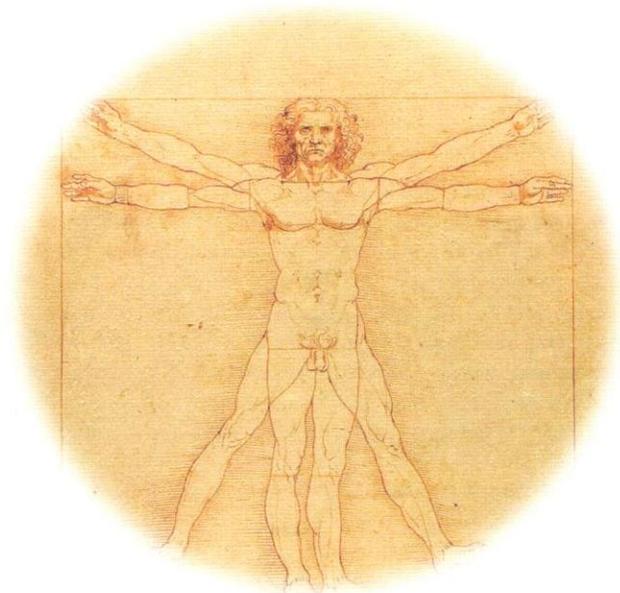


Uma Breve História da Fisiologia

Hamilton Haddad Junior

As Origens da Fisiologia no Brasil

Marcus Vinícius C. Baldo
Cesar Timo-laria (*in memoriam*)



- Introdução, 2
- Antiguidade clássica, 2
- O renascimento cultural, 7
- Século das luzes, 14
- O século XIX, 20
- O século XX, 26
- Conclusão, 27
- As origens da fisiologia no Brasil, 28
- Bibliografia, 35

► Introdução

▪ Por que estudar a história da fisiologia?

Todos conhecemos ou pelo menos já ouvimos falar de cientistas como Galileu, Newton ou Einstein. Aprendemos na escola as contribuições para a química de Boyle e Lavoisier. Mas será que nomes de grandes fisiologistas tais como William Harvey ou Claude Bernard, nos são também tão familiares? Será que levamos em conta que Boyle e Lavoisier também realizaram importantes descobertas para a fisiologia? Provavelmente não. Estas comparações simples refletem uma enorme discrepância entre o valor que normalmente damos à história da física e da química em relação à história de outras ciências naturais, como a fisiologia. Na verdade, a história da fisiologia tem sofrido uma sistemática negligência tanto por parte dos historiadores quanto por parte dos que a praticam: os próprios fisiologistas. Essa negligência não se justifica por vários motivos. Primeiro, porque a fisiologia ocidental é tão antiga quanto a física e a química – todas com origem nos primeiros pensadores gregos. Segundo, porque essas disciplinas provavelmente tinham e têm equivalente relevância para a sociedade ao longo da história. Por fim, a história da fisiologia é tão interessante e instigante que, ao nos debruçarmos sobre ela, nos deparamos com uma aventura digna de qualquer romance épico. Este, por si só, seria um motivo para estudá-la.

O que fazemos hoje dentro dos laboratórios de pesquisa foi e é determinado historicamente, estando inexoravelmente inserido em uma tradição de pesquisa que possui suas raízes em épocas remotas. Olhando para o passado, podemos aguçar a visão crítica sobre a pesquisa atual, procurando sempre evitar cometer os erros de nossos predecessores. Estudar a história de qualquer ciência é dar a ela uma dimensão temporal; é inseri-la dentro da história da sociedade, abrindo as portas para uma compreensão mais ampla de suas práticas atuais. Além disso, ao contrastar essa imagem dinâmica do projeto científico contra a imagem de uma ciência estática e a-histórica, nos damos conta de que nossas descobertas e contribuições serão também um dia substituídas por outras, em um processo que provavelmente nunca findará.

Antes de iniciarmos nossa jornada, convém alguns esclarecimentos. Não se pretende aqui contar a história da fisiologia (considerando-se que isso fosse possível), mas uma história da fisiologia. Para tanto, uma angustiante seleção de fatos, personagens e teorias teve de ser realizada, de modo que o que será apresentado constitui uma fina fatia do imenso bolo de acontecimentos dessa disciplina. Procurou-se dar relevância às ideias e teorias por trás dos cientistas e suas descobertas, em vez de uma simples cronologia de fatos e datas. Procurou-se também, na medida do possível, relacionar as principais descobertas fisiológicas com o contexto social e cultural da época, bem como sua relação com as descobertas ocorridas em outras ciências e em outros ramos do saber, tais como a filosofia e a arte. Obviamente, a intenção do presente texto não é, de longe, esgotar o assunto em questão, mas incentivar o gosto e a pesquisa dessa fascinante área, na esperança de que no futuro possamos corrigir a dívida que temos para com a história da disciplina.

► Antiguidade clássica

▪ Primeiros pensadores: os *physiologói*

“A água é o princípio de tudo”, teria dito o primeiro filósofo da história ocidental: Tales de Mileto. Outros o seguiram, como Anaxímenes, 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 atuais. 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 maneira, 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 ser humano). Ela deu origem tanto à palavra *física* quanto à *fisiologia*. No entanto, a distinção entre essas duas disciplinas, uma relacionada com o funcionamento do universo e a outra relacionada com o funcionamento do organismo, só foi realizada séculos mais tarde. Dessa maneira, 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. Entretanto, outros pensadores pré-socráticos 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 ideia, tão ousada quanto fabulosa, de que tudo seria constituído de espaço vazio, no qual se movimentariam partículas sólidas indivisíveis: os átomos (do grego *tomo*, que significa divisão; *a-tomo*: 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 o resultado 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.

▪ Medicina grega

A medicina grega floresceu na mesma época dos pré-socráticos. Além da escola de Empédocles, outras duas importantes escolas médicas surgiram nesse período. A primeira

foi fundada por Alcmeão, nativo de Crotona, uma colônia grega situada no litoral da Itália. Consta que Alcmeão realizou algumas disseções em animais e que concebia a saúde como um equilíbrio de forças dentro do organismo. Essa ideia de balanço, ou igualdade de potências (*isonomia*), também presente no pensamento de Empédocles, representa provavelmente uma influência do pré-socrático Pitágoras, que identificava a natureza com números, em um sistema ordenado e harmonioso de proporções.

A fundação da medicina como uma disciplina racional e científica está associada, no entanto, principalmente à figura de Hipócrates (Figura 1). Pouco se sabe a seu respeito; provavelmente nasceu na ilha de Cós, onde fundou uma escola, e viveu entre os anos 460 e 370 a.C. O conjunto de sua extensa obra forma o *Corpus Hippocraticus*, embora se admita que grande parte dela tenha sido escrita por seus colegas e seguidores. Na famosa obra *Sobre a Natureza dos Homens*, é exposto o pensamento fisiológico da escola hipocrática. Ele se baseava na doutrina dos “quatro humores” ou sucos (*khymós*). Segundo essa teoria, o corpo humano seria constituído por uma mistura de quatro fluidos, ou humores: o sangue, a fleuma, a bile amarela e a bile negra. Cada um desses humores estaria associado a um dos elementos essenciais (fogo, água, ar e terra, respectivamente) e possuiria um par dentre quatro características: quente, frio, seco e úmido. Assim, o sangue seria quente e úmido; a fleuma, fria e úmida; a bile amarela, quente e seca, e a bile negra, fria e seca (Figura 2). Em um organismo saudável esses quatro humores estariam misturados de maneira equilibrada; já a doença seria o excesso ou a falta de um desses fluidos, ou seja, um desequilíbrio. Na saúde, o organismo estaria, portanto, em *eukrasia* (*eu*: boa, *krásis*: fusão, mistura); na doença, em *dyskrasia*. Posteriormente, essa doutrina deu origem à ideia dos quatro temperamentos, de acordo com a predominância de um desses humores no organismo. Uma pessoa poderia ter um temperamento sanguíneo, fleumático, colérico



Figura 1 • Hipócrates, representado por um artista bizantino. Nas mãos, o médico grego carrega um livro contendo um de seus mais famosos aforismos: “A vida é curta, a arte é longa”. (Adaptada de Inglis B. *Historia de la Medicina*, Ediciones Grijalbo, Barcelona, 1968.)

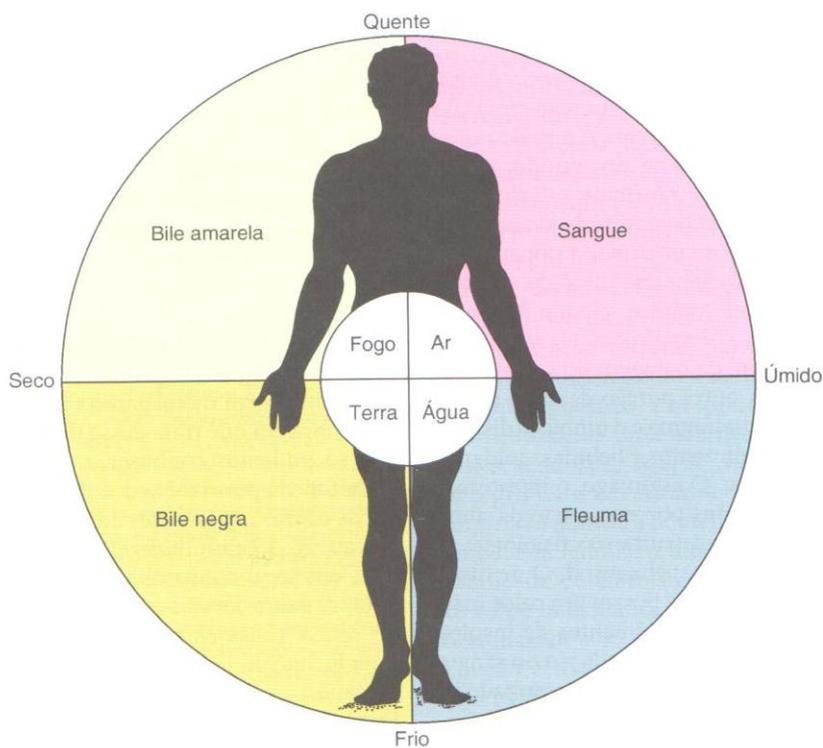


Figura 2 • Esquema da doutrina humoral, ponto central na fisiologia hipocrática.

(em caso de excesso de bile amarela, ou *kholé*) ou melancólico (excesso de bile negra, a *atrabilis*, chamada em grego de *mélaina kholé*). Hipócrates e a doutrina dos quatro humores exerceram enorme influência na medicina ocidental – mesmo após a Renascença – avançando até meados do século XVIII. Podemos ainda hoje observar seus ecos em nossa linguagem cotidiana, quando dizemos, por exemplo, que alguém está bem-humorado ou de mau humor.

▪ Platão e Aristóteles

Antes de continuarmos nossa jornada, é imprescindível examinarmos de maneira mais detida as ideias de dois filósofos que, juntos, representam o apogeu e a síntese do pensamento grego: Platão e Aristóteles. Ambos devotaram suas pesquisas a praticamente todos os ramos do conhecimento, incluindo a cosmologia, a física, a teologia, a lógica, a matemática, a política, a ética e a estética. Apesar de ambos terem escrito sobre o assunto, a fisiologia não foi o foco principal de suas investigações. Entretanto, suas ideias teóricas e metodológicas praticamente dominaram o panorama científico e filosófico dos dois milênios seguintes, consequentemente influenciando de maneira marcante a prática fisiológica desse período.

Platão (427-347 a.C.) viveu em Atenas, principal polo político e cultural da época, e foi discípulo de Sócrates.¹ Praticamente toda sua obra é constituída por diálogos, nos quais Sócrates é, quase sempre, o personagem principal. O diálogo em que Platão apresenta sua física e sua fisiologia é o *Timeu*, escrito já na sua maturidade. A primeira coisa que nos chama a atenção nesse diálogo, no qual *Timeu* expõe a Sócrates sua cosmologia, é o paralelismo entre o macrocosmo (universo) e o microcosmo (ser humano). O organismo seria um pequeno universo; este, por sua vez, é concebido como um grande organismo vivo, um “animal dotado de alma e de razão”. Segundo Platão, o ser humano e o universo seriam cópias moldadas por um artífice divino, um demiurgo que utilizou como molde formas ideais e eternas. Tanto o mundo quanto o ser humano teriam uma alma que comandaria a matéria, esta formada pelos quatro elementos: terra, fogo, água e ar.

A fisiologia contida no *Timeu* é baseada em uma divisão tripartida da alma humana, que teria uma porção imortal e outra mortal. A porção imortal seria divina e a mais nobre, uma reprodução microcômica da alma do mundo; estaria situada na cabeça, resultando daí seu formato esférico. Essa parte da alma seria racional e capaz de aquisição de conhecimento, além de ser responsável por comandar a porção mortal. Situada no tronco, a alma mortal seria dividida em duas partes. Uma porção irascível, ou colérica, situada acima do diafragma, em torno do coração e dos pulmões; ela seria capaz de sentir ira, participando, assim, da coragem do ser humano para enfrentar seus inimigos. A outra porção da alma mortal seria a apetitiva, situada entre o diafragma e o umbigo (distante da porção racional), e buscaria alimentos e bebidas, cuidando das funções nutricionais do corpo. O estômago, o intestino, o fígado e o baço seriam comandados por essa parte da alma. Utilizando esse esquema, Platão construirá sua fisiologia, na qual a respiração desempenha um papel central. O ar inspirado servirá para resfriar o coração, que possui um calor inato e ferve em momentos de cólera. Os movimentos de inspiração e expiração seriam responsáveis pela circulação do sangue nas artérias e veias. Esses movimentos seriam o resultado de

um complexo processo mecânico causado por correntes dos elementos fogo e ar. O sangue seria produzido no estômago, pela transformação (digestão) dos alimentos por meio da ação do fogo, e subiria em direção à cabeça em dois grandes vasos. É interessante notarmos que Platão, como seus contemporâneos, não fazia distinção entre artérias e veias, e não conhecia a contração muscular do coração como propulsora do movimento sanguíneo.

A medula espinal desempenha um papel fundamental no esquema platônico. É a partir dela, que contém as três espécies de alma, que seriam formadas as outras partes do organismo humano. Ela seria o elemento primordial, a ligação da alma com o corpo, a “semente universal de toda espécie sujeita a morte”. Platão indica a existência de um canal, ligando a medula aos órgãos sexuais, por onde passariam as sementes (o sêmen) do homem. Essa ideia ganhou adeptos até na Renascença, como podemos observar em alguns desenhos de Leonardo da Vinci (ver Figura 6).

Aristóteles (384-321 a.C.) nasceu na cidade de Estagira, situada na península da Calcídica, território macedônico. Aos dezoito anos, foi para Atenas estudar na Academia de Platão, tornando-se seu discípulo por vinte anos. Após a morte do mestre, deixa a Academia e realiza algumas viagens. Em uma delas, aceita a tarefa de ir à Macedônia ser preceptor do jovem Alexandre, futuro imperador. De volta a Atenas, o estagirita funda sua própria escola, o Liceu. Sem dúvida alguma, Aristóteles foi o maior biólogo da Antiguidade. O fato de seu pai ter sido médico na corte macedônica certamente contribuiu para que esse assunto se tornasse um de seus principais interesses. Sua obra contém a descrição de centenas de espécies animais, algumas das quais ele provavelmente realizou disseções. Também foi pioneiro na realização de uma extensa e detalhada classificação dos seres vivos, formando uma *scala naturae* (escala natural). Assim como nos pré-socráticos, o estudo da *phýsis* foi uma preocupação central em suas investigações. 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.

Uma característica central da filosofia natural aristotélica é o problema do movimento e da mudança. Por que as coisas mudam de lugar, de qualidade ou de quantidade? Por que as coisas aparecem e desaparecem, nascem e perecem? Na principal obra em que trata desse tema, a *Física*, Aristóteles afirma que só podemos conhecer a natureza quando conhecermos as causas da permanência e da mudança: “conhecer é conhecer as causas”. Aristóteles admitia a existência de quatro tipos de causas. A causa *material* seria responsável pela matéria da qual um ser é constituído, isto é, aquilo de que uma coisa é feita. A causa *formal* corresponderia à essência, ou natureza do ser. A causa *eficiente* seria responsável pela presença de uma forma em uma determinada matéria, ou seja, uma causa mecânica, origem imediata de um movimento ou repouso. Finalmente, causa *final* representaria o motivo, a finalidade da existência de alguma coisa. Essas quatro causas apresentariam uma hierarquia de importância, sendo o conhecimento das

¹ Sócrates, que viveu em Atenas provavelmente entre os anos 470 e 399 a.C., é considerado o fundador da filosofia ocidental.

causas finais e formais superior e mais valioso do que o das causas materiais e eficientes. No caso dos animais, por exemplo, Aristóteles considera que a presença de uma determinada forma na matéria deve-se a uma causa mecânica imediata (eficiente), mas que obedece a uma finalidade última presente na natureza (Quadro 1).

A teleologia está, assim, no centro de sua fisiologia. Na obra *As Partes dos Animais*, Aristóteles marca posição contra explicações fisiológicas mecanicistas, como as de Empédocles e Demócrito, afirmando categoricamente que, para o fisiólogo, as causas finais são mais importantes que as eficientes. Ao estudar uma parte de um animal – um órgão, por exemplo – o fisiólogo deve buscar explicar “em vista de que” aquele órgão existe, ou seja, qual a sua finalidade, qual a sua *função*. Como exemplo, ele nos diz que quando analisamos o trabalho de um carpinteiro, não estamos interessados na força e no ângulo com o qual ele desfere seus golpes na madeira (causa eficiente), mas sim na razão, no objetivo final pelo qual ele está esculpindo. Para Aristóteles, a reprodução tem importância fundamental, visto que ela garante a perpetuação da forma, da essência da espécie, consistindo em uma das evidências mais claras a favor da existência da finalidade na natureza. Dessa maneira, ele investigou arduamente o problema da reprodução e do crescimento, analisando o desenvolvimento de diversas espécies de embriões. Em sua teoria, o calor vital – inato ao organismo – desempenhava uma função central, sendo o instrumento do desenvolvimento. No macho, o calor vital transformaria o excesso de sangue em sêmen; na fêmea, que possuiria um calor vital inferior, o excesso de sangue seria escoado na menstruação. Não ocorreria, segundo ele, transferência de matéria do macho para a fêmea. O esperma conteria apenas a forma do animal, e seu papel seria o de produzir movimento, imprimindo essa forma na matéria fornecida pela fêmea; assim, o sêmen agiria como causa formal e eficiente. No organismo adulto, o calor vital teria sua sede no coração, considerado por Aristóteles o principal órgão do organismo, uma vez que era o primeiro órgão a ser observado funcionando no crescimento embrionário e o último a parar de funcionar na morte. O coração seria também a sede da sensibilidade e do pensamento; a função do cérebro seria simplesmente a de resfriar o excesso de calor vital.

Em 338 a.C., Felipe da Macedônia conquista a Grécia, que perde sua autonomia. Dois anos depois, seu filho Alexandre, ex-discípulo de Aristóteles, assume o trono. Alexandre, o Grande, conquistará um imenso império, que fundirá a cultura

grega com as culturas egípcia e orientais. Com isso, ocorre uma difusão da cultura helênica. Atenas deixa de ser o centro científico e cultural do mundo antigo, que se transfere para uma cidade fundada no Egito pelo jovem imperador: Alexandria, o “empório do mundo”.

▪ Escola de Alexandria

Com a morte prematura de Alexandre, aos 33 anos, seu império é desmembrado, e o controle do Egito fica a cargo de um de seus generais, Ptolomeu I Sóter, dando origem à dinastia ptolomaica. O rei Ptolomeu I constrói em Alexandria um centro de estudos de proporções fabulosas. Dotado de um museu e uma vasta biblioteca, que chegou a contar com mais de 500 mil obras, o centro se transforma no grande ponto de confluência científica do mundo antigo. Homens como Euclides e Arquimedes lá trabalharam. Foi lá também que Cláudio Ptolomeu (que não era parente dos reis ptolomaicos) realizou suas observações astronômicas, sintetizadas na obra *Almagesto*. Esta obra consolidará a visão geocêntrica aristotélica do universo, até ser contestada na Renascença por Copérnico e Galileu. Alexandria contava também com uma importante escola médica, que fundiu o pensamento médico hipocrático com os conhecimentos da medicina egípcia. O clima de liberdade científica que dominava a cidade possibilitou que a dissecação de cadáveres humanos fosse prática comum entre seus integrantes, e é provável que até algumas vivisseções humanas tenham sido por eles realizadas! Essa escola foi responsável por enormes avanços no conhecimento anatômico e fisiológico; nela, destacam-se os nomes de Herófilo e de Erasístrato.

Considerado por alguns como o pai da anatomia, Herófilo viveu por volta de 300 a.C. Foi um dos primeiros professores a realizar disseções em público, e sua fama atraía para Alexandria estudantes de várias regiões. Foi pioneiro no estudo sistemático da anatomia do sistema nervoso humano. Discordando de Aristóteles, ele identificou o cérebro como a sede das sensações e da inteligência, além de diferenciá-lo do cerebelo. Descreveu as meninges, o quarto ventrículo e vários nervos cranianos; de acordo com Erasístrato, foi também o primeiro a distinguir os nervos sensoriais dos motores. Herófilo descreveu diversos órgãos, tais como o fígado e o intestino (devemos a ele o termo “duodeno”), além de redigir detalhadas descrições dos órgãos genitais masculino e feminino. Já no sistema cardiovascular, sua contribuição foi extraordinária: foi o primeiro a diferenciar claramente as artérias das veias. Utilizando uma clepsidra (relógio d’água), mediu o pulso de diversos pacientes. Embora considerasse a pulsação como um processo ativo das próprias artérias, procurou exaustivamente uma explicação racional para as medidas encontradas, tentando relacioná-las com a saúde e a doença.

Contemporâneo um pouco mais jovem que Herófilo, Erasístrato tinha uma inclinação mais fisiológica do que anatômica, sendo, por isso, considerado um dos pais da fisiologia. Foi o primeiro a realizar necropsias para estudar as causas da morte. Não aceitou a doutrina hipocrática dos quatro humores, como havia feito Herófilo; em vez disso, adotou uma maneira modificada do atomismo de Demócrito. Considerou os tecidos como uma malha formada por veias, artérias e nervos, que continuavam a se subdividir além dos limites da visão; uma dedução genial, em uma época em que o microscópio havia sequer sido cogitado. Erasístrato foi também o primeiro a propor de maneira clara que a ação dos músculos era responsável pela produção de movimento. Dessa maneira, abandonou a crença, adotada até então, de que a digestão era uma espécie de

Quadro 1 ▪ Teleologia

Em grego, o termo *télos* significa fim, finalidade, pleno desenvolvimento. A palavra *teleologia*, inicialmente o “estudo dos fins”, acabou por designar qualquer doutrina que identifica a presença de metas, fins ou objetivos últimos guiando a natureza e a humanidade, considerando a finalidade como princípio explicativo fundamental na organização e nas transformações de todos os seres. A teleologia pode ser transcendente, quando os propósitos e os fins estão na mente de Deus, como é o caso do demiurgo em Platão, ou imanente, quando essa finalidade é inerente a todos os seres da natureza, como em Aristóteles. O *télos* pode também estar presente na consciência humana, quando agimos deliberadamente. Talvez devido à imensa presença aristotélica na biologia, a explicação teleológica tem sido identificada como típica da fisiologia, caracterizando a busca da finalidade, ou da função de um determinado órgão, estrutura ou sistema. A moderna fisiologia, entretanto, na medida em que a teoria darwiniana forneceu um algoritmo pelo qual os seres vivos e suas partes evoluíram, tende a considerar a função como a atividade exercida por uma estrutura na manutenção de estados de equilíbrio, chamados estados *homeostáticos*. Uma vez que esses estados foram selecionados ao longo do processo evolutivo, a função de uma estrutura pode ser definida como uma atividade selecionada pelo processo evolutivo. No século XX, o termo *teleonomia* foi criado para denominar processos guiados por um programa preestabelecido, como é o caso do controle genético dos mecanismos fisiológicos.

cozimento, ou fermentação dos alimentos, e propôs que ela se devia à ação dos músculos do estômago. Depois de digeridos, os alimentos dariam origem ao sangue, no fígado, que seria distribuído pelas veias para o resto do organismo. Por meio de passagens minúsculas, o sangue passaria das veias para as artérias; Erasítrato, assim, antecipa a existência dos capilares. O ar (*pneúma*) absorvido nos pulmões atingiria o coração, onde seria transformado em um espírito vital, distribuído pelas artérias para o resto do organismo. O coração foi reconhecido por Erasítrato como responsável pelo bombeamento do sangue: o lado direito bombearia o sangue produzido no fígado e o esquerdo, o sangue misturado com o ar proveniente dos pulmões. A ideia de que as artérias conduziam ar, crença comum na época, foi posteriormente derrubada por Galeno.

Assim como Herófilo, Erasítrato realizou pesquisas detalhadas sobre o sistema nervoso. Supôs, por exemplo, que a inteligência superior do ser humano devia-se ao maior número de circunvoluções observadas, quando comparado ao cérebro de outros animais. Seguindo sua teoria pneumática, concluiu que, ao chegar no cérebro, o espírito vital contido no sangue era transformado no espírito animal. Isso ocorreria dentro dos ventrículos; daí, esse espírito seria transportado pelos nervos para o resto do organismo.

Apesar de esses dois homens lançarem as bases da anatomia e da fisiologia ocidentais, Herófilo e Erasítrato não deixaram discípulos imediatos importantes, e, com suas mortes, a escola de medicina de Alexandria entrou em declínio. Na verdade, pouco saberíamos a respeito de suas realizações, não fosse a visita ilustre de Galeno a Alexandria no século II d.C. Nessa ocasião, Galeno teve a oportunidade de registrar os incríveis feitos dessa escola, antes que sucessivos incêndios e saques destruíssem definitivamente o museu e a biblioteca, em uma das maiores perdas culturais que a humanidade conheceu.² Outras informações sobre a ciência da Antiguidade, incluindo o período alexandrino, devemos a dois grandes enciclopedistas latinos: Celso (século I a.C.) e Plínio, o Velho (século I d.C.).

▪ Galeno e o legado da Antiguidade

Cláudio Galeno (129-200 d.C.) foi uma das mais influentes figuras médicas da Antiguidade (Figura 3), equiparável somente a Hipócrates. Nascido em Pérgamo, cidade grega situada na Ásia Menor, estudou filosofia e medicina na juventude, alcançando o importante posto de médico de gladiadores. Posteriormente, transferiu-se para Roma, onde obteve fama, tornando-se médico do imperador e filósofo romano Marco Aurélio. Escritor incansável, Galeno nos legou uma obra incrivelmente volumosa, em que trata de uma vasta gama de assuntos, tais como anatomia, fisiologia, patologia e terapêutica. A autoridade que os séculos posteriores lhe atribuíram fez com que suas opiniões sobre essas disciplinas chegassem praticamente inquestionadas até a Renascença. Seu pensamento incorpora as filosofias platônica e, principalmente, aristotélica; sua medicina julga-se herdeira de Hipócrates. Complementando essa tradição teórica, Galeno dissecou vários animais e realizou inúmeros experimentos, motivo pelo qual alguns o consideram o pai da fisiologia experimental.

Assim como em Aristóteles, a teleologia perfaz toda a anatomia e a fisiologia galênica. A natureza não faria nada em vão,



Figura 3 • Cláudio Galeno (129-200 d.C.). (Adaptada do site: <http://www.uaemex.mx/fmedicina/Galeno.html>)

e agiria sempre com um propósito em vista, determinando a morfologia das várias estruturas do organismo; estas possuiriam sempre a forma ideal para que melhor executassem a função a que foram destinadas. Seguindo esse princípio, Galeno realizou uma detalhada descrição do corpo humano, sobretudo no que diz respeito aos ossos e aos músculos, de onde derivam alguns dos nomes que utilizamos ainda hoje, como, por exemplo, o do músculo masseter. Investigou também o sistema nervoso, descrevendo sete dos doze pares de nervos cranianos. Em experimentos sobre a fisiologia da coluna vertebral, relacionou a altura de lesões com os déficits por elas produzidos.

A fisiologia de Galeno baseia-se na doutrina humoral hipocrática, e, apesar de ser um grande crítico de Erasítrato, adota um sistema parecido com o do mestre alexandrino. Esse sistema baseia-se em três centros, sede das três partes da alma humana conforme Platão: o fígado, o coração e o cérebro. A estes centros, estariam relacionados três tipos de *pneuma*, ou espíritos, respectivamente: o *pneuma physicón* (espírito natural), o *pneuma zoticón* (espírito vital) e o *pneuma phyichicón* (espírito animal). Assim como Platão, Galeno acreditava que o corpo era apenas um instrumento da alma; o *pneuma* seria a essência da vida, o espírito do mundo, incorporado ao homem no ato da respiração.³ Pela *trachea arteria*, o ar inspirado chegaria aos pulmões e, dali, pelas veias pulmonares, o ventrículo esquerdo do coração, onde seria misturado ao sangue. O sangue seria produzido no fígado – os alimentos absorvidos no intestino seriam transportados para lá pela veia porta. Também no fígado, o sangue venoso recém-produzido seria impregnado com o espírito natural, e daí distribuído para todo o organismo. O lado direito do coração era considerado um importante ramo do sistema venoso. No ventrículo direito,

² Um esforço internacional liderado pela UNESCO possibilitou a construção da Nova Biblioteca de Alexandria, inaugurada em 2002. Ver www.bibalex.org.

³ De origem pré-socrática, a doutrina pneumática é uma das teses centrais do estoicismo, corrente filosófica muito influente no Império Romano. Fundada por Zenão de Cício (século III a.C.), teve no imperador Marco Aurélio um de seus principais representantes.

uma pequena parte do sangue atravessaria o septo interventricular através de minúsculos canais, penetrando o ventrículo esquerdo. A esse sangue seria incorporado o espírito vital, proveniente do ar absorvido nos pulmões. Ao alcançar o cérebro, o sangue receberia o terceiro tipo de pneuma, o espírito animal, distribuído para o restante do organismo pelos nervos, que seriam ocos. Esse esquema (Figura 4) dominou a fisiologia cardiovascular até o Renascimento, quando Vesálio contestou a existência das passagens no septo interventricular e William Harvey propôs sua teoria da circulação sanguínea.

A teleologia galênica possibilitou realizações extraordinárias na anatomia e na fisiologia. Ao mesmo tempo, tornou-se uma barreira para o avanço dessas disciplinas, uma vez que ela desmotivava a busca de causas eficientes, centrando o problema na determinação de causas finais; cada estrutura do organismo possibilitaria desvendar a mente do Criador. Apesar de não ser judeu nem cristão, Galeno acreditava, como Platão, que o mundo era obra divina. Não é difícil, por esse motivo, entendermos a ampla aceitação e o enorme prestígio que sua obra alcançou na Idade Média, período em que a cultura ocidental foi dominada pelo pensamento cristão. Com o desmoronamento do Império Romano, por volta do século V d.C., a Europa mergulha na chamada "Idade das Trevas". Durante esse período, marcado por um exacerbado sentimento místico

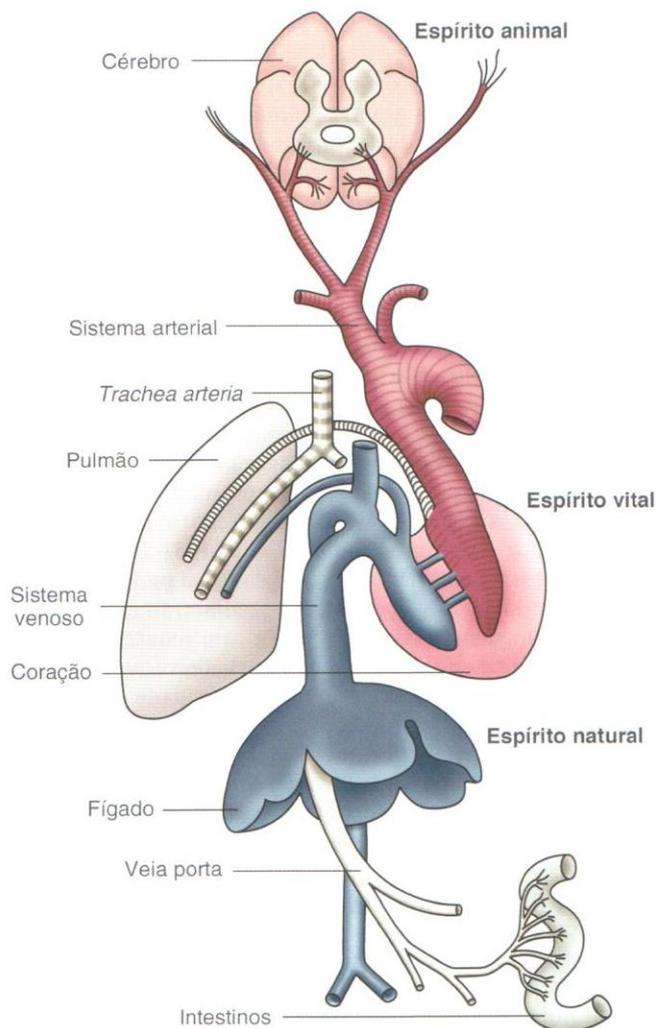


Figura 4 ■ Esquema geral da fisiologia galênica. (Adaptada de Singer C. *Uma Breve História da Anatomia e Fisiologia desde os Gregos até Harvey*. Editora da Unicamp, Campinas, 1996.)

e religioso, a cultura ocidental será confinada nos mosteiros medievais. O estudo do corpo humano dá lugar ao estudo da alma, no intuito de obter sua salvação. A teologia passa a ocupar o lugar da ciência, que emigra para o mundo árabe.

► O renascimento cultural

■ Os precursores: a medicina árabe e o surgimento das universidades

Enquanto a Europa encontrava-se devastada por guerras, pela miséria e pela fome, o mundo assistia ao florescer de uma civilização exuberante. Entre os séculos VII e XIII d.C., os árabes chegaram a dominar um território que ia das fronteiras da Índia e China ao Cáucaso, ocupando todo o norte da África e o sul da Espanha. Graças ao mecenato proporcionado pelas dinastias dos Abássidas, em Bagdá, e dos Omíadas, em Córdoba, a ciência e a filosofia encontraram solo fértil para continuar os trabalhos dos mestres gregos. As figuras de Aristóteles, Hipócrates e Galeno foram sem dúvida o norte da filosofia e da medicina islâmica. Os árabes não apenas traduziram para seu idioma as obras gregas, mas também realizaram comentários e análises rigorosas a partir delas. Dentre os primeiros nomes da medicina árabe, podemos destacar Al-Razi, conhecido no ocidente como Rhazes (865-925), médico de origem persa que viveu em Bagdá e realizou importantes avanços a partir da obra de Galeno, sobretudo nos estudos sobre a varíola. Durante os séculos XI, XII e XIII, um importante centro de estudos funcionou em Córdoba, situada na Andaluzia (Al-Andaluz), sul da Espanha. Ali trabalharam Abu'l-Qasim, famoso cirurgião conhecido como Abulcasis (936-1013), e Ibn Rushd, médico e filósofo aristotélico conhecido como Averróis (1126-1198), cujo pensamento exerceu forte influência em toda a Europa. No entanto, a maior autoridade médica árabe foi Ibn Sina, que o Ocidente conheceu como Avicena (980-1037). Sua principal obra, o *Cânon*, pode ser vista como uma tentativa de articulação dos sistemas de Hipócrates e Galeno com a filosofia biológica aristotélica. É uma obra dogmática, apoiada na brilhante exposição de uma cultura extremamente vasta. A lógica e a eloquência de seu estilo conferiram-lhe autoridade praticamente indiscutível dentro das ciências médicas medievais e renascentistas. O *Cânon* de Avicena foi traduzido para o latim por Gerardo de Cremona, que, junto com Constantino, o Africano, foram os principais tradutores das obras da ciência árabe para o Ocidente. Podemos, assim, traçar um tortuoso caminho, no qual as obras gregas foram traduzidas para o árabe e depois para o latim. No entanto, apesar da fundamental importância árabe para o renascimento científico europeu, não devemos nos esquecer de que muitas obras dos antigos foram preservadas por padres nos mosteiros medievais, vindo à tona por ocasião do Renascimento.

Nos primeiros séculos desse segundo milênio, outro fenômeno capital para o futuro das ciências ocorreu no continente europeu: o nascimento das universidades. Fruto do crescimento da vida urbana, as universidades têm sua origem nas escolas que existiam junto às catedrais. O direito de lecionar, a princípio nas mãos do clero, foi entregue posteriormente aos mestres leigos. Entretanto, a vigilância sobre o ensino dentro das universidades permaneceu sob intenso controle do Papa. Na maioria das vezes, o ensino básico era constituído das sete artes liberais: o *trivium* (gramática, retórica e dialética)

e o *quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música). Além dessas disciplinas, lecionava-se medicina, direito e teologia. Das principais universidades fundadas entre os séculos XII e XIII, estão as de Oxford e Cambridge, na Inglaterra; as de Paris e Montpellier, na França; e as de Bolonha e Pádua, na Itália. As duas últimas, como veremos, desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento da anatomia e da fisiologia na Renascença. Na universidade de Bolonha, funcionou uma importante escola cirúrgica, que está ligada aos primórdios da prática da dissecação no fim da Idade Média. Dessa escola, destaca-se Mondino de Luzzi (1270-1326).

O nome de Mondino está ligado à consolidação da anatomia como uma disciplina independente no quadro universitário nascente. Sua principal obra, o *Anathomia*, um manual de dissecação escrito em 1316, sintetiza o estado da arte dos conhecimentos anatômicos de sua época, e tornou-se referência obrigatória entre os professores que o sucederam; foi amplamente utilizado até o século XVI. Embora essa obra seja fruto de várias dissecações, Mondino não possuía o espírito científico crítico e contestador que encontraremos em seus colegas do Renascimento. Em vez disso, suas observações e comentários procuravam, sobretudo, confirmar as autoridades árabes. Sua fisiologia baseava-se quase inteiramente na de Galeno. De acordo com uma crença comum da época, ele descrevia o cérebro com três ventrículos (Figura 5): o anterior, para onde confluíam todos os sentidos (por isso recebia o nome de *sensus communis*, ou senso comum); o médio, onde se localizava a imaginação, e o posterior, sede da memória.

▪ Origem da era moderna

Durante os séculos XV, XVI e XVII, a Europa assistiu a uma quantidade de mudanças sociais, econômicas e culturais sem paralelo na história até então. Essas mudanças representaram o rompimento com a Idade Média, dando início ao que se convencionou chamar de Idade Moderna. A intensificação do comércio deslocou o centro da vida cotidiana dos campos para as cidades, fazendo surgir uma nova classe de artesãos e comerciantes: a burguesia. As cidades-estados ita-

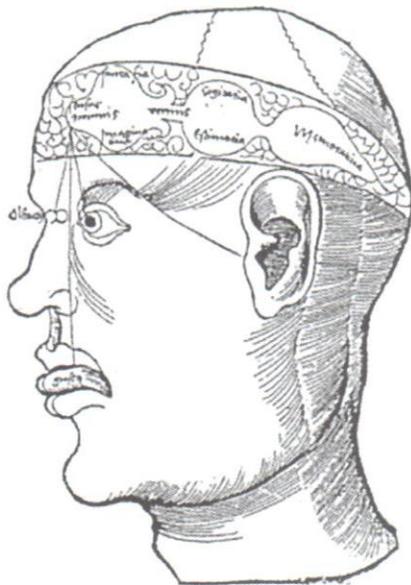


Figura 5 ▪ Ilustração do século XV, atribuída a Gregor Reisch. (Biblioteca Nazionale Centrale, Florence. (Adaptada de Bennett MR. The Early History of the Synapse: From Plato to Sherrington. *Brain Research Bulletin*, 50 (2), 1999.)

lianias, tais como Florença, Gênova e Veneza desfrutavam as riquezas proporcionadas pela retomada do comércio. O ciclo das grandes navegações – incentivado pela busca de novas rotas comerciais para o Oriente, sobretudo após a tomada de Constantinopla pelos turcos otomanos, em 1453 – ampliou o horizonte do homem europeu de um modo antes inimaginável, além de incentivar pesquisas técnicas e astronômicas. Em 1492, Cristóvão Colombo descobria um novo continente, a América, fonte de mistério e riquezas inesgotáveis. As artes e as ciências revisitaram os gregos, mas de uma maneira crítica, o que culminou com um rompimento com a tradição antiga, dando origem a uma nova arte e a uma nova ciência. A difusão desses saberes contava agora com a imprensa de tipos móveis, inventada por Gutenberg, que possibilitava a reprodução de livros em grande escala, popularizando o conhecimento e tirando sua exclusividade das mãos da Igreja. Fruto desse ambiente efervescente, um novo ser humano nasceu na Europa, especialmente na Itália, epicentro desse fenômeno.

▪ A ciência nos estúdios

No Renascimento, talvez mais do que em qualquer outra época, observamos a sinérgica união da arte com a ciência. Estudos sobre a ótica foram incorporados à pintura, em um movimento iniciado por Giotto (1266-1337), que começou a utilizar a perspectiva em seus quadros. Esse movimento culminou no naturalismo: a tentativa de recriar o mundo em uma tela da maneira mais fiel possível. Não demorou até que os artistas percebessem o quanto o estudo do corpo humano poderia favorecer sua arte. Os grandes gênios da arte renascentista, como Michelangelo, Rafael, Dürer e Leonardo da Vinci, estudaram anatomia e acompanharam dissecações humanas junto aos médicos-cirurgiões da época. Alguns, como Michelangelo e da Vinci, fizeram mais do que isso, realizando, eles próprios, dissecações em seus estúdios. Os estudos concentravam-se na anatomia superficial, especialmente dos ossos e músculos, uma vez que o interesse principal era estético. Leonardo da Vinci (1452-1519), contudo, foi um caso à parte. Seus interesses iam muito além da arte, e seu incrível gênio dedicou-se a diversos ramos da ciência. Até hoje ele é considerado um dos maiores anatomistas da história; seus desenhos anatômicos e suas especulações fisiológicas (Figura 6) têm uma riqueza de detalhes e uma precisão que estavam muito à frente de sua época. É difícil calcular qual teria sido o futuro da anatomia e da fisiologia se Marcantonio della Torre (1481-1512), professor de anatomia de Pávia com o qual da Vinci pretendia publicar um tratado, não tivesse morrido prematuramente.

Foi um pequeno passo para que a arte renascentista deixasse os estúdios e fosse aproveitada pelos professores acadêmicos, o que ocorreu sobretudo na Universidade de Pádua, o grande centro de ensino médico da Itália na época. A primeira grande figura paduana foi o holandês Andreas Vesalius (1514-1564). Sua obra-prima, o *De Humani Corporis Fabrica* (1543), é considerada por muitos como a maior contribuição isolada para a medicina de todos os tempos, assim como são os *Principia*, de Newton, para a física. Para entender a revolução instaurada por Vesalius, devemos analisar as características do ensino anatomofisiológico realizado em Pádua e na maioria das universidades europeias da época.

Pelo menos desde o século XIV, uma aula universitária de anatomia consistia na leitura do manual de Mondino (o *Anathomia*), seguida geralmente da leitura de um texto de Galeno. Enquanto o professor, do alto de sua cátedra, realizava a leitura do texto em latim, um cirurgião-barbeiro – inculto e

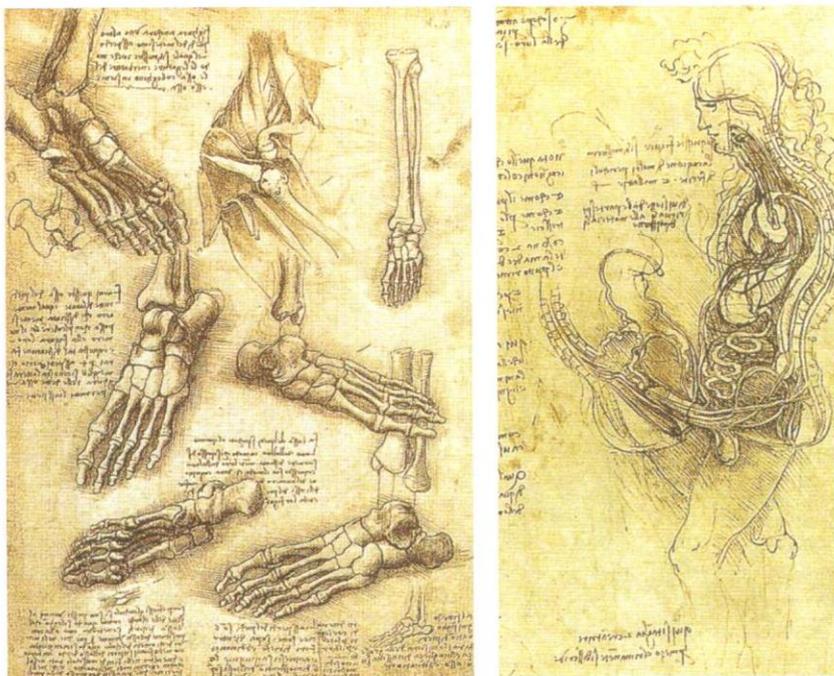


Figura 6 • Desenhos de Leonardo da Vinci (1452-1519). À direita, em uma representação do coito, da Vinci indica a existência de um canal ligando a medula aos órgãos sexuais masculinos, por onde passaria o sêmen – de acordo com uma teoria platônica. (Adaptada de *Leonardo Art and Science*, Giunti Editore, Firenze-Milano, 2000.)

iletrado – dissecava um cadáver, apontando as estruturas anatómicas aos alunos (Figura 7). Não é difícil imaginarmos as confusões decorrentes dessa prática, uma vez que o professor não se aproximava do cadáver e seu assistente não entendia latim. Além disso, essas demonstrações, assim como a maioria das disseções realizadas nas Universidades, tinham como principal objetivo confirmar as descrições de Galeno. A autoridade galênica era tamanha que Iacobus Sylvius (1478-1553), professor de Vesalius, chegou a dizer que “qualquer estrutura encontrada no ser humano contemporâneo cuja descrição divergisse daquela feita por Galeno seria apenas o resultado de posterior decadência e degeneração da espécie humana”⁴. Vesalius, por sua vez, já tinha experiência em dissecação quando se tornou professor de anatomia e cirurgia em Pádua. Suas aulas passaram a ser extremamente concorridas, pois todos queriam assistir ao novo mestre, que inusitadamente descia de sua cátedra para demonstrar diretamente no cadáver as estruturas descritas nos textos (Figura 8). Não tardou para que Vesalius, inicialmente grande seguidor da anatomia e fisiologia galênica, encontrasse discordâncias entre os textos e o cadáver – isso graças à sua nova arma metodológica: a observação direta dos fenômenos.

Em suas aulas, Vesalius desenhava em um quadro grandes esquemas anômicos, fato que agradou muito aos alunos, e a cópia desses desenhos passou a circular entre os estudantes. Temendo que desenhos de qualidade inferior fossem utilizados nos estudos, Vesalius publica, em 1538, as *Tabulae Anatomicae Sex* (Seis Pranchas de Anatomia), que se tornaram sucesso imediato. As três primeiras pranchas são diagramas da anatomia e da fisiologia de Galeno. As três últimas são esque-

letos desenhados por um pintor da época. O sucesso dessa obra serviu como estímulo para que, 5 anos mais tarde, ele publicasse o *De Humani Corporis Fabrica* (A Estrutura do Corpo Humano). Essa obra, ricamente ilustrada (Figura 9), marca o início da anatomia e fisiologia modernas. Com ela, foi quebrada a longa tradição que supunha que a transmissão do conhecimento estaria ligada exclusivamente ao texto escrito. Até a publicação do *De Humani*, todo o ensino científico era realizado com base nos textos clássicos, que não apresentavam figuras. Dessa maneira, o uso de ilustrações era visto com desconfiança pelos professores europeus, uma vez que “a figura degradaria a erudição do texto”. Vesalius transfere a cultura visual ligada ao naturalismo desenvolvido nos ateliês renascentistas para os livros de anatomia. O uso da ilustração na transmissão do conhecimento, juntamente com a observação direta dos fenômenos naturais, colocam Andreas Vesalius e o *De Humani Corporis Fabrica* nos pilares da nova ciência nascente. Contudo, a Revolução Científica iniciada no Renascimento agregaria ainda a quebra de muitas outras tradições clássicas e medievais.

▪ A nova ciência

A ciência moderna surgiu ao longo dos séculos XVI e XVII, no que se convencionou chamar de Revolução Científica. A grande marca dessa revolução é a ruptura com a visão de mundo e com a ciência de Aristóteles, que, como vimos, havia dominado o panorama científico até então. A Revolução Científica engloba duas revoluções: uma *astronômica* (física celeste), em que o geocentrismo aristotélico-ptolomaico é substituído pelo heliocentrismo copernicano, e outra *mecânica* (física terrestre), na qual a mecânica aristotélica dá lugar à mecânica galileica-newtoniana. Essas mudanças ocorreram concomitantemente a uma virada metodológica: o *método experimental* foi definitivamente incorporado às ciências naturais.

Em 1543, mesmo ano em que Vesalius publicou sua principal obra, um astrônomo polonês chamado Nicolau Copérnico (1473-1543) publicou a *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (As Revoluções da Órbita Celeste), na qual expunha a tese de que os planetas girariam em órbita em torno do Sol. Para termos uma ideia do impacto da proposta heliocêntrica, devemos recordar que a concepção geocêntrica de Aristóteles e Ptolomeu era adotada pela ciência e pela Igreja há mais de mil anos. Se recordarmos também algumas características da física aristotélica, veremos que ela é incompatível com o heliocentrismo. Essas incompatibilidades foram exploradas pelo italiano Galileu Galilei (1564-1642). Utilizando o recém-descoberto telescópio, Galileu realizou uma série de observações, como as luas de Júpiter e as fases de Vênus. Essas observações concordavam com o sistema copernicano, que ele passou a defender (Figura 10). Do movimento dos corpos celestes, Galileu passa a estudar o movimento dos corpos na superfície da Terra, introduzindo o conceito de *inércia*. Suas investigações sobre o movimento o levaram a romper definitivamente com a física aristotélica, em um processo que culminou com o surgimento da nova física. Nessa nova física, que é a que utilizamos hoje, os fenômenos naturais são explicados segundo

⁴ Saunders JB de CM & O'Malley CD. *Esboço Biográfico*. In: *Andreas Vesalius de Bruxelas, De Humani Corporis Fabrica, Epítome, Tabula Sex*. Ed Saunders, JB de CM & O'Malley, CD. Ateliê Editorial/Ed. Unicamp/Imprensa Oficial, 2003.

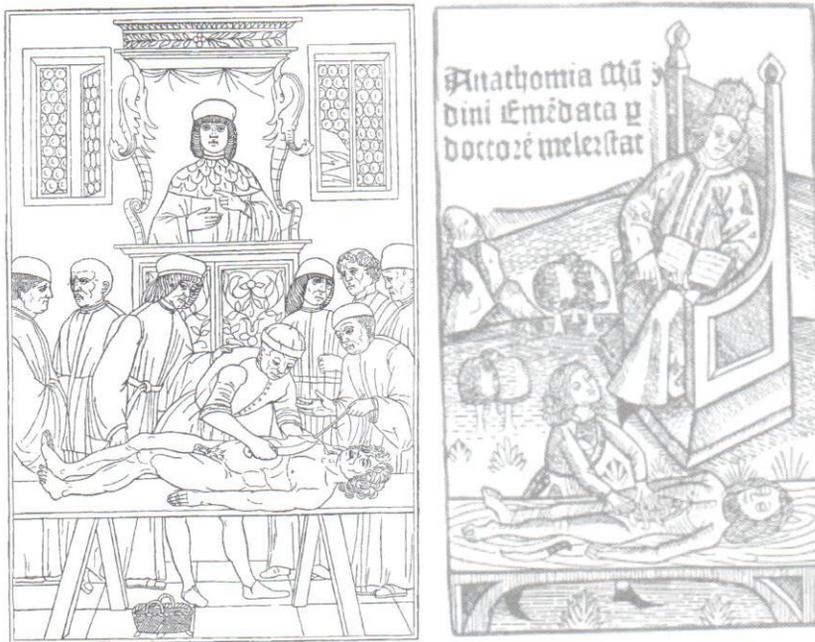


Figura 7 • Gravuras do final do século XV, indicando como era uma aula de anatomia no começo da renascença: enquanto o professor lia um texto clássico, seu assistente apontava as estruturas anatômicas aos alunos. À esquerda, uma ilustração do *Fasciculus Medicinae*, de Johannes de Kethan (Veneza, 1495). À direita, a página-título de uma edição de Mondino, realizada por Martin von Mellerstadt (Leipzig, 1493). (Ambas as figuras foram adaptadas de Kikshöfel EHP. *A Lição de Anatomia de Andreas Vesalius e a Ciência Moderna*. Scientia Studia, Vol 1, No 3, 2003.)

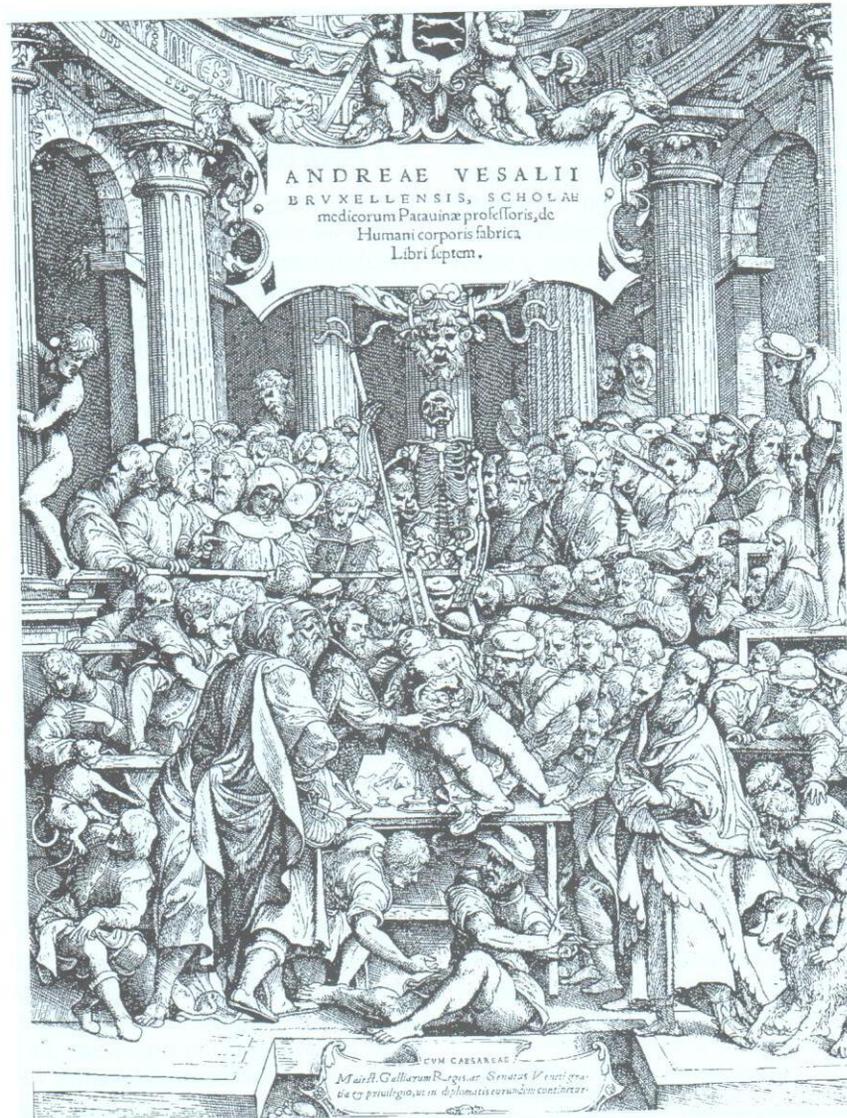


Figura 8 • Página de rosto da primeira edição do *De Humani Corporis Fabrica*, de 1543. Podemos observar Vesalius no centro da gravura, junto ao cadáver. (Adaptada de Saunders JB de CM & O'Malley CD. *Andreas Vesalius de Bruxelas, De Humani Corporis Fabrica, Epitome, Tabula Sex*. Ateliê Editorial/Ed. Unicamp/Imprensa Oficial, 2003.)

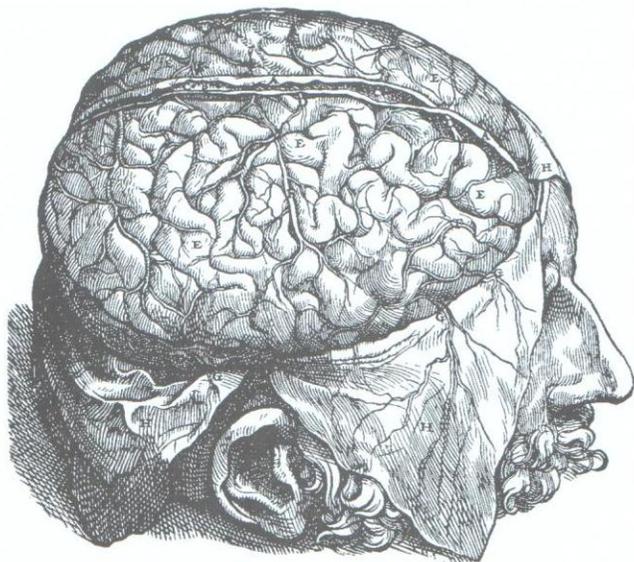


Figura 9 • Gravuras do livro de Andreas Vesalius *De Humani Corporis Fabrica*, de 1543. (Adaptada de Saunders JB de CM & O'Malley CD. *Andreas Vesalius de Bruxelas, De Humani Corporis Fabrica, Epitome, Tabula Sex*. Ateliê Editorial/Ed. Unicamp/Imprensa Oficial, 2003.)

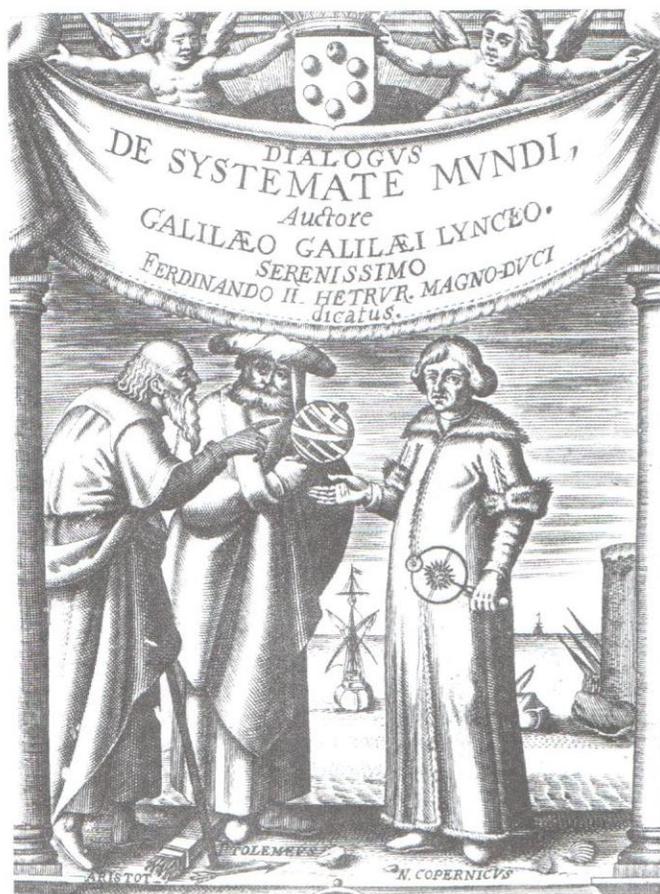


Figura 10 • Capa da obra de Galileu Galilei *Diálogos Sobre os Dois Sistemas de Mundo*, de 1632. Nela, observamos um diálogo imaginário entre Copérnico (à direita), Ptolomeu e Aristóteles, os dois últimos defensores do sistema geocêntrico. Por defender o sistema heliocêntrico copernicano, Galileu sofreu um grave processo imposto pela Igreja, sendo levado a renunciar publicamente a suas posições. (Adaptada de Ronan CA. *História Ilustrada da Ciência*, Vol III, Círculo do Livro/Jorge Zahar Editor, São Paulo, 1987.)

suas causas imediatas, ou mecânicas (que corresponderiam à causa eficiente de Aristóteles). O finalismo, ou a busca de causas finais na natureza, passa a ser evitado; com o tempo, as ciências biológicas também adotariam essa postura, principalmente após Darwin. Outra característica da nova física iniciada com Galileu é o uso da matemática:⁵ os fenômenos naturais, que antes eram estudados de maneira essencialmente qualitativa, passam a ser analisados de maneira quantitativa.

Outro traço fundamental marca a nova ciência nascente: a experimentação, o recurso que, nos dias de hoje, imediatamente associamos às ciências naturais. A atitude experimental foi veementemente enfatizada pelo filósofo britânico Francis Bacon (1561-1626), que defendia a ideia de que a aquisição de conhecimento deve necessariamente partir de *observações empíricas*. Na sua obra mais famosa, o *Novo Organon*, publicada em 1620, Bacon critica o método aristotélico, que dava um grande valor às deduções de conclusões científicas a partir de princípios axiomáticos (o *Organon* é uma das obras em que Aristóteles expõe a lógica e o método científico). Bacon propõe “trocar os livros pelas coisas, a biblioteca pelo laboratório, o mundo teórico pelo universo prático”;⁶ ou seja, substituir a ênfase que os gregos davam ao raciocínio puramente teórico e dedutivo pela experimentação prática.

Não devemos, no entanto, descartar completamente a *observação* da agenda científica dos antigos. O próprio Aristóteles insiste, em várias passagens de sua obra, na necessidade da observação cuidadosa para a confirmação de novos fatos e teorias. Entretanto, devemos distinguir *observação de experimentação*. Entre os antigos, a observação tinha um caráter essencialmente contemplativo – era um processo passivo diante da natureza. Ao longo da Idade Média, o papel da observação passa a ser o de confirmar as teorias e descrições realizadas na Antiguidade, e não o de possibilitar a descoberta de novos fatos.⁷ Já os adeptos da proposta baconiana não estavam, todavia, interessados em confirmar o que já era conhecido, mas de ver como a natureza se comportaria em condições ainda não observadas. Essa investigação baseada em experiências empíricas deveria ser realizada de acordo com um método sistemático e controlado. Esse traço experimental da Revolução Científica, juntamente com a virada explanatória (a mudança em direção da busca de causas eficientes) iniciada por Galileu, constituirá as bases da ciência moderna. Antes de investigarmos como a fisiologia incorporou essas novas ideias, convém analisarmos ainda dois outros aspectos da nova ciência: o *materialismo* e o *mecanicismo*.

• A constituição da matéria

Um traço marcante da Revolução Científica foi a retomada da antiga teoria atomista de Leucipo e Demócrito. Essa ideia havia sido desenvolvida por pensadores greco-romanos posteriores, com Epicuro e Lucrecio. Porém, a adoção do para-

⁵ Em uma famosa passagem da obra *O Ensaíador*, Galileu escreve: “O livro da natureza está escrito na linguagem matemática”.

⁶ Zaterka, L. *A Filosofia Experimental na Inglaterra do Século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle*. Associação Editorial Humanitas, Fapesp, 2004.

⁷ Podemos ter uma ideia da autoridade que Aristóteles tinha nas universidades renascentistas quando lemos no estatuto da Universidade de Oxford na época de Bacon: “Aqueles Bacharéis e Mestres que não seguirem Aristóteles fielmente estão sujeitos a uma multa de cinco xelins para cada ponto de divergência, e para cada falta cometida contra a Lógica do Organon”. Retirado de Zaterka L. *A Filosofia Experimental na Inglaterra do Século XVII: Francis Bacon e Robert Boyle*. Associação Editorial Humanitas, Fapesp, 2004. Apud Jones R. *Ancients and Moderns*. New York: Dover, 1961.

digma platônico-aristotélico ofuscou completamente 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 tem 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

Ao contrário de Bacon, Descartes afirmava que a gênese do conhecimento estava na razão e não na experiência. De acordo com ele, o raciocínio dedutivo matemático forneceria um substrato seguro para a ciência. Contrastando Bacon e Descartes, observamos a formação de duas tendências epistemológicas:⁸ uma *empirista* e outra *racionalista*. A oposição entre essas duas tradições diz respeito ao papel que tanto a experiência quanto a razão ocupam na formação do conhecimento científico. Para o empirista, o conhecimento origina-se na experiência e é organizado e confirmado pela razão. Para o racionalista, o conhecimento funda-se na razão, mas é confirmado pelos resultados obtidos pela experiência.

Para Descartes, o universo seria uma grande máquina em movimento. Essa visão contrastava com a de Platão e Aristóteles, que concebiam o universo como um organismo vivo. Na verdade, a analogia cartesiana 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.⁹

Entre as várias áreas da ciência a que Descartes se dedicou, estava a fisiologia, que foi totalmente determinada pela sua con-

cepção materialista e mecanicista da natureza. A organização e a estrutura dos órgãos determinariam sua função, de maneira que o organismo agiria de forma mecânica. Ao tomar conhecimento dos trabalhos de Harvey sobre a circulação sanguínea, Descartes vê uma confirmação de suas ideias. No entanto, ele rejeita a ideia de que o coração funcionaria como uma bomba; em vez disso, propõe que o coração funcionaria como um forno, produzindo calor que fermentaria e dilataria o sangue, provocando o batimento cardíaco e sua expulsão pelas artérias. Descartes propôs também uma teoria dualista para dar conta da relação entre a substância material e a substância do pensamento. Nessa teoria, a glândula pineal tem uma importância fundamental, servindo como interface entre o mundo físico e o mundo psíquico, entre o corpo e a alma, entre a *res extensa* e a *res cogitans*. Os nervos conduziriam as informações sensoriais até a pineal, sede das sensações (Figura 11).

O italiano Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) tentou levar às últimas consequências a aplicação da filosofia mecânica ao mundo da vida. Fiel seguidor de Galileu e Descartes, Borelli considerou a respiração, a circulação e todos os demais movimentos do corpo humano como resultado de ações determinadas por leis mecânicas. Isso o levou ao sistemático estudo dos músculos, ossos e articulações envolvidos no movimento, publicado no tratado *De Motu Animalium* (Sobre o Movimento dos Animais), em 1681. Esse estudo está repleto de cálculos matemáticos a respeito da força muscular, além da explicação do movimento em termos de alavancas (Figura 12). Os músculos seriam comandados pelos nervos, que conteriam um fluido nervoso e funcionariam de maneira hidráulica – como os freios de um automóvel. Dentre várias observações importantes, Borelli ressaltou a participação do diafragma e dos músculos intercostais na mecânica da respiração.

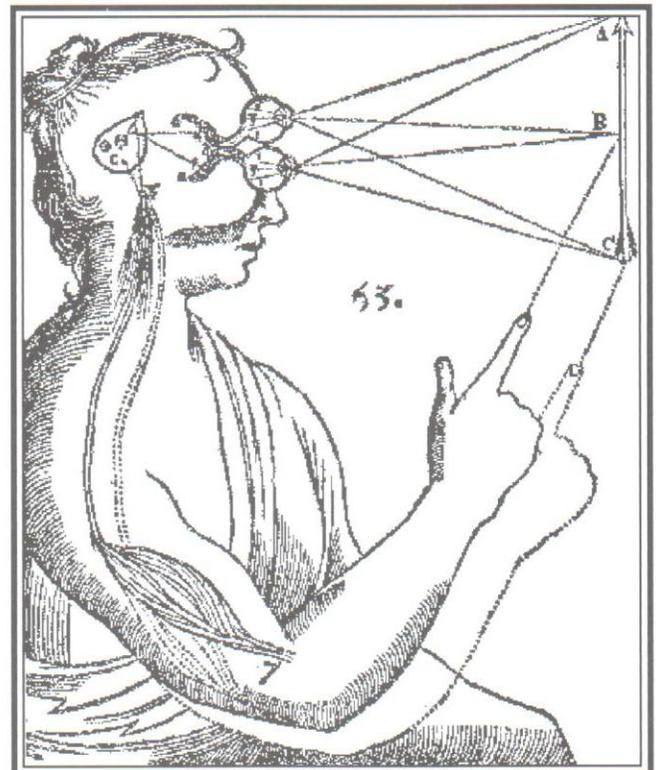


Figura 11 ■ Figura do livro de Descartes *O Tratado do Homem*, de 1664. (Adaptada de Rothschuh KE. *History of Physiology*. Robert E Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 1973.)

⁸ A epistemologia é o estudo da aquisição e da justificação lógica do conhecimento pelo ser humano.

⁹ Rossi P. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa*. EDUSC, 2001.

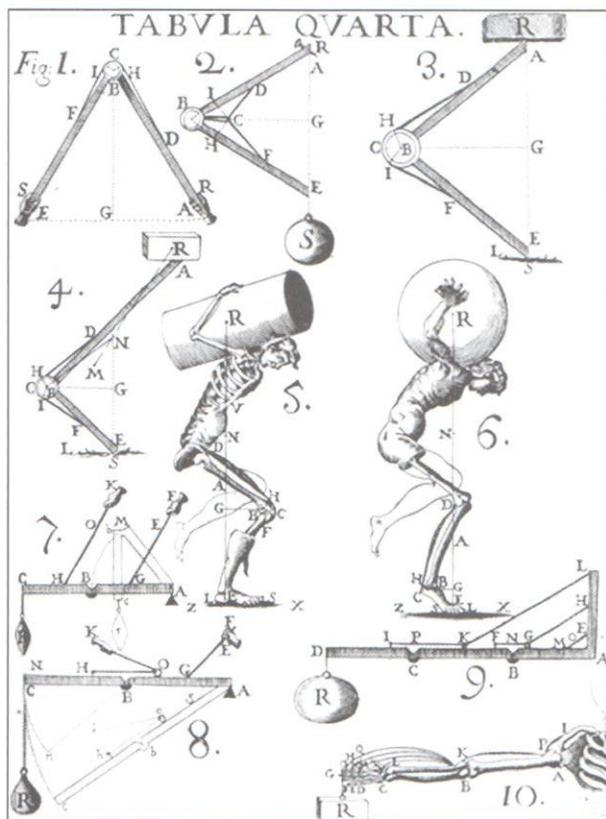


Figura 12 • Figura do livro de Borelli *Sobre os Movimentos dos Animais*, de 1681. (Adaptada de Hankins TL. *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.)

• William Harvey e a circulação do sangue

A Revolução Científica não poupou Galeno. Ao longo do século XVII, uma sucessão de descobertas, que culminou com a teoria da circulação sanguínea proposta por William Harvey (1578-1657), derrubou o núcleo central da fisiologia galênica. Lembremos que esta baseava-se na tríade fígado-coração-cérebro. O lado direito do coração transportaria sangue venoso produzido no fígado a partir dos alimentos vindos dos intestinos. A porção esquerda do coração, juntamente com as artérias, seria responsável por transmitir o espírito vital – absorvido nos pulmões – para todo o organismo. Uma fração do sangue venoso atravessaria o septo interventricular em direção ao ventrículo esquerdo para tornar-se arterial.

A grande descoberta de Harvey está diretamente ligada à fantástica escola anatomofisiológica deixada por Vesalius após sua saída de Pádua. Dela participaram grandes nomes, tais como Realdo Matteo Colombo (1516-1559), Gabriel Fallopio (1523-1562) e Girolamo Fabrici d'Aquapendente (1533-1619). Colombo foi discípulo e sucessor de Vesalius na cadeira de anatomia de Pádua. A principal descoberta atribuída a ele é a da pequena circulação (circulação pulmonar), embora conste que ela tenha sido descrita anteriormente pelo médico espanhol Miguel Servet (1511-1553). Servet, no entanto, a descreve ao longo de poucas páginas inseridas dentro de um tratado teológico. Esse tratado foi queimado na fogueira, juntamente com seu autor, por conter ideias heréticas – como a negação da Santíssima Trindade. Colombo, no entanto, demonstrou experimentalmente que o sangue passava do ventrículo direito para os pulmões e, daí, através das veias pulmonares, de volta para o coração. Como Vesalius e Servet, Colombo não

acreditava que o sangue atravessava o septo interventricular. Colombo foi sucedido por Fallopio, que, além de outras descobertas importantes, descreveu o canal auditivo e a trompa feminina que durante muito tempo levaram seu nome. O principal discípulo de Fallopio foi Fabrici d'Aquapendente, que foi professor de Harvey. Embora já houvessem sido descritas por diversos anatomistas, as válvulas venosas foram extensa e sistematicamente estudadas por d'Aquapendente. Dessa maneira, percebemos que já havia em Pádua um intenso clima intelectual em torno das pesquisas acerca da circulação sanguínea na época em que Harvey inicia suas investigações.

Vindo da Inglaterra, William Harvey passa os anos de 1599-1602 em Pádua sob a supervisão de d'Aquapendente, a fim de obter seu doutoramento em medicina. De volta à sua terra natal, Harvey continua suas pesquisas como membro do *London College of Physicians*. Durante mais de duas décadas, ele realiza uma série de observações e experimentos com pacientes e com animais, que são publicados no pequeno tratado *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* (Estudo Anatômico sobre o Movimento do Coração e do Sangue nos Animais), em 1628. Harvey observou que quando seguramos um coração com as mãos, sentimos que ele enrijece ao funcionar, do mesmo modo que acontece quando um músculo, como o bíceps, por exemplo, se contrai – razão para se considerar a ação do coração como a de qualquer músculo. Também observou que a expansão das artérias, sentida na pulsação, se dá concomitantemente à contração ventricular, descartando a ideia de que a dilatação das artérias fosse um processo ativo independente do coração. Além disso, viu que quando o sangue penetra em uma das grandes artérias (pulmonar ou aorta), ele é impedido de voltar pelas válvulas arteriais, fato que já era conhecido por Galeno, da Vinci e Colombo, entre outros. Seguindo a escola paduana, Harvey insistiu na impossibilidade de o sangue atravessar o septo cardíaco; não só por sua espessura, mas pelo fato de os dois ventrículos contraírem-se ao mesmo tempo, o que não provoca pressão suficiente para movimentar o sangue de um ventrículo ao outro. Harvey também levou a cabo alguns experimentos cruciais. Em um deles, comprimiu a veia cava de serpentes com um fórceps, observando que o coração não se enchia mais de sangue e tornava-se pálido. Já se a compressão fosse feita na aorta, a região entre a compressão e o coração dilatava-se a ponto de quase explodir, além de adquirir uma cor profundamente avermelhada. Em outro experimento, ele utilizou o conhecimento de que as artérias situam-se em profundidade em relação às veias, que ficam mais próximas à superfície da pele. Se um garrote colocado acima do cotovelo de um ser humano fosse muito apertado, o sangue arterial não conseguia chegar até a mão, que perdia a pulsação e esfriava, enquanto a região acima do torniquete inchava. Já se o garrote fosse levemente apertado, era o sangue venoso que não conseguia retornar da extremidade do braço, que inchava (Figura 13). Esses experimentos foram seguidos de astuciosas análises quantitativas. Multiplicando a quantidade de sangue ejetada do ventrículo esquerdo a cada contração pelo número de batimentos cardíacos por minuto, percebeu que a quantidade de sangue que passa pelo coração em uma hora excede muito o peso de um ser humano.¹⁰ Como, então, poderia todo

¹⁰ Harvey calculou o que hoje chamamos de débito cardíaco. Tomando o volume sistólico como 75 ml e a frequência cardíaca como 75 batimentos por minuto, 5,6 l de sangue passarão pelo ventrículo esquerdo por minuto. Em 1 h, passarão 337,5 l de sangue, ou seja, várias vezes o volume de um homem médio!

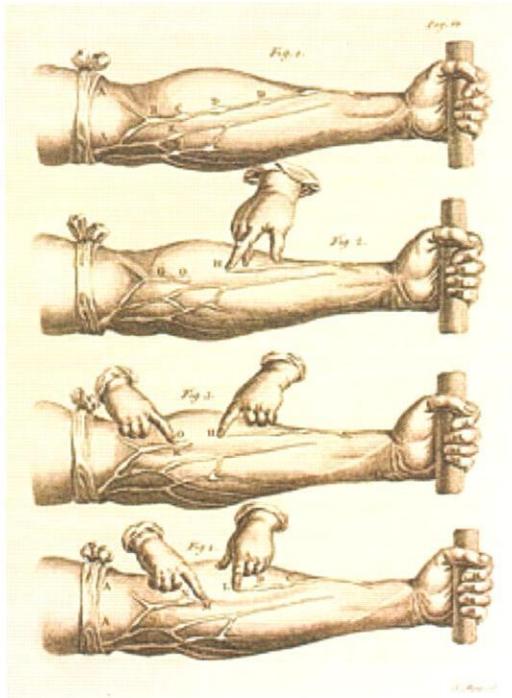


Figura 13 • Experimentos com o uso de torniquete realizados por Harvey, descritos na obra *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, de 1628. (Adaptado de Singer C. *Uma Breve História da Anatomia e Fisiologia desde os Gregos até Harvey*. Editora da Unicamp, Campinas, 1996.)

esse sangue ser continuamente produzido a partir dos alimentos? A única conclusão a que se pode chegar é que o sangue circula em vez de ser continuamente produzido no fígado.

Com base em todas essas evidências, Harvey propôs a teoria de que o sangue circula pelo organismo, impulsionado pelos movimentos de contração muscular do coração. Essa ideia coadunava-se com a nova filosofia mecânica, uma vez que atribuía o movimento do sangue a causas mecânicas. É interessante notarmos que, apesar disso, Harvey era um aristotélico convicto, o que o levou a buscar incessantemente a finalidade para o movimento circular do sangue. Lembremos que o movimento circular, de acordo com Aristóteles, era privilégio do mundo supralunar, ou seja, do mundo celeste. Possivelmente, a fidelidade à cosmologia do grande mestre grego impediu Galeno e seus sucessores de procurar movimentos circulares na esfera terrestre. Desse modo, o movimento sanguíneo no sistema galênico apresentava, como os demais movimentos sublunares, início e fim. Harvey utiliza a velha analogia entre macrocosmo e microcosmo para resolver o problema. Assim como o movimento circular dos astros celestes garantiria coesão ao universo, o movimento circular do sangue seria responsável pela manutenção do organismo. O centro do microcosmo humano seria o coração, que é identificado com o Sol – refletindo provavelmente a nova concepção heliocêntrica de Copérnico. Isso é colocado de maneira clara na dedicatória do *De Motu Cordis* ao rei Charles da Inglaterra. “Sereníssimo Rei”, escreve ele:

O coração dos animais é o fundamento de suas vidas, o soberano de todos os seus órgãos, o sol do microcosmo, fonte a partir da qual todo crescimento depende, todo poder e força emanam. O Rei, da mesma maneira, é o fundamento do seu reino, o sol do seu microcosmo e o coração do seu Estado, dele todo o poder emana e toda graça provém [...]

Esse fragmento reflete também o clima político na época das monarquias absolutistas, em que o rei detinha poderes quase ilimitados. Alguns anos mais tarde, na França, Luís XIV seria conhecido como o “Rei Sol”.

A partir dos trabalhos de Harvey, a concepção do funcionamento do corpo animal foi radicalmente alterada. O *De Motu Cordis* foi o primeiro tratado da era moderna dedicado a um tema estritamente fisiológico, o que não acontecia desde a Antiguidade. Nele estão presentes vários dos métodos utilizados pela fisiologia moderna, como, por exemplo, a extrapolação de conclusões tiradas a partir de animais para os seres humanos. Podemos nos arriscar a dizer que, a partir de Harvey, a fisiologia começou a tomar a forma que conhecemos hoje.

▪ A época de ouro da microscopia

Havia ainda um elo a ser completado na teoria da circulação: Harvey havia teorizado a existência de passagens microscópicas entre as artérias e as veias, mas foi apenas em 1661 que um discípulo de Borelli conseguiu observá-las. Esse homem foi o italiano Marcello Malpighi (1628-1694). Utilizando o microscópio, ele observou a existência dos capilares nos pulmões de uma rã. Malpighi pertenceu a uma geração de grandes microscopistas que revolucionou vários ramos da biologia, como a zoologia, a botânica, a anatomia, a fisiologia e a embriologia. Essa geração, que contou com nomes como Robert Hooke (1635-1703), Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) e Jan Swammerdan (1637-1680), praticamente fundou a histologia e a microbiologia.

O início do uso do microscópio está ligado à *Academia de Lincei* (Quadro 2), em que 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, mediu o diâmetro dos glóbulos vermelhos no sangue e observou as fibras musculares 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 (Figura 14). As ilustrações contidas nessa obra são riquíssimas e, a exemplo do que aconteceu com a obra de Vesalius, serviram como padrão para obras posteriores. 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.

▶ Século das luzes

▪ Ousar saber

A Revolução Científica iniciada nos séculos XVI e XVII foi levada a cabo no século XVIII. A física de Galileu e a cosmologia de Copérnico culminaram nos trabalhos de Isaac

Quadro 2 • As academias científicas

O surgimento das Academias de Ciência, ao longo do século XVII, foi um dos frutos da Revolução Científica. Não encontrando espaço nas conservadoras universidades europeias, a nova ciência alojou-se em torno dessas organizações. Livres da autoridade e do dogmatismo teológico da universidade, os cientistas ali trocavam informações e apresentavam suas novas descobertas. Além disso, experimentos eram realizados, cujos resultados eram analisados e discutidos em conjunto. Desse modo, as Academias constituíram um esforço coletivo para o avanço das ciências naturais. A submissão dos novos resultados experimentais obtidos por esses pesquisadores à crítica de seus pares mostrou-se um rigoroso instrumento de controle, imprescindível à ciência nascente.

As primeiras sociedades científicas surgiram na Itália. A *Accademia dei Lincei* foi fundada em 1603 pelo nobre e amante das ciências Federico Cesi. O nome da Academia faz alusão à aguçada visão do lince, e esse espírito marcou seus integrantes: olhar e entender o mundo como ele realmente é. Para esse fim, não foi poupado o uso de instrumentos como o microscópio e o telescópio, aperfeiçoados por um de seus mais ilustres sócios: Galileu Galilei. Outra associação italiana de destaque foi a *Accademia del Cimento* (*Academia do Experimento*), fundada pelos irmãos Medici, Leopoldo e Ferdinando II, em 1657. Grande divulgadora da nova ciência galileica, ela contou, entre outros, com integrantes do porte de Torricelli e Borelli. O fim das reuniões dessa sociedade aconteceu após a nomeação de Leopoldo de Medici para cardeal, em 1667.

Na Inglaterra, a *Royal Society* (*Sociedade Real*) de Londres foi fundada em 1662, pelo Rei Carlos II. Assim como suas irmãs italianas, uma forte tendência experimentalista marcou suas atividades. Inspirada nas ideias de Francis Bacon (Figura 15) sobre a instauração de uma nova ciência, a sociedade tinha como moto a afirmação "*Nullius in verba*" – contração de uma citação de Horácio, "*nullius addictus iurare in verba magistri*", isto é, não prestar juramento às palavras dos antigos mestres, como Aristóteles. As disciplinas tratadas nas reuniões da sociedade incluíam a física, a química e a fisiologia. O químico Robert Boyle foi um dos mais proeminentes dentre os primeiros membros da sociedade. Ele e Robert Hooke, o primeiro secretário, realizavam experimentos e demonstrações semanais aos demais integrantes. Dentre eles, destaca-se a utilização de uma bomba de vácuo em investigações sobre a constituição do ar atmosférico e da fisiologia respiratória. Ao contrário do que sugere seu nome, a *Royal Society* exercia suas atividades com independência do governo, pois não recebia subvenção da coroa; esse fato garantiu uma grande autonomia à seus membros. Os avanços científicos obtidos pela sociedade eram divulgados no *Philosophical Transactions* (*Negócios Filosóficos*), jornal que, assim como a *Royal Society*, existe até hoje.

Criada em 1666 por Colbert – ministro da economia de Luís XIV – a *Académie Royale des Sciences* (*Academia Real de Ciências*), sediada em Paris, logo se tornou o ponto de convergência da ciência francesa. Buffon, d'Alembert, Laplace e Lavoisier são alguns dos homens que integraram seus quadros. Ao contrário da *Royal Society*, a Academia de Paris era financiada diretamente pela monarquia francesa. Durante a Revolução, foi considerada um símbolo do *Ancient Régime*, sendo fechada pela Convenção em 1793. A *Académie des Sciences* serviu de modelo para outras sociedades científicas europeias, como a Academia de Berlim, criada por Frederico I em 1700. Reorganizada por Frederico II em 1711, ela passou a se chamar *Königliche Preussische Akademie der Wissenschaften* (*Academia Real Prussiana de Ciências*).

Newton (1642-1727), expostos no *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*), de 1687. A teoria exposta nos *Principia* era baseada em princípios relativamente simples, como os de inércia, de ação e reação e de gravitação, e fornecia uma explicação precisa e unificada para os fenômenos naturais. Não bastasse isso, Newton desenvolveu um poderoso método matemático: o cálculo diferencial – que também foi desenvolvido, de maneira independente, pelo filósofo alemão Gottfried Leibniz (1646-1716). O sucesso da teoria newtoniana foi enorme e ela exerceu hegemonia na física até o início do século XX, quando foi questionada por Einstein. Pela primeira vez depois de Aristóteles, um sistema teórico completo era capaz de explicar, com precisão matemática, tanto os fenômenos celestes quanto os terrestres. E o século XVIII soube prestar as devidas homenagens ao trabalho de Newton, como lemos nos versos do poeta Alexander Pope:

Nature and Nature's law lay hid in night,
God said: "Let Newton be" and all was light [...]¹¹

Assim, lançado da escuridão para a luz, nasceu o século XVIII: o *siècle des lumières*. O Iluminismo, como ficou conhecido o movimento científico-filosófico associado a esse século, pretendia esclarecer, iluminar, clarear o pensamento humano; e a ferramenta escolhida para essa tarefa foi o uso da razão. Somente a razão poderia libertar o ser humano da ignorância. Ela seria o ponto de amarração das diversas propostas científicas e filosóficas do século XVIII. Os métodos racionais utilizados na lógica formal foram transferidos às ciências naturais, e o uso da razão foi definitivamente incorporado pela ciência experimental. O filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804),

¹¹ A Natureza e as leis da Natureza permaneciam ocultas na noite, Deus disse: "Faça-se Newton", e tudo foi luz...

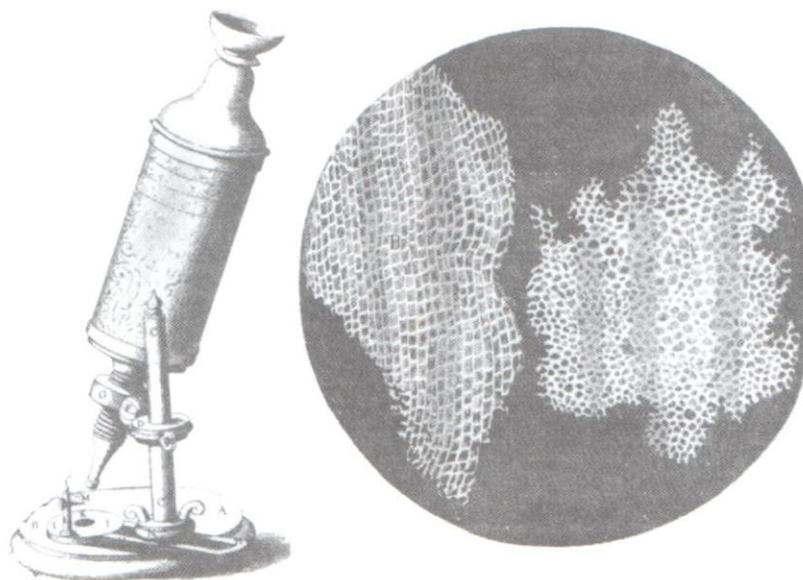


Figura 14 • À esquerda: um dos microscópios utilizados por Robert Hooke. À direita: uma das ilustrações de sua obra *Micrographia*, de 1665. (Adaptada de Harris H. *The Birth of the Cell*, Yale University Press, New Haven, 1999.)

ao tentar responder à pergunta sobre o que foi o Iluminismo, nos descreve o lema que motivou os homens desse período: *sapere aude!* – ousar saber!

A filosofia mecânica e o materialismo invadiram o século XVIII. Os trabalhos fisiológicos de Descartes e Borelli incentivaram a busca de compreensão do funcionamento da máquina humana. Os seres vivos, considerados agora parte integral do universo físico, estavam sujeitos às mesmas leis que regiam o mundo newtoniano. Os trabalhos sobre a química da respiração realizados por Lavoisier e a descoberta da eletricidade animal executada por Galvani são exemplos da tentativa de integração do mundo vivo ao domínio físico-químico. Em 1749, um filósofo e médico francês chamado Julien Offray de la Mettrie (1709-1751) publicou um livro chamado *L'homme machine* (O Homem-máquina), em que expunha uma visão puramente materialista e ateuista do mundo. La Mettrie reduzia a fisiologia humana a seus componentes mecânicos, negando inclusive o dualismo corpo-alma cartesiano: mesmo as funções mentais como o livre-arbítrio e a moral seriam resultados de interações da matéria. Essa obra tornou-se muito popular e provocou escândalo entre seus contemporâneos. Na verdade, apesar de racionais, materialistas e mecanicistas, os homens do século XVIII buscavam incessantemente uma maneira de conciliar ciência e religião. Negar a existência de Deus e da alma humana era uma atitude que tendia a provocar repulsa na maioria dos fisiologistas da época. Fenômenos fisiológicos tais como o crescimento, a nutrição e a atividade mental revelaram-se mais difíceis de explicar em termos puramente mecânicos e materiais do que

supuseram mesmo os mais entusiasmados mecanicistas. A matéria tornou-se um conceito extremamente abrangente e variável. Como veremos a seguir, ela poderia, por exemplo, ter qualidades especiais, como sensibilidade e irritabilidade.

▪ O grande Albrecht von Haller

O maior e mais influente fisiologista do século XVIII foi o suíço Albrecht von Haller (1708-1777). Escritor profícuo, publicou uma obra volumosa, na qual destacam-se os oito volumes dos *Elementa Physiologiae Corporis Humani* (Elementos de Fisiologia do Corpo Humano), lançados entre 1757 e 1766. Nessa obra, Haller sintetiza o “estado da arte” da fisiologia de sua época, coordenando em bases científicas as várias teorias e observações realizadas por ele e por seus pares, com os quais mantinha intensa correspondência. Dois conceitos centrais da fisiologia de Haller eram os de *irritabilidade* e *sensibilidade*. No século anterior, o francês Francis Glisson (1597-1677), ao estudar a liberação de bile pela vesícula biliar, havia proposto que as fibras que a compunham teriam a capacidade de sofrer irritação frente a um estímulo externo. A irritabilidade, de acordo com Glisson, seria a capacidade da matéria orgânica de reagir a uma perturbação, sendo a geradora dos movimentos no organismo e a grande responsável pela possibilidade da vida. Haller continuou os experimentos de Glisson, sendo um dos primeiros a determinar a função da bile na digestão de gorduras. Além disso, ele estudou a propriedade de irritabilidade e a distinguiu de outra propriedade da matéria orgânica: a sensibilidade. Para Haller, o organismo seria composto de elementos básicos, as fibras, que foram divididas em três classes. A primeira seria a *tela cellulosa* (tecido celular), que formaria o tecido conectivo e de sustentação do corpo. A segunda seria a *fibra muscularis*, que formaria os músculos, e teria a propriedade intrínseca de irritabilidade: contrair-se em resposta a um estímulo. Por fim, a *fibra nervosa*, capaz de sentir e de transmitir essas sensações para outras partes do organismo. As noções de irritabilidade e de sensibilidade obtiveram grande adesão nos anos que se seguiram às publicações de Haller, como observaremos, por exemplo, nos trabalhos de Galvani.

A ideia de que o organismo fosse constituído, em última instância, por tipos diferentes de fibras com propriedades especiais culminou na elaboração da influente “doutrina do tecido”, que emergiu dos trabalhos do francês Xavier Bichat (1771-1802). Esse médico – que foi a principal figura na fisiologia francesa da virada do século – identificou vinte e um tipos de tecidos, que seriam formadores dos órgãos humanos. Sua classificação foi tanto anatômica quanto fisiológica; cada tecido desempenharia uma função no organismo, consequência do tipo de “propriedade vital” presente em cada um deles (como a sensibilidade, por exemplo). Segundo Bichat, essas propriedades vitais seriam um impedimento para que a fisiologia fosse explicada em termos puramente físico-químicos. Com base nesse tipo de raciocínio, diversas propostas vitalistas surgiram nos séculos XVIII e XIX. O vitalismo introduzia a existência de uma “força vital” (também chamada de *vis vitalis* ou *élan vital*), responsável pelas peculiaridades observadas nos processos orgânicos.

▪ Origem da eletrofisiologia: Galvani e Volta

As pesquisas sobre os fenômenos elétricos avançaram muito no século XVIII, graças aos trabalhos de homens como Benjamin Franklin, Henry Cavendish e vários outros pesquisadores. Os artefatos desenvolvidos nessa época, tais como a



Figura 15 ▪ Frontispício da *History of the Royal Society of London* de Thomas Sprat, 1667. Do lado direito do busto do Rei Charles II, patrono da academia, está Francis Bacon, pai da nova filosofia experimental. A referência ao caráter experimental da sociedade está também nos diversos instrumentos científicos espalhados ao fundo. (Adaptada de Ronan CA. *História Ilustrada da Ciência*, Vol III, Circulo do Livro/Jorge Zahar Editor, São Paulo, 1987.)

garrafa de Leyden (capaz de armazenar energia elétrica), propiciaram as pesquisas sobre a presença da eletricidade nos seres vivos. Em 1791, o professor de anatomia da Universidade de Bolonha, Luigi Galvani (1737-1798), publicou a primeira obra sobre esse assunto, o *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius* (Comentário Sobre o Poder da Eletricidade no Movimento Muscular). Nessa obra, fruto de mais de dez anos de experimentação, Galvani propõe a existência da “eletricidade animal”. Utilizando vários tipos de preparações experimentais, ele estimulou eletricamente nervos de rãs e observou a contração muscular que ocorria em suas patas (Figura 16). Sua conclusão foi que o corpo desses animais era capaz de produzir e armazenar um tipo de fluido elétrico que era responsável pela contração muscular. O *Commentarius* obteve enorme sucesso quando foi publicado, mas também gerou críticas intensas. A principal delas veio de um professor de física da Universidade de Pavia: Alessandro Volta (1745-1827). Lendo atentamente a obra de Galvani e repetindo alguns de seus experimentos, ele concluiu que, apesar de reagir à eletricidade externa, as rãs não eram capazes de produzir eletricidade intrinsecamente. De acordo com Volta, os resultados encontrados por Galvani deviam-se à eletricidade provocada pelos metais utilizados para conectar os nervos e músculos da rã. A disputa entre esses dois brilhantes cientistas tornou-se um dos grandes debates da história da ciência, e gerou experimentos valiosos de ambos os lados. Os experimentos de Volta, por exemplo, culminaram na invenção da pilha voltaica, isto é, da bateria elétrica.

Com o sucesso obtido por Volta e a morte de Galvani em 1798, os anos posteriores atribuíram a Volta o fato de haver interpretado corretamente os resultados dos trabalhos experimentais iniciados por Galvani. No entanto, uma análise mais detida revela a importância dos trabalhos do bolonhês na fundação e no desenvolvimento posterior da eletrofisiologia. A teoria de Galvani (que, ao contrário de Volta, tinha sólida formação médica) sobre a eletricidade animal estava diretamente ligada à tradição fisiológica de sua época. Essa tradição derivava dos trabalhos de Haller, sobretudo de suas teorias sobre a irritabilidade do tecido muscular, sendo um dos arcabouços conceituais utilizados por Galvani na concepção de seus experimentos. O fato de utilizar rãs recentemente sacrificadas, em vez de animais vivos, por exemplo, evitava qualquer possível interferência da alma ou de forças vitais em suas preparações. A irritabilidade era uma propriedade intrínseca do músculo, assim como

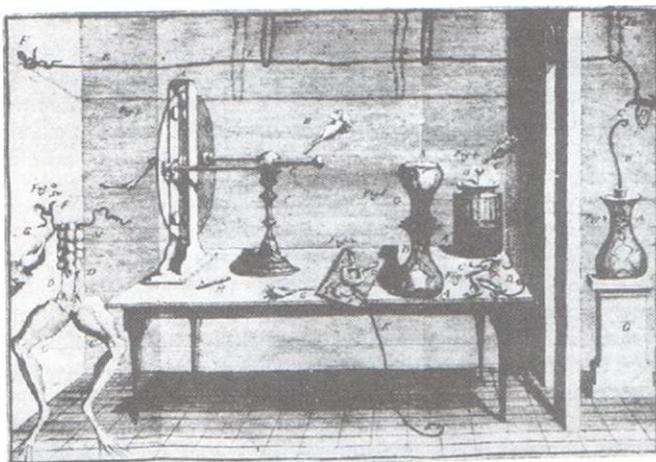


Figura 16 • Figura da obra de Galvani *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*, de 1791. (Adaptada de Piccolino M. *Animal Electricity and the Birth of Electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani*. *Brain Research Bulletin*, 46 (5), 1998.)

era a eletricidade animal. A reação do organismo a um agente externo dependia de sua organização interna. O fenômeno da contração não era, dessa maneira, diretamente causado pelo estímulo elétrico externo; a noção de irritabilidade supunha que o organismo já estava previamente preparado para reagir de uma maneira específica, com um tipo de energia que já possuía dentro de si. Atualmente, poderíamos associar esse tipo de raciocínio a diversos fenômenos fisiológicos, como, por exemplo, aqueles mecanismos que envolvem “cascatas bioquímicas”. A perturbação causada por um estímulo, nessas situações, é amplificada muitas vezes, e a resposta final depende apenas muito indiretamente do estímulo inicial. São impressionantes, portanto, as conclusões a que chegou Galvani, em uma época em que nem a célula nem sua membrana – local onde sabemos atualmente ser provocada e armazenada a energia elétrica do organismo – haviam sido descobertas.

• A combustão e a química da vida

Como vimos, a relação entre vida e calor, assim como a dependência do ar nos fenômenos vitais, foi estabelecida desde a Antiguidade. Durante os séculos XVIII e XIX, a determinação dos processos químicos por trás dessas observações ocupou a mente de grande parte da comunidade fisiológica. Esses pesquisadores procuraram relações quantitativas entre o consumo de oxigênio e nutrientes pelo organismo e a produção de calor e subprodutos de suas atividades metabólicas. Podemos, entretanto, encontrar precursores desse tipo de investigação ainda na Renascença. O italiano Santorio Santorio (1561-1636) foi um dos pioneiros no estudo do metabolismo. Ao longo de mais de trinta anos de pesquisas, utilizando diversos instrumentos – como termômetros e balanças – Santorio introduziu uma série de medidas quantitativas sobre o funcionamento do corpo humano (Figura 17).

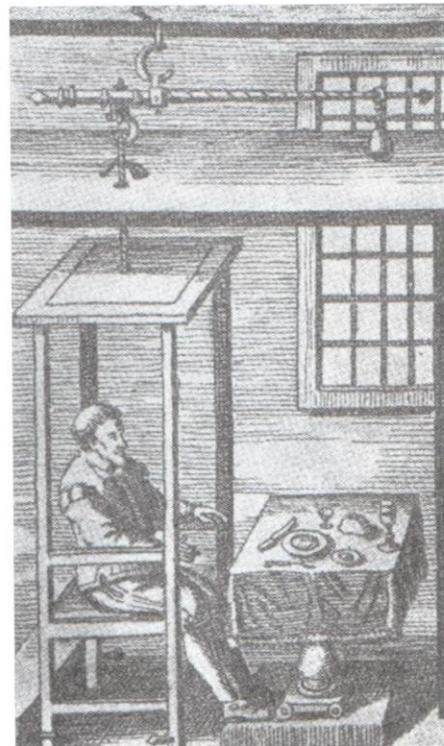


Figura 17 • Balança metabólica utilizada por Santorio Santorio. (Adaptada de Rothschild KE. *History of Physiology*. Robert E Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 1973.)

A descoberta do oxigênio e sua participação na combustão provocaram uma revolução na química durante o século XVIII, formando as bases modernas dessa disciplina. A aplicação da nova química à fisiologia deu-se pelas mesmas mãos do líder dessa revolução: o francês Antoine Lavoisier (1743-1794). A estreita relação do processo de combustão com a respiração animal logo foi estabelecida por Lavoisier, que percebeu que os seres vivos absorvem oxigênio e liberam gás carbônico, da mesma maneira que faz uma substância quando em combustão. Ele percebeu, também, que ambos os processos produziam calor. Utilizando o calorímetro de gelo (Figura 18), instrumento que desenvolveu em parceria com o físico Pierre Simon de Laplace (1749-1827), realizou diversas medidas sobre a produção de calor animal. A partir dessas experiências, e de muitas outras (Figura 19), Lavoisier concluiu que a respiração era um lento processo de combustão que ocorria dentro dos pulmões. Ao propor esse primeiro esquema da fisiologia respiratória, Lavoisier dava um imenso passo em direção da inserção dos organismos vivos no reino físico-químico, jornada que continuou no século XIX, com a descoberta dos princípios da conservação de energia.

A revolução francesa, iniciada em 1789, pôs fim à era moderna e inaugurou a era contemporânea. Pôs fim também à vida de Lavoisier, guilhotinado pelos revolucionários em 1794. Sua proposta de que a respiração fosse um processo de combustão dentro dos pulmões logo era contestada. As observações eram simples: os pulmões não apresentavam qualquer indício de conter um processo de queima. Sua temperatura não era superior à de qualquer outra parte do corpo, e nenhum sinal de lesão tecidual, como se poderia esperar, foi encontrado. Foi proposto, então, que o sangue passava pelos pulmões simplesmente para absorver o oxigênio do ar; o sangue, então, passou a ser o local da combustão. A primazia do sangue nos processos vitais já contava com muitos adeptos desde os trabalhos de Harvey. O influente John Hunter, por exemplo, criou a noção de “vitalidade do sangue” – ele acreditava que o sangue continha a essência da vida, sendo o componente mais importante do organismo. A hegemonia do sangue nos processos fisiológicos durou até a segunda metade do século XIX, apesar de vários trabalhos indicarem a importância da atividade tissular, como a do músculo, por exemplo, no consumo de oxigênio. Mas foi a partir de 1870, com a publicação dos trabalhos de Eduard Pflüger (1829-1910), que ficou estabelecido que o

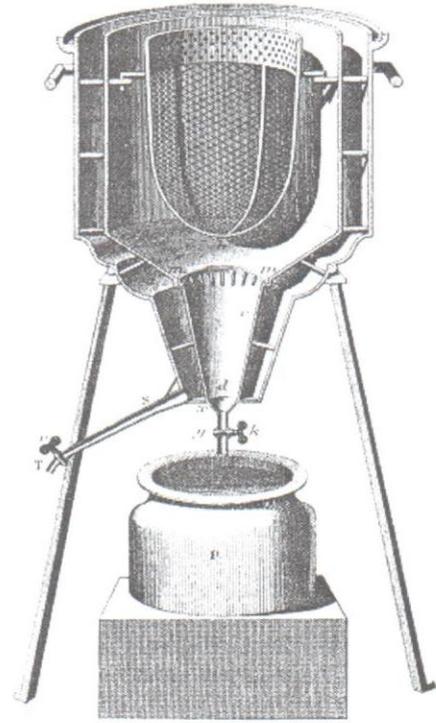


Figura 18 • Calorímetro de gelo de Lavoisier e Laplace. O espaço entre as duas paredes (isolante térmico), assim como o espaço entre a parede interna e a cesta experimental, eram preenchidos com gelo. Um animal experimental era então colocado dentro da cesta. O calor produzido pelo animal derretia o gelo da parte interna e a água produzida era captada pelo vaso inferior. A quantidade de água servia como um índice do calor produzido pelo animal, que era verificado em diversas situações experimentais. O calor animal era também comparado ao calor produzido pela chama de uma vela colocada dentro da cesta. (Adaptada de Coleman W. *The Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*. Cambridge University Press, 1971.)

consumo de oxigênio pelo organismo dependia da atividade metabólica dos tecidos.

▪ Fisiologia versus anatomia

Olhamos para o passado com as lentes do presente. É inevitável a tentação de analisar fatos ocorridos em outras épocas do ponto de vista atual. Isso é especialmente flagrante quando

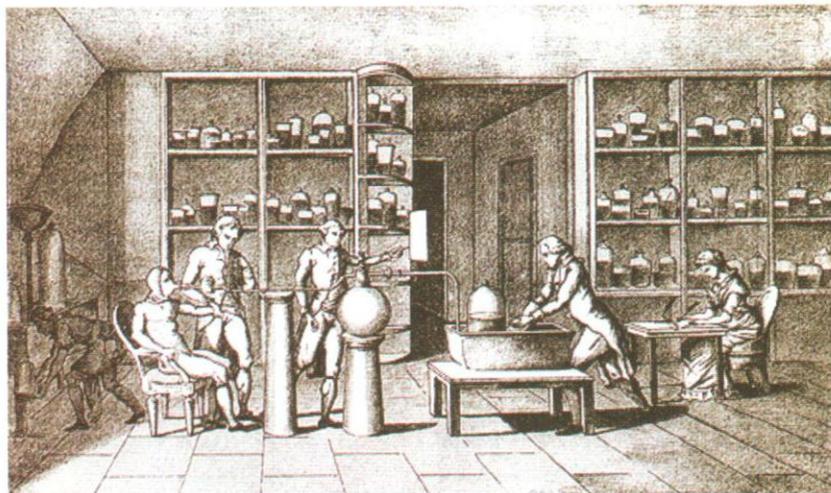


Figura 19 • Investigações sobre a respiração realizadas no laboratório de Lavoisier. Enquanto seu marido realizava os experimentos, Madame Lavoisier tomava as notas; devemos a ela este desenho. (Adaptada de Hankins TL. *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985. Original: Edouard Grimaux, *Lavoisier*, 3d ed, Paris, 1899. Cortesia da University of Washington Libraries.)

olhamos para a história das ciências: intuitivamente temos o impulso de aplicar nosso ponto de vista privilegiado ao pensamento dos nossos predecessores científicos. Afinal, supostamente somos mais esclarecidos, visto que dispomos de teorias e tecnologias mais avançadas. Contudo, se o nosso objetivo é o de entender as reais motivações dessas pessoas, devemos observá-las sob o prisma da época em que elas viveram. Devemos nos colocar na posição das personagens que investigamos e tentar enxergar uma época como a viam os homens desse período.

A fisiologia como a praticamos hoje, isto é, a *fisiologia experimental*, tem data e locais de nascimento: século XIX, na França e, posteriormente, na Alemanha. Entre os anos de 1500 e 1800, no entanto, a fisiologia possuía uma identidade um tanto distinta da atual. A coleta de dados empíricos e a realização de experimentos nesse período eram feitas pelos anatomistas. Segundo o historiador Andrew Cunningham, enquanto a anatomia lidava com a prática (como etimologicamente pode-se deduzir do termo *anatomia*: dividir em partes, dissecar, ou seja, uma *prática*), a fisiologia lidava exclusivamente com a teoria. O fisiologista era um filósofo natural; ele teorizava a partir dos dados da anatomia, mas também poderia utilizar dados de outras disciplinas, como fez Lavoisier com a química. Um fisiologista nunca realizava um experimento; o anatomista o fazia. O anatomista preocupava-se com os *o quês?* e *comos?* do organismo, isto é, com suas causas materiais e eficientes. O fisiologista estava interessado nas causas últimas (finais), nos *por quês?* – inacessíveis aos anatomistas. A anatomia criava fatos, a fisiologia tirava conclusões. A diferença entre essas duas disciplinas remonta à distinção, na Antiguidade, entre ciência e arte. Os antigos não valorizavam o trabalho manual (técnico ou artístico) tanto quanto o conhecimento teórico e contemplativo. O filósofo natural estava, assim, distante e acima do artesão. Aristóteles, por exemplo, distinguia as chamadas ciências *teóricas* das ciências *produtivas*. Enquanto as primeiras visavam o conhecimento teórico, com um fim em si mesmo, as últimas lidavam com a produção de algo útil ou belo. Essa dicotomia chegou até os modernos, alocando a anatomia no campo das artes e a fisiologia no campo das ciências. Podemos ilustrar isso analisando a obra dos cientistas desse período.

O médico francês Jean Fernel (1497-1558) foi o primeiro moderno a utilizar o termo Fisiologia no sentido antes descrito. Em 1554, o termo *Physiologia* aparece como título de

um dos livros que compunha sua obra *Universa Medicina*. Segundo Fernel, a fisiologia era parte da *filosofia* e deveria buscar as causas dos fenômenos naturais com base na demonstração lógica e não na demonstração experimental ou visual. De acordo com essa concepção, a fisiologia deveria dar conta de três classes de coisas, com as quais a anatomia não conseguiria lidar: 1) das menores unidades que constituiriam o corpo humano, e de como essas porções minúsculas e invisíveis estariam relacionadas com as porções visíveis; 2) das causas últimas do movimento e da mudança no organismo; 3) da explicação das grandes funções do organismo, tais como a nutrição, o crescimento e a geração. O conceito fisiológico de Fernel foi seguido por Haller, que ao longo de sua vida executou uma enorme quantidade de experimentos com animais vivos e mortos, além de seres humanos. Todavia, quando estava realizando esses experimentos, Haller usava seu “chapéu” de anatomista e não de fisiologista (Figura 20). Segundo ele, “*physiologia est animata anatome*” (fisiologia é anatomia animada). A fisiologia deveria ir além das evidências fornecidas pelos sentidos; deveria incorporar a busca pelo propósito, ou finalidade da existência da estrutura estudada. É a teleologia biológica de Aristóteles, acrescida da ideia cristã de um criador infinitamente sábio e benevolente. A anatomia seria uma espécie de serva da fisiologia; a forma de um órgão seria consequência da função para qual aquela estrutura foi criada por Deus. Com base nessa noção, o francês Georges Cuvier (1769-1832) criaria mais tarde o termo *anatomia funcional*. Por fim, o exemplo mais marcante dessa dicotomia anatomia/fisiologia vem de William Harvey. A obra em que expõe sua teoria da circulação do sangue, o *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, é, como o título indica, um exercício, um estudo anatômico, não fisiológico. Todos os experimentos descritos nessa obra são, na concepção de Harvey, experimentos anatômicos. A despeito de considerarmos hoje uma obra tipicamente fisiológica, seu autor considerava-se praticando uma *anatomia analítica*.

Como veremos, a criação da fisiologia experimental alterou a identidade da fisiologia, incorporando definitivamente a investigação empírica aos seus objetivos e métodos. Não devemos, entretanto, utilizar os conceitos da nova fisiologia ao olharmos para a velha fisiologia e para a velha anatomia se quisermos ter uma visão fiel do que constituíam essas disciplinas no passado.



Figura 20 ■ O frontispício do Volume II dos *Elementa Physiologiae Corporis Humani* (1757-1766), de Albrecht von Haller, nos dá uma ideia da diferença entre a anatomia e a fisiologia nessa época. À esquerda, observamos o anatomista exercendo sua *prática*; com a ajuda de instrumentos, ele realiza seus experimentos, sua *arte*. À direita, o fisiologista, em reflexão, escreve. Ao lado de outras ciências, como a astronomia e a geometria (representadas pelos anjos à sua direita), ele alinha-se com os filósofos naturais. Enquanto o anatomista lida com os meios, o fisiologista interessa-se pelos fins, pelas causas últimas. (Adaptada de Cunningham A. *The Pen and Sword: Recovering the Disciplinary Identity of Physiology and Anatomy Before 1800*. I: *Old Physiology – the Pen*. Studies in History and Philosophy of Biological Sciences, 33, 2002.)

► O século XIX

▪ Sob a luz da evolução

Foi graças aos enormes desenvolvimentos ocorridos na Alemanha e na França durante o século XIX que a fisiologia adquiriu os contornos atuais. Mas antes de analisarmos as peculiaridades das tradições de pesquisa fisiológica nesses dois países, devemos nos voltar para a Inglaterra, onde viveu Charles Darwin (1809-1882). Em 1859, Darwin publicou a obra *Origin of Species* (Origem das Espécies), que contém sua teoria da evolução por meio da seleção natural. Essa teoria – segundo a qual os seres vivos se modificam por meio de pequenas mutações aleatórias que são selecionadas pelo ambiente – revolucionou e unificou todos os campos da biologia. A seleção natural forneceu, enfim, o mecanismo pelo qual os organismos e suas partes se modificam, o que possibilitou aos cientistas entenderem o porquê de uma determinada estrutura ser do jeito que ela é. Foi o golpe letal na presença da teleologia aristotélica e um grande passo para a expulsão das explicações finalísticas na biologia (ver Quadro 1). Não devemos, no entanto, imaginar que a teoria darwinista desfrutou de vida fácil nos primeiros anos de sua existência. A Inglaterra e o restante da Europa foram palco de fervorosos debates na segunda metade do século XIX. Foi apenas na primeira metade do século XX, quando um movimento que ficou conhecido como “síntese” uniu a teoria evolutiva à genética mendeliana, que os conceitos darwinistas foram plenamente aceitos na biologia – a ponto de um dos líderes desse movimento, o russo Theodosius Dobzhansky (1900-1975), dizer: “Nada faz sentido na biologia, a não ser sob a luz da evolução”.

▪ Três concepções da fisiologia

Ao analisarmos a fisiologia do século XIX, devemos ter em mente que três pontos de vista sobre o que era a vida, e de como a ciência poderia ter acesso a esse fenômeno, permeavam as pesquisas dentro dos laboratórios. O primeiro deles era a perspectiva *vitalista*. Existiram diversos tipos de vitalismo ao longo do desenvolvimento da fisiologia, de maneira que esse termo está longe de delimitar um conceito preciso. De uma maneira geral, os adeptos dessa posição concebiam a matéria orgânica como possuidora de um tipo de “força vital”, responsável pela presença da vida na matéria. Os dois fisiologistas mais influentes do começo do século – Xavier Bichat, na França, e Johannes Müller, na Alemanha – eram vitalistas. Entretanto, com o passar dos anos e com o desenvolvimento científico que ocorreu ao longo do século, a interferência de uma força externa não física – uma “mão estranha” – na corrente causal das explicações fisiológicas passou a ser vista com desconfiança pelas gerações seguintes.

O entusiasmo causado pelos avanços da física e da química no século XIX impulsionou a retomada de um projeto iniciado por Descartes, Borelli e La Mettrie: o *reduccionismo materialista*. O objetivo era reduzir os fenômenos fisiológicos em termos de matéria e movimento, seguindo os preceitos da mecânica. A descoberta dos princípios de conservação de energia e da presença de fenômenos elétricos nos seres vivos proporcionaram novas e promissoras perspectivas aos reducionistas. Como veremos, um influente grupo de fisiologistas adotou essa visão na Alemanha a partir da segunda metade do século. Esses cientistas representaram uma reação aos *Naturphilosophen* (filósofos da natureza) germânicos (Quadro 3), assim como

Quadro 3 • A *Naturphilosophie* alemã

A visão materialista e mecanicista do mundo desenvolvida pelos franceses encontrou forte resistência em alguns segmentos do pensamento alemão. Esses teóricos estavam alinhados a outra concepção do universo, que ficou conhecida como *Naturphilosophie*, ou Filosofia da Natureza. Associada ao movimento romântico, a *Naturphilosophie* possuiu diversas formulações entre os séculos XVIII e XIX. No entanto, sua forma mais acabada pode ser encontrada nos escritos do filósofo Friedrich Schelling (1775-1854). Os *Naturphilosophen* concebiam o mundo como um organismo vivo em evolução, e não como uma máquina, como queria Descartes e a tradição mecanicista. Mesmo as leis da física e da química estariam sujeitas às leis desse processo evolutivo, que seriam leis de caráter biológico, tais como as que regulam o desenvolvimento ontogenético de um organismo vivo. A meta desse processo contínuo e dinâmico de transformação da natureza seria a realização da autoconsciência. A evolução do universo seria orientada na direção da formação do ser humano, que seria capaz de tomar consciência do processo. Dessa maneira, no ser humano a natureza alcançaria a consciência de si mesma.

Apesar da postura idealista e um tanto especulativa, a *Naturphilosophie* exerceu grande influência na filosofia e na ciência alemã e de países vizinhos. Entre seus principais representantes estavam o zoologista Lorenz Oken (1779-1851) e o poeta Wolfgang Goethe (1749-1832). Ambos realizaram várias descobertas anatômicas guiados pelos princípios dessa filosofia natural. Na física, Hans Oersted (1777-1851), discípulo de Schelling, descobriu a conexão fundamental entre eletricidade e magnetismo baseado na ideia de unidade na natureza e na existência de uma “força universal”, das quais as demais forças físicas seriam apenas manifestações.

aos vitalistas. Desse grupo reducionista, conhecido como “grupo de Berlim”, participaram homens tais como Emil du Bois-Reymond, Hermann von Helmholtz e Carl Ludwig.

Uma terceira concepção da fisiologia, mais cética e cautelosa do que a reducionista, ficou conhecida como *positivista*. Ela concentrava-se nos fenômenos fisiológicos e nas suas relações entre si, considerando como metafísica a busca pelas causas últimas desses fenômenos. Para esses homens, a análise físico-química do organismo poderia fornecer uma valiosa ferramenta para a fisiologia. No entanto, o fisiologista deveria concentrar-se nos fenômenos fisiológicos, em vez de preocupar-se com suas causas últimas; ou com a essência do que era, afinal, a vida. Essa concepção está ligada ao nascimento da fisiologia experimental na França, a partir dos trabalhos de François Magendie e Claude Bernard.

▪ A fisiologia experimental dá seus primeiros passos

O que presenciaremos ao longo do século XIX é o nascimento de uma nova disciplina: a *fisiologia experimental*. Isso aconteceu primeiro na França, e, logo depois, na Alemanha. Em seguida, os discípulos dos grandes mestres franceses e germânicos incumbiram-se de espalhar essa nova disciplina para o restante do mundo. Os primeiros praticantes dessa nova visão constituem uma reação contra: 1) a concepção de que a fisiologia era uma ciência puramente teórica, ou um ramo da filosofia; 2) a presença de “forças vitais” no funcionamento dos organismos vivos, ou seja, a recusa de explicações vitalistas.

Um dos primeiros defensores da fisiologia experimental foi François Magendie (1783-1855). Sua obra *Précis Élémentaire de Physiologie* (Compêndio Elementar de Fisiologia), de 1816-1817, é uma espécie de manifesto a favor da nova disciplina. Nela, Magendie defende entusiasticamente a adoção do “método baconiano da indução nas ciências fisiológicas”. Segundo ele, ao contrário de outras ciências naturais – tais como a física e a química – a fisiologia, até aquele momento, teria sido “um longo e enfadonho romance”. Para alcançar o sucesso daquelas disciplinas, a fisiologia deveria, assim como elas, ser reduzida “inteiramente ao experimento”. Além disso, ele critica severamente as concepções vitalistas de seu profes-

sor, Xavier Bichat – na época, a figura mais influente na fisiologia francesa. Magendie observou que certas propriedades e fenômenos fisiológicos não eram explicáveis de acordo com as leis da física e da química; ele as denominou atividades *vitais*. No entanto, essas propriedades vitais seriam mais fruto da ignorância dos cientistas, que lançavam mão delas quando não conseguiam reduzir um fenômeno biológico a termos físico-químicos, do que propriedades intrínsecas aos seres vivos. Ele assumia, dessa maneira, uma posição agnóstica com relação às causas vitais – e anuncia, em tom quase profético:

A fisiologia está, no momento, precisamente no ponto em que estavam as ciências físicas antes de Newton: ela espera apenas que um gênio de primeira ordem venha para descobrir as leis da força vital do mesmo modo que Newton desvendou as leis da atração.¹²

• Claude Bernard: o fundador da fisiologia moderna

A possibilidade da existência de um Newton nas ciências da vida era questão frequente entre os pensadores do início do século XIX. A expectativa era de que um sucesso equivalente ao que a teoria newtoniana havia alcançado nas ciências exatas acontecesse nas ciências biológicas. Alguns chegavam a duvidar que isso fosse possível, como foi o caso de Kant. Em sua obra *Crítica do Juízo*, de 1790, ele assegura a impossibilidade de o ser humano vir a conhecer suficientemente os seres vivos a ponto de explicá-los segundo “simples princípios mecânicos da natureza”:

[...] e isso é tão certo que podemos ter a ousadia de dizer que é absurdo para os homens se entregarem a tal projeto, ou esperar que possa nascer um dia algum Newton que faça compreender a simples produção de um ramo de erva [...]

Por trás dessa afirmação está a convicção de que as possibilidades do mundo vivo são tais que, ainda que os homens venham a conhecer todas as suas condições físicas e materiais de existência, algo ainda escapará. Isso significa dizer que as leis da física nunca explicarão totalmente os organismos vivos. O “Newton do ramo de erva” teria, assim, a tarefa de vencer o abismo entre o reino físico e o reino biológico. Foi esse o desafio que o fisiologista francês Claude Bernard (1813-1878) aceitou enfrentar; ao fazer isso, ele lançou as pedras fundamentais da fisiologia moderna (Figura 21).

A primeira constatação de Bernard foi a de que realmente existem fenômenos que ocorrem nos organismos vivos que não ocorrem nos corpos inanimados. Assim, são as leis que regem esses fenômenos que o fisiologista deve tentar desvendar; essas leis não são físicas nem químicas, mas leis *fisiológicas*. Não se trata de negar que a vida depende de fenômenos físico-químicos, mas de dizer que ela não se reduz a esses fenômenos. Bernard não era, portanto, um reducionista ou um materialista: ele tentava limitar o escopo da fisiologia ao estudo dos fenômenos fisiológicos. Ao buscar o que é próprio da fisiologia, Bernard acaba propondo uma virada na concepção da disciplina. A fisiologia, segundo ele, deveria constituir-se em uma ciência *autônoma*. Uma vez que Bernard buscava afirmar essa nova visão da fisiologia como disciplina independente, ele não podia, de modo algum, admitir que esta fosse reduzida à



Figura 21 • Claude Bernard (1813-1878), aos 53 anos, *Bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine*, Paris. (Adaptada de Fulton JF. *Selected Readings in the History of Physiology*. Charles C Thomas Publisher, Springfield, 1966.)

física e à química. Além disso, ele busca separar a nova fisiologia das outras ciências da vida, em um rompimento com a história da antiga fisiologia e de sua relação com a anatomia. Bernard não concebe mais a fisiologia como uma continuação da anatomia (uma *animata anatome*). Ao contrário, ele afirma que “em vez de proceder do órgão para a função”, o fisiologista deve “começar a partir do fenômeno fisiológico e procurar sua explicação no organismo”.

Apesar de distinguir-se das ciências físico-químicas, a fisiologia deve, no entanto, nelas se espelhar no que concerne ao método experimental. Discípulo de Magendie, Bernard exalta a fisiologia experimental defendida por seu professor. Segundo ele, o objetivo da investigação experimental não é a essência, a natureza da vida, mas a determinação experimental dos fenômenos vitais. Por meio de experimentos cuidadosamente controlados, o fisiologista deve buscar as “*condições do fenômeno*”, isto é, as condições experimentais em que um determinado fenômeno fisiológico é observado. A experimentação fisiológica deve, ainda, ser um processo ativo; o pesquisador deve *provocar* a ocorrência do fenômeno que deseja investigar: “*experimentação é observação provocada*”, ensina ele. É interessante notarmos a importância que Bernard concede à distinção entre *observação* e *experimentação*. O “*observador*”, segundo ele,

aceita os fenômenos apenas da maneira como a natureza os coloca diante dele; o experimentador os faz aparecerem sob condições nas quais ele é o mestre.¹³

Como consequência dessa visão, o santuário do fisiologista não deve ser o hospital. De acordo com Bernard, o clínico e o patologista apenas observam os fenômenos vitais. Essas observações podem, é claro, servir como ponto de partida, mas apenas isso. A partir daí, o verdadeiro fisiologista deve entrar em seu reino: o laboratório. E foi no laboratório que Bernard realizou muitas descobertas fundamentais para a fisiologia; dentre elas estão a participação do pâncreas na digestão e a função glicogênica do fígado.

¹² Magendie F. *Précis Élémentaire de Physiologie*. Paris, 1816-1817.

¹³ Bernard C. *De la Physiologie Générale*. Paris: Hachette, 1872.

Certo dia, Bernard trabalhava em seu laboratório examinando fígados de coelho. Seu objetivo era descobrir qual ou quais seriam os órgãos responsáveis pela digestão do açúcar ingerido na alimentação. De acordo com a teoria de seu professor Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) – aceita na época –, plantas e animais apresentariam fisiologias distintas: os vegetais seriam produtores de nutrientes, enquanto os animais seriam apenas consumidores. Portanto, a glicose encontrada no sangue de animais teria origem direta nos alimentos por eles ingeridos. Tendo observado, entretanto, a presença de glicose no sangue de animais que não a ingeriram (em jejum), Bernard pôs-se a examinar diversos órgãos, incluindo fígados de coelho, dosando o nível dessa substância em várias situações experimentais. Estando apressado, por algum motivo, nesse dia ele dosou o nível de glicose logo após o sacrifício do animal, e guardou o órgão para terminar suas análises no dia seguinte. Surpreendentemente, o nível de glicose encontrado no dia seguinte foi muito superior ao encontrado logo após o sacrifício, a despeito do fato de o animal já estar morto há várias horas. Essa observação deu origem ao famoso experimento do “fígado lavado”. Bernard, após sacrificar o animal, lavava cuidadosamente o fígado para remover toda a glicose presente, e o armazenava em condições adequadas. Algumas horas depois, ele dosava o nível de glicose, encontrando uma grande quantidade dessa substância, que só poderia ter sido produzida desde a lavagem. Outros órgãos, quando submetidos a essa operação, não apresentavam esse comportamento. Bernard havia, assim, descoberto a função glicogênica do fígado. Os animais, assim como as plantas, eram capazes de produzir glicose. Mais ainda, a digestão não era um processo simples e direto como se supunha, em que o organismo simplesmente utiliza os alimentos que ingere. Antes, é um processo indireto e complexo, em que o organismo é capaz de armazenar, modificar e fabricar seus próprios nutrientes.

Outro conceito importante deduzido desses experimentos – e de vários outros – é o de *secreção interna*. O fígado, além de secretar bile, é capaz de secretar glicose diretamente no sangue. A descoberta da capacidade de um órgão ou glândula secretar, no ambiente interno, substâncias essenciais para seu funcionamento lançou as bases para a fundação da endocrinologia. A noção de secreção interna também levou Bernard à sua teoria que unificaria definitivamente a fisiologia moderna: a teoria do *meio interno*. Vamos ouvi-lo:

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.[...]

A conservação 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.¹⁴

Podemos notar que Bernard compara o organismo a uma sociedade, em que os vários elementos, vivendo no meio interno, trabalham conjuntamente para a manutenção do todo. Para ele, “o organismo forma, por si próprio, uma unidade harmônica, um pequeno mundo (*microcosmo*) contido

em um grande mundo (*um macrocosmo*)”. A explicação dos fenômenos que governam o meio interno passa, então, a ser o objetivo do fisiologista. Em 1929, Walter B. Cannon (1871-1945) retomará essa teoria ao propor a ideia de *homeostasia*. Os elementos citados por Bernard correspondem às células, e um de seus objetivos será unir sua teoria do meio interno a uma teoria proposta na Alemanha algumas décadas antes, a *teoria celular*.

▪ 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, 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 ideia, 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, observaram que tanto os tecidos vegetais quanto os tecidos animais apresentavam uma grande variedade de glóbulos e corpúsculos. Dessa maneira, no início do século XIX a existência das “células” era fato conhecido da comunidade europeia 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 ideia 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 tcheco Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) e seus discípulos, e o alemão Lorenz Oken (1779-1851). Purkinje liderou um importante centro de pesquisas microanatômicas e fisiológicas em Breslau e posteriormente em Praga. Suas investigações lhe renderam diversas descobertas, tais 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 tcheco – 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 (ver Quadro 3). 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 “infusoriano”: 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, for-

¹⁴Bernard C. *Leçons sur les Phénomènes de la Vie Communs aux Animaux et aux Végétaux*. Paris, 1878.

mando 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 causadas pelo mesmo mecanismo. Suas descobertas foram publicadas na monografia *Beiträge zur Phytogenesis* (Contribuições para a Fitogênese), em 1838. Durante um jantar, Schleiden compartilhou suas ideias com Schwann, que ficou muito entusiasmado, pois viu grande semelhança com o trabalho que ele mesmo desenvolvia com tecidos cartilaginosos e de notocorda. Em 1839, Schwann publicou suas conclusões sob o título *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur 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 (Figura 22). 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, em um 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.

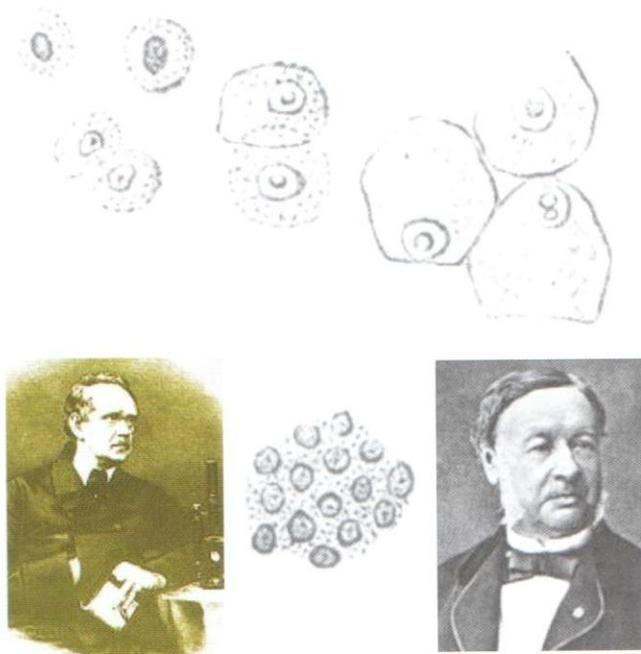


Figura 22 • Desenhos de células feitos por Schwann. À esquerda, um retrato de Matthias Schleiden (1804-1881); à direita, de Theodor Schwann (1810-1882). (Desenhos adaptados de Coleman W. *The Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*. Cambridge University Press, 1971. Os retratos foram adaptados do site <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de>.)

▪ A conservação de energia aplicada ao mundo da vida

O projeto de inserir os seres vivos no universo físico-químico foi a motivação que levou Lavoisier a investigações sobre a química da respiração, no século XVIII. Esse mesmo espírito norteou grande parte da pesquisa fisiológica do século XIX. O trabalho do químico Justus Liebig (1803-1873) sobre a química animal foi um dos principais responsáveis por isso. Sua proposta era oferecer à fisiologia as novas descobertas da química, de modo que podemos considerá-lo um dos precursores da bioquímica – esta, uma disciplina do século XX. Liebig propunha que era possível descobrir que tipo de transformações químicas aconteciam dentro do organismo, analisando quimicamente o que entrava e o que saía do corpo. Além disso, a descoberta do princípio da conservação de energia – sistematizado de maneira independente por Robert Mayer (1814-1878), James Joule (1818-1889) e Hermann von Helmholtz (1821-1894) – criava o conceito de *energia* como moeda de troca entre diversos processos físicos. O intercâmbio de energia era observado em diversos fenômenos durante o século XIX, como, por exemplo, nas baterias voltaicas, que transformavam energia química em elétrica, e nas máquinas a vapor, que convertiam calor em energia mecânica. Não demorou até esse raciocínio ser aplicado ao mundo vivo, já que os organismos poderiam ser encarados como uma máquina química produtora de calor e movimento. Dessa maneira, diversos cientistas procuraram a confirmação de que o princípio de conservação de energia aplicava-se também ao reino biológico.

Um aperfeiçoamento dos calorímetros de gelo, os calorímetros respiratórios (Figura 23) tornaram-se um clássico nesses estudos. Com a ajuda desses aparelhos, buscava-se medir a

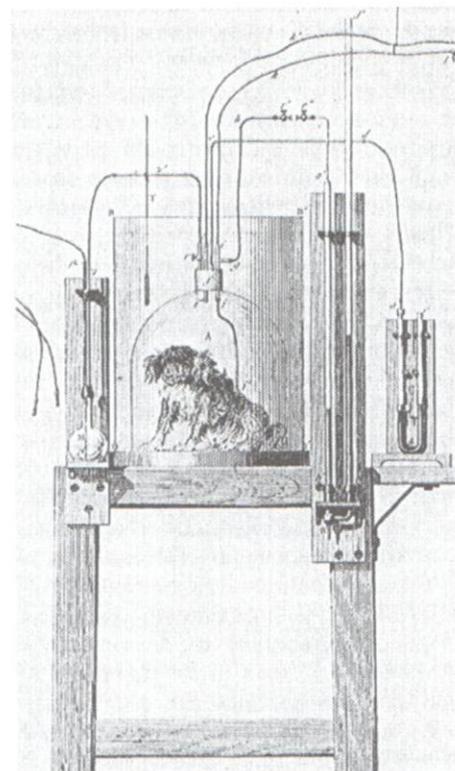


Figura 23 • Calorímetro respiratório. (Adaptada de Coleman W. *The Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*. Cambridge University Press, 1971.)

quantidade total de substâncias e gases ingeridos e excretados por um animal, assim como a quantidade de calor produzido. Em Munique, Carl Voit (1831-1908) e Max von Pettenkofer (1818-1901) realizaram uma série de experimentos utilizando esse tipo de aparato, verificando, entre outras coisas, que a quantidade de oxigênio consumido variava em função do tipo de alimento ingerido. Max Rubner (1854-1932), um discípulo de Voit e Pettenkofer, continuou essa investigação, realizando uma longa série de experimentos que se tornaram muito famosos. Graças a eles, Rubner verificou definitivamente que a conservação de energia estava presente nos seres vivos.

▪ O grupo de Berlim

Dois alunos de Johannes Müller promoveram uma revolução nas pesquisas eletrofisiológicas iniciadas por Galvani. Esses alunos, junto com alguns outros, formaram o que ficou conhecido como o *grupo de Berlim*: um grupo de fisiologistas de sólida formação em física e matemática, e também com forte tendência reducionista e materialista. O primeiro deles foi Emil du Bois-Reymond (1818-1896), que começou suas pesquisas após ler o tratado do físico Carlo Matteucci (1811-1865) sobre eletricidade animal. Du Bois-Reymond começou replicando os resultados do italiano. Convencido de que os seres vivos estavam sujeitos às leis da física e da química, ele realizou uma série de experimentos utilizando o galvanômetro, um instrumento capaz de medir pequenas alterações elétricas. Graças à sua grande paciência e habilidade experimental, du Bois-Reymond aperfeiçoou muito a sensibilidade desse instrumento, além de desenvolver vários outros aparatos para aferição elétrica. Esses equipamentos possibilitaram a descoberta da “corrente de repouso”, um fluxo de cargas presente nas fibras nervosas e musculares mesmo na ausência de estímulos elétricos. Além disso, du Bois-Reymond observou que essa corrente diminuía, e era até revertida, quando um estímulo era aplicado a essas fibras. Ele chamou esse fenômeno de “variação negativa”. O próximo passo na descoberta da transmissão do impulso nervoso foi dado por seu grande amigo: o médico e físico Hermann von Helmholtz (1821-1894, Figura 24), provavelmente o mais brilhante dentre os alunos de Müller.

Johannes Müller, assim como a maioria da comunidade fisiológica da época, acreditava que o “princípio nervoso” fosse um “fluido imponderável”. Por ter velocidade infinita, ou imensamente grande, qualquer tentativa de se medir a velocidade de transmissão do sinal neural estaria fadada ao fracasso. Utilizando uma preparação relativamente simples, porém engenhosa (Figura 25), Helmholtz foi capaz, em 1850, de medir a velocidade de um potencial de ação em uma fibra nervosa. Ela era de algumas dezenas de metros por segundo. A importância desses experimentos vai muito além do campo da eletrofisiologia, pois, pela primeira vez, um fenômeno imaterial e etéreo como a transmissão nervosa – normalmente tratada como manifestações do espírito ou da alma – foi medida com precisão por meio de instrumentos físicos. Dessa maneira, foi dado um grande passo para explicar em termos materialistas o funcionamento do organismo, expurgando a presença de espíritos e forças vitais operando dentro dos seres vivos. Coube a um aluno de Helmholtz e du Bois-Reymond, Julius Bernstein (1839-1917), desvendar os mecanismos de polarização, despolarização e propagação do potencial elétrico na membrana das células excitáveis, graças ao excesso de íons positivos no exterior e negativos no interior dessas células. Os trabalhos de Bernstein culminaram no modelo proposto por Hodgkin e Huxley no século XX.



Figura 24 • Hermann von Helmholtz (1821-1894). (Adaptada do site <http://vnl.cps.utexas.edu/timeline.html>).

A importância de Helmholtz para a ciência ultrapassa os limites da fisiologia, alcançando os campos da matemática, física, psicologia e filosofia. Ao lado de Leonardo da Vinci, ele foi uma das grandes mentes científicas da história. Na psicofisiologia, por exemplo, Helmholtz fez importantes descobertas sobre a percepção auditiva e visual (dentre elas, a percepção de cores), relatadas no *Estudo das Sensações de Tom como uma Base Fisiológica para a Teoria da Música* (1863) e no *Tratado sobre Ótica Fisiológica* (1857-1866).

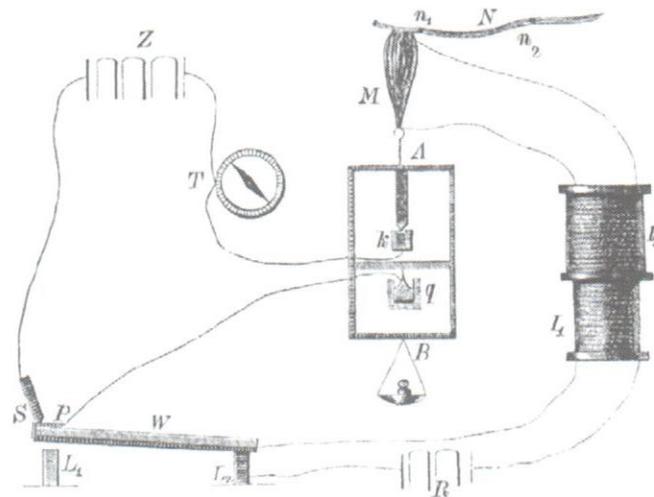


Figura 25 • Reconstrução atual do aparato experimental utilizado por Helmholtz para medir a velocidade de condução de um estímulo elétrico em um nervo. Para mais detalhes sobre este experimento, consulte: <http://blog.sbnec.org.br/2008/10/na-velocidade-do-pensamento>. (Adaptada de Schimidgen H. Of Frogs and Men: the Origins of Psychophysiological Time Experiments, 1850-1865. *Endeavour*, 26(4), 2002.)

▪ Carl Ludwig e o Instituto de Leipzig

Se a fisiologia francesa contou com Claude Bernard, a alemã contou com um cientista de qualidade similar: Carl Ludwig (1816-1895). Vimos que na primeira metade do século, Johannes Müller formou em Berlim uma grande quantidade de alunos, como Schwann, Henle, du Bois-Reymond e Helmholtz. Na segunda metade do século, contudo, a fisiologia germânica foi associada à figura de Ludwig. Após lecionar em Marburg, Zurique e Viena, Carl Ludwig se estabeleceu em Leipzig, onde fundou um Instituto de Fisiologia (Figura 26). O Instituto logo se tornou o grande centro de referência da nova fisiologia experimental europeia, atraindo estudantes do mundo todo. O efeito disso foi que grande parte dos fundadores da fisiologia experimental em outros países, tais como a Inglaterra, EUA e Canadá, passaram pelas mãos de Ludwig. Sua capacidade de lecionar e sua dedicação junto aos alunos se tornaram famosas. Consta que muitas de suas descobertas foram publicadas apenas com o nome dos estudantes junto aos quais elas foram realizadas, apesar da participação direta de Ludwig nos trabalhos.

A orientação teórica do Instituto, assim como a de seu idealizador, era antivitalista, e seus métodos experimentais eram físico-químicos. Essa tendência fisicista norteou os grandes avanços metodológicos levados a cabo por Ludwig. O principal deles provavelmente foi a invenção do quimógrafo, instrumento que virou um dos símbolos da pesquisa fisiológica durante várias décadas (Figura 27). Capaz de medir diversas variáveis fisiológicas ao longo do tempo, o quimógrafo foi um dos responsáveis por tornar a fisiologia uma disciplina dinâmica, possibilitando pensar os fenômenos da vida em termos de processos que variam com o tempo. Outra inovação introduzida por Ludwig foi a técnica de manter um órgão isoladamente vivo, por meio da perfusão de uma solução nutriente. Essa técnica possibilitou o estudo do funcionamento do coração. Em preparações com rãs, Ludwig e seus estudantes Adolf Fick, Elias Cyon, Joseph Coats e Henry Bowditch começaram a descobrir as leis que regem a contração cardíaca, trabalho que seu outro aluno, Otto Frank, continuou em Munique. A fisiologia cardiovascular foi a área mais conspícua à qual se dedicou Carl Ludwig. Dentre suas principais descobertas estão a do centro vasomotor bulbar, a da permeabilidade capilar e a

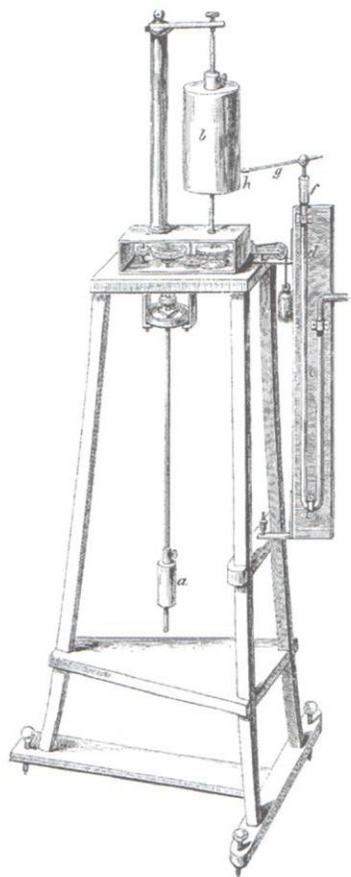


Figura 27 ▪ Quimógrafo utilizado por Carl Ludwig. (Adaptada do site <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de>. Originais: Cyon E. *Atlas zur Methodik der Physiologischen Experimente und Vivisectionen*, 1876.)

lei do “tudo ou nada” e a do período refratário cardíaco. Além disso, graças à invenção da bomba de gás sanguínea, Ludwig e seus discípulos puderam realizar diversas observações sobre a saturação de oxigênio e gás carbônico no sangue.

Além do sistema cardiovascular, a fisiologia renal foi alvo de intensas pesquisas no Instituto. À época de Ludwig, muitas descobertas acerca da anatomia e da fisiologia dos rins já haviam sido realizadas por homens como Jacob Henle (1809-1885) e William Bowman (1816-1892). Em suas primeiras investigações, Ludwig dedicou-se aos princípios que governam a formação da urina: a filtração glomerular e a reabsorção tubular. Enquanto a pressão hidrostática nas arteríolas aferente e eferente foi reconhecida como a força responsável pela filtração, a força química responsável pela reabsorção foi sugerida, mas não totalmente esclarecida por Ludwig. Essa proposta, que buscava explicar os fenômenos de formação da urina em termos físico-químicos, ia de encontro às ideias de Johannes Müller, que defendia uma visão vitalista do funcionamento renal. De acordo com os partidários de Müller, os rins agiriam como uma glândula secretora, sendo que forças vitais seriam responsáveis pela secreção de urina nos túbulos renais. Em 1874, Rudolph Heidenhain (1834-1926) propôs uma teoria da secreção renal, que ficou conhecida como teoria de Bowman-Heidenhain. Essa



Figura 26 ▪ Instituto de Fisiologia de Carl Ludwig, em Leipzig. O prédio foi destruído na Segunda Guerra Mundial. (Adaptada de Zimmer HG. Carl Ludwig, the Leipzig Physiological Institute, and Introduction to the Focused Issue: Growth Factors and Cardiac Hypertrophy. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 29, 1997.)

disputa entre a “teoria da filtração”, de orientação mecanicista, e a “teoria da secreção”, de orientação vitalista, só seria resolvida no século XX, quando os mecanismos da formação da urina foram desvendados.

► O século XX

▪ Os grandes grupos de pesquisa

Em 4 anos sucessivos, o fisiologista russo Ivan Pavlov (1849-1936) foi indicado para o prêmio Nobel por suas pesquisas sobre a fisiologia da digestão (Figura 28). No entanto, sua indicação suscitava sempre a mesma pergunta: as descobertas de Pavlov eram frutos originais de seu próprio trabalho, ou representavam uma espécie de compilação dos trabalhos realizados no grande laboratório que ele liderava? Pavlov comandava, desde 1891, a divisão de fisiologia do Instituto Imperial de Medicina Experimental, e possuía, de longe, o mais bem equipado laboratório de fisiologia da Rússia. Assim como o Instituto de Leipzig, liderado por Carl Ludwig (com quem Pavlov estudou entre 1884 e 1886), seu laboratório possuía várias salas e muitos ajudantes e colaboradores. Essa nova forma de praticar a fisiologia contrastava diretamente com a maioria das pesquisas até então. Claude Bernard, por exemplo, por quem Pavlov nutria grande respeito e de quem se declarava discípulo intelectual, trabalhava geralmente sozinho, ou com um ajudante ou colaborador, e sempre em um pequeno laboratório. A fisiologia praticada por Ludwig e Pavlov constituiu-se em uma tendência nos principais centros de pesquisa nos anos seguintes. Grandes laboratórios, com muitas pessoas trabalhando (o que envolve divisão de trabalho) e grandes investimentos financeiros, caracterizarão a maneira como a fisiologia será praticada no século XX. Dentro dessa nova organização social da ciência, os fisiologistas, além das atividades científicas, passaram a lidar também com atividades de administração e gerenciamento de recursos. A obtenção des-

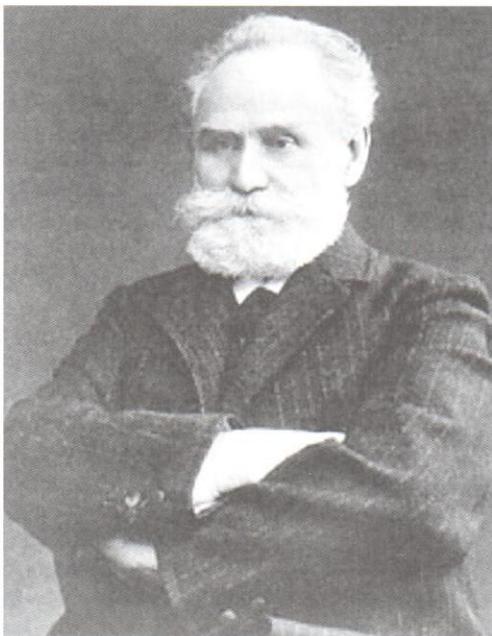


Figura 28 ▪ Ivan Pavlov (1849-1936), em 1904. (Adaptada de Todes, DP. *Pavlov's Physiology Factory*. Isis, 88, 1997.)

ses recursos passou, ao longo do tempo, a depender da publicação dos trabalhos executados no laboratório.

▪ Um século de descobertas

A proximidade no tempo torna qualquer tentativa de síntese do século XX uma tarefa extremamente perigosa. Somente os desdobramentos e as consequências decorrentes das descobertas e teorias atuais tornarão possível uma avaliação criteriosa. Além disso, a quantidade de informação adicionada ao corpo da fisiologia nesse século provavelmente supera em muito a soma de todos os anteriores. A lista dos laureados com o prêmio Nobel em Fisiologia e Medicina¹⁵ pode nos fornecer uma vaga ideia desse fato. A simples tentativa de listar essas descobertas ocuparia um espaço muito superior ao do presente capítulo, fugindo às nossas reais intenções. Podemos tentar destacar alguns poucos eventos que marcaram as diversas áreas da fisiologia no século que passou, sabendo, no entanto, que uma enorme injustiça estará inevitavelmente sendo cometida.

A partir de um novo método de corar tecidos com prata, desenvolvido pelo histologista italiano Camillo Golgi (1843-1926), o espanhol Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) propôs que o sistema nervoso era composto por células ligadas entre si, não sendo uma rede contínua como alguns propunham (Figura 29). Essa ideia deu origem à *doutrina do neurônio*, o pilar sobre o qual ergueu-se a moderna neurofisiologia. Em 1906, o neurologista inglês Charles Sherrington (1857-1952) publicou sua famosa monografia *The Integrative Action of the Nervous System* (A Ação Integrativa do Sistema Nervoso), fundada sobre o conceito de *sinapse*, criado por ele. Esses três cientistas foram laureados com o prêmio Nobel, assim como o neurofisiologista australiano John Eccles (1903-1997) – premiado em 1963, por suas pesquisas sobre o mecanismo de transmissão na sinapse química. Nesse mesmo ano, dois eletrofisiologistas dividiram o prêmio com Eccles, por desvendarem os processos responsáveis pela bioeletrogênese na membrana de células excitáveis: Alan Hodgkin (1914-1998) e Andrew Huxley (1917-). Utilizando técnicas de fixação de voltagem, eles deram continuidade às pesquisas iniciadas por Galvani no século XVIII, propondo um modelo que revolucionou a neurofisiologia e a eletrofisiologia. Diversas técnicas recentemente desenvolvidas, como o “*patch-clamp*”, a imunohistoquímica e a neuroimagem, estão atualmente alargando esses dois campos de maneira espetacular.

Vimos que o século XIX termina com uma intensa disputa na fisiologia renal entre adeptos da “teoria da filtração” e da “teoria da secreção”. Em 1916, o inglês Arthur Cushny (1866-1926) propôs sua “teoria moderna” sobre o assunto. Segundo ele, a urina seria formada por ultrafiltração glomerular, sendo sua composição posteriormente modificada pela reabsorção seletiva no túbulo renal. Nos anos que se seguiram, duas técnicas experimentais contribuíram para desvendar os mecanismos por trás dos processos de filtração e reabsorção. A primeira foi a micropunção tubular, criada por Alfred Richards (1876-1966). A segunda foi a medida da taxa de filtração glomerular por meio da determinação do *clearance* (depuração) renal de uma substância, como a creatinina ou a inulina. Em 1935, James Shannon e Holmer Smith determinaram o *clearance* da inulina em animais e em humanos, inaugurando um enorme campo de investigação nessa área. Já o mecanismo de contracorrente, entre os ramos ascendente e descendente da

¹⁵ Ver, na Internet, <<http://nobelprize.org>>.



Figura 29 • Da esquerda para a direita: Camillo Golgi (1843-1926), Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) e Charles Sherrington (1857-1952). (Adaptada do site <http://nobelprize.org>.)

alça de Henle, foi proposto pelo físico-químico Werner Kuhn (1899-1968), sendo que o primeiro a encontrar evidências a favor dessa “estranha” ideia foi o suíço Heinrich Wiz (1914-1993).

A endocrinologia pode ser considerada uma ciência essencialmente do século XX. Fundada a partir das noções de meio interno e de secreção interna formuladas por Claude Bernard, essa disciplina conheceu um avanço extraordinário ao longo do século. Em 1902, William Bayliss (1880-1924) e Ernest H. Starling (1866-1927) demonstraram que a secretina era capaz de estimular a secreção pancreática. A partir desses resultados, eles introduziram o conceito de *hormônio* como um fator químico capaz de controlar a ação de um órgão a distância. Embora os efeitos da extirpação do pâncreas na produção de diabetes já fossem conhecidos desde 1889, com os trabalhos de Mering e Minkowski, foi apenas em 1920 que os canadenses John Macleod (1873-1935), Frederick Banting (1891-1941) e Charles Best (1899-1978) conseguiram isolar a insulina. Já a interação do sistema endócrino com o sistema nervoso foi estabelecida a partir dos trabalhos de Herbert Evans (1882-1971) sobre a glândula hipófise.

A fisiologia cardiovascular adentrou o século XX já em estágio avançado de conhecimento, graças, em grande parte, aos progressos do grupo de Carl Ludwig em Leipzig. Em 1913, Willem Einthoven (1860-1927) desenvolveu um novo tipo de galvanômetro, capaz de registrar pequenos sinais elétricos projetados pelo coração na superfície do corpo. Era a origem do eletrocardiograma, método de crucial importância clínica e fisiológica ao longo do século XX. As estruturas de condução dos potenciais elétricos no coração foram descobertas por His e Purkinje ainda no século XIX. Já os nós sinoatrial e atrioventricular foram descritos nos primeiros anos do novo século. Em 1914, o já citado Ernest Starling, utilizando uma preparação de coração e pulmão isolados de cachorro, observou que a força de contração sistólica era diretamente proporcional ao grau de estiramento do músculo cardíaco no final da diástole. Como esse fenômeno já havia sido observado antes por Otto Frank em corações de rãs, esse mecanismo recebeu o nome de *lei de Frank-Starling*. Antes disso, Starling já havia realizado importantes descobertas sobre a permeabilidade capilar, determinando as forças (hidrostática e coloidosmótica) que agem na passagem de líquido através da parede capilar – razão pela qual essas pressões passaram a ser conhecidas como “forças de Starling”. A interação da regulação do fluxo capilar local com a atividade metabólica tecidual foi intensamente estudada por August Krogh nas primeiras décadas do século XX. No início desse século, o também já citado William Bayliss observou que os vasos sanguíneos respondiam à distensão contraindo-se. Era o início das teorias miogênicas de controle local de fluxo.

Na década de 1980, Robert Furchgott demonstrou a capacidade modulatória do endotélio. Já os mecanismos subjacentes a esse fenômeno – que conta com a participação do óxido nítrico – foram descobertos apenas mais recentemente.

A incorporação da química à fisiologia, formando a química fisiológica ou bioquímica, foi um longo processo que ocorreu desde o final do século XIX. Durante o século XX, 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, alcançando 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) (Figura 30), 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 para explicar as bases físicas e químicas dos processos envolvidos no que chamamos de vida.

► Conclusão

Assistimos às várias mudanças teóricas e metodológicas que a fisiologia sofreu ao longo desses mais de dois milênios de história. Vimos também as relações que ela, assim como outras ciências, travou com as concepções filosóficas vigentes em uma determinada época. Acompanhamos o caminho percorrido pela fisiologia, desde seu desmembramento como um ramo da filosofia natural, até seu estabelecimento como uma ciência autônoma e, sobretudo, experimental. Assim, aceitamos hoje que toda ideia científica deve ser posta em confronto com a experiência, isto é, somente depois de confirmada por fatos experimentais uma teoria deve ser aceita. Após essa longa jornada, algumas perguntas imediatamente saltam à nossa frente: podemos aprender algo olhando para o passado de uma disciplina científica? Em caso afirmativo, que “lição de moral” podemos tirar da história da fisiologia?

Ao defender a fisiologia experimental nascente, vimos François Magendie proclamar que a fisiologia deveria ser reduzida “inteiramente ao experimento”. Aparentemente, esse con-

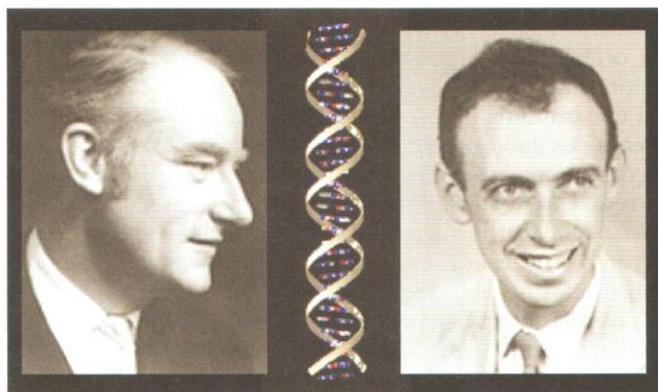


Figura 30 • Da esquerda para a direita: Francis Crick (1916-2004) e James Watson (1928-). (Adaptada do site <http://nobelprize.org>.)

selho tem sido seguido nos dias de hoje. No entanto, devemos ficar atentos para que o “fetiche do experimento” não seduza nossas mentes, e que, no afã da produtividade e obtenção de recursos, a realização ansiosa de experimentos e a obtenção de novos fatos, de maneira quase obsessiva, não se torne praxe. Muitas vezes, a importante pergunta “qual a ideia por trás da pesquisa?”, que deveria anteceder a experimentação, está esquecida. Do mesmo modo, a análise criteriosa e o embasamento teórico dos dados experimentais também são tratados com um perigoso desdém. A ciência não é feita com fatos, mas com *ideias* moldadas pelos fatos cuidadosamente analisados. Esta é uma das lições que Claude Bernard, o fundador da fisiologia moderna, nos ensina. Em sua principal obra metodológica, *Introduction à l'Étude de la Médecine Expérimentale* (Introdução ao Estudo da Medicina Experimental), lemos: “A simples verificação de fatos nunca poderá chegar a constituir uma ciência”. Mais adiante, “toda a iniciativa experimental reside na ideia, porque é ela que provoca a experiência”. E finalmente: “O homem que perdeu a razão, o alienado, não se instrui pela experiência, já não raciocina experimentalmente”. Nunca é tarde para aprendermos com os grandes mestres.

Abordagens reducionistas e integrativas têm formado um pêndulo sob o qual oscilou a fisiologia ao longo dos anos. Aparentemente, períodos de grandes avanços em outras áreas da ciência, tal como a física e a química, suscitam a esperança dos fisiologistas de que os fenômenos responsáveis pela vida serão enfim resolvidos em conceitos como matéria, movimento, força e energia. Já períodos de maior ceticismo estão

associados a concepções mais holísticas, em que a fisiologia é tratada de maneira mais fenomenológica ou positivista. Testemunhamos que Carl Ludwig e Claude Bernard representaram a coexistência dessas duas visões dentro de um mesmo período. Recentemente, os avanços promovidos pela biologia molecular e pela genômica novamente colocam o reducionismo materialista na pauta do dia. Será que um dia a fisiologia será reduzida à bioquímica? Quando os homens tiverem conhecimento suficiente da genômica e da proteômica, serão dispensáveis os conceitos fisiológicos sobre a vida? É inegável que entender o funcionamento das partes é fundamental para a compreensão do todo. Todavia, ao percorrer o tortuoso caminho até as partes, até os mecanismos íntimos responsáveis pelos fenômenos estudados, pensamos que o fisiologista não deve nunca esquecer o caminho de volta. Estudar as árvores não deve impedir que se tente compreender a floresta.

Qual seria, então, a verdadeira identidade da fisiologia? Qual seria seu real escopo e quais seriam seus métodos? As respostas a essas inquietações provavelmente só virão com o tempo. Enquanto isso, podemos tentar buscar alguma luz na história. Há mais de um século (em 1905), o grande neurofisiologista Charles Sherrington dizia a uma atenta plateia em Oxford, a respeito da fisiologia:

■ Pode-se dizer dela que ela não possui métodos próprios, ou que todos os métodos são seus: ambas as expressões são verdadeiras. O que é dela, e apenas dela, é o escopo do seu problema, a saber, a decifração de como os organismos vivos vivem.¹⁶

► Bibliografia

▪ Uma breve história da fisiologia

- BARNES J. *Filósofos Pré-socráticos*. Martins Fontes, São Paulo, 1997.
- BERNARD C. *Introdução à Medicina Experimental*. Guimarães e Cia. Editores, Lisboa, 1962.
- CADET R. *L'invention de la Physiologie: 100 expériences Historiques*. Belin, Paris, 2008.
- CASTIGLIONI A. *História da Medicina* (2 volumes). Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1947.
- CLARKE E & O'MALLEY CD. *The Human Brain and Spinal Cord: A Historical Study Illustrated by Writings from Antiquity to the Twentieth Century*. Norman Publishing, San Francisco, 1996.
- COLEMAN W. *The Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function, and Transformation*. Cambridge University Press, 1971.

- CUNNINGHAM A. *The Pen and Sword: Recovering the Disciplinary Identity of Physiology and Anatomy Before 1800. I: Old Physiology – the Pen*. *Studies in History and Philosophy of Biological Sciences*, 33, 2002.
- CUNNINGHAM A. *The Pen and Sword: Recovering the Disciplinary Identity of Physiology and Anatomy Before 1800. II: Old Anatomy – the Sword*. *Studies in History and Philosophy of Biological Sciences*, 34, 2003.
- HALL TH. *History of General Physiology: 600 B.C. to A.D. 1900* (2 volumes). The University of Chicago Press, Chicago, 1969.
- HARVEY W. *Estudo Anatômico Sobre o Movimento do Coração e do Sangue nos Animais*. Em *Cadernos de Tradução*, número 5, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1628/1999.
- MARILENA C. *Introdução à História da Filosofia: Dos Pré-socráticos a Aristóteles*. Companhia das Letras, São Paulo, 2002.
- ROTHSCHUH KE. *History of Physiology*. Robert E Krieger Publishing Company, Huntington, New York, 1973.
- SINGER C. *Uma Breve História da Anatomia e Fisiologia desde os Gregos até Harvey*. Editora da Unicamp, Campinas, 1996.

▪ As origens da fisiologia no Brasil

- AZEVEDO F. *As Ciências no Brasil*. São Paulo: Melhoramentos, 811, 1956.
- RIBEIRO-DO-VALLE J. Alguns aspectos da evolução da Fisiologia no Brasil. In: Ferri MG e Motoyama S (Ed). *História das Ciências no Brasil*. São Paulo: EDUSP, Capítulo 6, 151-173, 1979.
- RIBEIRO-DO-VALLE J. A Farmacologia no Brasil. In: Ferri MG e Motoyama S. (Ed). *História das Ciências no Brasil*. São Paulo: EDUSP, Capítulo 7, 175-189, 1979.
- <http://www.ioc.fiocruz.br>
- <http://www.coc.fiocruz.br/manguinhos>
- <http://www.biologico.sp.gov.br/historico/historico.htm>