

# فهرست مطالب

- بخش ۱: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی: سلول و فیزیولوژی عمومی** ..... ۱۵
- فصل ۱
- سازمان عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی» ..... ۱۷
- فصل ۲
- سلول و عملکردهای آن ..... ۲۴
- فصل ۳
- کنترل ژنتیکی ساخت پروتئین، اعمال سلول و تولیدمثل سلول ..... ۳۶
- بخش ۲: فیزیولوژی غشاء، عصب و عضله** ..... ۴۷
- فصل ۴
- انتقال مواد از غشای سلولی ..... ۴۹
- فصل ۵
- پتانسیل غشا و پتانسیل عمل ..... ۵۶
- فصل ۶
- انقباض عضله اسکلتی ..... ۶۳
- فصل ۷
- تحریک عضله اسکلتی: انتقال عصبی عضلانی و جفت شدن تحریک انقباض ..... ۷۲
- فصل ۸
- تحریک و انقباض عضله صاف ..... ۷۷
- بخش ۳: قلب** ..... ۸۳
- فصل ۹
- عضله قلبی؛ قلب به عنوان یک پمپ و عملکرد دریچه‌های قلب ..... ۸۵
- فصل ۱۰
- تحریک ریتمیک قلب ..... ۹۴
- فصل ۱۱
- الکتروکاردیوگرام طبیعی ..... ۹۹
- فصل ۱۲
- تفسیر اختلالات الکتروکاردیوگرافی عضله قلبی و جریان خون کرونر:
- تحلیل برداری ..... ۱۰۳
- فصل ۱۳
- آرتمی‌های قلبی و تفسیر الکتروکاردیوگرافی آنها ..... ۱۰۸

**بخش ۴: گردش خون ..... ۱۱۳**

فصل ۱۴

کلیات گردش خون، بیوفیزیک فشار، جریان و مقاومت ..... ۱۱۵

فصل ۱۵

قابلیت اتساع عروق و عملکردهای سیستم شریانی و وریدی ..... ۱۲۲

فصل ۱۶

گردش خون در عروق کوچک و سیستم لنفاوی: تبادل مایع در مویرگ‌ها،

مایع میان‌بافتی، و جریان لنف ..... ۱۲۹

فصل ۱۷

تنظیم هومورال و موضعی جریان خون بافت ..... ۱۴۰

فصل ۱۸

تنظیم عصبی گردش خون، و کنترل سریع فشار شریانی ..... ۱۵۱

فصل ۱۹

نقش کلیه‌ها در تنظیم درازمدت فشار شریانی و افزایش فشار

خون: سیستم جامع تنظیم فشار شریانی ..... ۱۶۰

فصل ۲۰

برون‌ده قلبی، بازگشت وریدی و تنظیم آنها ..... ۱۷۳

فصل ۲۱

جریان خون عضله و برون‌ده قلبی حین ورزش؛ گردش خون کرونر و

بیماری ایسکمی قلب ..... ۱۸۰

فصل ۲۲

نارسایی قلبی ..... ۱۸۸

فصل ۲۳

دریچه‌ها و صداها: قلبی: نقایص دریچه‌ای و مادرزادی قلب ..... ۱۹۵

فصل ۲۴

شوک گردش خون و درمان آن ..... ۲۰۱

**بخش ۵: کلیه و مایعات بدن ..... ۲۰۹**

فصل ۲۵

بخش‌های مایعات بدن: مایعات داخل سلولی و خارج سلولی؛ ادم ..... ۲۱۱

فصل ۲۶

سیستم ادراری: تشریح عملکردی و تشکیل ادرار توسط کلیه‌ها ..... ۲۲۲

فصل ۲۷

فیلتراسیون گلومرولی، جریان خون کلیه و کنترل آنها ..... ۲۲۹

فصل ۲۸

ترشح و بازجذب توپولی کلیه ..... ۲۳۶

فصل ۲۹

تغلیظ شدن و رقیق شدن ادرار؛ تنظیم اسمولاریته مایع خارج سلولی و غلظت سدیم..... ۲۴۸

فصل ۳۰

تنظیم کلیوی پتاسیم، کلسیم، فسفات و منیزیم؛ انسجام مکانیسم‌های کلیوی برای کنترل حجم خون و حجم مایع خارج سلولی..... ۲۵۸

فصل ۳۱

تنظیم اسید-باز..... ۲۷۱

فصل ۳۲

دیورتیک‌ها، بیماری‌های کلیوی..... ۲۸۴

**بخش ۶: سلول‌های خونی، ایمنی و انعقاد خون..... ۲۹۳**

فصل ۳۳

گلبول‌های قرمز خون، آنمی و پلی‌سیمی..... ۲۹۵

فصل ۳۴

مقاومت بدن در مقابل عفونت: I. لکوسیت‌ها، گرانولوسیت‌ها، سیستم منوسیت، ماکروفاژ و التهاب..... ۳۰۱

فصل ۳۵

مقاومت بدن در مقابل عفونت: II. ایمنی و آلرژی..... ۳۰۷

فصل ۳۶

گروه‌های خونی؛ تزریق خون؛ پیوند بافت و اعضا..... ۳۱۶

فصل ۳۷

هموستاز و انعقاد خون..... ۳۲۰

**بخش ۷: تنفس..... ۳۲۷**

فصل ۳۸

تهویه ریوی..... ۳۲۹

فصل ۳۹

گردش خون ریوی، ادم ریه، مایع جنب..... ۳۳۷

فصل ۴۰

قوانین فیزیکی تبادل گازها: انتشار اکسیژن و دی‌اکسید کربن از غشای تنفسی..... ۳۴۴

فصل ۴۱

انتقال اکسیژن و دی‌اکسید کربن در خون و مایعات بافتی..... ۳۵۲

فصل ۴۲

تنظیم تنفس..... ۳۵۸

فصل ۴۳

نارسایی تنفسی - پاتوفیزیولوژی، تشخیص و اکسیژن درمانی ..... ۳۶۲

**بخش ۸: فیزیولوژی هوانوردی، فضاوردی و غواصی در اعماق دریا ... ۳۷۱**

فصل ۴۴

فیزیولوژی هوانوردی، ارتفاعات زیاد و فضاوردی ..... ۳۷۳

فصل ۴۵

فیزیولوژی غواصی در اعماق دریا و سایر حالت‌های پرفشار ..... ۳۷۸

**بخش ۹: سیستم عصبی: الف. اصول کلی و فیزیولوژی حسی ..... ۳۸۳**

فصل ۴۶

سازماندهی سیستم عصبی، اعمال اصلی سیناپس‌ها و میانجی‌های

عصبی ..... ۳۸۵

فصل ۴۷

گیرنده‌های حسی، مدارهای عصبی برای پردازش اطلاعات ..... ۳۹۳

فصل ۴۸

حواس پیکری: I. سازماندهی عمومی، حس لامسه و حس وضعیت .. ۳۹۹

فصل ۴۹

حس‌های پیکری: II. درد، و حس‌های حرارتی ..... ۴۰۷

**بخش ۱۰: سیستم عصبی: ب. حس‌های ویژه ..... ۴۱۷**

فصل ۵۰

چشم: I. اپتیک بینایی ..... ۴۱۹

فصل ۵۱

چشم: II. عملکردهای عصبی و گیرنده‌های شبکه ..... ۴۲۵

فصل ۵۲

چشم: III. نوروفیزیولوژی مرکزی بینایی ..... ۴۳۵

فصل ۵۳

حس شنوایی ..... ۴۴۲

فصل ۵۴

حس‌های شیمیایی - چشایی و بویایی ..... ۴۴۹

**بخش ۱۱: سیستم عصبی: ج. نوروفیزیولوژی حرکتی و انسجامی ..... ۴۵۵**

فصل ۵۵

عملکردهای حرکتی نخاع؛ رفلکس‌های نخاعی ..... ۴۵۷

فصل ۵۶	کنترل اعمال حرکتی توسط قشر و ساقه مغز.....	۴۶۵
فصل ۵۷	مشارکت مخچه و هسته‌های قاعده‌ای در کنترل کلی حرکت.....	۴۷۵
فصل ۵۸	قشر مغز، عملکردهای فکری مغز، یادگیری و حافظه.....	۴۸۸
فصل ۵۹	مکانیسم‌های رفتاری و انگیزشی مغز - سیستم لیمبیک و هیپوتالاموس.....	۴۹۶
فصل ۶۰	حالت‌های فعالیت مغز - خواب، امواج مغزی، صرع، روان‌پریشی و دمانس.....	۵۰۳
فصل ۶۱	سیستم عصبی خودمختار و قشر غده فوق کلیه.....	۵۰۹
فصل ۶۲	جریان خون مغز، مایع مغزی - نخاعی و متابولیسم مغز.....	۵۲۰

### **بخش ۱۲: فیزیولوژی دستگاه گوارش..... ۵۲۹**

فصل ۶۳	اصول کلی عملکرد دستگاه گوارش حرکت، کنترل عصبی و گردش خون.....	۵۳۱
فصل ۶۴	انتقال و مخلوط کردن غذا در لوله گوارش.....	۵۳۸
فصل ۶۵	عملکردهای ترشحی لوله گوارش.....	۵۴۴
فصل ۶۶	هضم و جذب در دستگاه گوارش.....	۵۵۲
فصل ۶۷	فیزیولوژی اختلالات گوارشی.....	۵۵۹

### **بخش ۱۳: متابولیسم و تنظیم دما..... ۵۶۵**

فصل ۶۸	متابولیسم کربوهیدرات‌ها، و تشکیل آدنوزین تری فسفات.....	۵۶۷
فصل ۶۹	متابولیسم چربی‌ها.....	۵۷۵
فصل ۷۰	متابولیسم پروتئین‌ها.....	۵۸۵

.....	فصل ۷۱
۵۹۰	کبد به عنوان یک اندام.....
.....	فصل ۷۲
.....	تعادل تغذیه‌ای؛ تنظیم غذا خوردن؛ چاقی و گرسنگی؛ ویتامین‌ها و مواد معدنی.....
۵۹۶	.....
.....	فصل ۷۳
۶۰۹	انرژی و میزان متابولیسم.....
.....	فصل ۷۴
۶۱۳	تنظیم دمای بدن و تب.....
.....	<b>بخش ۱۴: غدد درون‌ریز و تولید مثل</b>
.....	<b>۶۱۹</b>
.....	فصل ۷۵
۶۲۱	مقدمه‌ای بر غدد درون‌ریز.....
.....	فصل ۷۶
۶۲۸	هورمون‌های هیپوفیزی و کنترل آنها توسط هیپوتالاموس.....
.....	فصل ۷۷
۶۳۹	هورمون‌های متابولیک تیروئید.....
.....	فصل ۷۸
۶۴۸	هورمون‌های قشر فوق کلیه.....
.....	فصل ۷۹
۶۵۹	انسولین، گلوکاگون و دیابت ملیتوس.....
.....	فصل ۸۰
.....	هورمون پاراتیروئید، کلسی‌تونین، متابولیسم کلسیم و فسفات، ویتامین D، استخوان و دندان‌ها.....
۶۶۹	.....
.....	فصل ۸۱
۶۷۸	دستگاه تناسلی و اعمال هورمونی مردانه (و عملکرد غده پینتال).....
.....	فصل ۸۲
۶۸۴	فیزیولوژی زنان قبل از حاملگی و هورمون‌های زنانه.....
.....	فصل ۸۳
۶۹۳	حاملگی و شیردهی.....
.....	فصل ۸۴
۷۰۲	فیزیولوژی جنین و نوزاد.....
.....	<b>بخش ۱۵: فیزیولوژی ورزش</b>
.....	<b>۷۰۷</b>
.....	فصل ۸۵
۷۰۹	فیزیولوژی ورزش.....
.....	<b>نمایه</b>
.....	<b>۷۱۷</b>

فیزیولوژی انسانی نظامی است که علوم پایه و پزشکی بالینی را با هم مرتبط می‌سازد. این علم، جامع بوده و همه چیز را از مطالعه مولکول‌ها و اجزاء ریز سلولی تا مطالعه سیستم‌های اعضا و تعاملات آنها را دربر می‌گیرد که به ما امکان زنده بودن را می‌دهند. از آنجایی که فیزیولوژی انسانی حیطة‌ای 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 جیب‌کت به اندازه کافی کوچک باشد و بتوان آن را در اغلب اوقات مورد استفاده قرار داد، در حالی که حاوی اصول پایه ضروری فیزیولوژی برای مطالعه طب نیز باشد.

این همراه جیبی برای همراهی با دوازدهمین ویرایش درسنامه فیزیولوژی پزشکی گایتون و هال طراحی شده است، و نمی‌تواند جایگزین نسخه اصلی باشد. بلکه بیشتر، هدف این بوده که یک مرور فشرده از مهم‌ترین واقعیت‌ها و مفاهیم نسخه اصلی، فراهم شود و به روشی ارائه شود 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 این کتاب را ابتدا 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 درسنامه فیزیولوژی پزشکی روزآمد شده است.

اندازه کتاب کوچک شده است، بنابراین می‌تواند به عنوان یک منبع فوری اطلاعات در زمان نیاز به راحتی در جیب‌کت قرار داده شود.

هر چند این همراه جیبی حاوی مهم‌ترین واقعیت‌های ضروری برای مطالعه فیزیولوژی است، اما جزئیاتی که مفاهیم فیزیولوژیکی را غنی می‌سازند یا مثال‌های غیرطبیعی بالینی فیزیولوژیکی که در نسخه اصلی وجود دارد در بر نمی‌گیرد. بنابراین ما پیشنهاد می‌کنیم که همراه جیبی به همراه دوازدهمین ویرایش در سنامه فیزیولوژی پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.

من از کار دقیق تک‌تک همکاران در تهیه این کتاب سپاسگزاری می‌کنم. نویسندگان همکار براساس دانش فیزیولوژی و توانایی آنها برای ارائه مؤثر اطلاعات به دانشجویان انتخاب شده‌اند.

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.

**John E. Hall, PhD**

**جکسون، می‌سی‌سی‌پی**



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 سیزدهم 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 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 سازمان عملی بدن انسان و کنترل «محیط داخلی»

۲ سلول و عملکردهای آن

۳ کنترل ژنتیکی ساخت پروتئین، اعمال سلول و تولیدمثل سلول



## سازمان 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 و انجام کارهایی که ادامه حیات را برای ما میسر می‌کند، را می‌دهد و کمک می‌کند تا به عنوان یک موجود زنده پیشرفت کنیم. فیزیولوژی انسانی، موضوع گسترده‌ای است که این مباحث را دربر می‌گیرد: عملکرد مولکول‌ها و اجزاء سلولی؛ بافت‌ها، ارگان‌ها و سیستم‌های آن؛ مثل سیستم قلبی عروقی؛ و تعامل و ارتباطات بین اجزاء. چهره متفاوت فیزیولوژی این است که در جستجوی راهی است تا عملکرد تمام قسمت‌های بدن را در کنار یکدیگر قرار دهد تا بتوان عملکرد کل بدن انسان را درک کرد. زندگی انسان تحت این عملکرد کلی قرار دارد که 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 ۷۵ تا ۱۰۰ تریلیون سلول وجود دارد. عملکرد اختصاصی این سلول‌ها به وسیله سیستم‌های تنظیم‌کننده‌ای که در داخل سلول‌ها، بافت‌ها، عضو و یا سیستم بافتی عمل می‌کنند، 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 طبیعی 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 مواد تشکیل دهنده آن به دقت

## 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<sup>۱</sup> نام دارد. بخش عمده‌ای از مباحث فیزیولوژی بر مکانیسم‌هایی تأکید دارد که به وسیله آنها سلول‌ها، بافت‌ها و اعضا در هومئوستازیس شرکت می‌کنند.

## سیستم انتقال و اختلاط مایع خارج سلولی و سیستم گردش خون، سیستم گردش خون

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 میان‌بافتی 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 آزادکردن 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.

### 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 خارجی‌مان 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، 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 محافظت می‌کند.
- سیستم پوششی: که عمدتاً از پوست تشکیل شده است، همانگونه که از بافت‌های زیرین خود در برابر دهیدراتاسیون (از دست‌دادن آب) محافظت 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 هومئوستازی نیز مطرح کرده‌اند چرا که منجر به تولید افراد (بدن‌های) جدیدی با تریلیون‌ها سلول اضافی می‌شود که در یک محیط داخلی تنظیم شده قرار دارند.

## سیستم‌های کنترلی بدن

بدن انسان هزاران سیستم کنترلی دارد که برای هومئوستاز ضروری هستند. به عنوان مثال سیستم‌های ژنتیکی در تمام سلول‌ها برای کنترل عملکردهای داخل و خارج سلولی، انجام وظیفه 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.

## 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.



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

متغیر	واحد	میانگین سطح طبیعی	محدوده طبیعی	محدوده تقریبی غیرمرگبار
اکسیژن	mmHg	۴۰	۳۵-۴۵	۱۰-۱۰۰۰
دی‌اکسید کربن (وریدی)	mmHg	۴۵	۴۰-۵۰	۵-۸۰
یون سدیم	mmol/L	۱۴۲	۱۳۸-۱۴۶	۱۱۵-۱۷۵
یون پتاسیم	mmol/L	۴/۲	۳/۸-۵/۰	۱/۵-۹/۰
یون کلسیم	mmol/L	۱/۲	۱/۰-۱/۴	۰/۵-۲/۰
یون کلر	mmol/L	۱۰۶	۱۰۳-۱۱۲	۷۰-۱۳۰
یون بیکربنات	mmol/L	۲۴	۲۲-۲۹	۸-۴۵
گلوکز	mg/dL	۹۰	۷۵-۹۵	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

میزان کارایی یک سیستم کنترلی برای حفظ یک وضعیت ثابت به وسیله بهره‌فیدبک 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، بهره‌فیدبکی 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<sup>۱</sup>، تغییرات را پیش‌بینی می‌کند.** به دلیل ارتباطات متعدد داخلی بین سیستم‌های کنترلی، ممکن است کنترل نهایی یک عملکرد خاص بدن، پیچیده‌تر از آن باشد که برای یک

1. feed forward

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 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<sup>۱</sup> 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.

## **خلاصه - خودکاری بدن**

بدن اجتماع منظمی از حدود ۱۰۰ 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. اختلال شدید عملکردی منجر به مرگ می‌شود در حالی که اختلال متوسط منجر به بیماری خواهد شد.

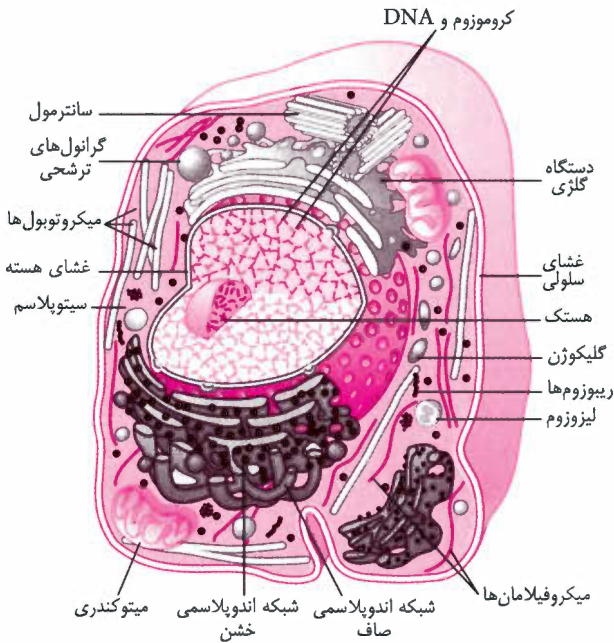
## سلول و عملکردهای آن

## سازماندهی سلول

شکل ۱-۲ نمونه‌ای از یک سلول را که دارای هسته و سیتوپلاسم است نشان می‌دهد که این دو به وسیله غشای هسته از یکدیگر جدا شده‌اند. سیتوپلاسم از مایع میان‌بافتی که در اطراف سلول‌ها قرار دارد، به وسیله غشای سلولی جدا می‌شود. مواد تشکیل‌دهنده سلول را در مجموع پروتوپلاسم می‌نامند که به طور عمده شامل موارد زیر می‌باشد:

- آب که ۷۰٪ تا ۸۵٪ بیشتر سلول‌ها را تشکیل می‌دهد.
- یون‌ها الکترولیت‌ها / مواد شیمیایی غیرآلی برای واکنش‌های سلولی را فراهم می‌کنند. بعضی از مهم‌ترین یون‌های سلول عبارتند از: پتاسیم، منیزیم، فسفات، سولفات، بیکربنات و به نسبت کمتری سدیم، کلر و کلسیم.
- پروتئین‌ها به طور معمول ۱۰ تا ۲۰ درصد توده سلولی را شامل می‌شوند. آنها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: پروتئین‌های ساختمانی و پروتئین‌های کرومی (عملکردی) که اکثر آنزیم هستند.
- لیپیدها حدود ۲٪ کل توده سلولی را شامل می‌شوند. لیپیدهای مهم سلولی عبارتند از: فسفولیپیدها، کلسترول، تری‌گلیسریدها و چربی‌های خنثی. در سلول‌های چربی<sup>۱</sup>، تری‌گلیسریدها تا ۹۵٪ توده سلولی را تشکیل می‌دهند و نمایانگر مخزن اصلی انرژی بدن هستند.
- کربوهیدرات‌ها نقش مهمی را در تغذیه سلول بازی می‌کنند. بیشتر سلول‌های انسانی، مقادیر زیادی از کربوهیدرات را ذخیره نمی‌کنند. به طور میانگین حدود ۱٪ از کل حجم سلول را کربوهیدرات تشکیل می‌دهد در حالی که این مقدار در سلول‌های عضلانی تا ۳٪ و در سلول‌های کبدی تا ۶٪ نیز می‌رسد. مقدار کمی کربوهیدرات در سلول‌ها به شکل گلیکوژن که پلیمر نامحلول گلوکز می‌باشد، ذخیره می‌گردد.

1. adipocyte



**شکل ۲-۱.** نمونه‌ای از یک سلول؛ که اندامک‌های داخل سیتوپلاسم و هسته را نشان می‌دهد.

## ساختمان فیزیکی سلول

سلول (تصویر ۱-۲) صرفاً کیسه‌ای که از مایع و مواد شیمیایی پر شده باشد، نیست، بلکه دارای ساختارهای فیزیکی بسیار سازمان‌یافته‌ای است که اندامک (ارگانل) نام دارد. بعضی از اندامک‌های اصلی سلول عبارتند از: غشای سلولی، غشای هسته، شبکه اندوپلاسمی، دستگاه گلژی، میتوکندری، لیزوزوم‌ها و سانتیول‌ها.

### سلول و اندامک‌های آن به وسیله غشایی متشکل از لیپیدها و

**پروتئین‌ها احاطه شده‌اند.** غشاهایی که سلول و اندامک‌های آن را احاطه می‌کند شامل غشای سلولی، غشای هسته و غشاهای شبکه اندوپلاسمی، میتوکندری، لیزوزوم و دستگاه گلژی می‌باشند. این غشاها سدی را ایجاد می‌کنند که از حرکت آزادانه آب و مواد محلول در آب از یک بخش سلول به دیگر قسمت‌ها جلوگیری می‌کنند. پروتئین‌ها معمولاً در غشا نفوذ کرده و راه‌هایی (کانال‌هایی) را ایجاد می‌کنند که به مواد خاصی اجازه عبور از غشا را

می‌دهند.

### غشای سلولی یک دو لایه لیپیدی است که پروتئین‌ها در آن جای

**گرفته‌اند.** دو لایه لیپیدی عمدتاً متشکل از فسفولیپیدها، اسفنگولیپیدها و کلسترول می‌باشند. فسفولیپیدها فراوان‌ترین لیپیدهای سلول می‌باشند که یک قسمت محلول در آب (آب‌دوست) و یک بخش محلول در چربی (آب‌گریز) دارند. بخش آب‌گریز فسفولیپیدها در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند در حالی که قسمت‌های آب‌دوست، دو سطح غشا را که از داخل در تماس با سیتوپلاسم سلول و از بیرون در تماس با مایع میان‌بافتی است را می‌پوشانند. این غشای دو لایه لیپیدی به شدت نسبت به مواد محلول در چربی مثل اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و الکل نفوذپذیر است اما به عنوان یک سد بزرگ برای مواد محلول در آب مثل یون‌ها و گلوکز عمل می‌کند. پروتئین‌ها در این دو لایه لیپیدی شناور هستند، بیشتر این پروتئین‌ها گلیکوپروتئین‌ها هستند (پروتئین‌هایی که با کربوهیدرات‌ها ترکیب شده‌اند).

دو نوع پروتئین غشایی وجود دارد: پروتئین‌های سرتاسری<sup>۱</sup> که از تمام ضخامت غشا عبور می‌کنند و پروتئین‌های محیطی<sup>۲</sup> که به سطح داخلی غشا چسبیده‌اند و به درون آن نفوذ نمی‌کنند. بسیاری از پروتئین‌های سرتاسری کانال‌های ساختمانی (سوراخ‌هایی) را ایجاد می‌کنند که از طریق آنها مواد محلول در آب به خصوص یون‌ها، انتشار می‌یابند. سایر پروتئین‌های سرتاسری به عنوان پروتئین‌های حامل برای انتقال مواد عمل می‌کنند، که گاهی اوقات مولکول‌ها را برخلاف شیب آنها برای انتشار، انتقال می‌دهند. پروتئین‌های سرتاسری همچنین می‌توانند به عنوان گیرنده‌هایی برای مواد، مثل هورمون‌های پپتیدی که به راحتی قادر به نفوذ به غشای سلولی نیستند، عمل کنند.

پروتئین‌های محیطی به طور طبیعی به یکی از پروتئین‌های سرتاسری متصل‌اند و معمولاً به عنوان آنزیم‌هایی که واکنش‌های شیمیایی سلول را کاتالیز می‌کنند، عمل می‌کنند.

کربوهیدرات‌های غشایی به طور عمده در ترکیب با پروتئین‌ها و لیپیدها به شکل گلیکوپروتئین‌ها و گلیکولیپیدها هستند. بخش‌های "گلیکوی" این مولکول‌ها معمولاً به خارج از سلول برآمده‌اند. بیشتر ترکیبات کربوهیدراتی دیگر، که پروتئوگلیکان نام دارند، ترکیبات کربوهیدرات اصلی هستند که به وسیله هسته‌های پروتئینی کوچکی به یکدیگر وصل شده‌اند و به طور سستی به سطح خارجی غشا متصل شده‌اند، بنابراین تمام سطح خارجی سلول

معمولاً یک پوشش سست کربوهیدراتی به نام گلیکوکالیکس دارد. کربوهیدرات‌های موجود بر روی سطح خارجی سلول چندین عملکرد دارند: (۱) معمولاً دارای بار منفی هستند که منجر به دفع مولکول‌های با بار منفی می‌شوند؛ (۲) گلیکوکالیکس سلول‌ها ممکن است به یکدیگر متصل شوند (بنابراین موجب چسبیدن سلول‌ها به یکدیگر می‌شود)؛ (۳) برخی از کربوهیدرات‌ها به عنوان گیرنده‌هایی برای اتصال هورمون‌ها عمل می‌کنند؛ و (۴) بخشی از کربوهیدرات‌ها در واکنش‌های ایمنی که در فصل ۳۴ شرح داده شده است، شرکت می‌کنند.

### شبکه اندوپلاسمی<sup>۱</sup> سنتز مواد متعددی را در سلول بر عهده

**دارد.** شبکه اندوپلاسمی که شبکه بزرگی از توپول‌ها و وزیکول‌ها است، تقریباً به تمام بخش‌های سیتوپلاسم نفوذ می‌کند. غشای شبکه اندوپلاسمی، سطح بسیار وسیعی را برای ساخت بسیاری از مواد که در درون سلول مورد استفاده قرار می‌گیرند و یا توسط بعضی از سلول‌ها رهایش می‌یابند را ایجاد می‌کند. این مواد شامل: پروتئین‌ها؛ کربوهیدرات‌ها؛ لیپیدها؛ و ساختمان‌های دیگر مثل لیزوزوم‌ها، پراکسی‌زوم‌ها، و گرانول‌های ترشحی هستند. لیپیدها در درون دیواره شبکه اندوپلاسمی ساخته می‌شوند. برای ساخت پروتئین‌ها، ریبوزوم‌ها به سطح خارجی شبکه اندوپلاسمی دانه‌دار<sup>۲</sup> متصل می‌شوند. این ریبوزوم‌ها در ارتباط با RNA پیامبر جهت ساخت بسیاری از پروتئین‌ها کار می‌کنند که این پروتئین‌ها سپس وارد شبکه گلژی شده و در آنجا قبل از اینکه رهایش یابند یا در سلول مورد استفاده قرار گیرند، دچار تغییراتی می‌شوند.

قسمتی از شبکه اندوپلاسمی که فاقد ریبوزوم‌های متصل شده می‌باشد را به عنوان شبکه اندوپلاسمی غیردانه‌دار و یا صاف<sup>۳</sup> می‌شناسند. شبکه اندوپلاسمی غیردانه‌دار عمل سنتز مواد لیپیدی و نیز دیگر فرایندهای سلولی که به وسیله آنزیم‌های داخلی شبکه اندوپلاسمی صورت می‌گیرند را بر عهده دارند.

### دستگاه گلژی در ارتباط با شبکه اندوپلاسمی عمل می‌کند. دستگاه

گلژی دارای غشایی شبیه به غشای شبکه اندوپلاسمی غیردانه‌دار است و در سلول‌های ترشحی نقش برجسته‌ای دارد. مکان قرارگیری دستگاه گلژی در سمتی از سلول است که مواد ترشحی به بیرون ریخته می‌شوند. وزیکول‌های انتقالی کوچک، که وزیکول‌های ER نیز گفته می‌شوند، به طور پیوسته از ER جوانه می‌زنند و سپس به دستگاه گلژی می‌پیوندند. بدین

1. endoplasmic reticulum

2. granular endoplasmic reticulum

3. smooth (agranular) endoplasmic reticulum

ترتیب، موادی که در وزیکول‌های ER به دام انداخته شده‌اند از ER به دستگاه گلژی منتقل می‌شوند. سپس مواد در دستگاه گلژی پردازش می‌شوند تا لیزوزوم‌ها، وزیکول‌های ترشحی و دیگر اجزای سیتوپلاسمی را بسازند.

**لیزوزوم‌ها سیستم هضمی درون سلولی هستند.** لیزوزوم‌ها، که در تعداد زیاد در بسیاری از سلول‌ها یافت می‌شوند، وزیکول‌های کروی کوچکی هستند که به وسیله یک غشا احاطه شده‌اند و حاوی آنزیم‌های هضمی می‌باشند؛ این آنزیم‌ها به لیزوزوم اجازه می‌دهند که ساختمان مواد داخل سلولی به خصوص ساختارهای سلولی آسیب دیده، تکه‌های مواد غذایی که وارد سلول شده‌اند، و مواد ناخواسته‌ای مثل باکتری را در هم بشکنند.

غشای احاطه کننده لیزوزوم معمولاً از تماس آنزیم‌های محصور شده در لیزوزوم با مواد دیگر در سلول جلوگیری می‌کند و بنابراین از عمل هضمی آنها جلوگیری می‌نماید. هنگامی که این غشاها دچار آسیب شوند، آنزیم‌ها رهایش یافته و مواد آلی را به اجزاء بسیار قابل انتشار مثل اسیدهای آمینه و گلوکز تجزیه می‌کنند.

**میتوکندری آزادکننده انرژی در سلول است.** برای تأمین سوخت واکنش‌های شیمیایی سلول، باید منبع انرژی کافی موجود باشد. این انرژی عمدتاً به وسیله واکنش شیمیایی اکسیژن با سه دسته از مواد غذایی تأمین می‌گردد: گلوکزی که از تجزیه کربوهیدرات‌ها فراهم می‌گردد، اسیدهای چرب که از چربی‌ها مشتق می‌شود، و اسیدهای آمینه که ناشی از تجزیه پروتئین‌ها است. بعد از ورود مواد غذایی به سلول، به مولکول‌های کوچکتري شکسته می‌شوند، که در ابتدا وارد میتوکندری شده، و در آنجا آنزیم‌های دیگری دی‌اکسید کربن و یون‌های هیدروژن را در فرآیندی به نام چرخه اسید سیتریک حذف می‌کنند.

سیستم آنزیمی اکسیداتیو، که در میتوکندری وجود دارد، باعث اکسیداسیون پیشرونده اتم‌های هیدروژن می‌شود. محصولات نهایی واکنش‌های میتوکندریایی آب و دی‌اکسید کربن می‌باشند. انرژی آزاد شده به وسیله میتوکندری برای ساخت ماده دیگری به نام آدنوزین تری فسفات (ATP)، مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک ماده شیمیایی بسیار فعال است و می‌تواند به سراسر سلول انتشار یابد تا هنگامی که برای انجام عملکردهای سلول انرژی لازم است، انرژی خود را آزاد سازد.

میتوکندری دارای خاصیت خودتکثیرشونده<sup>۱</sup> است، به این معنا که هنگامی که سلول نیاز به مقدار بیشتری ATP دارد یک میتوکندری می‌تواند

1. self-replicative



دومین و سومین میتوکندری و نیز تعداد بیشتری را به وجود آورد.

### اندامک‌ها و ساختمان‌های سیتوپلاسمی بسیاری وجود دارند.

بدن صدها نوع سلول وجود دارد که هر کدام ساختار ویژه‌ای دارند. برای مثال برخی سلول‌ها ساختار محکمی و تعداد زیادی ساختارهای توپولی یا فیلامانی دارند که از پروتئین‌های رشته‌ای ساخته شده‌اند. این ساختمان‌های توپولی به عنوان اسکلت سلولی عمل کرده، ساختارهای فیزیکی سختی را برای قسمت‌های خاصی از سلول ایجاد می‌کنند. بعضی از ساختارهای توپولی به نام میکروتوبول‌ها می‌توانند مواد را از یک ناحیه در سلول به مناطق دیگر انتقال دهند.

یکی از عملکردهای مهم بسیاری از سلول‌ها ترشح مواد ویژه‌ای، مثل آنزیم‌های هضمی می‌باشد. تقریباً تمام مواد به وسیله سیستم گلژی - شبکه اندوپلاسمی شکل می‌گیرند و درون وزیکول‌های ذخیره‌ای به نام وزیکول‌های ترشحی به درون سیتوپلاسم ره‌ایش می‌یابند. بعد از دوره ذخیره در سلول، از طریق غشای سلولی به بیرون ریخته می‌شوند تا در هر جایی از بدن مورد استفاده قرار گیرند.

### هسته مرکز کنترل سلول است و حاوی مقادیر زیادی DNA که

**ژن نیز نامیده می‌شوند، می‌باشد.** ژن‌ها تعیین‌کننده خصوصیات پروتئین‌های سلول، از جمله آنزیم‌های سیتوپلاسمی هستند. ژن‌ها همچنین کنترل‌کننده تولیدمثل می‌باشند. در ابتدا طی فرایندی به نام میتوز، خودشان را تکثیر می‌کنند که باعث ایجاد دو سلول دختری می‌شوند که هر کدام از آنها یکی از دو مجموعه ژن‌ها را دریافت می‌کند.

غشای هسته‌ای که پوشش هسته‌ای نیز نام دارد، هسته را از سیتوپلاسم جدا می‌سازد. این ساختار از ۲ غشا تشکیل شده است: غشای خارجی که در امتداد شبکه اندوپلاسمی است، و فضای بین دو غشای هسته‌ای که در ارتباط با فضای داخل ER است. هر دو لایه غشا به وسیله چندین هزار منفذ هسته‌ای که تقریباً قطر ۱۰۰ نانومتری دارند، سوراخ شده‌اند.

هسته در بیشتر سلول‌ها حاوی یک یا تعداد بیشتری ساختار به نام هستک است، که برخلاف بیشتر اندامک‌ها به وسیله غشا احاطه نشده است. هستک حاوی مقادیر زیادی RNA و پروتئین‌هایی از نوع پروتئین‌های یافت شده در ریبوزوم‌ها می‌باشد. هستک‌ها زمانی که سلول به صورت فعال در حال ساخت پروتئین‌هاست، بزرگ می‌شوند. RNA ریبوزومی در هستک ذخیره می‌گردد و سپس از طریق منافذ غشای هسته‌ای به سیتوپلاسم منتقل می‌گردند، جایی که ریبوزوم‌های بالغ در تشکیل پروتئین‌ها نقش مهمی دارند، ساخته می‌شوند.