e água tenderiam a ir para o centro do universo, que coincidiria com o centro da Terra.

A constituição da matéria e o nascimento da ciência moderna

Um traço marcante da Revolução Científica, que já abordamos aqui, ocorrida ao longo dos séculos XVI e XVII, foi a retomada da teoria atomista de Leucipo e Demócrito. Essa ideia havia sido desenvolvida por pensadores greco-romanos posteriores, com Epicuro e Lucrecio. Porém, a adoção do paradigma platônico-aristotélico adotado pela ciência ofuscou as ideias desses pensadores. Como vimos, o atomismo era uma proposta materialista, isto é, o mundo poderia ser explicado em termos de matéria e movimento. Durante o século XVII, diversas teorias oriundas do atomismo grego surgiram na Europa, principalmente na Inglaterra e na França; chamaremos essas teorias de corpusculares, porque as versões dessa ideia mudam de pensador para pensador. Galileu e Bacon eram corpuscularistas, mas podemos apontar o químico Robert Boyle (1627-1691) e o filósofo Pierre Gassendi (1592-1655) como os principais divulgadores dessa ideia. O corpuscularismo possui uma

importância fundamental dentro da formação da ciência moderna, pois, além de alinhar-se à tradição experimental, ele abre caminho para a explicação dos fenômenos naturais em termos mecânicos. Resumindo: a mudança na natureza seria resultado dos choques entre esses microscópicos corpúsculos em movimento. A filosofia mecânica foi um dos pilares na Revolução Científica e foi desenvolvida por diversos pensadores do século XVII; dentre eles, o filósofo francês René Descartes (1596-1650).

O universo mecânico de Descartes

Para Descartes havia três tipos de substância: a substância de Deus (*res infinita*), a substância do pensamento (*res cogitans*) e a substância da matéria (*res extensa*). O universo, segundo ele, seria uma grande máquina em movimento. Essa visão contrastava com a de Platão e Aristóteles, que concebiam o universo como um organismo vivo. A analogia cartesiana, na verdade, caminha no sentido oposto: os seres vivos (homens e animais) são concebidos como máquinas. Para explicar um fenômeno natural, portanto, é necessário desvendar os mecanismos dessa máquina, substituir o fenômeno real pelo modelo mecânico subjacente. A realidade última das coisas não é identificada com o que é observável, com a experiência imediata, mas sim com a matéria e o movimento das partículas que constituem a matéria; ambos devem ser, na medida do possível, medidos e quantificados. Segundo o historiador da ciência Paolo Rossi, a “filosofia mecânica”, da qual Descartes era um dos expoentes, partia de alguns pressupostos:

*1) a natureza não é a manifestação de um princípio vivo, mas é um sistema de matéria em movimento governado por leis; 2) tais leis podem ser determinadas com exatidão pela matemática; 3) um número muito reduzido dessas leis é suficiente para explicar o universo; 4) a explicação dos comportamentos da natureza exclui em princípio qualquer referência às causas vitais ou às causas finais.*¹

A época de ouro da microscopia

Uma geração, que contou com nomes como Robert Hooke (1635-1703), Marcello Malpighi (1628-1694), Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) e Jan Swammerdan (1637-1680), praticamente fundou a histologia e a microbiologia. O início de uso do microscópio está ligado a *Academia de Lincei*, sociedade científica italiana onde o termo *microscopia* aparece pela primeira vez, em 1625. Ao longo do século XVII, o instrumento foi aperfeiçoado e novos usos foram incorporados. Um dos primeiros a realizar observações sistemáticas ao microscópio foi o holandês van Leeuwenhoek, que, entre outras coisas, medi o diâmetro dos glóbulos vermelhos no sangue e observou as fibras musculares

¹ Rossi, P. *O nascimento da ciência moderna na Europa*. EDUSC, 2001.

em contração. O inglês Robert Hooke foi o primeiro a observar pequenos poros presentes no tecido da cortiça, que ele chamou de células. No entanto, de maneira alguma se pode atribuir a Hooke a descoberta da célula, ainda que tenha sido ele o primeiro a observá-la, pois o fundamento conceitual do que chamamos hoje de célula só será construído no século XIX. A importância de Hooke, porém, está na publicação de sua principal obra: a *Micrographia*, de 1665, em que ele descreve uma série de observações realizadas com o auxílio do microscópio. O uso do microscópio foi um dos avanços tecnológicos de maior impacto na fisiologia e na anatomia. Com ele, um novo mundo se mostrou aos pesquisadores, e a expansão do conhecimento proporcionada por ele dificilmente encontra paralelo na história dessas disciplinas.

A teoria celular

Enquanto a teoria da evolução de Darwin fornecia o arcabouço explicativo sobre a formação das estruturas presentes nos seres vivos, e a teoria do meio interno de Bernard unificava a fisiologia, uma outra teoria terminou de unir a biologia vegetal e animal, e tornou-se também um dos pilares da fisiologia moderna. A *teoria celular*, como ficou conhecida, surgiu na Alemanha, com os trabalhos de Matthias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882). O desenvolvimento dessa idéia, porém, tem início quase duzentos anos antes, com as primeiras observações com o auxílio do microscópio feitas por Hooke, Leeuwenhoek, Malpighi e vários outros. Esses pesquisadores, e os que os seguiram, observavam que, tanto os tecidos vegetais quanto os tecidos animais, possuíam uma grande variedade de glóbulos e corpúsculos. Dessa maneira, no início do século dezanove a existência das “células” era fato conhecido da comunidade européia de microscopistas. Qual foi, então, a grande novidade introduzida por Schleiden e Schwann? Como veremos, mais do que acrescentar novas descrições às já muitas existentes na época, foi a insistência na idéia de que a célula é a unidade fundamental de todos os organismos vivos que os colocou no centro dessa importante descoberta. Isto é, a grande mudança foi *conceitual* e não metodológica.

Dentre os muitos precursores da teoria celular, podemos citar os franceses Henri Dutrochet (1776-1847) e François Raspail (1794-1878), o checo Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) e seus discípulos, e o alemão Lorenz Oken (1779-1851). Purkinje liderou um importante centro de pesquisas micro-anatômicas e fisiológicas em Breslau e posteriormente em Praga. Suas investigações lhe renderam diversas descobertas, como as grandes células observadas no cerebelo que hoje levam seu nome, sendo considerado um dos principais pioneiros da teoria celular. De acordo com alguns historiadores, os trabalhos de Purkinje e seu grupo – muitos deles publicados em checo – foram eclipsados por rivalizarem com o grupo dominante na fisiologia germânica liderado por Johannes Müller. Já o caso de Lorenz Oken representa um

capítulo interessante no desenvolvimento da doutrina da célula. Oken era adepto da *Naturphilosophie*, um movimento científico-filosófico que exerceu grande influência no ambiente cultural alemão no final do século XVIII e começo do século XIX. Na obra *Die Zeugung* (Sobre a Geração), de 1805, Oken propõe que todas as formas vivas, das mais simples às mais complexas, seriam constituídas de “infusorianos”: pequenas vesículas que se formariam a partir de um fluido original amorfo e indiferenciado. As afirmações de Oken baseavam-se excessivamente em argumentos metafísicos e não em observações diligentes e sistemáticas ao microscópio, o que lhe rendeu inúmeras críticas por parte dos seus contemporâneos. No entanto, para muitos, sua importância na formação da teoria celular residiu na sua insistência de que os organismos vivos eram formados por minúsculas unidades funcionais.

Em 1833, Johannes Müller (1801-1858) assumiu a cadeira de anatomia e fisiologia da Universidade de Berlim formando em torno de si um importante grupo de pesquisas. Entre os primeiros alunos de Müller estavam dois exímios microscopistas: Schleiden, um ex-advogado que virou botânico, e Schwann, um microanatomista. Ao investigar o tecido embrionário de plantas, Schleiden concluiu que o tecido vegetal era constituído de uma “sociedade” de células, que, juntas, formavam a base estrutural das plantas. Além disso, concluiu que todas as células eram geradas pelo mesmo mecanismo. Suas descobertas foram publicadas na monografia *Beiträge zur Phytogenesis* (Contribuições para a Fitogênese), em 1838. Durante um jantar, Schleiden compartilhou suas idéias com Schwann, que ficou muito entusiasmado, pois viu grande semelhança com o trabalho que ele mesmo desenvolvia com tecidos cartilagosos e de notocorda. Em 1839, Schwann publicou suas conclusões sob o título *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Structur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen* (Pesquisas Microscópicas sobre a Conformidade na Estrutura e Crescimento entre Plantas e Animais). Essa obra, que incorporou os trabalhos de Schleiden, obteve grande sucesso, e marca, enfim, o nascimento da teoria celular. Nela, Schwann propõe, de forma coesa e baseada em diversas e sólidas evidências empíricas, a teoria de que as células constituiriam as unidades fundamentais dos animais e dos vegetais. Elas seriam a sede das atividades metabólicas do organismo.

Tanto Schleiden quanto Schwann não reconheceram o processo de divisão celular, e acreditavam que as novas células se formavam a partir de um fluido nutritivo, num processo análogo ao de cristalização. Esses erros, no entanto, não impediram que a teoria celular, aliada à teoria do meio interno, funcionasse como grande ponto de convergência para a fisiologia, assim como para diversas outras disciplinas biológicas. Rudolf Virchow (1821-1902), por exemplo, transferiu para a fisiologia da célula a sede das doenças, fundando a patologia celular.

Um século de descobertas

A incorporação da química à fisiologia, formando a química fisiológica, ou bioquímica, foi um longo processo que ocorreu desde o final do século dezenove. Durante o século vinte, sobretudo a partir da segunda metade, o centro de gravidade da fisiologia deslocou-se para a bioquímica celular e molecular. As novas descobertas teóricas e metodológicas, proporcionadas pelos avanços desses campos, revolucionaram praticamente todos os ramos da fisiologia. O horizonte investigativo da disciplina ampliou-se e atravessou a membrana citoplasmática, atingindo o interior do núcleo celular. Nesse contexto, devemos destacar a que provavelmente foi a maior descoberta das ciências biológicas do século XX: a elucidação da estrutura do DNA, por James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004), baseada nos trabalhos de cristalografia de Rosalind Franklin (1925-1955) e Maurice Wilkins (1916-2004). A partir dessa descoberta, os mecanismos genômicos responsáveis pelos processos fisiológicos puderam começar a ser desvendados. Mais um importante passo foi dado na direção de explicar as bases físicas e químicas dos processos envolvidos no que chamamos de vida.

A FISILOGIA HOJE

Meio interno e meio externo

O planeta Terra possui mais de 4,5 bilhões de anos, sendo que os registros fósseis indicam que os primeiros seres vivos surgiram há mais de 3,5 bilhões de anos. Como vocês estudaram em disciplinas anteriores, a hipótese científica mais aceita sobre origem da vida presume que ao longo de milhões de anos, moléculas orgânicas agruparam-se formando os primeiros aminoácidos, que posteriormente se organizaram em macromoléculas complexas: as proteínas. Estas, formaram minúsculos aglomerados envoltos por água, denominados coacervados. Com o tempo, esses coacervados foram agregando outras moléculas complexas – como os ácidos nucleotídeos – e diversas reações químicas necessárias ao que hoje chamamos de vida começaram a ocorrer em seu interior. Finalmente, o surgimento das primeiras membranas lipídicas passou a separar definitivamente o conteúdo químico dos coacervados do meio exterior, dando origem aos primeiros organismos unicelulares. Acredita-se que isso tenha ocorrido nos oceanos primitivos.

É fundamental ressaltarmos que o meio no qual surgiram os processos bioquímicos e biofísicos fundamentais à vida era *aquoso*; e isso se mantém até os dias atuais. As reações intra e extracelulares imprescindíveis à manutenção da vida acontecem na água. Como dito acima, os primeiros seres vivos eram unicelulares, separados do meio exterior por uma membrana, através da qual eram (e são) trocadas com o meio substâncias essenciais para o organismo. Ao longo do processo evolutivo, alguns organismos unicelulares agruparam-se

em colônias, dando origem aos primeiros seres multicelulares. Alguns desses seres multicelulares tornaram-se maiores e mais complexos, sendo que as células que os constituíam especializaram-se em funções diversas. No entanto, as células que formam um organismo multicelular continuam a viver em um meio interior aquoso – embora a composição física e química desse meio não fosse mais exatamente a mesma do meio exterior. Ou seja, em muitos organismos, temos um meio aquoso interior – denominado *meio interno* – que é diferente do exterior, e é nesse meio que efetivamente vivem as células desses organismos (com exceção de algumas células que fazem fronteira com o meio externo, como as da pele e mucosas). Esse meio interior deve conter todas as substâncias necessárias à vida das células, como nutrientes e oxigênio. Ele deve também fornecer um ambiente físico-químico propício para as reações químicas que dão suporte à vida, com condições ajustadas de pressão, temperatura, pH e salinidade.

A ideia de que as condições de existência das células se dão no meio interior, e não diretamente no meio exterior, é um conceito chave da fisiologia moderna. Esse conceito foi brilhantemente formulado por aquele que é considerado um dos fundadores dessa disciplina: o francês Claude Bernard (1813-1878):

Creio ter sido o primeiro a insistir nessa ideia de que para o animal há realmente dois meios: um meio externo no qual está colocado o organismo e um meio interno (milieu intérieur), no qual vivem os elementos dos tecidos. A existência do ser se dá não no meio externo, o ar atmosférico para o ser aéreo, a água doce ou salgada para os animais aquáticos, mas no meio líquido interno formado pelo líquido orgânico circulante que envolve e banha todos os elementos anatômicos dos tecidos.(...) ²

Podemos notar que Bernard compara o organismo a uma sociedade, na qual os elementos dos tecidos – isto é, as células – vivem no meio interno. Para ele, “o organismo forma, por si próprio, uma unidade harmônica, um pequeno mundo (microcosmo) contido num grande mundo (um macrocosmo)”.

Vamos agora refinar um pouco melhor o conceito de meio interno, aplicando-o ao organismo humano. O meio externo é tudo aquilo que está além dos limites da pele; no caso do homem, o ar. Além disso, os tratos digestório, urinário e as vias respiratórias, também são considerados como exteriores ao organismo. Como dissemos, o meio interno é o líquido em que vivem as células; por essa razão, alguns o chamam de *líquido extracelular (LEC)*, para diferenciá-lo do *líquido intracelular (LIC)*. O LEC também é comumente chamado de líquido intersticial, ou simplesmente *interstício*. É importante destacar que a composição química do LEC é muito distinta da composição do

² Bernard, C. *Leçons sur les Phénomènes de la Vie Communs aux Animaux et aux Végétaux*. Paris, 1878.

LIC, embora ocorra troca constante de substâncias entre esses dois meios através da membrana plasmática. Também convém observar que, além desses dois compartimentos aquosos principais do organismo (LIC e LEC), existe um terceiro compartimento aquoso importante: o *plasma*, a parte líquida do sangue. A composição química do plasma é muito semelhante a do interstício, diferindo apenas no que se refere à concentração de proteínas. Resumindo, o organismo possui três compartimentos aquosos principais: o intracelular, o interstício e o plasma. O meio interno é o interstício, o líquido que banha as células, o “mar interior” que herdamos nos nossos antepassados unicelulares e que carregamos dentro nós.

Homeostase e retroalimentação

Claude Bernard também notou que a ideia de que as células vivem no meio interno, e não no meio externo, implica que as condições físico-químicas desse meio devem permanecer sempre compatíveis com a vida celular. No caso de diversos organismos, essas condições são relativamente independentes do meio exterior. No caso do homem, por exemplo, temperatura do ambiente pode variar mais de 20 graus em um único dia; sua temperatura interna, contudo, pouco será afetada, permanecendo em torno de 37°C. A concentração de glicose, de oxigênio, o pH, a osmolaridade, entre vários outros parâmetros, também são mantidos dentro de estreitas faixas de variação, compatíveis com a delicada vida das células – a despeito das variações ambientais. Estas faixas são chamadas de fisiológicas. Nas palavras de Bernard:

A fixidez do meio interno é a condição de vida livre, independente: o mecanismo que a possibilita é aquele que assegura no meio interno a manutenção de todas as condições necessárias para a vida dos elementos.

Baseado nessa visão, em 1929, o fisiologista americano Walter Cannon (1871-1945) cunhou o termo *homeostase*: a partir dos termos gregos *homeo* (similar) e *stasis* (estático). Ela se refere a essa capacidade de alguns organismos, como o humano, de manter os diversos parâmetros do meio interno em níveis constantes, independentemente das variações do ambiente exterior.

Uma analogia nos ajudará a entender melhor o conceito de homeostase. Imaginemos o saguão de um sofisticado hotel, no qual, para o conforto dos hóspedes, a temperatura é mantida sempre a 24°C. A manutenção da temperatura estável é realizada por um sistema mecânico de ar condicionado capaz de resfriar ou aquecer o ar, dependendo da ocasião. Se, por exemplo, a temperatura do saguão cair abaixo de 24°C, o sistema liga o aquecimento e aumenta a temperatura. Caso o contrário, se a temperatura estiver acima dos 24°C, o sistema liga o resfriamento e a temperatura cai. O sistema está programado para manter a temperatura em um *ponto de ajuste* (*set point*,

nesse caso, 24°C), o que torna a temperatura do saguão independente da temperatura externa. Mesmo durante o mais rigoroso inverno, ou no mais abrasador verão, os sortudos hospedes desse hotel desfrutarão os agradáveis 24°C.

Sendo um animal endodérmico, o corpo humano também possui um ponto de ajuste de temperatura: 37°C, temperatura ideal para as reações bioquímicas que dão suporte à vida celular. Se a temperatura do organismo ultrapassa esse valor, diversas reações fisiológicas e comportamentais ocorrerão até que a temperatura volte ao ponto de ajuste. Por exemplo, começaremos a suar – a evaporação do suor leva a perda de calor. Se, ao contrário, a temperatura diminuir para menos de 37°C, outras reações fisiológicas acontecerão até que a temperatura volte ao ponto de ajuste. Quando trememos, por exemplo, a atividade muscular gera calor. Dizemos que esses são mecanismos homeostáticos de manutenção da temperatura corporal. Como no caso do hotel, os mecanismos de manutenção da temperatura em níveis estáveis permitem uma independência dos animais endotérmicos em relação a temperatura exterior. Podemos observar isso se compararmos esses animais como os animais ectodérmicos, que não possuem esses mecanismos de controle, e tornam-se letárgicos a baixas temperaturas.

Demos acima o exemplo do controle homeostático da temperatura corporal. Devemos porém ter em mente que esse tipo de controle acontece com praticamente todas as variáveis ou parâmetros importantes para a manutenção da vida. O mecanismo que permite a manutenção dessas variáveis dentro de faixas fisiológicas – ou homeostáticas – é denominado *retroalimentação negativa* (*negative feedback*). Para que esse tipo de mecanismo possa entrar em ação, o organismo deve:

- 1) ser capaz de detectar a variável em questão,
- 2) possuir um ponto de ajuste para aquela variável, localizado em centros de integração, e
- 3) ser capaz de executar respostas de ajuste.

Vimos que, para controlar a temperatura, o organismo tem que ser capaz de detectar essa variável. De fato, nós possuímos diversos detectores (ou receptores) de temperatura espalhados pelo nosso corpo. Ele também deve possuir uma estrutura – ou um conjunto de estruturas – responsável pela integração dessa informação e pelo controle do ponto de ajuste. No homem, essa estrutura está localizada no sistema nervoso central, e é denominada hipotálamo. Já as respostas são executadas por diversas vias de saída, e nesse caso incluem a sudorese ou o tremor muscular, como já discutimos.

Podemos agora generalizar a partir desses exemplos e tentar apreender o conceito de retroalimentação negativa. Ele envolve o controle de um

determinado parâmetro fisiológico por meio de seu contínuo monitoramento pelo organismo e da execução de respostas de correção adequadas. A capacidade de manutenção da homeostase está diretamente relacionada à saúde. Um organismo saudável é aquele capaz de manter os parâmetros essenciais à vida dentro de faixas fisiológicas. Conseqüentemente, a incapacidade de manutenção da homeostase de uma variável, ou conjunto de variáveis, caracteriza a doença. Um exemplo bastante frequente na população mundial é a incapacidade de manutenção homeostática da glicemia, que está relacionada à diabetes. Algumas vezes, entretanto, quadros patológicos são causados por mudanças no próprio ponto de ajuste de um determinado parâmetro. Em alguns casos de hipertensão, por exemplo, é o ponto de ajuste de pressão arterial no bulbo que aumenta. A febre é outro exemplo de aumento no ponto de ajuste de temperatura no hipotálamo, causado por bactérias patogênicas.

Antes de encerrarmos esse tópico, devemos mencionar que recentemente alguns fisiologistas têm considerado que o termo homeostase não contempla os estados de constante mudança a que os organismos estão continuamente submetidos. De fato, a própria origem do termo – *homeo* (similar) e *stasis* (estático), ou seja, “permanecer no mesmo” – leva a essa interpretação. Contra a ideia de “fixidez” de Claude Bernard, esses fisiologistas enfatizam o caráter essencialmente dinâmico das variáveis que compõem o meio interno. Por exemplo, os organismos encontram-se frequentemente sob fatores estressores do ambiente, que impõem diversos mecanismos compensatórios de adaptação. Sabemos também que o valor de alguns parâmetros variam ao longo dia, como a temperatura ou o nível de alguns hormônios. Dessa maneira, com o intuito de abranger essas condições em que a mudança é mais importante do que a estase, termos como *alostase* e *reostase* têm sido propostos e utilizados.

Origem dos sistemas fisiológicos

Observamos que os organismos unicelulares trocavam substâncias essenciais com o ambiente. Essas substâncias podem seguir o sentido ambiente-organismo, como no caso dos nutrientes e do oxigênio (em seres aeróbios), ou podem seguir o sentido organismo-ambiente, como acontece com os produtos do metabolismo que devem ser eliminados, como a ureia e o CO₂. Em organismos muito pequenos (como nos unicelulares ou em alguns multicelulares), a maior parte desse transporte ocorre por *difusão*. A difusão é um processo que depende do movimento aleatório natural das moléculas, sendo um processo muito eficiente de transporte de substâncias em curtas distâncias. No entanto, justamente por ser um processo que depende do movimento aleatório das moléculas, a difusão torna-se um processo de transporte extremamente lento e ineficiente quando as distâncias começam a

crescer. O fato de alguns organismos terem aumentado de tamanho ao longo do processo evolutivo trouxe, portanto, num sério desafio no que diz respeito ao transporte de substâncias essenciais.

Outro desafio relacionado à difusão decorre do fato desse processo de transporte depender da razão área de superfície/volume corporal. Isso porque as trocas de substâncias são realizadas somente na interface organismo-ambiente, ou seja, na superfície corporal. Um organismo unicelular possui um volume reduzido em relação a sua área de superfície. Em seres maiores, todavia, o volume corporal tende a crescer muito mais do que a área de superfície, o que a torna insuficiente para realizar todas as trocas necessárias para a manutenção da vida.

Dessa maneira, podemos perceber que a pressão seletiva imposta pelo aumento de tamanho observado em organismos multicelulares foi responsável pelo surgimento, forma e função de alguns dos principais sistemas fisiológicos atuais. Em organismos como o humano, por exemplo, observamos a existência de grandes sistemas de transporte, como o sistema circulatório e o sistema respiratório. Nesses sistemas, as moléculas não se movimentam aleatoriamente como na difusão, mas por diferenças de pressão, num tipo de transporte denominado convecção. No sistema respiratório – e em outros sistemas, como o digestório e o renal – observamos a presença de grandes epitélios de troca compactados em volumes reduzidos. A membrana respiratória, por exemplo, onde ocorrem as trocas gasosas no pulmão, se pudesse ser estendida sobre o chão, ocuparia a área de uma quadra de tênis! As pregas, vilosidades e microvilosidades presentes na parede do trato gastrointestinal aumentam em até 600 vezes a área de absorção de nutrientes. Ter em mente essas duas limitações do transporte por difusão – ser muito lento para grandes distâncias, e depender de grandes superfícies de troca – nos ajudarão futuramente a compreender o *design* dos vários sistemas fisiológicos.

Sistemas de controle

Vimos que os conceitos de meio interno, homeostase e retroalimentação são centrais na fisiologia. Na verdade, boa parte dessa disciplina concentra-se no estudo dos mecanismos de retroalimentação responsáveis pela manutenção da homeostase corporal. Nas próximas aulas estudaremos em detalhes vários desses processos. Contudo, uma questão se coloca quando lidamos com organismos complexos como humano, em que diversos sistemas têm que trabalhar conjuntamente na manutenção da homeostase. Como esses vários sistemas são coordenados? Existe algum tipo de sistema de controle? A resposta é sim. Na verdade, há dois grandes sistemas de controle no organismo: o *sistema nervoso* e o *sistema endócrino*. Esses dois sistemas agem de maneira diferente, mas complementar. Em geral, o sistema nervoso controla os demais sistemas do organismo de maneira rápida, promovendo

ajustes fisiológicos e comportamentais quase instantâneos frente a perturbações oriundas do meio externo e interno. Já o sistema endócrino atua de forma mais lenta e duradoura, por meio de hormônios que são lançados na circulação sanguínea. Esses dois sistemas são intimamente relacionados, e trabalham muitas vezes de forma bastante integrada na manutenção da homeostase e da saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, M.M. (org.). *Fisiologia*. 4ª ed. Guanabara Koogan, 2012.

BARNES, J. *Filósofos Pré-Socráticos*. Martins Fontes, São Paulo, 1997.

BERNARD, C. *Introdução à Medicina Experimental*. Guimarães e Cia. Editores, Lisboa, 1962.

COLEMAN, W. *The Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*. Cambridge University Press, 1971.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. *Tratado de Fisiologia Médica*. 12ª ed. Elsevier, 2011.

HALL, T.H. *History of General Physiology: 600 B.C. to A.D. 1900* (2 volumes). The University of Chicago Press, Chicago, 1969.

MARILENA, C. *Introdução à História da Filosofia: dos pré-socráticos a Aristóteles*. Companhia das Letras, São Paulo, 2002.

ROSS, D. *Aristóteles*. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1987.

ROTHSCHUH, K.E. *History of Physiology*. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 1973.

SILVERTHORN, D.U. *Fisiologia Humana: uma Abordagem Integrada*. 5ª ed. Artmed, 2010. estudo recordando a representação esquemática de filogenia de consenso dos eucariontes (Baldauf, 2008), que já utilizamos em diversas de nossas aulas sobre biodiversidade. Nela, podemos identificar que o grupo abordado nas próximas aulas está representado pela linhagem indicada com a seta vermelha (Figura 1).