

خلاصه فیزیولوژی

پزشکی گایتون و هال

فهرست مطالب

پیشگفتار..... ۱۱

مقدمه ۱۳

بخش ۱: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی سلول و فیزیولوژی عمومی ۱۵

فصل ۱: سازمان‌بندی عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»..... ۱۷

فصل ۲: سلول و عملکردهای آن..... ۲۵

فصل ۳: کنترل ژنتیکی ساخت پروتئین، اعمال سلول و تولیدمثل

سلول ۳۷

بخش ۲: فیزیولوژی غشاء، عصب و عضله ۴۹

فصل ۴: انتقال مواد از غشای سلولی..... ۵۱

فصل ۵: پتانسیل غشا و پتانسیل عمل..... ۵۸

فصل ۶: انقباض عضله اسکلتی..... ۶۶

فصل ۷: تحریک عضله اسکلتی: انتقال عصبی عضلانی و جفت‌شدن

تحریک - انقباض..... ۷۵

فصل ۸: تحریک و انقباض عضله صاف..... ۸۱

بخش ۳: قلب ۸۷

فصل ۹: عضله قلبی؛ قلب به عنوان یک پمپ و عملکرد دریچه‌های قلب

..... ۸۹

فصل ۱۰: تحریک ریتمیک قلب..... ۹۸

فصل ۱۱: اساس الکتروکاردیوگرافی..... ۱۰۳

فصل ۱۲: تفسیر اختلالات الکتروکاردیوگرافی عضله قلبی و جریان خون

کرونر: تحلیل برداری..... ۱۰۷

فصل ۱۳: آریتمی‌های قلبی و تفسیر الکتروکاردیوگرافی آنها..... ۱۱۳

بخش ۴: گردش خون ۱۱۹

فصل ۱۴: کلیات گردش خون؛ فشار، جریان و مقاومت..... ۱۲۱

فصل ۱۵: قابلیت اتساع عروق و عملکردهای سیستم شریانی و

وریدی..... ۱۲۸

فصل ۱۶: گردش خون در عروق کوچک و سیستم لنفاوی: تبادل مایع در مویرگ‌ها، مایع میان‌بافتی، و جریان لنف	۱۳۶
فصل ۱۷: تنظیم هومورال و موضعی جریان خون بافت	۱۴۷
فصل ۱۸: تنظیم عصبی گردش خون، و کنترل سریع فشار شریانی	۱۵۸
فصل ۱۹: نقش کلیه‌ها در تنظیم درازمدت فشار شریانی و افزایش فشار خون: سیستم جامع تنظیم فشار شریانی	۱۶۸
فصل ۲۰: برون‌ده قلبی، بازگشت وریدی و تنظیم آنها	۱۸۱
فصل ۲۱: جریان خون عضله و برون‌ده قلبی حین ورزش؛ گردش خون کرونر و بیماری ایسکمی قلب	۱۸۹
فصل ۲۲: نارسایی قلبی	۱۹۷
فصل ۲۳: دریچه‌ها و صدهای قلبی: نقایص دریچه‌ای و مادرزادی قلب	۲۰۵
فصل ۲۴: شوک گردش خون و درمان آن	۲۱۱

بخش ۵: کلیه و مایعات بدن. ۲۱۹.....

فصل ۲۵: تنظیم بخش‌های مایعات بدن: مایعات داخل سلولی و خارج سلولی؛ ادم	۲۲۱
فصل ۲۶: سیستم ادراری: تشریح عملکردی و تشکیل ادرار توسط کلیه‌ها	۲۳۲
فصل ۲۷: فیلتراسیون گلومرولی، جریان خون کلیه و کنترل آنها	۲۳۹
فصل ۲۸: ترشح و بازجذب توبولی کلیه	۲۴۶
فصل ۲۹: تغلیظ‌شدن و رقیق‌شدن ادرار؛ تنظیم اسمولاریته مایع خارج سلولی و غلظت سدیم	۲۵۹
فصل ۳۰: تنظیم کلیوی پتاسیم، کلسیم، فسفات و منیزیم؛ انسجام مکانیسم‌های کلیوی برای کنترل حجم خون و حجم مایع خارج سلولی	۲۶۹
فصل ۳۱: تنظیم اسید-باز	۲۸۲
فصل ۳۲: دیورتیک‌ها و بیماری‌های کلیوی	۲۹۵

بخش ۶: سلول‌های خونی، ایمنی و انعقاد خون. ۳۰۳.....

فصل ۳۳: گلبول‌های قرمز خون، آنمی و پلی‌سیتمی	۳۰۵
فصل ۳۴: مقاومت بدن در مقابل عفونت: I. لکوسیت‌ها، گرانولوسیت‌ها، سیستم منوسیت، ماکروفاژ و التهاب	۳۱۲
فصل ۳۵: مقاومت بدن در مقابل عفونت: II. ایمنی و آلرژی	۳۱۸

فصل ۳۶: گروه‌های خونی؛ تزریق خون؛ پیوند بافت و اعضا ۳۲۸
فصل ۳۷: هموستاز و انعقاد خون ۳۳۲

بخش ۷: تنفس ۳۴۱

فصل ۳۸: تهویه ریوی ۳۴۳
فصل ۳۹: گردش خون ریوی، ادم ریه، مایع جنب ۳۵۱
فصل ۴۰: قوانین فیزیکی تبادل گازها: انتشار اکسیژن و دی‌اکسید کربن از غشای تنفسی ۳۵۹
فصل ۴۱: انتقال اکسیژن و دی‌اکسید کربن در خون و مایعات بافتی ۳۶۸
فصل ۴۲: تنظیم تنفس ۳۷۴
فصل ۴۳: نارسایی تنفسی - پاتوفیزیولوژی، تشخیص و اکسیژن درمانی ۳۷۸

بخش ۸: فیزیولوژی هوانوردی، فضاوردی و غواصی در اعماق دریا . ۳۸۷

فصل ۴۴: فیزیولوژی هوانوردی، ارتفاعات زیاد و فضاوردی ۳۸۹
فصل ۴۵: فیزیولوژی غواصی در اعماق دریا و سایر حالت‌های پرفشار ۳۹۵

بخش ۹: سیستم عصبی: الف. اصول کلی و فیزیولوژی حسی ۴۰۱

فصل ۴۶: سازماندهی سیستم عصبی، اعمال اصلی سیناپس‌ها و میانجی‌های عصبی ۴۰۳
فصل ۴۷: گیرنده‌های حسی، مدارهای عصبی برای پردازش اطلاعات ۴۱۲
فصل ۴۸: حواس پیکری: I. سازماندهی عمومی، حس لامسه و حس وضعیت ۴۱۹
فصل ۴۹: حس‌های پیکری: II. درد، سردرد و حس‌های حرارتی . . ۴۲۸

بخش ۱۰: سیستم عصبی: ب. حس‌های ویژه. ۴۳۷

فصل ۵۰: چشم: I. اپتیک بینایی ۴۳۹
فصل ۵۱: چشم: II. عملکردهای عصبی و گیرنده‌های شبکیه ۴۴۵
فصل ۵۲: چشم: III. نوروفیزیولوژی مرکزی بینایی ۴۵۶
فصل ۵۳: حس شنوایی ۴۶۴
فصل ۵۴: حس‌های شیمیایی - چشایی و بویایی ۴۷۱

بخش ۱۱: سیستم عصبی: ج. نوروفیزیولوژی حرکتی و انسجامی ... ۴۷۷

- فصل ۵۵: عملکردهای حرکتی نخاع؛ رفلکس‌های نخاعی ... ۴۷۹
- فصل ۵۶: کنترل اعمال حرکتی توسط قشر و ساقه مغز ... ۴۸۸
- فصل ۵۷: مشارکت مخچه و هسته‌های قاعده‌ای در کنترل کلی حرکت ... ۴۹۸
- فصل ۵۸: قشر مغز، عملکردهای فکری مغز، یادگیری و حافظه ... ۵۱۱
- فصل ۵۹: سیستم لیمبیک و هیپوتالاموس - مکانیسم‌های رفتاری و انگیزشی مغز ... ۵۱۹
- فصل ۶۰: حالت‌های فعالیت مغز - خواب، امواج مغزی، صرع، روان‌پریشی و دمانس ... ۵۲۶
- فصل ۶۱: سیستم عصبی خودمختار و قشر غده فوق کلیه ... ۵۳۲
- فصل ۶۲: جریان خون مغز، مایع مغزی - نخاعی و متابولیسم مغز ... ۵۴۳

بخش ۱۲: فیزیولوژی دستگاه گوارش ... ۵۵۱

- فصل ۶۳: اصول کلی عملکرد دستگاه گوارش - حرکت، کنترل عصبی و گردش خون ... ۵۵۳
- فصل ۶۴: جلوراندن و مخلوط کردن غذا در لوله گوارش ... ۵۶۱
- فصل ۶۵: عملکردهای ترشحات لوله گوارش ... ۵۶۷
- فصل ۶۶: هضم و جذب در دستگاه گوارش ... ۵۷۵
- فصل ۶۷: فیزیولوژی اختلالات گوارشی ... ۵۸۳

بخش ۱۳: متابولیسم و تنظیم دما ... ۵۸۹

- فصل ۶۸: متابولیسم کربوهیدرات‌ها، و تشکیل آدنوزین تری فسفات ... ۵۹۱
- فصل ۶۹: متابولیسم چربی‌ها ... ۵۹۹
- فصل ۷۰: متابولیسم پروتئین‌ها ... ۶۰۹
- فصل ۷۱: کبد ... ۶۱۴
- فصل ۷۲: تعادل تغذیه‌ای؛ تنظیم غذاخوردن؛ چاقی و گرسنگی؛ ویتامین‌ها و مواد معدنی ... ۶۲۰
- فصل ۷۳: انرژی و میزان متابولیسم ... ۶۳۳
- فصل ۷۴: تنظیم دمای بدن و تب ... ۶۳۷

بخش ۱۴: غدد درون‌ریز و تولیدمثل ... ۶۴۳

- فصل ۷۵: مقدمه‌ای بر غدد درون‌ریز ... ۶۴۵

فصل ۷۶:	هورمون‌های هیپوفیزی و کنترل آنها توسط هیپوتالاموس	۶۵۲
فصل ۷۷:	هورمون‌های متابولیک تیروئید	۶۶۳
فصل ۷۸:	هورمون‌های قشر فوق کلیه	۶۷۲
فصل ۷۹:	انسولین، گلوکاگون و دیابت ملیتوس (شیرین)	۶۸۳
فصل ۸۰:	هورمون پاراتیروئید، کلسی‌تونین، متابولیسم کلسیم و فسفات، ویتامین D، استخوان و دندان‌ها	۶۹۴
فصل ۸۱:	دستگاه تناسلی و اعمال هورمونی مردانه	۷۰۴
فصل ۸۲:	فیزیولوژی زنان قبل از حاملگی و هورمون‌های زنانه	۷۱۰
فصل ۸۳:	حاملگی و شیردهی	۷۱۹
فصل ۸۴:	فیزیولوژی جنین و نوزاد	۷۲۸

بخش ۱۵: فیزیولوژی ورزش	۷۳۳
فصل ۸۵: فیزیولوژی ورزش	۷۳۵

نمایه	۷۴۳
--------------	------------

فیزیولوژی انسانی نظامی است که علوم پایه و پزشکی بالینی را با هم مرتبط می‌سازد. این علم جامع همه چیز را از مطالعه مولکول‌ها و اجزاء ریزسلولی تا مطالعه سیستم‌های اعضاء و تعاملات آنها دربرمی‌گیرد و به ما امکان زنده بودن می‌دهند. از آنجایی که فیزیولوژی انسانی حیطه‌ای است که به سرعت در حال گسترش است و حوزه وسیعی را دربر می‌گیرد، انبوه اطلاعات قابل استفاده بالقوه برای به کارگیری در پزشکی ممکن است چندان سودمند نباشد. بنابراین یکی از اهداف ما برای نوشتن این "همراه جیبی" این بود تا چکیده‌ای از این انبوه اطلاعات را در کتابی گردآوری کنیم که جهت حمل در جیب کت به اندازه کافی کوچک باشد و بتوان آن را در اغلب اوقات مورد استفاده قرار داد و در آن واحد از اصول پایه‌ای ضروری آن بهره برد.

این نسخه جیبی برای همراهی با چهاردهمین ویرایش درسامه فیزیولوژی پزشکی گایتون و هال طراحی شده است، و نمی‌تواند جایگزین نسخه اصلی باشد. بلکه هدف فشرده مهم‌ترین واقعیت‌ها و مفاهیم نسخه اصلی، روشی است که درک سریع اصول پایه فیزیولوژی را امکان‌پذیر سازد. برخی از مهم‌ترین جنبه‌های این همراه جیبی از این قرارند:

- این کتاب به عنوان راهنما برای استفاده دانشجویانی که تمایل به مرور سریع و مؤثر حجم زیادی از مطالب نسخه اصلی دارند طراحی شده است. عناوین بخش‌ها به اختصار مفاهیم اصلی پاراگراف‌های مربوطه را بیان می‌کنند. بنابراین دانشجو می‌تواند حجم زیادی از مفاهیم اصلی کتاب را با مطالعه عناوین پاراگراف‌ها به سرعت مرور کند.
 - جدول فهرست‌ها با نسخه اصلی مطابقت دارد، و هر موضوع به شماره صفحه خاصی از نسخه اصلی ارجاع داده شده است. همراه جیبی به موازات درسامه فیزیولوژی پزشکی روزآمد شده است.
 - اندازه کتاب کوچک شده است، بنابراین می‌تواند به عنوان یک منبع فوری اطلاعات در زمان نیاز به راحتی در جیب کت قرار داده شود.
- این همراه جیبی حاوی مهم‌ترین واقعیت‌های ضروری برای مطالعه فیزیولوژی است، اما جزئیات ضروری مفاهیم فیزیولوژیکی یا مثال‌های

بالینی فیزیولوژیکی نسخه اصلی دربر نمی‌گیرد. بنابراین ما پیشنهاد می‌کنیم که نسخه جیبی به همراه چهاردهمین ویرایش درسنامه فیزیولوژی پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.

دکتر مایکل هال، پزشک و متخصص داخلی، قلب و فیزیولوژی در تهیه این نسخه از خلاصه گایتون و همچنین ویرایش چهاردهم درسنامه فیزیولوژی پزشکی گایتون به ما ملحق شده‌اند.

ما از پیشنهاد دقیق و ارزشمند همه همکاران بخش‌های فیزیولوژی و بیوفیزیکی دانشگاه علوم پزشکی می‌سی‌سی‌پی قدردانی می‌کنیم. از استفانی لوکاس برای همکاری ارزشمند و از جیمز پرکینز برای تهیه شکل‌های عالی سپاسگزاریم. همچنین از کاتلین نام، ایس اُگرادی، مانیکاندان چاندارسکاران و تمام اعضای تیم انتشارات الزویر برای تلاش جهت فراهم‌آوری این اثر ارزشمند تشکر می‌نماییم.

ما تلاش کردیم تا این کتاب را تا حد امکان دقیق تهیه کنیم و امیدواریم که جهت مطالعه فیزیولوژی برای شما ارزشمند باشد. از نظرات و پیشنهادات شما برای بهتر کردن همراه جیبی همواره استقبال می‌کنیم.

دکتر جان هال

دکتر مایکل هال

جکسون، می‌سی‌سی‌پی

مقدمه

فیزیولوژی از جمله مباحث مهم و ضروری رشته‌های پزشکی، پیراپزشکی، داروسازی و دندانپزشکی است که به مطالعه چگونگی عملکرد دستگاه‌های تشکیل دهنده بدن می‌پردازد. علم فیزیولوژی با بررسی سازکارهای مختلف حاکم بر بدن، به تشخیص مرز بین سلامت و بیماری پرداخته و از این طریق اطلاعات جامعی را در اختیار دانشجویان و محققان علوم پزشکی قرار می‌دهد. کتاب حاضر که متنی فشرده و خلاصه از کتاب فیزیولوژی پزشکی گایتون می‌باشد، با هدف دسترسی سریع دانشجویان رشته‌های فوق به ویژه برای آمادگی در آزمون جامع علوم پایه، ترجمه و تدوین گردید و علیرغم حذف برخی بخش‌های بسیار مهم از کتاب اصلی، نظیر مثال‌های بالینی، می‌تواند کمک شایان توجهی برای دانشجویان عزیز در راه هدف اشاره شده باشد. قالب اصلی کتاب بر اساس کتاب فیزیولوژی پزشکی گایتون ویرایش چهاردهم تنظیم گردیده که می‌تواند نقطه قوتی برای آن محسوب شود. علیرغم تلاش فراوان مترجمین در ترجمه درست و روان متن اصلی، مطمئناً نقایصی نیز در این راه می‌توان مشاهده کرد که راهنمایی اساتید ارجمند و کاربران گرامی می‌تواند بهره‌گیری از مطالب کتاب را با غنای بیشتری همراه کند.

در پایان لازم می‌داند که مراتب امتنان و سپاس خود را از مترجم محترم سرکار خانم دکتر گلستان جهرمی و همچنین مدیریت محترم انتشارات ارجمند و همکاران پر تلاش ایشان در به بار نشستن این اثر علمی تقدیم دارد.

دکتر پروین بابایی

استاد دانشگاه علوم پزشکی گیلان

بخش ۱

مقدمه‌ای بر فیزیولوژی: سلول و فیزیولوژی عمومی

۱ سازمان‌بندی عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»

۲ سلول و عملکردهای آن

۳ کنترل ژنتیکی ساخت پروتئین، اعمال سلول و تولیدمثل سلول

سازمان بندی عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»

هدف علم فیزیولوژی، درک عملکرد موجودات زنده و بخش‌های مختلف بدن آنهاست. در فیزیولوژی انسانی، ما با ویژگی‌هایی از بدن انسان سر و کار داریم که به ما اجازه حس کردن محیط اطرافمان، حرکت کردن، فکر کردن، برقراری ارتباط، تولیدمثل امکان انجام کارهای مستلزم ادامه حیات را می‌دهد و کمک می‌کند تا به عنوان یک موجود زنده پیشرفت کنیم.

فیزیولوژی انسانی، علوم پایه و طب بالینی را به هم مرتبط می‌کند و عملکردهای مختلف مولکول‌ها و اجزای داخل سلولی، سلول‌ها، بافت‌ها و ارگان‌ها را با هم ادغام می‌کند تا انسان زنده بماند. لازمه این عملکرد، ارتباط و هماهنگی بین تعداد زیادی از سیستم‌های کنترل کننده است که در هر سطحی عمل می‌کنند. از ژن‌ها که ساخت برنامه‌ریزی شده مولکول‌ها را کنترل می‌کنند تا سیستم پیچیده عصبی و هورمونی که عملکردهای سلول‌ها، بافت‌ها و ارگان‌ها را در تمام بدن هماهنگ می‌کنند. زندگی انسان به طور قابل ملاحظه‌ای پیچیده‌تر از مجموع عملکردهای سلول‌های جداگانه، بافت‌ها و ارگان‌هاست.

سلول‌ها واحدهای زنده بدن هستند. هر عضو از مجموعه‌ای از سلول‌ها که به وسیله ساختمان‌های حمایتی بین سلولی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. در بدن انسان حدود ۳۵ تا ۴۰ تریلیون سلول وجود دارد که هر کدام از آنها برای انجام عملکرد اختصاصی خود، تطابق پیدا کرده است. عملکرد اختصاصی این سلول‌ها به وسیله سیستم‌های تنظیم‌کننده‌ای واقع در داخل سلول‌ها، بافت‌ها، عضو و یا سیستم بافتی تنظیم می‌شود.

اگرچه تعداد زیادی از سلول‌های بدن در عملکردهای اختصاصی خود با دیگر سلول‌ها تفاوت دارند، اما تمام آنها دارای خصوصیات پایه‌ای مشخصی هستند. به عنوان مثال، (۱) اکسیژن با مواد حاصل از تجزیه چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و یا پروتئین ترکیب می‌شود تا انرژی مورد نیاز برای عملکرد

سلول‌ها را تولید کند؛ (۲) بیشتر سلول‌ها قادر به تولید مثل هستند و چنانچه سلول‌ها از بین بروند، سلول‌های باقیمانده تکثیر یافته و سلول‌های جدیدی را تا جایگزینی کامل سلول‌های از دست رفته تولید می‌کنند؛ و (۳) سلول‌ها در مایع خارج سلولی قرار دارند که اجزای آن به دقت کنترل می‌شوند. میکروارگانیسم‌های موجود در بدن، از تعداد سلول‌های بدن انسان بیشتر هستند. اجتماع میکروارگانیسم‌ها را میکروبیوتا گویند که انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها هستند که بر روی پوست، داخل دهان، دستگاه گوارش، و بینی زندگی می‌کنند. به عنوان مثال دستگاه گوارش به طور طبیعی دارای جمعیت پویا و پیچیده‌ای از ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ گونه میکروارگانیسم است که تعداد آنها از سلول‌های انسان بیشتر است. این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند بیماری‌زا باشند اما معمولاً در یک هماهنگی با میزبان خودشان (انسان) زندگی می‌کنند و عملکردهای حیاتی از جمله ایمنی و هضم مواد غذایی که برای ادامه حیات ما ضروری است را بر عهده دارند.

مکانیسم‌های هومئوستازی، محیط داخلی بدن را تقریباً در یک سطح ثابت حفظ می‌کند.

اساساً تمام اعضا و بافت‌های بدن اعمالی را انجام می‌دهند که به حفظ ترکیب مایع خارج سلولی در یک سطح نسبتاً ثابت کمک می‌کنند، این وضعیت هومئوستاز^۱ نام دارد. بخش عمده‌ای از مباحث فیزیولوژی بر مکانیسم‌هایی تأکید دارد که به وسیله آنها سلول‌ها، بافت‌ها و اعضاء در هومئوستازیس شرکت می‌کنند.

سیستم انتقال و اختلاط مایع خارج سلولی: سیستم گردش خون
حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد بدن یک انسان بالغ را مایعات تشکیل می‌دهند که تقریباً $\frac{2}{3}$ این مایع درون سلول‌ها و $\frac{1}{3}$ در مایع خارج سلولی احاطه کننده سلول‌ها و گردش خون می‌باشند. مایع خارج سلولی در دو مرحله در بدن انتقال می‌یابد. مرحله اول حرکت خون در سیستم گردش خون و مرحله دوم حرکت مایع بین مویرگ‌های خونی و سلول‌ها می‌باشد. سیستم گردش خون، مایعات محیط داخلی را به طور پیوسته به وسیله پمپ خون به درون سیستم عروقی مخلوط می‌کند. هنگامی که خون از درون مویرگ‌ها عبور می‌کند، بخش عمده‌ای از این مایع به وسیله انتشار، از رگ خارج شده و وارد مایع

میان بافتی که بین سلول‌ها قرار دارد می‌شود. این عمل اجازه می‌دهد که تبادل مداوم مواد بین سلول‌ها و مایع میان‌بافتی و بین مایع میان‌بافتی و خون صورت گیرد.

منشأ مواد غذایی در مایع خارج سلولی

- سیستم تنفسی اکسیژن مورد نیاز بدن را فراهم می‌کند و دی‌اکسید کربن را دفع می‌کند.
- سیستم گوارشی هضم غذا و جذب مواد غذایی مختلف شامل کربوهیدرات‌ها، اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه به درون مایع خارج سلولی را بر عهده دارد.
- کبد ترکیب شیمیایی بسیاری از مواد جذب شده را به شکل‌های قابل استفاده‌تر تغییر می‌دهد و بافت‌های دیگر بدن (به عنوان مثال: سلول‌های چربی، کلیه‌ها، غدد اندوکرین) به تغییر مواد جذب شده کمک می‌کنند یا آنها را تا زمان نیاز ذخیره می‌سازند.
- سیستم عضلانی اسکلتی شامل عضلات اسکلتی، استخوان‌ها، تاندون، مفاصل، غضروف و رباط‌ها می‌باشد. بدون این سیستم بدن نمی‌تواند برای به دست آوردن مواد غذایی به محل مناسب برود. علاوه بر این، این سیستم از اعضاء داخلی محافظت و بدن را حمایت می‌کند.

حذف محصولات نهایی متابولیسم

- سیستم تنفسی نه تنها فراهم‌کننده اکسیژن برای مایع خارج سلولی است بلکه با آزاد کردن دی‌اکسید کربن تولیدشده توسط سلول‌ها، از خون به درون آلوئول‌ها و سپس آزاد کردن آن به محیط خارج، آن را از بدن دفع می‌کند.
- کلیه علاوه بر دی‌اکسید کربن، بیشتر مواد زائد را دفع می‌کند. کلیه با تنظیم دفع نمک، آب و مواد زائد ناشی از واکنش‌های شیمیایی سلول‌ها، نقش مهمی را در تنظیم ترکیب مایع خارج سلولی ایفا می‌کند. کلیه از طریق کنترل حجم مایعات بدن و ترکیبات آن، حجم خون و فشارخون را نیز تنظیم می‌نماید.
- کبد مواد زائد خاصی را که در بدن تولید شده و نیز مواد سمی که خورده شده‌اند را حذف می‌کند.
- دستگاه گوارش مواد هضم نشده و بعضی از فرآورده‌های زائد متابولیسم را از طریق مدفوع، دفع می‌کند.

تنظیم عملکردهای بدن

- سیستم عصبی: فعالیت سیستم عضلانی را هدایت می‌کند، بنابراین حرکت و جابجایی را میسر می‌سازد. همچنین عملکرد بسیاری از اعضای داخلی را از طریق سیستم عصبی خودمختار کنترل می‌کند، به ما اجازه می‌دهد تا محیط داخلی و خارجی مان را حس کنیم و هوشیار باشیم، بنابراین ما می‌توانیم بهترین شرایط را برای حیات فراهم کنیم.
- سیستم هورمونی: بسیاری از عملکردهای متابولیکی سلول‌ها مثل رشد، میزان متابولیسم و فعالیت‌های خاص مرتبط با تولیدمثل را کنترل می‌کند. هورمون‌ها به درون جریان خون ترشح می‌شوند و به تمام بافت‌های بدن حمل شده، تا به تنظیم عملکرد سلول کمک کنند.

محافظت از بدن

- سیستم ایمنی: با ایجاد مکانیسم دفاعی، بدن را در برابر عوامل بیگانه مثل باکتری‌ها و ویروس‌ها که بدن روزانه با آنها مواجه می‌شود محافظت می‌کند.
- سیستم پوششی: که عمدتاً از پوست تشکیل شده است، همانگونه که از بافت‌های زیرین خود در برابر دهیدراتاسیون (از دست دادن آب) حفاظت می‌کند، باعث حفاظت در مقابل آسیب و دفاع در برابر ورود عوامل بیگانه نیز می‌شود. پوست همچنین تنظیم دمای بدن را نیز بر عهده دارد.

تولیدمثل

سیستم تولیدمثل ایجاد افراد جدیدی شبیه به خودمان را بر عهده دارد. این عملکرد را حتی به عنوان یک عملکرد همئوستازی نیز مطرح کرده‌اند چرا که منجر به تولید افراد (بدن‌های) جدیدی با تریلیون‌ها سلول جدید می‌شود که در یک محیط داخلی تنظیم شده قرار دارند.

سیستم‌های کنترلی بدن

بدن انسان هزاران سیستم کنترلی دارد که برای همئوستاز ضروری هستند. به عنوان مثال سیستم‌های ژنتیکی در تمام سلول‌ها برای کنترل عملکردهای داخل و خارج سلولی، عمل می‌کنند. سیستم‌های کنترلی دیگر درون ارگان‌ها و یا در کل بدن برای کنترل تعاملات بین ارگان‌ها عمل می‌کنند. تنظیم غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی مثال خوبی از سیستم‌های کنترلی چندگانه است که با یکدیگر عمل می‌کنند. در این

مورد، سیستم تنفسی همراه با سیستم عصبی عمل می‌کند. هنگامی که غلظت دی‌اکسید کربن در خون به بالاتر از سطح طبیعی افزایش یابد، مرکز تنفس تحریک می‌شود و باعث می‌شود که شخص سریع‌تر و عمیق‌تر تنفس کند. این روند باعث افزایش خروج دی‌اکسید کربن و حذف آن از خون و مایع خارج سلولی می‌گردد که تا زمان بازگشت غلظت دی‌اکسید کربن به حد طبیعی ادامه می‌یابد.

دامنه طبیعی اجزای مهم مایع خارج سلولی

جدول ۱-۱ بعضی از اجزاء مهم مایع خارج سلولی را با مقدار طبیعی آنها، محدوده طبیعی و بالاترین حدی که برای زمان کوتاهی می‌توان تحمل کرد، بدون اینکه باعث مرگ شود را نشان می‌دهد. به محدوده باریک میزان طبیعی دقت کنید، مقادیر خارج از این محدوده معمولاً باعث بیماری می‌شوند یا به دنبال بروز یک بیماری ایجاد می‌شوند.

ویژگی‌های سیستم‌های کنترلی

بیشتر سیستم‌های کنترلی بدن از طریق فیدبک منفی عمل می‌کنند. برای تنظیم غلظت دی‌اکسید کربن همان‌طور که بحث شد، غلظت بالای دی‌اکسید کربن در مایع خارج سلولی، تهویه ریوی را افزایش می‌دهد که منجر به کاهش غلظت دی‌اکسید کربن تا سطح طبیعی می‌شود. این یک مثال از فیدبک منفی است، هرگونه محرکی که غلظت دی‌اکسید کربن را تغییر دهد، به وسیله پاسخی که نسبت به محرک اولیه منفی است، خنثی می‌گردد.

میزان کارایی یک سیستم کنترلی برای حفظ یک وضعیت ثابت به وسیله بهره فیدبک منفی تعیین می‌گردد. از طریق فرمول زیر، بهره محاسبه می‌گردد:

$$\text{بهره} = \frac{\text{اصلاح}}{\text{خطا}}$$

بعضی از سیستم‌های کنترلی مثل تنظیم دمای بدن، بهره فیدبکی به بزرگی ۳۳- دارد که به طور ساده به این معنا است که میزان اصلاح ۳۳ برابر بزرگتر از باقی‌ماندن خطا است.

سیستم کنترلی فیدفوروارد یا پیش‌گستر^۱، تغییرات را پیش‌بینی می‌کند. به دلیل ارتباطات متعدد داخلی بین سیستم‌های کنترلی، ممکن

جدول ۱-۱ بعضی از اجزاء مهم مایع خارج سلولی و خصوصیات فیزیکی آنها، محدوده طبیعی کنترل و محدوده تقریبی غیرمرگبار آنها برای دوره‌های زمانی کوتاه

متغیر	واحد	میانگین سطح طبیعی	محدوده طبیعی	محدوده تقریبی غیرمرگبار
اکسیژن (وریدی)	mmHg	۴۰	۲۵-۴۰	۱۰-۱۰۰۰
دی‌اکسید کربن (وریدی)	mmHg	۴۵	۴۱-۵۱	۵-۸۰
یون سدیم	mmol/L	۱۴۲	۱۳۵-۱۴۵	۱۱۵-۱۷۵
یون پتاسیم	mmol/L	۴/۲	۳/۵-۵/۳	۱/۵-۹/۰
یون کلسیم	mmol/L	۱/۲	۱/۰-۱/۴	۰/۵-۲/۰
یون کلر	mmol/L	۱۰۶	۹۸-۱۰۸	۷۰-۱۳۰
یون بیکربنات	mmol/L	۲۴	۲۲-۲۹	۸-۴۵
گلوکز	mg/dL	۹۰	۷۵-۱۱۵	۲۰-۱۵۰۰
دمای بدن	°F(°C)	۹۸/۴ (۳۷/۰)	۹۸-۹۸/۸ (۳۷/۰)	۶۵-۱۱۰ (۱۸/۳-۴۳/۳)
اسید - باز	pH	۷/۴	۷/۳-۷/۵	۶/۹-۸/۰

است کنترل نهایی یک عملکرد خاص بدن، پیچیده‌تر از آن باشد که برای یک فیدبک منفی ساده محاسبه می‌شود. به عنوان مثال بعضی از حرکات بدن آن قدر سریع رخ می‌دهند که زمان کافی برای انتقال سیگنال‌های عصبی از بعضی از قسمت‌های محیطی بدن به مغز و سپس بازگشت به موقع سیگنال به اندام محیطی برای کنترل حرکت وجود ندارد. بنابراین، مغز از کنترل پیش‌گستر برای ایجاد انقباضات عضلانی مورد نیاز استفاده می‌کند. پیام‌های عصبی حسی که از قسمت‌های در حال حرکت به مغز می‌رسند، مغز را از صحت حرکت که مورد انتظار مغز بوده است آگاه می‌کنند، اگر حرکت صحیح نبود، مغز بار دیگر که به حرکت نیاز باشد، پیام‌های پیش‌گستر را که به عضلات

می‌فرستد، اصلاح می‌کند. این پدیده را کنترل سازشی^۱ می‌گویند، که به عبارت دیگر، فیدبک منفی تأخیری است.

فیدبک مثبت گاهی اوقات منجر به دور باطل و مرگ می‌شود و در بقیه مواقع می‌تواند مفید باشد. سیستمی که فیدبک مثبت در پاسخ به یک اختلال نشان می‌دهد، با تغییراتی که ایجاد می‌کند باعث تشدید اختلال شده، بیش از آنکه بتواند پایداری ایجاد کند، باعث ناپایداری می‌شود. به عنوان مثال، خونریزی شدید باعث کاهش فشارخون تا حد پایین می‌گردد، به طوری که جریان خون به سمت قلب برای حفظ پمپ قلبی کافی نخواهد بود. در نتیجه فشارخون بیشتر کاهش می‌یابد، جریان خون به قلب کاهش بیشتری پیدا می‌کند و باعث ضعف بیشتر قلب می‌شود. در هر سیکل، این فیدبک منجر به تشدید وضعیت موجود می‌شود که فیدبک مثبت یا دور باطل نام دارد.

در برخی موارد، بدن از فیدبک مثبت به نفع خود بهره می‌برد. پیام‌های عصبی مثالی از این مورد هستند. هنگامی که غشای یک فیبر عصبی تحریک می‌شود، نشت کم یون‌های سدیم به داخل سلول باعث باز شدن تعداد بیشتری کانال، ورود مقدار بیشتر یون سدیم، تغییر بیشتر در پتانسیل غشا می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد. بنابراین یک نشت کوچک یون‌های سدیم به داخل سلول منجر به انفجار ورود سدیم به داخل فیبر عصبی شده که در نهایت باعث ایجاد پتانسیل عمل عصبی می‌شود.

تنوع فیزیولوژیکی

هر چند بعضی از متغیرهای فیزیولوژیکی مثل غلظت پلاسمایی یون‌ها، به‌دقت تنظیم می‌شوند، ولی بعضی از متغیرهای دیگر مثل وزن بدن و چاقی در مراحل مختلف زندگی، و حتی در ساعت‌های مختلف در طول یک روز، تغییرات وسیعی را بین افراد مختلف نشان می‌دهند. فشارخون، میزان متابولیسم، فعالیت سیستم عصبی، هورمون‌ها و سایر متغیرهای فیزیولوژیکی در طول روز با حرکت کردن ما به اطراف و مشغول شدن به فعالیت‌های روزمره تغییر می‌کنند. بنابراین هنگامی که ما در مورد مقدار "طبیعی" صحبت می‌کنیم با در نظر گرفتن این واقعیت است که بسیاری از سیستم‌های کنترل کننده بدن دائماً نسبت به آشفتگی‌ها و اختلالات واکنش نشان می‌دهند و این اختلاف‌ها بین افراد مختلف بسته به وزن بدن و قد، رژیم غذایی، سن، جنس، محیط، ژنتیک و سایر عوامل وجود دارد. این تنوع فیزیولوژیکی پیچیده است اما

هنگامی که فیزیولوژی حالت طبیعی و پاتوفیزیولوژی بیماری‌ها را مورد بحث قرار می‌دهیم، توجه به آنها مهم است.

خلاصه - خودکاری بدن

بدن اجتماع منظمی از چندین تریلیون سلول است که به صورت ساختارهای عملکردی متفاوتی سازماندهی شده‌اند بزرگ‌ترین آن‌ها عضو نام دارد. هر ساختار عملکردی یا عضو، در حفظ ثبات محیط داخلی کمک می‌کند. تا زمانی که هومئوستاز حفظ شود، سلول‌های بدن به حیات و عملکردهای خود ادامه می‌دهند. بنابراین هر سلول از هومئوستاز سود می‌برد و در حفظ هومئوستاز نیز مشارکت می‌کند. این همکاری متقابل، خودکاری دائمی بدن را تا زمانی که یک یا چند دستگاه عملکردی نتوانند در این امر مشارکت کنند، حفظ می‌کند. وقتی خودکاری بدن مختل شود، تمام سلول‌های بدن از این اختلال متاثر می‌شوند و آسیب خواهند دید. اختلال شدید عملکردی منجر به مرگ می‌شود در حالی که اختلال متوسط منجر به بیماری خواهد شد.