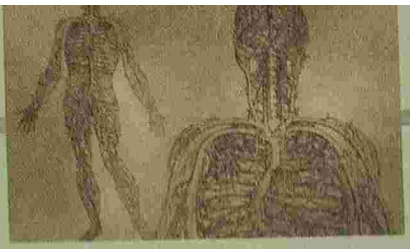
بخش ۱

مقدمه‌ای بر فیزیولوژی:
سلول و فیزیولوژی عمومی

عناوین

۱. سازمان‌بندی عملکردی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»
۲. سلول و عملکرد آن
۳. کنترل ژنتیکی سنتز پروتئین، عملکرد و تولیدمثل سلولی

فصل ۱



سازمان‌بندی عملکردی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»

فیزیولوژی علمی است که هدف آن توصیف عوامل فیزیکی و شیمیایی مسئول منشأ، تکامل و ادامه حیات می‌باشد. هر نوع از حیات، از ویروس ساده تا بزرگترین درخت یا انسان پیچیده، مشخصات عملکردی خاص خود را دارند. بنابراین قلمرو گسترده فیزیولوژی را می‌توان به *فیزیولوژی ویروسی*، *فیزیولوژی سلولی*، *فیزیولوژی گیاهی*، *فیزیولوژی انسانی* و بسیاری از شاخه‌های دیگر تقسیم کرد.

فیزیولوژی انسانی. در *فیزیولوژی انسانی*، ما درگیر توصیف ویژگی‌ها و مکانیسم‌های خاص بدن انسان هستیم که آن را یک موجود زنده ساخته است. این واقعیت که ما زنده می‌مانیم، عموماً از کنترل ما خارج است، زیرا گرسنگی ما را وادار به جستجوی غذا می‌کند و ترس ما را وادار به جستجوی پناهگاه می‌سازد؛ احساس سرما نیز ما را وادار به جستجوی گرما می‌نماید. سایر اجبارها موجب می‌شوند که ما به جستجوی معاشرت و تولیدمثل برآییم. بنابراین، آدمی در حقیقت یک ماشین خودکار است و این واقعیت که ما حس می‌کنیم، عاطفه داریم و می‌آموزیم، بخشی از این ترکیب خودکار است. این صفات خاص به ما اجازه می‌دهند تا در شرایط بسیار مختلفی زنده بمانیم و در غیر این صورت قادر به ادامه حیات نخواهیم بود.

سلول‌ها به عنوان واحدهای زنده بدن

واحد زنده اصلی بدن، سلول است. هر عضو، مجموعه‌ای از سلول‌های بسیار متفاوت است که توسط ساختمان‌های محافظ بین سلولی در کنار هم نگه داشته شده‌اند.

هر نوع سلول برای انجام یک یا چند عمل خاص سازگاری یافته است. برای مثال، گلبول‌های قرمز خون (۲۵ تریلیون در هر انسان) اکسیژن را از ریه‌ها به بافت‌ها می‌رسانند. با وجودی که گلبول‌های قرمز خون، پرتعدادترین نوع سلولی هستند، ولی در بدن حدود ۷۵ تریلیون سلول از انواع دیگر سلولی که کاری متفاوت از گلبول‌های قرمز انجام می‌دهند، وجود دارد. پس، کل بدن حدود ۱۰۰ تریلیون سلول دارد.

اگرچه بسیاری از سلول‌های بدن تفاوت زیادی با هم دارند، همه آنها در برخی خصوصیات پایه‌ای مشابه هستند. برای مثال، در همه سلول‌ها، اکسیژن با کربوهیدرات، چربی و پروتئین واکنش می‌دهد و انرژی لازم برای اعمال سلول را تأمین می‌کند. به علاوه، مکانیسم‌های شیمیایی عمومی برای تبدیل مواد غذایی به انرژی به صورت پایه‌ای در تمام سلول‌ها یکسان است و نیز تمام سلول‌ها فراورده‌های نهایی واکنش‌های شیمیایی خود را به مایعات پیرامون خود می‌ریزند.

همچنین، تقریباً تمام سلول‌ها توانایی تولید سلول‌های دیگر از نوع خود را دارند. هنگامی که سلول‌های یک نوع خاص بنا به هر علتی تخریب می‌شوند، سلول‌های باقی‌مانده از آن نوع معمولاً تا جایگزینی کامل، سلول جدید می‌سازند.

مایع خارج سلولی - محیط داخلی

حدود ۶۰ درصد بدن انسان از مایعی تشکیل شده است که عموماً شامل محلول آبی، یون‌ها و دیگر مواد می‌باشد. اگرچه بیشتر این مایع درون سلول‌هاست و *مایع داخل سلولی* نام دارد، ولی یک سوم آن در فضای خارج سلول‌ها است و *مایع خارج سلولی* نامیده می‌شود. این مایع خارج سلولی در حالت

حرکت دائمی در سراسر بدن است. مایع خارج سلولی در گردش خون به سرعت جابجا می‌شود و سپس از طریق انتشار از جدار مویرگ‌ها، بین خون و مایعات بافتی پخش می‌شود.

در مایع خارج سلولی، یون‌ها و مواد غذایی مورد نیاز سلول‌ها برای بقای حیات سلول وجود دارد. بنابراین، تمام سلول‌ها در یک محیط ضرورتاً یکسان، یعنی مایع خارج سلولی زندگی می‌کنند. به این دلیل، مایع خارج سلولی، *محیط داخلی* بدن یا milieu intérieur نیز نامیده می‌شود. این اصطلاح بیش از صد سال پیش توسط فیزیولوژیست بزرگ فرانسوی قرن نوزدهم، *کلود برنارد* (۱۸۷۸-۱۸۱۳) به کار برده شد.

تا زمانی که غلظت مناسب اکسیژن، گلوکز، یون‌های مختلف، اسیدهای آمینه، مواد چرب و سایر مواد در این محیط داخلی فراهم باشد، سلول‌ها قادر به زندگی، رشد و انجام اعمال خاص خود هستند.

تفاوت‌های بین مایعات خارج سلولی و داخل سلولی. مایع خارج سلولی حاوی مقدار زیادی یون‌های سدیم، کلر و بیکربنات به همراه مواد غذایی سلول‌ها، همچون اکسیژن، گلوکز، اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه می‌باشد. این مایع همچنین شامل دی‌اکسید کربن نیز هست که از سلول‌ها به ریه منتقل می‌شود تا دفع گردد. سایر فراورده‌های سلولی که از طریق کلیه دفع می‌شوند نیز در این مایع وجود دارد. مایع درون سلولی به شکل معنی‌داری با مایع خارج سلولی متفاوت است؛ مخصوصاً، این مایع حاوی مقادیر بسیار زیادی از یون‌های پتاسیم، منیزیوم و فسفات به جای یون‌های سدیم و کلر است که در مایع خارج سلولی یافت می‌شوند. مکانیسم خاص انتقال یون‌ها از غشای سلول موجب حفظ تفاوت غلظت بین مایعات داخل سلولی و خارج سلولی می‌شود. روند انتقال در **فصل ۴** بحث خواهد شد.

هومئوستاز ـ حفظ یک محیط داخلی نسبتاً پایدار

کلمه *هومئوستاز* در سال ۱۹۲۹ توسط فیزیولوژیست آمریکایی، والتر کانن (Walter Canon) (۱۹۴۵-۱۸۷۱) جهت توصیف *حفظ شرایط پایدار و ثابت در محیط داخلی* ابداع گردید. اصولاً همهٔ اعضا و بافت‌های بدن اعمالی انجام می‌دهند که به حفظ این شرایط ثابت کمک می‌کند. برای مثال، ریه‌ها اکسیژن مایع خارج سلولی را تأمین می‌کنند تا جایگزین اکسیژن مصرف شده توسط سلول‌ها شود، کلیه‌ها غلظت یون‌ها را ثابت نگاه می‌دارند و سیستم گوارش، مواد غذایی را تأمین می‌کند.

انواع مختلف یون‌ها، مواد مغذی، فرآورده‌های زاید و سایر ترکیبات بدن مقدار ثابتی ندارند و در عوض در یک محدوده از مقادیر قرار می‌گیرند. این محدوده برای برخی از ترکیبات بدن بسیار کوچک است. به عنوان مثال، محدوده غلظت یون هیدروژن در شرایط طبیعی کمتر از **۵ نانومول** در هر لیتر است (یعنی ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵ مول در لیتر). غلظت سدیم خون نیز به شدت تنظیم می‌شود، به طوری که علیرغم تغییرات وسیع در میزان دریافت سدیم، غلظت آن تنها به مقدار چند میلی‌مول در لیتر تغییر می‌کند. با این حال، چنین نوسان اندکی که در غلظت سدیم روی می‌دهد، دست کم ۱ میلیون بار بیشتر از نوسان غلظت یون‌های هیدروژن می‌باشد.

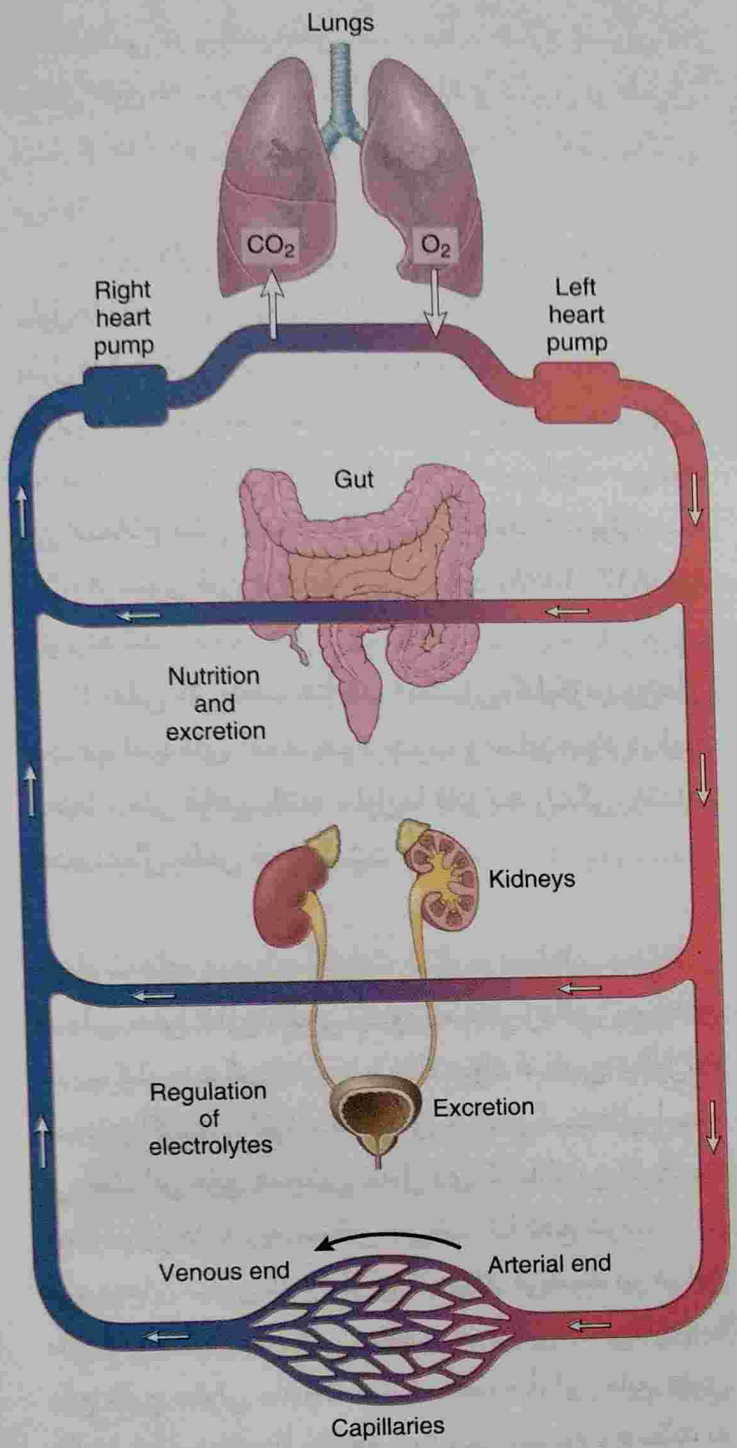
سیستم‌های کنترلی قدرتمندی در بدن وجود دارند که موجب حفظ غلظت یون‌های سدیم و هیدروژن و همچنین بسیاری دیگر از یون‌ها، مواد مغذی و غیره در بدن می‌گردند. غلظت این ترکیبات در محدوده‌ای حفظ می‌شود که به سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های بدن اجازه می‌دهد تا علیرغم تغییرات محیطی گسترده و چالش‌هایی مانند آسیب و بیماری، عملکرد طبیعی خود را به انجام برسانند.

بخش اعظمی از این کتاب به چگونگی مشارکت هر عضو یا بافت در برقراری هومئوستاز می‌پردازد. عملکرد طبیعی بدن به عملکرد هماهنگ و یکپارچه سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌ها و همچنین عوامل متعدد عصبی و هورمونی و سیستم‌های کنترل موضعی وابسته است که به همراه یکدیگر در برقراری هومئوستاز و سلامت مطلوب بدن مشارکت می‌کنند.

بیماری اغلب به وضعیت‌هایی که سبب برهم خوردن هومئوستاز می‌شوند، اطلاق می‌گردد. با این وجود، حتی در مواقع بیماری نیز مکانیسم‌های هومئوستازی به عملکرد خود ادامه می‌دهند و از طریق مکانیسم‌های جبرانی متعدد، عملکردهای حیاتی بدن را در حد طبیعی نگاه می‌دارند. در برخی موارد ممکن است همین مکانیسم‌های جبرانی، خود سبب تغییرات عمده‌ای در عملکردهای طبیعی بدن شوند و

تشخیص افتراقی میان علت اولیه بیماری و پاسخ‌های جبرانی را با مشکل مواجه سازند. به عنوان مثال، بیماری‌هایی که توانایی کلیه‌ها در دفع آب و نمک را مختل می‌کنند، ممکن است به فشار خون بالا منتج گردند. سپس فشار بالای خون کمک می‌کند تا میزان دفع کلیوی آب و نمک به حد طبیعی بازگردد و در نتیجه بین میزان دریافت و میزان دفع کلیوی تعادل برقرار می‌شود. این تعادل برای تداوم حیات ضروری است، اما همین فشار بالای خون می‌تواند در طولانی مدت موجب آسیب ارگان‌های مختلف از قبیل کلیه‌ها شود و بدین ترتیب فشارخون را حتی بیشتر از این مقدار افزایش دهد و آسیب کلیوی را تشدید نماید. بنابراین جبران‌های هومئوستازی که پس از وقوع آسیب، بیماری و یا چالش‌های محیطی عمده‌ای که بدن با آنها روبروست، فعال می‌شوند، شرایطی را ایجاد می‌کنند که برای حفظ عملکردهای حیاتی بدن ضروی است. اما همین شرایط در طولانی مدت موجب ناهنجاری‌های دیگری در عملکرد بدن می‌شوند. هدف **پاتوفیزیولوژی**، توصیف چگونگی اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف بدن در جریان بیماری و آسیب می‌باشد.

در این فصل به توصیف سیستم‌های عملکردی مختلف بدن و نحوه مشارکت آنها در هومئوستاز می‌پردازیم. سپس تئوری پایه مکانیسم‌های کنترلی بدن را که به سیستم‌های عملکردی اجازه می‌دهند تا در جهت حمایت از یکدیگر به فعالیت بپردازند، به اختصار توضیح خواهیم داد.



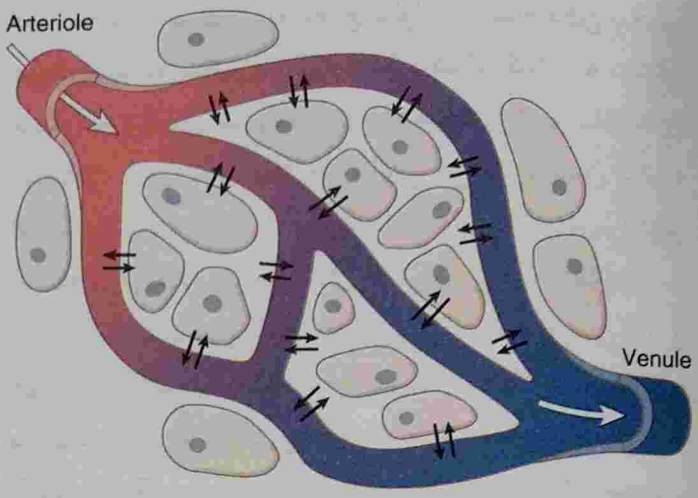
شکل ۱-۱. ساختار کلی دستگاه گردش خون.

سیستم انتقال و توزیع مایع خارج سلولی - دستگاه گردش خون

مایع خارج سلولی در دو مرحله در تمام بخش‌های بدن منتقل می‌شود. مرحله اول، حرکت خون در بدن درون عروق خونی است و مرحله دوم، حرکت مایع بین خون در مویرگ‌ها و *فضای بین‌سلولی* بین سلول‌های بافت است.

شکل ۱-۱ نمای کلی گردش خون را نشان می‌دهد. هنگام استراحت بدن، تمام خون در گردش در هر دقیقه به طور متوسط یک بار از کل چرخه گردش خون می‌گذرد، در حالی که در فعالیت شدید این مقدار به ۶ بار در دقیقه می‌رسد.

هنگامی که خون از مویرگ‌های خونی بدن می‌گذرد، بین بخش پلاسمای خون و مایع میان بافتی که فضای بین‌سلولی را پر می‌کند، تبادل صورت می‌گیرد و مایع خارج سلولی مرتباً تغییر می‌کند. این روند در **شکل ۲-۱** نشان داده شده است. دیواره‌های مویرگ‌ها برای بیشتر مولکول‌های پلاسمای خون به استثناء مولکول‌های پروتئینی بزرگ پلاسما نفوذپذیر هستند. بنابراین، میزان زیادی از مایع و مواد محلول در آن در هر دو جهت بین خون و فضاهای بافتی می‌تواند منتشر شود که با پیکان نشان داده شده است. این روند انتشار ناشی از انرژی جنبشی مولکول‌های پلاسما و مایع میان بافتی است. مولکول‌های مایع و مولکول‌های



شکل ۲-۱. انتشار مایعات و مواد محلول از طریق دیواره مویرگ‌ها و فضای بین سلولی.

محلول در آن پیوسته در خود مایع و منافذ و فضاهای بافتی در تمام جهات رفت و آمد می‌کنند. ندرتاً امکان دارد فاصله یک سلول با مویرگ، بیش از ۵۰ میکرون باشد، که انتشار تقریباً کلیه مواد از مویرگ به سلول را در چند ثانیه امکان‌پذیر می‌سازد. پس مایع خارج سلولی همه جای بدن (هم در پلاسما و هم در مایع فضای میان‌بافتی) دائماً با هم مخلوط می‌شوند و بنابراین ترکیب مایع خارج سلولی در تمام بدن اغلب کاملاً یکنواخت می‌ماند.

منشأ مواد غذایی مایع خارج سلولی

دستگاه تنفس. شکل ۱-۱ نشان می‌دهد که هر بار که خون در بدن جریان می‌یابد، از ریه‌ها نیز می‌گذرد. خون در آلوئول‌ها اکسیژن مورد نیاز سلول‌ها را جذب می‌کند. غشای بین آلوئول‌ها و مجرای مویرگ‌های ریه یا غشای آلوئولی، تنها ۰/۴ تا ۲ میکرومتر ضخامت دارد و اکسیژن با حرکت مولکولی از غشاء به درون حفره منتشر می‌شود، همان طور که آب و یون‌ها از دیواره مویرگ‌های بافتی منتشر می‌شوند.

دستگاه گوارش. قسمت زیاد خونی که توسط قلب پمپ می‌شود، از دیواره‌های دستگاه گوارشی عبور می‌کند. در اینجا مواد غذایی مختلف که به شکل محلول هستند، شامل کربوهیدرات‌ها، اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه، از غذای گوارش شده به درون مایع خارج سلولی خون جذب می‌شوند.

کبد و دیگر اعضایی که عمدتاً اعمال متابولیک دارند. تمام مواد جذب شده از دستگاه گوارش به همان شکل جذب شده برای سلول‌ها قابل استفاده نیستند. کبد اجزای شیمیایی بسیاری از این مواد را به اشکال قابل استفاده‌تر تغییر می‌دهد و بافت‌های دیگر بدن (سلول‌های چربی، مخاط گوارشی، کلیه‌ها و غدد درون‌ریز) به تغییرات مواد جذب شده کمک می‌کنند یا آنها را تا زمانی که به آنها نیاز باشد، ذخیره می‌کنند. کبد همچنین مواد دفعی خاصی که در بدن تولید می‌شوند و جزء مواد سمی هستند را هضم می‌نماید.

دستگاه عضلانی - اسکلتی. دستگاه عضلانی - اسکلتی در هومئوستاز بدن چگونه مشارکت می‌نماید؟ پاسخ ساده و آشکار است، جایی که عضله نباشد، بدن نمی‌تواند در زمان مناسب به جای مناسبی برود تا مواد غذایی مورد نیاز را به دست آورد. دستگاه عضلانی - اسکلتی همچنین تحرک مورد نیاز برای محافظت علیه خطرات محیطی را تأمین می‌کند. در صورت فقدان این عمل، تمام بدن از جمله تمام مکانیسم‌های هومئوستازی در معرض نابودی فوری قرار می‌گیرند.

برداشت فراورده‌های نهایی متابولیسم

دفع دی‌اکسید کربن توسط ریه‌ها. همزمان با جذب اکسیژن از آلوئول‌ها به خون، دی‌اکسید کربن از خون به درون آلوئول‌ها آزاد می‌شود و با حرکت تنفسی، هوا از آلوئول‌ها به جو منتقل می‌شود. دی‌اکسید کربن عمده‌ترین فراورده نهایی متابولیسم می‌باشد.

کلیه‌ها. هنگام عبور خون از کلیه‌ها، بیشتر مواد که مورد نیاز سلول‌ها نیستند به جز دی‌اکسید کربن، از خون برداشته می‌شوند. این مواد شامل فراورده‌های نهایی بسیار متنوع حاصل از متابولیسم سلول‌ها هستند، مانند اوره و اسید اوریک؛ همچنین این مواد شامل آب و یون‌های اضافی حاصل از غذا می‌باشند که ممکن است در مایع خارج سلولی تجمع یابند.

کلیه‌ها عمل‌شان را این‌گونه انجام می‌دهند که ابتدا مقدار زیادی از پلاسما را از طریق گلومرول‌ها تصفیه می‌کنند و وارد توبول‌ها می‌نمایند و سپس مواد مورد نیاز بدن مانند گلوکز،

اسیدهای آمینه، مقدار مناسب آب و بسیاری از یون‌ها را بازجذب می‌کنند. بسیاری از مواد دیگر که مورد نیاز بدن نیستند، مخصوصاً فراورده‌های نهایی متابولیسم مانند اوره، خیلی کم بازجذب می‌شوند و به مسیر خود در توبول‌های کلیه ادامه می‌دهند تا وارد ادرار شوند.

دستگاه گوارش. مواد هضم نشده وارد لوله گوارش می‌شوند و برخی از محصولات دفعی متابولیسم توسط مدفوع از بدن خارج می‌شوند.

کبد. علی‌رغم اینکه کبد در سمیت‌زدایی و حذف بسیاری از داروها و مواد شیمیایی خورده شده نقش ایفا می‌کند؛ بسیاری از محصولات دفعی را در داخل مایع صفرا وارد کرده و در حقیقت آنها را از طریق مدفوع از بدن دفع می‌نماید.

تنظیم اعمال بدن

دستگاه عصبی. دستگاه عصبی از ۳ بخش اصلی تشکیل شده است: *بخش ورودی حسی*، *دستگاه عصبی مرکزی* (یا قسمت پردازشی) و بخش *خروجی حرکتی*. گیرنده‌های حسی، وضعیت بدن یا وضعیت محیط را تشخیص می‌دهند. برای مثال، هر گاه جسمی با هر نقطه از بدن تماس پیدا کند، گیرنده‌های پوست، فوراً آن را درک می‌کنند. چشم‌ها، اعضای حسی هستند که تصویر بینایی از محیط اطراف به فرد می‌دهند. گوش‌ها نیز اعضای حسی هستند. دستگاه عصبی مرکزی از مغز و نخاع تشکیل شده است. مغز می‌تواند اطلاعات را ذخیره کند، فکر تولید کند، آرزوها را بسازد و واکنش‌هایی که بدن در پاسخ به حواس نشان می‌دهد را ارزیابی نماید. پیام‌های مناسب از طریق خروجی حرکتی دستگاه عصبی منتقل می‌شوند تا خواسته‌های فرد را اجرا نمایند.

بخش بزرگی از سیستم عصبی، *دستگاه اتونوم* خوانده می‌شود. این دستگاه در یک سطح نیمه آگاهانه فعالیت می‌کند و بسیاری از اعمال اعضای درونی، شامل سطح فعالیت پمپ قلب، حرکات دستگاه گوارش و ترشحات بسیاری از غدد را کنترل می‌کند.

سیستم هورمونی. در بدن هشت غده اصلی درون‌ریز وجود دارد که مواد شیمیایی موسوم به هورمون‌ها را ترشح می‌کنند. هورمون‌ها از طریق مایع خارج سلولی در تمام بدن پخش می‌شوند تا به تنظیم فعالیت سلولی کمک کنند. به عنوان مثال، هورمون تیروئید سرعت بسیاری از واکنش‌های شیمیایی را در تمام سلول‌ها افزایش می‌دهد و بدین ترتیب فعالیت‌های بدن را تنظیم می‌کند. انسولین متابولیسم گلوکز را تنظیم می‌کند؛ هورمون‌های قشر فوق کلیه متابولیسم یون‌های سدیم و پتاسیم و پروتئین را تنظیم می‌کنند و هورمون پاراتیروئید، فسفات و کلسیم استخوان‌ها را کنترل می‌کند. بنابراین، هورمون‌ها یک سیستم تنظیمی هستند که مکمل دستگاه عصبی محسوب می‌شوند. دستگاه عصبی عمدتاً فعالیت‌های عضلانی و ترشحی بدن را تنظیم می‌کند، در حالی که دستگاه هورمونی بیشتر اعمال متابولیک را در کنترل خود دارد. در حالت طبیعی سیستم‌های عصبی و هورمونی همزمان و هماهنگ با یکدیگر به فعالیت می‌پردازند تا عملکرد تمامی اعضای بدن را کنترل نمایند.

محافظت از بدن

سیستم ایمنی. سیستم ایمنی شامل گلبول‌های سفید خون، سلول‌های بافتی که از گلبول‌های سفید مشتق می‌شوند، تیموس، گره‌های لنفی و عروق لنفاوی است که بدن را از گزند عوامل پاتوژن مثل باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها و قارچ‌ها محافظت می‌نماید. مکانیسم‌های موجود در سیستم ایمنی موجب: ۱) تشخیص سلول‌های خودی از سلول‌های بیگانه و مواد خارجی می‌شوند و ۲) عوامل مهاجم را به وسیله *فاگوسیتوز* یا تولید *لنفوسیت‌های حساس* و یا پروتئین‌های خاص (مثل *آنتی‌بادی‌ها*) حذف یا خنثی می‌نمایند.

سیستم پوششی. پوست و قسمت‌های گوناگون آن شامل مو، ناخن، غدد و سایر ساختارها می‌باشد که موجب پوشش و محافظت از بافت‌های عمقی و اندام‌های بدن می‌شود و در کل، محدودهٔ بین محیط داخلی بدن و محیط خارج را تشکیل می‌دهد. سیستم پوششی همچنین برای تنظیم دما و دفع برخی مواد مهم است. همچنین بسیاری از سیستم‌های حسی که ارتباط بین محیط خارج را با بدن برقرار می‌کنند، در پوست قرار دارند. پوست حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد از وزن بدن را تشکیل می‌دهد.

تولیدمثل

گاهی تولیدمثل به عنوان یک عمل هومئوستازی در نظر گرفته نمی‌شود، در حالی که دستگاه تولید مثل با تولید افراد جدید در مقابل کسانی که می‌میرند، به حفظ شرایط ثابت و برقراری هومئوستاز کمک می‌کند. این موضوع شاید یک تعبیر دور از ذهن از واژهٔ هومئوستاز باشد اما نشان می‌دهد که در یک تحلیل کلی، تمام ساختارهای بدن به نحوی سازماندهی شده‌اند که به برقراری خودکاری و ادامه زندگی کمک کنند.

دستگاه‌های کنترلی بدن

بدن انسان دارای هزاران دستگاه کنترلی است. پیچیده‌ترین آنها، دستگاه‌های کنترل ژنتیکی هستند که در تمام سلول‌های بدن در جهت تنظیم عملکرد داخل سلولی و همچنین خارج سلولی فعالیت می‌کنند. در **فصل ۳** به این موضوع پرداخته شده است.

بسیاری از سایر دستگاه‌های کنترلی، درون عضوهای مختلف قرار دارند تا *فعالیت قسمت‌های مختلف آنها را تنظیم کنند*؛ بعضی دیگر در سراسر بدن فعالیت می‌کنند تا بر ارتباطات مابین اعضای بدن کنترل داشته باشند. به عنوان مثال، دستگاه تنفس با کمک دستگاه عصبی، غلظت دی‌اکسید کربن مایع خارج سلولی را تنظیم می‌کند. کبد و پانکراس، غلظت گلوکز مایع خارج سلولی را کنترل می‌کنند و کلیه‌ها، تنظیم غلظت یون‌های هیدروژن، سدیم، پتاسیم، فسفات و غیره را در مایع خارج سلولی بر عهده دارند.

نمونه‌هایی از مکانیسم‌های کنترل

تنظیم غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی. از آنجا که اکسیژن یکی از مواد اصلی مورد نیاز برای واکنش‌های شیمیایی درون سلول هاست؛ بدن یک مکانیسم کنترل مخصوص دارد تا غلظت اکسیژن را در مایع خارج سلولی، دقیق و ثابت نگه دارد. این مکانیسم اساساً به ویژگی‌های شیمیایی *هموگلوبین* که در تمام گلبول‌های قرمز وجود دارد، وابسته است. هنگامی که خون از ریه عبور می‌کند، هموگلوبین با اکسیژن ترکیب می‌شود. سپس هنگامی که خون از میان مویرگ‌های بافت‌ها عبور می‌کند، چنانچه بافت حاوی مقدار زیادی اکسیژن باشد، هموگلوبین که میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن دارد، اکسیژن را به درون بافت آزاد نمی‌کند. اما اگر غلظت اکسیژن بافت بسیار کم باشد، اکسیژن کافی آزاد می‌شود تا غلظت مناسب اکسیژن در بافت ایجاد گردد. بنابراین، تنظیم غلظت اکسیژن در بافت‌ها، اساساً بر پایهٔ ویژگی‌های شیمیایی خود هموگلوبین استوار است. به این تنظیم، *عملکرد بافری هموگلوبین برای اکسیژن می‌گویند.*

غلظت دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی به گونه‌ای کاملاً متفاوت تنظیم می‌شود. دی‌اکسید کربن از اصلی‌ترین محصولات نهایی و دفعی واکنش‌های اکسیداتیو سلول است. چنانچه تمام دی‌اکسید کربن حاصل از سلول‌ها در مایعات بافتی جمع می‌شد، خود اثر تجمعی آن به زودی منجر به توقف تمام واکنش‌های انرژی‌زای سلول‌ها می‌گشت. خوشبختانه غلظت بالاتر از حدّ طبیعی دی‌اکسید کربن در خون، موجب تحریک مرکز تنفسی و به دنبال آن، تنفس سریع و عمیق می‌گردد. در نتیجه برداشت دی‌اکسید کربن از خون و مایع خارج سلولی افزایش می‌یابد. این رویه تا هنگامی که غلظت دی‌اکسید کربن به حد طبیعی برگردد، ادامه پیدا می‌کند.

تنظیم فشار خون شریانی. چندین دستگاه در تنظیم فشار خون شریانی مشارکت دارند. یکی از آنها، *دستگاه بارورسپتوری* است که یک نمونهٔ ساده و عالی از مکانیسم‌های کنترل می‌باشد **(شکل ۳-۱)**. در جدار محل انشعاب شریان‌های کاروتید در گردن و همچنین در قوس آئورت، تعدادی گیرنده عصبی به نام بارورسپتور وجود دارد که با کشیده شدن جدار شریان تحریک می‌شوند. هنگامی که فشار شریانی خیلی بالا برود، بارورسپتورها شروع به فرستادن تعداد زیادی ایمپالس عصبی به بصل‌النخاع (مدولا) می‌کنند. در آنجا ایمپالس‌ها، مرکز وازوموتور را مهار می‌کنند و در نتیجه، تعداد ایمپالس‌هایی که مرکز وازوموتور از طریق دستگاه عصبی سمپاتیک به قلب و عروق خونی می‌فرستد، کاهش می‌یابد. فقدان این ایمپالس‌ها باعث کاهش فعالیت تلمبه‌ای قلب و تسهیل جریان خون در عروق محیطی می‌شود که هر دو عامل مذکور، فشار خون شریانی را به مقدار طبیعی باز می‌گردانند.

برعکس، کاهش فشار شریانی به کمتر از حد طبیعی، موجب رفع کشیدگی گیرنده‌ها شده و به مرکز وازوموتور اجازه

تولیدمثل

گاهی تولیدمثل به عنوان یک عمل هومئوستازی در نظر گرفته نمی‌شود، در حالی که دستگاه تولید مثل با تولید افراد جدید در مقابل کسانی که می‌میرند، به حفظ شرایط ثابت و برقراری هومئوستاز کمک می‌کند. این موضوع شاید یک تعبیر دور از ذهن از واژهٔ هومئوستاز باشد اما نشان می‌دهد که در یک تحلیل کلی، تمام ساختارهای بدن به نحوی سازماندهی شده‌اند که به برقراری خودکاری و ادامه زندگی کمک کنند.

دستگاه‌های کنترلی بدن

بدن انسان دارای هزاران دستگاه کنترلی است. پیچیده‌ترین آنها، دستگاه‌های کنترل ژنتیکی هستند که در تمام سلول‌های بدن در جهت تنظیم عملکرد داخل سلولی و همچنین خارج سلولی فعالیت می‌کنند. در **فصل ۳** به این موضوع پرداخته شده است.

بسیاری از سایر دستگاه‌های کنترلی، درون عضوهای مختلف قرار دارند تا *فعالیت قسمت‌های مختلف آنها را تنظیم کنند*؛ بعضی دیگر در سراسر بدن فعالیت می‌کنند تا بر ارتباطات مابین اعضای بدن کنترل داشته باشند. به عنوان مثال، دستگاه تنفس با کمک دستگاه عصبی، غلظت دی‌اکسید کربن مایع خارج سلولی را تنظیم می‌کند. کبد و پانکراس، غلظت گلوکز مایع خارج سلولی را کنترل می‌کنند و کلیه‌ها، تنظیم غلظت یون‌های هیدروژن، سدیم، پتاسیم، فسفات و غیره را در مایع خارج سلولی بر عهده دارند.

نمونه‌هایی از مکانیسم‌های کنترل

تنظیم غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی. از آنجا که اکسیژن یکی از مواد اصلی مورد نیاز برای واکنش‌های شیمیایی درون سلول هاست؛ بدن یک مکانیسم کنترل مخصوص دارد تا غلظت اکسیژن را در مایع خارج سلولی، دقیق و ثابت نگه دارد. این مکانیسم اساساً به ویژگی‌های شیمیایی *هموگلوبین* که در تمام گلبول‌های قرمز وجود دارد، وابسته است. هنگامی که خون از ریه عبور می‌کند، هموگلوبین با اکسیژن ترکیب می‌شود. سپس هنگامی که خون از میان مویرگ‌های بافت‌ها عبور می‌کند، چنانچه بافت حاوی مقدار زیادی اکسیژن باشد، هموگلوبین که میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن دارد، اکسیژن را به درون بافت آزاد نمی‌کند. اما اگر غلظت اکسیژن بافت بسیار کم باشد، اکسیژن کافی آزاد می‌شود تا غلظت مناسب اکسیژن در بافت ایجاد گردد. بنابراین، تنظیم غلظت اکسیژن در بافت‌ها، اساساً بر پایهٔ ویژگی‌های شیمیایی خود هموگلوبین استوار است. به این تنظیم، *عملکرد بافری هموگلوبین برای اکسیژن می‌گویند.*

غلظت دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی به گونه‌ای کاملاً متفاوت تنظیم می‌شود. دی‌اکسید کربن از اصلی‌ترین محصولات نهایی و دفعی واکنش‌های اکسیداتیو سلول است. چنانچه تمام دی‌اکسید کربن حاصل از سلول‌ها در مایعات بافتی جمع می‌شد، خود اثر تجمعی آن به زودی منجر به توقف تمام واکنش‌های انرژی‌زای سلول‌ها می‌گشت. خوشبختانه غلظت بالاتر از حدّ طبیعی دی‌اکسید کربن در خون، موجب تحریک مرکز تنفسی و به دنبال آن، تنفس سریع و عمیق می‌گردد. در نتیجه برداشت دی‌اکسید کربن از خون و مایع خارج سلولی افزایش می‌یابد. این رویه تا هنگامی که غلظت دی‌اکسید کربن به حد طبیعی برگردد، ادامه پیدا می‌کند.

تنظیم فشار خون شریانی. چندین دستگاه در تنظیم فشار خون شریانی مشارکت دارند. یکی از آنها، *دستگاه بارورسپتوری* است که یک نمونهٔ ساده و عالی از مکانیسم‌های کنترل می‌باشد **(شکل ۳-۱)**. در جدار محل انشعاب شریان‌های کاروتید در گردن و همچنین در قوس آئورت، تعدادی گیرنده عصبی به نام بارورسپتور وجود دارد که با کشیده شدن جدار شریان تحریک می‌شوند. هنگامی که فشار شریانی خیلی بالا برود، بارورسپتورها شروع به فرستادن تعداد زیادی ایمپالس عصبی به بصل‌النخاع (مدولا) می‌کنند. در آنجا ایمپالس‌ها، مرکز وازوموتور را مهار می‌کنند و در نتیجه، تعداد ایمپالس‌هایی که مرکز وازوموتور از طریق دستگاه عصبی سمپاتیک به قلب و عروق خونی می‌فرستد، کاهش می‌یابد. فقدان این ایمپالس‌ها باعث کاهش فعالیت تلمبه‌ای قلب و تسهیل جریان خون در عروق محیطی می‌شود که هر دو عامل مذکور، فشار خون شریانی را به مقدار طبیعی باز می‌گردانند.

برعکس، کاهش فشار شریانی به کمتر از حد طبیعی، موجب رفع کشیدگی گیرنده‌ها شده و به مرکز وازوموتور اجازه