



سازمان‌بندی عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»

سلول‌ها واحدهای زنده بدن هستند

واحد زنده پایه بدن سلول است. هر اندام مجموعه‌ای از سلول‌های مختلف متعددی است که توسط تشکیلات نگاهدارنده بین سلولی در کنار هم نگاهداری می‌شوند. هر نوع سلول به طور اختصاصی برای انجام یک یا چند کار خاص سازش پیدا کرده است. به عنوان مثال، گویچه‌های سرخ به تعداد ۲۵ تریلیون در هر انسان اکسیژن را از ریه‌ها به بافتها انتقال می‌دهند. اگرچه گلبول‌های قرمز فراوانترین نوع سلول در بدن هستند، حدود ۷۵ تریلیون سلول از انواع دیگر نیز در بدن وجود دارند که اعمالی متفاوت از اعمال گویچه سرخ انجام می‌دهند. بنابراین، تمامی بدن محتوی حدود صد تریلیون سلول است.

اگرچه سلول‌های متعدد بدن غالباً اختلافات بارزی با یکدیگر دارند، کلیه آنها از نظر پاره‌ای از مشخصات پایه‌ای مشابه هستند. به عنوان مثال، اکسیژن در کلیه سلولها با کربوهیدرات، چربی و پروتئین ترکیب شده و انرژی مورد نیاز برای عمل سلولی را آزاد می‌کند. علاوه بر آن، مکانیسم‌های عمومی برای تبدیل مواد غذایی به انرژی، در تمام سلولها اساساً یکسان هستند و همه سلولها فرآورده‌های نهایی حاصل از واکنشهای شیمیایی خود را به داخل مایعی که آنها را احاطه کرده است می‌ریزند. تقریباً کلیه سلولها دارای قابلیت تولید سلول‌های

فیزیولوژی علمی است که تلاش می‌کند مکانیسم‌های فیزیکی و شیمیایی مسؤول پیدایش، تکامل و تداوم زندگی را بیان کند. هر شکلی از حیات، از ویروس تک‌سلولی گرفته تا بزرگترین درخت و یا ساختار پیچیده انسان، دارای ویژگیهای عملی مخصوص به خود است. بنابراین، قلمرو وسیع فیزیولوژی را می‌توان به شعبات فیزیولوژی ویروسی، فیزیولوژی باکتریایی، فیزیولوژی سلولی، فیزیولوژی گیاهی، فیزیولوژی انسانی و شعبات بسیار دیگر تقسیم کرد.

فیزیولوژی انسانی. علم فیزیولوژی انسانی کوشش می‌کند مشخصات و مکانیسم‌های ویژه‌ای که بدن انسان را به صورت یک موجود زنده در آورده‌اند را توجیه کند. این حقیقت که ما زنده می‌مانیم ناشی از سیستم‌های کنترل پیچیده‌ای است. گرسنگی ما را وادار به جستجوی خوراک، و ترس ما را مجبور به جستجوی پناهگاه می‌کند. احساس سرما ما را وادار به تهیه محیط گرم می‌سازد. نیروهای دیگر ما را مجبور به معاشرت و تولیدمثل می‌کنند. این حقیقت که ما موجوداتی حس‌کننده (Sensing)، دارای احساس (Feeling) و آگاه (Knowledgeable) هستیم بخشی از این توالی اوتوماتیک زندگی است؛ این صفات اختصاصی به ما اجازه می‌دهند که در تحت شرایط فوق‌العاده متغیر زنده بمانیم، که در غیر این صورت زندگی غیرممکن می‌شد.

به طور خلاصه تئوری پایه سیستمهای کنترلی که موجب می‌شوند تا سیستمهای عملی به طور هماهنگ با یکدیگر عمل کنند مورد بحث قرار خواهد گرفت.

سیستم انتقال دهنده و مخلوط کننده مایع خارج سلولی - سیستم گردش خون

مایع خارج سلولی در دو مرحله در سراسر بدن منتقل می‌شود. مرحله اول عبارت از حرکت خون در بدن در رگهای خونی و مرحله دوم عبارت از حرکت مایع بین مویرگهای خونی و **فضاهای بین سلولی** در بین سلولهای بافت است.

شکل ۱-۱ طرح کلی گردش خون را نشان می‌دهد. تمام خون موجود در دستگاه گردش خون به طور متوسط در حال استراحت دقیقه‌ای یک بار و در هنگامی که شخص فعالیت فوق‌العاده شدید انجام دهد تا دقیقه‌ای شش بار سراسر مدار گردش خون را دور می‌زند.

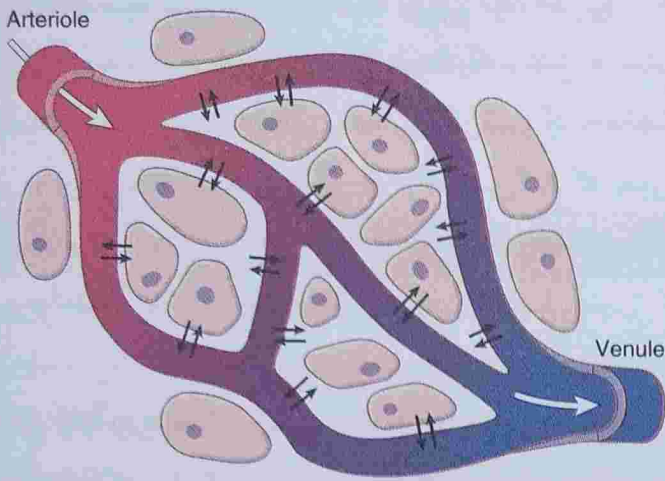
به تدریج که خون از مویرگها عبور می‌کند تبادل مداوم مایع خارج سلولی بین بخش پلاسمایی خون و مایع میان بافتی که فضاهای بین سلولها یعنی فضاهای بین سلولی را پر می‌کند وجود دارد. این روند در **شکل ۱-۲** نشان داده شده است. دیواره‌های مویرگها نسبت به قسمت اعظم مولکولهای موجود در پلاسما به استثنای مولکولهای درشت پروتئینهای پلاسما که بزرگتر از آن هستند که به آسانی از مویرگها عبور کنند نفوذپذیر هستند. بنابراین، مقادیر زیاد مایع و مواد حل شده در آن می‌توانند همان طوری که توسط پیکانها نشان داده شده بین خون و فضاهای بافتی در هر دو جهت انتشار پیدا کنند. این روند انتشار ناشی از حرکت جنبشی مولکولها هم در پلاسما و هم در مایع میان بافتی است به این معنی که مایع و مولکولهای حل شده در آن به طور مداوم در همه جهات در داخل پلاسما و فضاهای بین بافتی و نیز در منافذ مویرگی حرکت و جنبش دارند. معدودی سلول در فاصله‌ای بیش از ۵۰ میکرومتر از مویرگ قرار گرفته‌اند و همین امر انتشار تقریباً هر نوع ماده‌ای از مویرگ به سلول را در ظرف چند ثانیه تضمین می‌کند.

غلظتها را در دامنه‌ای تنظیم می‌کنند که سلولها، بافتها و اندامها، علیرغم تغییرات گسترده محیطی و چالشهای ناشی از آسیب و بیماری اعمال طبیعی خود را به انجام برسانند.

قسمت زیادی از مطالب این کتاب با روشی که توسط آن هر اندام یا هر بافت سهم خود را در هومئوستاز انجام می‌دهد سر و کار دارد. اعمال طبیعی بدن نیازمند عملکرد منسجم سلولها، بافتها، اندامها، و سیستمهای کنترلی متعدد عصبی، هومورال، و موضعی است که با همدیگر برای هومئوستاز و سلامتی همکاری می‌کنند.

بیماری اغلب به یک حالت اختلال در هومئوستاز اطلاق می‌شود. اما باید دانست، حتی در حضور بیماری، مکانیسمهای هومئوستازی به فعالیت خود ادامه داده و اعمال حیاتی را از طریق جبرانهای متعدد حفظ می‌کنند. در بعضی موارد، این جبرانها ممکن است خودشان منجر به انحرافات بزرگی از دامنه طبیعی در اعمال بدن شوند که تمایز علت اولیه بیماری از پاسخهای جبرانی را مشکل کند. برای مثال، یک بیماری که توانایی کلیه برای دفع نمک و آب را مختل کند می‌تواند منجر به افزایش فشار خون گردد، که ابتدا به بازگشت دفع به میزان طبیعی کمک می‌کند به طوری که تعادل بین مصرف و دفع کلیوی می‌تواند استمرار یابد. این تعادل برای حفظ زندگی مورد نیاز است، اما در طولانی‌مدت، فشار خون بالا می‌تواند اندامهای مختلفی، شامل خود کلیه‌ها، را آسیب برساند و موجب افزایش بیشتر فشار خون و آسیب بیشتر کلیه گردد. بنابراین، جبرانهای هومئوستازی که به دنبال آسیب، بیماری، یا چالشهای محیطی عمده برای بدن آغاز می‌شوند ممکن است مشابه یک "بده و بستان" باشد که برای حفظ اعمال حیاتی بدن ضروری است اما می‌تواند در درازمدت، مسؤول اختلالات بیشتر در اعمال بدن گردد. رشته **پاتوفیزیولوژی** به دنبال توجیه چگونگی روندهای مختلف فیزیولوژیکی است که در بیماری یا آسیب تغییر می‌کنند.

در این فصل سیستمهای عملی مختلف بدن و سهم آنها در هومئوستاز به اختصار شرح داده خواهند شد و آنگاه



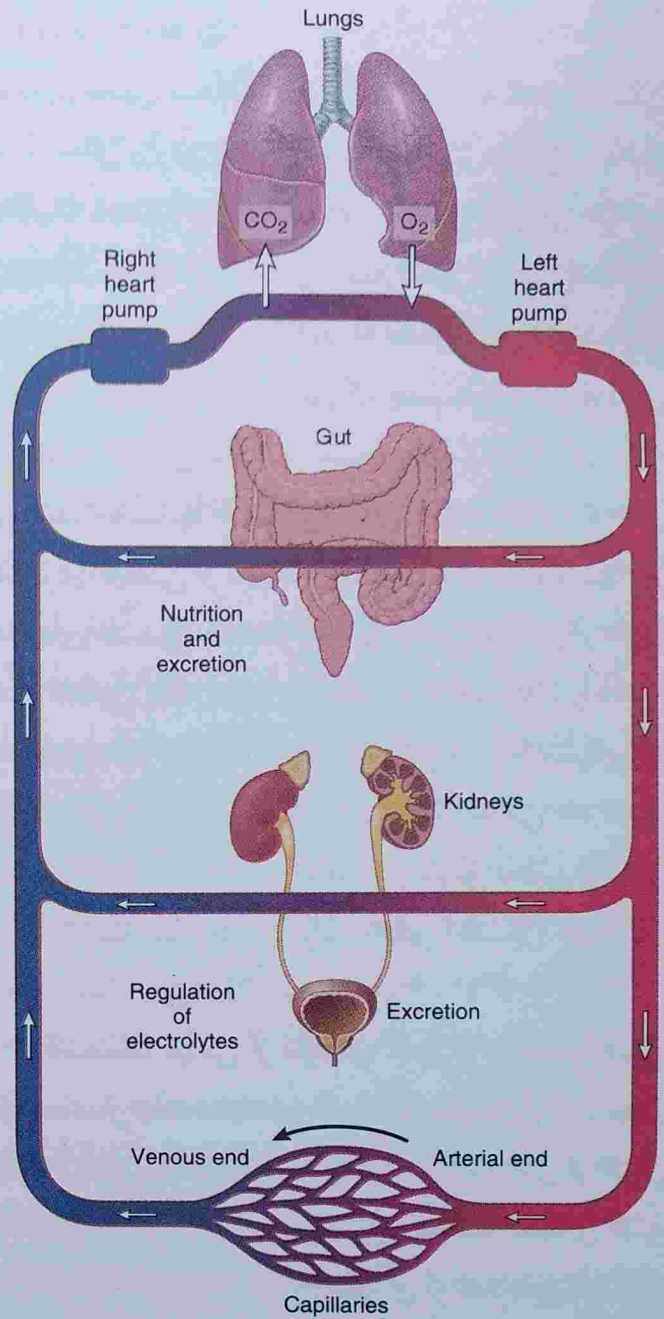
شکل ۱-۲. انتشار مایع و اجزای محلول بین دو سوی دیواره مویرگها و در فضاهای میان بافتی.

حبابچه‌ها و مجرای مویرگهای ریوی وجود دارد فقط ۰/۴ تا ۲ میکرومتر است و اکسیژن بوسیله جنبش مولکولی از طریق این غشاء به سرعت به داخل خون انتشار پیدا می‌کند.

لوله گوارش. همچنین بخش زیادی از خون تلمبه شده توسط قلب از دیواره لوله گوارش عبور می‌کند. در این جا مواد غذایی حل شده مختلف شامل کربوهیدراتها، اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه از غذای خورده شده جذب مایع خارج سلولی خون می‌شوند.

کبد و اندامهای دیگری که به طور عمده اعمال متابولیک انجام می‌دهند. کلیه موادی که از لوله گوارش جذب می‌شوند نمی‌توانند به همان صورتی که جذب شده‌اند مورد استفاده سلولها قرار گیرند. کبد، ترکیب شیمیایی بسیاری از این مواد را به صورت قابل استفاده‌تری درمی‌آورد و بافتهای دیگر بدن از قبیل سلولهای چربی، مخاط لوله گوارش، کلیه‌ها و غدد درون‌ریز به تغییر مواد جذب شده کمک کرده و یا آنها را برای مواقعی که مورد نیاز باشند ذخیره می‌کنند. کبد همچنین بعضی از فرآورده‌های زاید تولید شده در بدن و مواد سمی خورده شده را دفع می‌کند.

سیستم عضلانی - اسکلتی. گاه این پرسش پیش می‌آید که سیستم عضلانی - اسکلتی چه نقشی در اعمال هومئوستاتیک بدن دارد؟ پاسخ این پرسش بسیار ساده و آشکار است: اگر این سیستم نبود بدن نمی‌توانست



شکل ۱-۱. سازمانبندی عمومی دستگاه گردش خون.

به این ترتیب، مایع خارج سلولی، هم قسمت پلاسمایی و هم قسمت موجود در فضاهای بین بافتی در سراسر بدن به طور مداوم با یکدیگر مخلوط شده و بدینوسیله همگنی تقریباً کامل مایع بین سلولی در سراسر بدن حفظ می‌شود.

منشأ مواد غذایی در مایع خارج سلولی

سیستم تنفسی. شکل ۱-۱ نشان می‌دهد که هر بار که خون سراسر بدن را می‌پیماید از ریه‌ها نیز می‌گذرد. خون با گرفتن اکسیژن در حبابچه‌های ریوی، اکسیژن مورد نیاز سلولها را به دست می‌آورد. ضخامت غشایی که بین

تنظیم اعمال بدن

سیستم عصبی. سیستم عصبی شامل سه قسمت اصلی است: بخش ورودی حسی، سیستم عصبی مرکزی یا بخش جامعیت دهنده (Integrative)، و بخش خروجی حرکتی. گیرنده‌های بخش حسی وضع داخلی بدن یا محیط اطراف را تشخیص می‌دهند. به طور مثال گیرنده‌های موجود در پوست در صورتی که جسمی با هر نقطه‌ای از پوست تماس پیدا کند شخص را از این تماس آگاه می‌کنند. چشمها اندامهایی حسی هستند که به شخص تصویری عینی از محیط اطراف می‌دهند. گوشها نیز اندامهای حسی هستند. سیستم عصبی مرکزی از مغز و نخاع تشکیل یافته است. مغز قادر است اطلاعات را ذخیره کند، اندیشه تولید کند، خواسته بیافریند و واکنشهایی را که بدن در پاسخ به احساسهایش انجام می‌دهد تعیین کند. آن گاه سیگنالهای مناسب از طریق بخش خروجی حرکتی سیستم عصبی برای تحقق اعمال مورد نظر شخص صادر می‌شود.

قسمت مهمی از سیستم عصبی، سیستم عصبی خودمختار (Autonomic) نامیده می‌شود. این سیستم در یک سطح زیر خودآگاه عمل کرده و بسیاری از اعمال اندامهای داخلی بدن از قبیل میزان فعالیت تلمبه‌ای قلب، حرکات لوله گوارش و ترشح بسیاری از غدد بدن را کنترل می‌کند.

سیستم‌های هورمونی. در بدن هشت غده درون‌ریز اصلی و اندامها و بافتهای متعددی وجود دارند که موادی شیمیایی به نام هورمون ترشح می‌کنند. هورمونها بوسیله مایع خارج سلولی به دیگر قسمتهای بدن انتقال یافته و به تنظیم عمل سلولها کمک می‌کنند. برای مثال، هورمون تیروئید سرعت انجام قسمت اعظم واکنشهای شیمیایی را در تمام سلولها افزایش می‌دهد و از این راه به تنظیم سرعت فعالیت بدن کمک می‌کند. انسولین متابولیسم گلوکز را کنترل می‌کند، هورمونهای قشر فوق کلیوی متابولیسم یون سدیم، یون پتاسیم و پروتئینها را کنترل می‌کنند و هورمون پاراتیروئید کلسیم و فسفات استخوان را کنترل می‌کند. به این ترتیب، هورمونها یکی از سیستم تنظیمی به

در مواقع مناسب برای به دست آوردن مواد غذایی لازم برای تغذیه به سوی مکان مناسب حرکت کند. سیستم عضلانی - اسکلتی همچنین امکان تحرک و لذا حفاظت در برابر محیطهای ناسازگار را فراهم می‌کند که بدون آن تمام بدن همراه با کلیه مکانیسمهای هومئوستاتیکش می‌توانستند منهدم شوند.

دفع فرآورده‌های نهایی حاصل از متابولیسم

دفع دی‌اکسید کربن توسط ریه‌ها. در همان هنگام که خون در ریه‌ها اکسیژن جذب می‌کند **دی‌اکسید کربن** به داخل حبابچه‌ها آزاد می‌شود و حرکت هوا به داخل و به خارج از ریه‌ها بر اثر حرکات تنفسی، دی‌اکسید کربن را به هوای خارج حمل می‌کند. دی‌اکسید کربن فراوانترین فرآورده نهایی حاصل از متابولیسم است.

کلیه‌ها. عبور خون از کلیه‌ها قسمت اعظم مواد دیگر به غیر از دی‌اکسید کربن را که مورد نیاز سلولها نیستند از پلاسما حذف می‌کند. این مواد شامل فرآورده‌های نهایی مختلف متابولیسم سلولی از قبیل اوره و اسیداوریک و نیز مازاد یونها و آب ناشی از غذا که ممکن است در مایع خارج سلولی تجمع پیدا کرده باشند می‌شود.

کلیه‌ها عمل خود را ابتدا با فیلتره کردن مقادیر زیاد پلاسما از مویرگهای گومرولی به داخل توبولها و سپس بازجذب آن دسته از مواد مورد نیاز بدن از قبیل گلوکز، اسیدهای آمینه، مقادیر مناسب آب و بسیاری از یونها به داخل خون، انجام می‌دهند. قسمت اعظم سایر مواد یعنی موادی که مورد نیاز بدن نیستند و بویژه فرآورده‌های نهایی متابولیسم از قبیل اوره بازجذب ناچیزی داشته و با پشت سر گذاشتن توبولهای کلیوی وارد ادرار می‌شوند.

دستگاه گوارش. مواد هضم نشده که وارد دستگاه گوارش می‌شوند و بعضی فرآورده‌های زاید متابولیسم در مدفوع دفع می‌شوند.

کبد. یکی از اعمال کبد غیرسمی کردن و حذف بسیاری از داروها و مواد شیمیایی است که خورده می‌شوند. کبد بسیاری از این مواد زاید را به داخل صفرا ترشح می‌کند که سرانجام در مدفوع دفع می‌شوند.

تجزیه و تحلیل نهایی، کلیه تشکیلات بدن عملاً چنان سازمان یافته‌اند که به حفظ خودکاری و تداوم زندگی کمک می‌کنند.

سیستم‌های کنترلی بدن

بدن انسان دارای هزاران سیستم کنترل است. برخی از پیچیده‌ترین آنها سیستم‌های کنترل ژنتیکی است که در داخل کلیه سلولها عمل کرده و به کنترل اعمال داخل سلولی و نیز اعمال خارج سلولی کمک می‌کنند. این موضوع در فصل ۳ شرح داده شده است.

بسیاری از سیستم‌های کنترلی دیگر در داخل اندامها عمل کرده و اعمال یکایک قسمت‌های هر اندام را کنترل می‌کنند، عده‌ای دیگر در سراسر بدن عمل می‌کنند تا روابط متقابل بین اندام‌های مختلف با یکدیگر را کنترل کنند. برای مثال، سیستم تنفسی با همکاری سیستم عصبی غلظت دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی را کنترل می‌کند. کبد و لوزالمعده غلظت گلوکز در مایع خارج سلولی را تنظیم می‌کنند. کلیه‌ها غلظت یونهای هیدروژن، سدیم، پتاسیم، فسفات‌ها و سایر یونها را در مایع خارج سلولی تنظیم می‌کنند.

نمونه‌هایی از مکانیسم‌های کنترل

تنظیم غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی. چون اکسیژن یکی از مواد اصلی مورد نیاز برای واکنش‌های شیمیایی در سلولها است بدن یک مکانیسم کنترل کننده ویژه برای حفظ یک غلظت تقریباً دقیق و ثابت اکسیژن در مایع خارج سلولی دارد. این مکانیسم به طور عمده به مشخصات شیمیایی هموگلوبین بستگی دارد که در تمام گویچه‌های قرمز خون موجود است. به تدریج که خون از ریه‌ها عبور می‌کند هموگلوبین با اکسیژن ترکیب می‌شود. سپس به تدریج که خون از مویرگ‌های بافتی عبور می‌کند اگر مایع بافتی از قبل محتوی مقدار بیش از حدی اکسیژن باشد هموگلوبین به علت میل ترکیبی شیمیایی قوی خود با اکسیژن، اکسیژنی که داخل مایع بافتی آزاد نخواهد کرد اما اگر غلظت اکسیژن بیش

شمار می‌روند که مکمل سیستم عصبی است. سیستم عصبی بسیاری از فعالیت‌های عضلانی و ترشحی بدن را تنظیم می‌کند در حالی که سیستم هورمونی اعمال متابولیک را تنظیم می‌کند. سیستم‌های عصبی و هورمونی به طور طبیعی هماهنگ با یکدیگر کار می‌کنند تا اساساً همه اندام‌های بدن را کنترل کنند.

حفاظت بدن

سیستم ایمنی. سیستم ایمنی از گویچه‌های سفیدخون، سلولهای بافتی که از گویچه‌های سفید خون مشتق می‌شوند، تیموس، گره‌های لنفاوی، و رگهای لنفاوی تشکیل شده است که بدن را در برابر عوامل بیماریزا از قبیل باکتریها، ویروسها، انگلها و قارچها حفاظت می‌کنند. سیستم ایمنی مکانیسم‌های زیر را برای بدن تأمین می‌کند: (۱) تشخیص سلولهای خودی از سلولها و مواد خارجی و (۲) انهدام عامل مهاجم توسط فاگوسیتوز یا توسط تولید لئوسیت‌های حساس شده یا پروتئینهای دارای تخصص عمل (مانند آنتی‌بادیها) که عامل مهاجم را از بین می‌برند یا خنثی می‌سازند.

سیستم پوششی. پوست و ضمایم مختلف آن شامل مو، ناخن‌ها، غدد و سایر ساختارها، بافتها و اندام‌های عمیقتر بدن را می‌پوشانند، قابل انعطاف می‌سازند و حفاظت می‌کنند و به طور کلی حد فاصلی بین محیط داخلی بدن و دنیای خارج ایجاد می‌کنند. سیستم پوششی همچنین برای تنظیم دما و دفع مواد زاید اهمیت دارد و یک سطح واسط حسی بین بدن و محیط خارج به دست می‌دهد. پوست به طور کلی حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد وزن بدن را تشکیل می‌دهد.

تولید مثل

تولید مثل گاهی به عنوان یک عمل همئوستاتیک در نظر گرفته نمی‌شود اما باید دانست که تولید مثل با تولید موجودات جدید به جای موجوداتی که می‌میرند به حفظ شرایط ثابت کمک می‌کند. شاید این نوع تلقی از واژه همئوستاز دور از ذهن باشد اما نشان می‌دهد که در

سیستم گیرنده‌های فشار یا بارورسپتور (*Baroreceptor*) مثال بسیار ساده و خوبی برای یک مکانیسم کنترل است (شکل ۱-۳). در دیواره محل دو شاخه شدن شریانهای سبات در گردن و نیز در قوس آئورت در سینه گیرنده‌های عصبی متعددی به نام گیرنده‌های فشاری وجود دارند که بر اثر کشیده شدن دیواره شریان تحریک می‌گردند. هنگامی که فشار شریانی بیش از حد بالا می‌رود این بارورسپتورها، رگبره‌هایی از ایмпالس‌های عصبی به بصل‌النخاع در مغز ارسال می‌کنند. این ایмпالس‌ها در بصل‌النخاع مرکز محرکه عروقی یا مرکز وازوموتور را مهار می‌کنند و این مرکز به نوبه خود تعداد ایмпالس‌هایی را که از طریق سیستم عصبی سمپاتیک به قلب و رگهای خونی می‌روند کاهش می‌دهد. فقدان این ایмпالس‌ها موجب کاهش فعالیت تلمبه‌ای قلب و نیز گشادی رگهای خونی می‌گردد که موجب افزایش عبور خون از این رگها می‌شود. هر دوی این اثرات فشار شریانی را کاهش داده، آن را به مقدار طبیعی برمی‌گردانند.

برعکس، کاهش فشار شریانی به زیر حد طبیعی باعث شل شدن رسپتورهای کششی می‌گردد و این امر به مرکز وازوموتور اجازه می‌دهد تا بیش از حد معمول فعال شود و بدین وسیله موجب تنگی رگی و افزایش عمل تلمبه‌ای قلب شود. کاهش فشار شریانی نیز فشار شریانی را افزایش داده، آن را به مقدار طبیعی برمی‌گرداند.

محدوده‌های طبیعی و ویژگیهای فیزیکی اجزای مهم مایع خارج سلولی

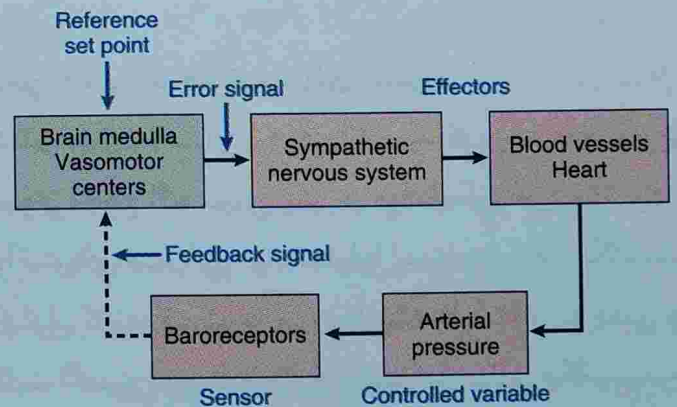
جدول ۱-۱ اجزاء و مشخصات فیزیکی مهم مایع خارج سلولی
 خارج سلولی را همراه با مقادیر طبیعی، محدوده‌های طبیعی و حداقل و حداکثر مقادیر ممکن بدون ایجاد مرگ را به دست می‌دهد. به باریکی محدوده طبیعی برای هر یک از آنها توجه کنید. مقادیر خارج از این محدوده‌ها اغلب توسط بیماری، آسیب، یا چالش‌های محیطی به وجود می‌آیند.

مهمتر از همه حداقل و حداکثری است که در ورای آنها اختلالات می‌توانند موجب مرگ شوند. به

از حد کم باشد مقدار کافی اکسیژن آزاد خواهد شد تا غلظت مناسب اکسیژن بافتی را مجدداً برقرار سازد. به این ترتیب، تنظیم غلظت اکسیژن در بافتها به طور عمده به خاطر خواص شیمیایی خود هموگلوبین است. این عمل تنظیمی موسوم به عمل بافری هموگلوبین روی اکسیژن (*Oxygen Buffering*) است.

غلظت دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی به روش کاملاً متفاوتی تنظیم می‌شود. دی‌اکسید کربن یکی از فرآورده‌های نهایی مهم واکنشهای اکسیداتیو در سلول است. هرگاه تمام دی‌اکسید کربن تولید شده در سلولها در مایع بافتی تجمع پیدا کند واکنشهای انرژی‌زا در سلولها را متوقف می‌سازد. خوشبختانه غلظت بالاتر از طبیعی دی‌اکسید کربن مرکز تنفسی را تحریک کرده و موجب می‌شود تا شخص نفسهای سریع و عمیق بکشد. این تنفس عمیق و سریع، دفع دی‌اکسید کربن در هوای بازدمی و بنابراین دفع آن از خون و مایع خارج سلولی را افزایش می‌دهد. این روند تا هنگام بازگشت غلظت دی‌اکسید کربن به مقدار طبیعی ادامه می‌یابد.

تنظیم فشار خون شریانی. چندین سیستم مختلف به تنظیم فشار خون شریانی کمک می‌کنند. یکی از آنها یعنی



شکل ۱-۳. فیدبک منفی کنترل فشار شریانی توسط گیرنده‌های فشار. سیگنالها از حسگرها (گیرنده‌های فشار) به بصل‌النخاع مغز فرستاده شده و در آنجا با یک نقطه تنظیم مرجع مقایسه می‌شوند. وقتی فشار شریانی به بیش از مقدار طبیعی افزایش یابد، این فشار غیر طبیعی ایмпالس‌های عصبی از گیرنده‌های فشار به بصل‌النخاع را افزایش می‌دهد که در آنجا با یک نقطه تنظیم مرجع مقایسه شده یک سیگنال خطا تولید می‌کند که منجر به کاهش فعالیت سیستم عصبی سمپاتیک می‌شود. کاهش فعالیت سمپاتیک موجب گشادی رگهای خونی و کاهش فعالیت تلمبه‌ای قلب شده که فشار شریانی را به مقدار طبیعی برمی‌گرداند.

واحد	مقدار طبیعی	محدوده طبیعی	حداقل و حداکثر تقریبی غیرکشنده
اکسیژن (وریدی)	۴۰	۳۵-۴۵	۱۰-۱۰۰۰ میلی‌متر جیوه
دی‌اکسید کربن (وریدی)	۴۵	۳۵-۴۵	۵-۸۰ میلی‌متر جیوه
یون سدیم	۱۴۲	۱۳۸-۱۴۶	۱۱۵-۱۷۵ میلی‌مول در لیتر
یون پتاسیم	۴/۲	۳/۸-۵/۰	۱/۵-۹/۰ میلی‌مول در لیتر
یون کلسیم	۱/۲	۱/۰-۱/۴	۰/۵-۲/۰ میلی‌مول در لیتر
یون کلر	۱۰۶	۱۰۳-۱۱۲	۷۰-۱۳۰ میلی‌مول در لیتر
یون بی‌کربنات	۲۴	۲۴-۳۲	۸-۴۵ میلی‌مول در لیتر
گلوکز	۹۰	۷۵-۹۵	۲۰-۱۵۰۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر
دمای بدن	۳۷/۰	۳۶/۶-۳۷/۱	درجه سلزیوس ۱۸/۳-۴۳/۳
اسید - باز	۷/۴	۷/۳-۷/۵	pH ۶/۹-۸/۰

درک فوق‌العاده از ارزش و حتی لزوم وجود تعداد عظیم سیستم‌های کنترل بدهد که بدن را در سلامتی در حال کار نگاه می‌دارند. در غیاب هر یک از این کنترلرها، اختلال عمل شدید بدن یا مرگ می‌تواند به وجود آید.

ویژگی‌های سیستم کنترل

مثالهای مکانیسم‌های کنترل هومئوستاتیک که در بالا ذکر شدند فقط معدودی از هزاران مکانیسم کنترل در بدن هستند که همگی آنها دارای بعضی ویژگی‌های مشترک هستند. که در این فصل شرح داده می‌شوند.

ماهیت فیدبکی منفی بیشتر سیستم‌های کنترل

بیشتر سیستم‌های کنترل بدن بوسیله یک روند فیدبک منفی (*Negative Feedback*) عمل می‌کنند که به بهترین صورت می‌توان آن را توسط مرور بعضی از سیستم‌های کنترل هومئوستاتیک که قبلاً ذکر شدند توجیه کرد. در تنظیم غلظت دی‌اکسید کربن، غلظت زیاد دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی تهویه ریوی را افزایش می‌دهد، این امر به نوبه خود غلظت دی‌اکسید کربن مایع خارج سلولی را کاهش می‌دهد زیرا در این حال ریه‌ها مقادیر بیشتری دی‌اکسید کربن را از بدن دفع

عنوان مثال، افزایش دمای بدن به میزان فقط ۷ درجه سلزیوس از حد طبیعی می‌تواند منجر به یک حلقه معیوب یا دور تسلسل بدخیم از افزایش متابولیسم سلولی شود که عملاً سلولها را منهدم می‌سازد. همچنین به محدوده بسیار باریک برای تعادل اسیدی - بازی بدن با مقدار pH طبیعی ۷/۴ و مقادیر کشنده فقط حدود ۰/۵ واحد در دو طرف مقدار طبیعی توجه کنید. عامل مهم دیگر یون پتاسیم است زیرا هرگاه غلظت آن به کمتر از یک سوم مقدار طبیعی کاهش یابد شخص احتمال دارد که به علت ناتوانی اعصاب در انتقال سیگنالهای عصبی فلج شود یا اگر غلظت یون پتاسیم به دو تا سه برابر مقدار طبیعی افزایش یابد عضله قلبی احتمال دارد که شدیداً تضعیف شود. همچنین، هنگامی که غلظت یون کلسیم به کمتر از حدود نصف مقدار طبیعی سقوط می‌کند شخص به علت تولید خود به خودی ایمپالسهای عصبی در اعصاب محیطی ممکن است دچار انقباض کزازی عضلات در سراسر بدن شود. هنگامی که غلظت گلوکز از نصف مقدار طبیعی کمتر می‌شود، شخص بکرات تحریک‌پذیری فوق‌العاده شدید روانی نشان داده و گاهی حتی تشنج می‌کند.

به این ترتیب، ملاحظه این مثالها باید به ما یک

سیستم با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{گین} = \frac{\text{مقدار تصحیح}}{\text{مقدار خطا}}$$

به این ترتیب در مثال بالا مقدار تصحیح برابر با ۵۰- میلی‌متر جیوه و مقدار خطایی که کماکان وجود دارد ۲۵+ میلی‌متر جیوه است. بنابراین، گین سیستم گیرنده‌های فشار شریانی شخص برای کنترل فشار شریانی برابر با ۵۰- تقسیم بر ۲۵+ یا ۲- خواهد بود یعنی یک عامل خارجی که تمایل داشته باشد که فشار شریانی را افزایش یا کاهش دهد فشار شریانی را در مقایسه با هنگامی که این سیستم کنترل کننده وجود نداشت فقط به میزان یک سوم افزایش یا کاهش خواهد داد.

گین برخی از سیستم‌های کنترل کننده فیزیولوژیکی دیگر بسیار بزرگتر از گین سیستم گیرنده‌های فشار شریانی است. به عنوان مثال، گین سیستم کنترل کننده دمای بدن هنگامی که شخص در معرض هوای نسبتاً سرد قرار گیرد حدود ۳۳- است. بنابراین می‌توان دید که سیستم کنترل کننده دمای بدن بسیار مؤثرتر از سیستم کنترل گیرنده‌های فشار شریانی است.

فیدبک مثبت که گاهی موجب دوره تسلسل بدخیم و مرگ می‌شود

چرا عملاً تمام سیستم‌های کنترل بدن بوسیله فیدبک منفی عمل می‌کنند نه بوسیله فیدبک مثبت؟ اگر ماهیت فیدبک مثبت را در نظر بگیریم، واضح است که فیدبک مثبت به بی‌ثباتی می‌انجامد تا ثبات و در بعضی موارد، می‌تواند موجب مرگ شود.

شکل ۴-۱ نشان دهنده مثالی است که در آن مرگ می‌تواند بر اثر فیدبک مثبت به وجود آید. این شکل قدرت تلمبه‌زنی قلب را تصویر کرده و نشان می‌دهد که قلب انسان سالم در هر دقیقه حدود ۵ لیتر خون را تلمبه می‌زند. حال اگر شخص ناگهان دو لیتر خون از دست بدهد مقدار خون در بدن به حد آن چنان پایینی کاهش می‌یابد که به مقدار کافی برای تلمبه‌زدن مؤثر در اختیار قلب قرار نمی‌گیرد. در نتیجه، فشار شریانی سقوط

می‌کنند. به عبارت دیگر، غلظت بالای دی‌اکسید کربن موجب شروع وقایعی می‌شود که غلظت را به سوی حد طبیعی کاهش می‌دهند که نسبت به محرک اولیه جنبه منفی دارد. برعکس، کاهش شدید غلظت دی‌اکسید کربن منجر به یک فیدبک برای افزایش غلظتش می‌شود. این پاسخ نیز نسبت به محرک اولیه جنبه منفی دارد.

در مکانیسم تنظیم فشار شریانی، زیادی فشار سبب شروع یک سلسله واکنش‌هایی می‌شود که منجر به پایین آمدن فشار می‌گردد و کمی فشار سبب شروع سلسله واکنش‌های دیگری می‌شود که منجر به بالا رفتن فشار می‌گردد. در هر دوی این حالات این اثرات نسبت به محرک اولیه جنبه منفی دارند.

بنابر مطالب بالا، به طور کلی هرگاه عاملی به مقدار بیش از حدی زیاد یا کم شود یک سیستم کنترل کننده سبب شروع یک فیدبک منفی می‌شود که شامل یک سری تغییراتی است که آن عامل را به سوی یک رقم متوسط معین باز می‌گرداند و به این ترتیب سبب حفظ هومئوستاز می‌گردد.

میزان تقویت سیستم کنترل. میزان قدرتی که بوسیله آن یک سیستم کنترل کننده شرایط موجود را در حد ثابت حفظ می‌کند توسط میزان تقویت یا گین (*Gain*) فیدبک منفی تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، فرض کنیم که حجم زیادی از خون به داخل بدن شخصی که سیستم کنترل گیرنده‌های فشار شریانی او از کار افتاده است تزریق شود و فشار شریانی از حد طبیعی ۱۰۰ میلی‌متر جیوه تا ۱۷۵ میلی‌متر جیوه بالا برود. سپس فرض کنیم که همان حجم خون به داخل بدن همان شخص در هنگامی که سیستم گیرنده‌های فشار شریانی او کار می‌کند تزریق شود و این بار فشار فقط ۲۵ میلی‌متر جیوه بالا برود. به این ترتیب، سیستم کنترل کننده فیدبکی موجب بروز تصحیحی به میزان ۵۰- میلی‌متر جیوه یعنی از ۱۷۵ به ۱۲۵ میلی‌متر جیوه شده است. با این وجود هنوز افزایشی در فشار به میزان ۲۵+ میلی‌متر جیوه موسوم به خطا باقی می‌ماند که به این معنی است که سیستم کنترل کننده به میزان صد در صد در جلوگیری از این تغییر موفق نبوده است. گین