

مهدی یادگاری فیزیولوژی انسانی

مهدی یادگاری

استادیار فیزیولوژی ورزشی
عضو هیئت علمی دانشگاه لرستان

فهرست

پیشگفتار و مقدمه مؤلف ۷

بخش اول

ماهیت علم فیزیولوژی انسانی ۱۰

تاریخچه علم فیزیولوژی انسانی ۱۲
سیستم‌های بیولوژیکی ۱۲

بخش دوم

هموستاز ۱۵

هوموستاز (Homeostasis) ۱۶
مثالی برای درک هموستاز ۱۶
هموستاز در زیست شناسی ۱۶
جنبه‌های مهم هموستاز در بدن انسان ۱۶
سیستم‌های کنترل کننده هموستاز ۱۷
فیدبک منفی (Negative Feedback) ۱۷
فیدبک مثبت (Positive Feedback) ۱۸

بخش سوم

متابولیسم و دستگاه‌های انرژی ۲۵

متابولیسم (Metabolism) ۲۶
متابولیسم سلولی ۲۷
سطوح و تقسیم بندی متابولیسم سلولی ۲۷
تنظیم سیگنال‌های آنابولیک و کاتابولیک ۲۸
انرژی سلولی و درشت مغذی ها ۲۹
چربی‌ها (Fats/Lipids) ۲۹
پروتئین‌ها (Proteins) ۲۹
کربوهیدرات‌ها (Carbohydrates) ۲۹
ATP - واحد پول انرژی سلول ۳۰
ساختار ATP ۳۰
چرخه کربس ۳۷
تجزیه اسید چرب یا بتااکسیداسیون ۳۸

چرخه انتقال الکترون (Electron Transport Chain).....	۴۱
تجزیه پروتئین (Protein hydrolysis).....	۴۳

بخش چهارم

سیستم عصبی ۴۵

فیزیولوژی دستگاه عصبی.....	۴۶
سیستم عصبی مرکزی.....	۴۶
سیستم عصبی محیطی.....	۴۷
مایع مغزی نخاعی.....	۴۹
نورون و نورون زایی.....	۴۹
ساختار نورون.....	۵۰
انواع نورون از نظر ساختار.....	۵۱
انواع نورون از نظر عملکرد.....	۵۲
عملکرد نورون.....	۵۵
سیناپس.....	۵۵
انتقال دهنده عصبی.....	۵۸
فعالیت‌های الکتریکی عصب.....	۶۴
پتانسیل عمل: مکانیسم الکتروفیزیولوژیک هدایت پیام عصبی.....	۶۴

بخش پنجم

عضله اسکلتی ۶۶

بافت عضلانی.....	۶۷
انواع عضله.....	۶۷
ویژگی‌های ساختاری و سلولی عضله صاف.....	۶۸
مکانیسم جفت شدن تحریک و انقباض عضله صاف.....	۶۸
طبقه بندی عملکردی عضلات صاف.....	۶۹
عوامل تنظیمی.....	۶۹
عضله قلبی.....	۷۰
ویژگی‌های مورفولوژیک و آناتومی میکروسکوپی.....	۷۰
صفحات بینابینی و سینسیتیوم عملکردی.....	۷۱
مکانیسم جفت شدن تحریک-انقباض و نقش کلسیم.....	۷۲
مکانیسم‌های شل شدن عضله (دیاستول).....	۷۲
عضله اسکلتی.....	۷۳
تار عضله اسکلتی و ویژگی‌های سلولی.....	۷۳
سارکولم، لایه سطحی و پیوند با بافت همبند.....	۷۳

توبول‌های T: رساندن سریع پیام به عمق سلول.....	۷۳
سارکوپلاسم و اجزای عمومی آن (بدون ورود به پروتئین‌های انقباضی).....	۷۴
سازمان دهی بافت همبند: اپی میوزیوم، پری میوزیوم، اندومیوزیوم.....	۷۴
ساختار و تنظیم مولکولی رشته‌های نازک (اکتین).....	۷۶
فعالیت ATPase سر میوزین.....	۷۹
عملکرد بافت عضلانی.....	۸۰
انواع تار عضلات اسکلتی.....	۸۰
واحد حرکتی (Motor unit): سازمان دهی عصبی-عضلانی حرکت.....	۸۲
اصل همه یا هیچ (All-or-None Principle).....	۸۳
چرخه انقباض عضله.....	۸۳
نقش ATP در چرخه انقباض.....	۸۷
آتروفی عضلانی.....	۸۹
اتولوژی، تظاهرات و رویکردهای درمانی.....	۸۹
طبقه بندی علل آتروفی.....	۸۹
استراتژی‌های درمانی.....	۹۰
رویکردهای پیشگیرانه.....	۹۰
جمود نعشی (Rigor Mortis).....	۹۱
آثار قطع عصب عضله.....	۹۱

بخش ششم

غدد و هورمون	۹۴
غدد درون ریز و هورمون.....	۹۵
سیستم‌های بازخوردی یا فیدبک.....	۹۷
ریتم شبانه روزی هورمون.....	۹۸
سازو و کار تحریک غدد.....	۹۹
انتقال، تخریب و نیمه عمر هورمون.....	۱۰۲
انواع هورمون به لحاظ ساختار شیمیایی.....	۱۰۴
هورمون‌های آزاد کننده و بازدارنده هیپوتالاموس.....	۱۰۶
غدد درون ریز انسانی.....	۱۰۸
غده فوق کلیه و هورمون‌های آن.....	۱۰۹
هورمون‌های بخش خلفی هیپوفیز.....	۱۲۳
هورمون‌های غده پانکراس یا لوزالمعده.....	۱۲۶
غده پاراتیروئید و هورمون آن (Parathyroid Glands).....	۱۳۴
پوکی استخوان یا استئوپروز.....	۱۳۵

بخش هفتم

۱۳۶

دستگاه قلبی عروقی

۱۳۷	 ساختار قلب
۱۳۹	 عصب گیری قلب
۱۴۰	 خونسازی قلب
۱۴۳	 کنترل بیرونی عملکرد قلبی
۱۴۶	 پتانسیل عمل قلبی
۱۴۷	 فیزیولوژی انقباض میوکارد
۱۴۹	 الکتروکاردیوگرام (Electrocardiogram)
۱۵۱	 زوج تحریک - انقباض (Excitation-contraction coupling)
۱۶۱	 عروق و خون

بخش هشتم

۱۷۸

دستگاه تنفس

۱۷۹	 بافت شناسی ریه
۱۸۲	 تهویه ریوی (Pulmonary Ventilation)
۱۸۵	 کنترل تهویه
۱۸۷	 گیرنده های مکانیکی تنظیم تنفس
۱۸۸	 گیرنده های شیمیایی کنترل تنفس
۱۹۰	 تنظیم ارادی تنفس
۱۹۴	 انتشار ریوی
۱۹۶	 انتقال گازها در خون
۱۹۹	 تبادل گاز در عضله

فیزیولوژی انسانی به عنوان یکی از شاخه‌های بنیادی علوم زیستی، نقشی اساسی در تبیین سازوکارهای عملکردی بدن انسان ایفا می‌کند. این علم به مطالعه عملکردها و فرایندهایی می‌پردازد که حیات بیولوژیکی انسان را شکل می‌دهند؛ دانشی که پیشینه آن به قرن‌ها پیش از میلاد بازمی‌گردد. از این منظر، مطالعه فیزیولوژی را می‌توان به نوعی مطالعه خود زندگی دانست.

فیزیولوژی انسانی به بررسی عملکرد سلول‌ها، بافت‌ها، اندام‌ها و دستگاه‌های مختلف بدن و نیز نحوه تعامل آن‌ها با یکدیگر و با محیط پیرامون می‌پردازد. این علم به ما می‌آموزد که اندام‌ها و سیستم‌های بدن چگونه عمل می‌کنند، چگونه با یکدیگر ارتباط برقرار می‌سازند و چگونه در قالب یک سامانه هماهنگ، شرایط لازم برای حفظ بقا و تعادل درونی بدن را فراهم می‌کنند.

رشته‌های دانشگاهی متعددی از جمله فیزیولوژی ورزشی، پزشکی، پرستاری و علوم پیراپزشکی، ارتباطی مستقیم و عمیق با فیزیولوژی انسانی دارند و بخش قابل توجهی از مبانی نظری این علوم بر اصول و یافته‌های فیزیولوژی استوار است. بدیهی است که بدون شناخت دقیق از عملکرد طبیعی بدن انسان، تحلیل و تبیین بسیاری از پدیده‌های مرتبط با سلامت، بیماری و عملکرد بدنی امکان‌پذیر نخواهد بود.

کتاب حاضر تلاشی است برای ارائه متنی علمی و آموزشی بر اساس سرفصل‌های مصوب درس «فیزیولوژی انسانی»، با هدف ارتقای درک مفاهیم پایه برای دانشجویان رشته‌های تربیت بدنی و علوم ورزشی، پزشکی، پرستاری و سایر رشته‌های پیراپزشکی. در انتخاب و سازمان‌دهی مطالب این اثر، کوشش شده است تا میان موضوعات مختلف پیوندی منطقی و انسجامی مفهومی برقرار گردد، به گونه‌ای که خواننده بتواند تصویری روشن، تحلیلی و یکپارچه از این دانش بنیادین به دست آورد. همچنین با افزودن توضیحات تکمیلی، تصاویر آموزشی، جمع‌بندی‌های مفهومی و ساختار منظم مطالب، تلاش شده است زمینه درک عمیق‌تر مفاهیم برای خواننده فراهم شود.

امید است این اثر بتواند برای دانشجویان و علاقه‌مندان حوزه فیزیولوژی انسان، منبعی سودمند در تعمیق دانش نظری و الهام بخش پژوهش‌ها و مطالعات آتی باشد. بی‌تردید این مجموعه نیز همچون سایر کتب علمی خالی از کاستی نیست؛ از این رو از دیدگاه‌ها و پیشنهادهای ارزشمند استادان، پژوهشگران و خوانندگان گرامی برای بهبود و تکمیل چاپ‌های آینده استقبال می‌شود.

مهدی یادگاری، عضو هیئت علمی دانشگاه لرستان

آغاز این کتاب را به نام و نغمه ی مولانا مزین می‌کنم، تا سخن با نور او راه پیوید.

از جمادی مردم و نامی شدم
مردم از حیوانی و آدم شدم
حمله ی دیگر بمیرم از بشر
وز ملک هم بایدم جستن ز جو
بار دیگر از ملک قربان شوم
پس عدم گردم چون ارغنون
مرگ دان آنک اتفاق امتست
همچو نیلوفر برو زین طرف جو
مرگ او آبست و او جویای آب
ای فسرده عاشق ننگین نمد
سوی تیغ عشقش ای ننگ زنان
جوی دیدی کوزه اندر جوی ریز
آب کوزه چون در آب جو شود
وصف او فانی شد و ذاتش بقا
خویش را بر نخل او آویختم

وز نما مردم به حیوان برزدم
پس چه ترسم کی ز مردن کم شدم
تا بر آرم از ملایک پر و سر
کل شیء هالک الا وجهه
آنچ اندر وهم ناید آن شوم
گویدم که انا الیه راجعون
کاب حیوانی نهان در ظلمتست
همچو مستسقی حریص و مرگ جو
می خورد والله اعلم بالصواب
کو ز بیم جان ز جانان می‌رمد
صد هزاران جان نگر دستک زنان
آب را از جوی کی باشد گریز
محو گردد در وی و جو او شود
زین سپس نه کم شود نه بدلقا
عذر آن را که ازو بگریختم

تقدیم به

عشق، که جان جهان است و به انسان‌های وارسته‌ای که با سکوت شریف
و قدم‌های استوار، معنای انسان بودن را زنده نگاه می‌دارند.



بخش اول

ماہیت علم فیزیولوژی انسانے



فیزیولوژی (Physiology) علم مطالعه‌ی عملکرد طبیعی موجودات زنده است. این علم شاخه‌ای از زیست‌شناسی به شمار می‌آید و به بررسی سازوکارهای حیات در سطوح مختلف سازمان یافتگی زیستی می‌پردازد؛ از مولکول‌ها و سلول‌ها گرفته تا بافت‌ها، اندام‌ها و دستگاه‌های بدن. در فیزیولوژی، علاوه بر شناخت ساختارهای زیستی، چگونگی عملکرد آن‌ها و نحوه‌ی تعامل اجزای مختلف بدن برای حفظ حیات و ایجاد یک ارگانیسم زنده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مطالعه فیزیولوژی پیشینه‌ای دیرینه دارد و ریشه‌های آن به اندیشه‌های علمی دوران باستان، دست کم چند قرن پیش از میلاد، بازمی‌گردد. با پیشرفت دانش و ظهور روش‌های نوین تحقیقاتی از مشاهدات تجربی اولیه تا تکنیک‌های پیشرفته مولکولی و سلولی درک انسان از سازوکارهای عملکردی بدن به تدریج گسترش یافته است. این پیشرفت‌ها موجب شده است تا شناخت ما از اجزای بدن انسان، شیوه ارتباط میان دستگاه‌های مختلف و فرایندهای حیاتی که بقای انسان را ممکن می‌سازند، عمیق‌تر و دقیق‌تر شود.

در متون علمی، فیزیولوژی معمولاً چنین تعریف می‌شود: فیزیولوژی شاخه‌ای از زیست‌شناسی است که به مطالعه عملکردها و فعالیت‌های موجود زنده و نیز پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با آن‌ها می‌پردازد. این بررسی‌ها می‌تواند در سطوح مختلفی از سازمان زیستی انجام شود؛ از عملکرد سلول‌ها و بافت‌ها گرفته تا فعالیت اندام‌ها و دستگاه‌های بدن.

چند نکته اساسی درباره علم فیزیولوژی عبارت‌اند از:

- فیزیولوژی به مطالعه فرایندها و سازوکارهایی می‌پردازد که حیات موجودات زنده را امکان‌پذیر می‌سازند.
- پیشینه این علم به مطالعات علمی دوران باستان، دست کم چند قرن پیش از میلاد، بازمی‌گردد.
- اصول و یافته‌های فیزیولوژی در حوزه‌های گوناگونی همچون پزشکی، علوم ورزشی، ایمنی‌شناسی و زیست‌شناسی تکاملی کاربرد دارند.

مطالعه فیزیولوژی، در معنایی گسترده، مطالعه بویایی زندگی است. این علم می‌کوشد به پرسش‌هایی بنیادین درباره چگونگی عملکرد بدن موجودات زنده و نحوه تعامل آن‌ها با محیط پیرامون پاسخ دهد. پژوهش‌های فیزیولوژیک نشان می‌دهند که اندام‌ها و دستگاه‌های بدن چگونه عمل می‌کنند، چگونه با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و چگونه مجموعه این فرایندها در جهت حفظ تعادل درونی بدن و تداوم حیات سازمان می‌یابند.

فیزیولوژی حوزه‌ای گسترده از زیست‌شناسی انسان را دربر می‌گیرد و خود به شاخه‌های تخصصی متعددی تقسیم می‌شود. هر یک از این شاخه‌ها به بررسی جنبه‌ای خاص از عملکرد بدن می‌پردازند؛ از فیزیولوژی سلولی که به مطالعه فعالیت اندام‌ها و فرایندهای درون سلول می‌پردازد، تا حوزه‌هایی گسترده‌تر مانند اکوفیزیولوژی که به بررسی تعامل موجودات زنده با محیط زیست و سازگاری‌های فیزیولوژیک آن‌ها می‌پردازد.

در جهان امروز، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های پژوهش در این علم، فیزیولوژی کاربردی انسان است. این شاخه با تمرکز بر عملکرد سیستم‌های زیستی در سطوح مختلف از سلول و بافت گرفته تا اندام، دستگاه و کل ارگانیسم می‌کوشد درکی عمیق‌تر از سازوکارهای عملکردی بدن انسان فراهم آورد و زمینه را برای کاربرد این دانش در حوزه‌هایی همچون پزشکی، سلامت و علوم ورزشی مهیا سازد.

تاریخچه علم فیزیولوژی انسانی

مطالعه پدیده‌های فیزیولوژیک و تلاش برای درک سازوکارهای حیات، پیشینه‌ای طولانی در تاریخ اندیشه بشری دارد و ریشه‌های آن را می‌توان در تمدن‌های باستانی، از جمله مصر و هند، جست و جو کرد. در این تمدن‌ها، نخستین تلاش‌ها برای شناخت عملکرد بدن انسان و تبیین علل سلامت و بیماری شکل گرفت. با این حال، شکل‌گیری رویکردی نظام مند و علمی به مطالعه عملکرد بدن انسان را معمولاً به دوران بقراط (حدود ۴۲۰ سال پیش از میلاد) نسبت می‌دهند. بقراط که از او به عنوان پدر علم پزشکی یاد می‌شود، با تأکید بر مشاهده و استدلال در بررسی پدیده‌های زیستی، زمینه ساز تحول در مطالعه بدن انسان شد.

در طول قرن‌های بعد، پیشرفت‌های علمی و فناوری نقش مهمی در گسترش دانش فیزیولوژی ایفا کردند. یکی از نقاط عطف در این مسیر، اختراع و توسعه میکروسکوپ در قرن هفدهم بود. میکروسکوپ امکان مشاهده ساختارهای ریز و سلول‌هایی را که بدن انسان را تشکیل می‌دهند فراهم ساخت و بدین ترتیب، افق‌های تازه‌ای برای مطالعه سازوکارهای حیاتی گشود. این پیشرفت به درک عمیق‌تر از ساختار و عملکرد سلول‌ها و بافت‌ها انجامید و پایه‌های فیزیولوژی نوین را تقویت کرد.

در دوران معاصر نیز پیشرفت‌های فناورانه همچنان نقش تعیین‌کننده‌ای در توسعه این علم داشته‌اند. ابزارهایی همچون فناوری‌های تعیین توالی ژن، روش‌های پیشرفته زیست مولکولی و انواع فناوری‌های تصویربرداری و اسکن‌های پیشرفته بدن، امکان بررسی دقیق‌تر عملکرد دستگاه‌ها و سامانه‌های بدن را فراهم کرده‌اند. این دستاوردها به فیزیولوژیست‌ها کمک کرده است تا درک جامع‌تر و دقیق‌تری از نحوه عملکرد سیستم‌های مختلف بدن انسان به دست آورند و ارتباط میان فرایندهای مولکولی، سلولی و اندامی را بهتر تبیین کنند.

سیستم‌های بیولوژیکی

در فیزیولوژی انسان، عملکرد بدن در قالب مجموعه‌ای از دستگاه‌ها و سامانه‌های زیستی بررسی می‌شود که هر یک وظایف ویژه‌ای را بر عهده دارند، اما در عین حال به صورت هماهنگ و یکپارچه با یکدیگر عمل می‌کنند. مهم‌ترین سیستم‌های بیولوژیکی مورد مطالعه در فیزیولوژی انسان عبارت‌اند از:

۱) سیستم گردش خون (Circulatory System)

این سیستم از قلب، رگ‌های خونی و خون تشکیل شده است و وظیفه اصلی آن انتقال اکسیژن، مواد مغذی، هورمون‌ها و سایر مواد ضروری به بافت‌ها و نیز بازگرداندن مواد زائد از آن‌هاست. مطالعه این سیستم، شناخت سازوکار گردش خون در شرایط طبیعی و نیز در وضعیت‌های بیماری‌زا را امکان‌پذیر می‌سازد.

۲) سیستم گوارش و دفع مواد زائد (Digestive/Excretory System)

این سیستم فرایند دریافت، هضم، جذب و دفع مواد غذایی را از دهان تا انتهای لوله گوارش در بر می‌گیرد. در بررسی این سیستم، اندام‌هایی مانند دهان، مری، معده، روده‌ها، کبد، لوزالمعده و بخش‌هایی از دستگاه دفع مورد توجه قرار می‌گیرند. کارکرد اصلی این دستگاه، تبدیل غذا به مواد قابل جذب و انرژی‌زا و در نهایت دفع مواد غیرقابل استفاده از بدن است.



۳) سیستم غدد درون ریز (Endocrine System)

سیستم غدد درون ریز مسئول تولید و ترشح هورمون هاست؛ پیام رسان‌های شیمیایی‌ای که فعالیت سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های مختلف را تنظیم می‌کنند. از مهم‌ترین غدد درون ریز می‌توان به هیپوفیز، تیروئید، پاراتیروئید، غدد فوق کلیوی، لوزالمعده و غدد جنسی اشاره کرد. این سیستم از طریق تنظیم دقیق هورمونی، نقش مهمی در رشد، متابولیسم، تولیدمثل، تعادل داخلی بدن و پاسخ به استرس ایفا می‌کند.

۴) سیستم ایمنی (Immune System)

سیستم ایمنی سامانه دفاعی بدن در برابر عوامل بیماری‌زا، مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر پاتوژن‌هاست. این سیستم از اجزایی مانند گلبول‌های سفید، مغز استخوان، تیموس، طحال، غدد لنفاوی و شبکه لنفاوی تشکیل شده است. عملکرد ایمنی بدن از طریق تعامل پیچیده‌ای میان سلول‌ها، گیرنده‌ها، آنتی‌بادی‌ها، سیتوکین‌ها و سایر مولکول‌های دفاعی برقرار می‌شود.

۵) سیستم پوششی (Integumentary System)

سیستم پوششی شامل پوست، مو، ناخن‌ها، غدد عرق و غدد چربی است. این سیستم نخستین سد دفاعی بدن در برابر محیط خارجی به شمار می‌آید و از بدن در برابر آسیب‌های مکانیکی، عوامل بیماری‌زا، اتلاف آب و تغییرات محیطی محافظت می‌کند. افزون بر این، در تنظیم دمای بدن، دریافت محرک‌های حسی و سنتز ویتامین D نیز نقش دارد.

۶) سیستم عضلانی اسکلتی (Musculoskeletal System)

این سیستم از استخوان‌ها، عضلات، مفاصل، تاندون‌ها، رباط‌ها و غضروف‌ها تشکیل شده است و در ایجاد حرکت، حفظ وضعیت بدن، پشتیبانی ساختاری و محافظت از اندام‌های داخلی نقش دارد. در مطالعه این سیستم، موضوعاتی مانند انقباض عضلانی، استحکام استخوان، ذخیره مواد معدنی به ویژه کلسیم و فسفات، و نیز نقش مغز استخوان در خون‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۷) سیستم عصبی (Nervous System)

سیستم عصبی شامل دستگاه عصبی مرکزی، یعنی مغز و نخاع، و دستگاه عصبی محیطی است. این سیستم مسئول دریافت، پردازش و انتقال اطلاعات در بدن است و هماهنگی میان فعالیت‌های مختلف بدن را بر عهده دارد. مطالعه این دستگاه شامل بررسی حواس، حافظه، یادگیری، احساسات، کنترل حرکت، تفکر و پاسخ‌های عصبی به محرک‌های داخلی و خارجی است.

۸) سیستم کلیوی ادراری (Renal/Urinary System)

این سیستم از کلیه‌ها، حالب‌ها، مثانه و مجاری ادراری تشکیل شده است. وظیفه اصلی آن تصفیه خون، تنظیم حجم و ترکیب مایعات بدن، حفظ تعادل الکترولیتی و اسید باز، و دفع مواد زائد متابولیکی از طریق تولید ادرار است. این دستگاه نقشی بسیار مهم در حفظ هموستازی بدن دارد.

۹) سیستم تولیدمثل (Reproductive System)

سیستم تولیدمثل مجموعه‌ای از اندام‌های داخلی و خارجی است که وظایف مربوط به تولید سلول‌های جنسی، ترشح هورمون‌های جنسی، فراهم سازی شرایط لقاح و در جنس مؤنث، حمایت از رشد و تکامل جنین را بر عهده دارد. این سیستم از طریق تعامل دقیق عوامل هورمونی و عصبی تنظیم می‌شود و در تداوم نسل نقش اساسی دارد.

۱۰) سیستم تنفسی (Respiratory System)

دستگاه تنفسی از بینی، حلق، حنجره، نای، نایژه‌ها، نایژک‌ها، آلوئول‌ها و ریه‌ها تشکیل شده است. وظیفه اصلی این سیستم، تأمین اکسیژن مورد نیاز بدن و دفع دی‌اکسید کربن حاصل از متابولیسم سلولی است. این فرایند از طریق تهویه ریوی و تبادل گازها در ریه‌ها انجام می‌شود و برای ادامه حیات ضروری است. در مجموع، هر یک از این سیستم‌ها بخشی از عملکرد پیچیده بدن انسان را بر عهده دارند؛ اما حیات تنها زمانی پایدار می‌ماند که این سامانه‌ها در ارتباطی هماهنگ و متقابل با یکدیگر عمل کنند. از همین رو، مطالعه فیزیولوژی انسان نه فقط بررسی جداگانه دستگاه‌های بدن، بلکه شناخت تعامل پویا و سازمان یافته آن‌ها در حفظ تعادل داخلی و تداوم زندگی است.



بخش دوم

هموستاز

هوموستاز (Homeostasis)

یکی از ویژگی‌های بنیادی موجودات زنده، توانایی حفظ ثبات و تعادل درونی در برابر تغییرات محیطی است. هر سیستم زنده به گونه‌ای سازمان یافته است که بتواند در برابر نوسانات محیطی و درونی مقاومت کرده و شرایطی نسبتاً پایدار را در محیط داخلی خود حفظ کند. این وضعیت پایدار و تعادل درونی هموستاز نامیده می‌شود. هموستاز به معنای حفظ شرایط فیزیکی و شیمیایی نسبتاً ثابت در محیط داخلی بدن است؛ شرایطی که برای عملکرد طبیعی سلول‌ها و بافت‌ها ضروری است. هنگامی که این تعادل دچار اختلال شود، سازوکارهای تنظیمی بدن فعال می‌شوند تا از طریق فرایندهای جبرانی، شرایط داخلی را به محدوده طبیعی بازگردانند یا در صورت لزوم، تعادل جدیدی متناسب با شرایط ایجاد کنند.

تغییرات محیطی و درونی ابتدا توسط گیرنده‌های حسی شناسایی می‌شوند و از طریق مسیرهای عصبی یا هورمونی به مراکز کنترل کننده در بدن منتقل می‌گردند. این مراکز با فعال سازی پاسخ‌های مناسب در اندام‌ها و بافت‌های هدف، تلاش می‌کنند تعادل از دست رفته را بازیابی کنند. اختلال در هر یک از اجزای این سامانه‌های تنظیمی مانند عملکرد هورمون‌ها، سیستم عصبی یا تعادل الکترولیت‌های خون می‌تواند هموستاز بدن را مختل سازد.

مثالی برای درک هموستاز

برای درک بهتر مفهوم هموستاز، می‌توان آن را با عملکرد یک ترموستات در سیستم‌های گرمایشی مقایسه کرد. ترموستات دستگاهی است که دمای یک محیط را در محدوده‌ای مشخص و از پیش تعیین شده حفظ می‌کند. هنگامی که دمای اتاق کاهش می‌یابد، ترموستات با تکمیل مدار الکتریکی، دستگاه گرمایشی را فعال می‌کند تا دما افزایش یابد. پس از رسیدن دما به مقدار تنظیم شده، مدار قطع می‌شود و تولید گرما متوقف می‌گردد. بدین ترتیب، دمای محیط در یک محدوده ثابت باقی می‌ماند.

در بدن انسان نیز سازوکارهای تنظیمی پیچیده‌ای وجود دارد که به شیوه‌ای مشابه عمل می‌کنند. این سازوکارها با استفاده از شبکه‌ای از گیرنده‌ها، مراکز کنترل و اندام‌های اجرایی، متغیرهای حیاتی بدن مانند دمای بدن، فشار خون و ترکیب شیمیایی مایعات بدن را در محدوده‌ای مشخص نگه می‌دارند. هدف مشترک تمامی این سیستم‌های تنظیمی، حفظ پایداری محیط داخلی بدن در محدوده‌ای است که برای ادامه حیات مناسب باشد.

هوموستاز در زیست شناسی

در زیست شناسی، هموستاز به حفظ وضعیت نسبتاً پایدار شرایط داخلی یک ارگانیسم زنده شامل شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط داخلی بدن اطلاق می‌شود. این پایداری به موجود زنده اجازه می‌دهد تا علی‌رغم تغییرات مداوم محیط خارجی، عملکرد طبیعی سلول‌ها و دستگاه‌های بدن حفظ شود.

جنبه‌های مهم هموستاز در بدن انسان

بدن انسان برای حفظ تعادل داخلی خود، متغیرهای فیزیولوژیک متعددی را در محدوده‌ای مشخص تنظیم می‌کند. مهم‌ترین این متغیرها عبارت‌اند از:



- فشار خون
- دمای بدن
- سطح قند خون
- ترشح هورمون‌ها
- سرعت متابولیسم
- الگوی تنفس
- تعادل الکترولیت‌ها
- حجم و ترکیب مایعات بدن
- تعادل اسید باز و pH خون

سیستم‌های کنترل کننده هموستاز

حفظ هموستاز در بدن انسان حاصل همکاری پیچیده و هماهنگ دستگاه‌ها، اندام‌ها و سازوکارهای تنظیمی گوناگون است. برخی از مهم‌ترین عوامل و سیستم‌های مؤثر در تنظیم تعادل داخلی بدن عبارت‌اند از:

- سیستم رنین آنژیوتانسین
- غدد درون ریز و هورمون‌ها
- سیستم عصبی مرکزی (مغز و نخاع)
- هیپوتالاموس
- غده هیپوفیز
- تالاموس
- دستگاه ادراری و کلیه‌ها
- دستگاه گوارش
- کبد
- لوزالمعده (پانکراس)
- سیستم لنفاوی و غدد لنفاوی
- سیستم ایمنی
- تنظیم بیان ژن‌ها
- گیرنده‌های حسی و مسیرهای عصبی
- غدد عرق
- سازوکارهای بازخوردی (فیدبک منفی و فیدبک مثبت)

در مجموع، هموستاز نتیجه عملکرد هماهنگ مجموعه‌ای از سازوکارهای پیچیده تنظیمی در بدن است که به موجود زنده امکان می‌دهد محیط داخلی خود را در شرایطی پایدار نگه دارد و بدین ترتیب، زمینه لازم برای ادامه حیات و عملکرد طبیعی سلول‌ها فراهم شود.

فیدبک منفی (Negative Feedback)

فیدبک منفی یکی از بنیادی‌ترین مکانیسم‌های تنظیمی در فیزیولوژی انسان است و نقش اصلی آن معکوس کردن تغییرات و بازگرداندن متغیرهای حیاتی به محدوده طبیعی است. در این سازوکار، هرگونه افزایش یا کاهش در یک متغیر فیزیولوژیک، پاسخ‌هایی را برمی‌انگیزد که اثر آن تغییر را خنثی کرده و تعادل از دست رفته را دوباره برقرار می‌کند. به بیان دیگر، افزایش یک عامل معمولاً سبب فعال شدن فرایندهایی برای کاهش آن می‌شود و بالعکس.

فیدبک منفی سازوکاری پویا، مداوم و بسیار دقیق است و تقریباً در تمامی دستگاه‌های بدن برای حفظ هموستاز عمل می‌کند.

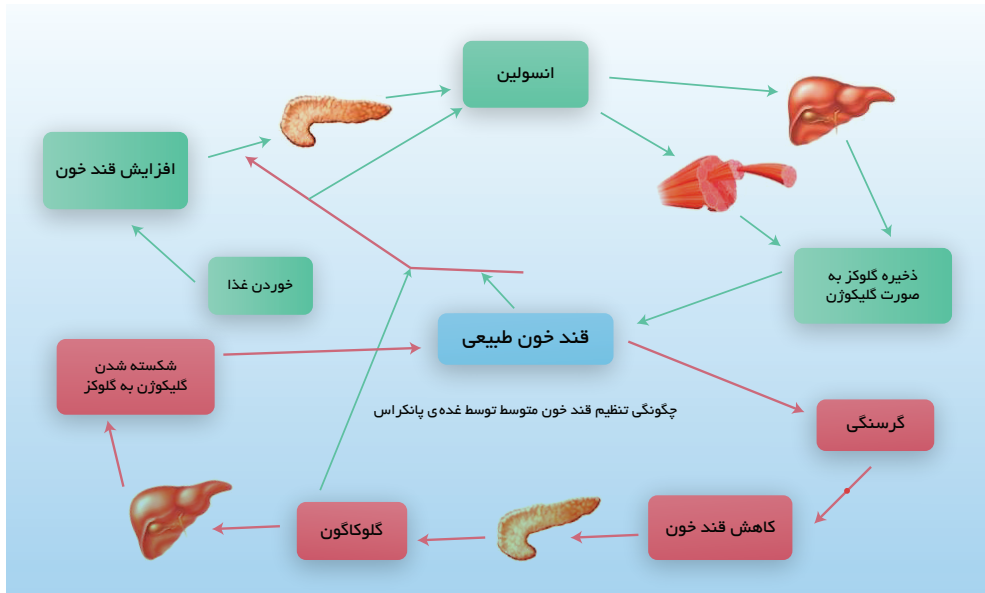
مثال: تنظیم قند خون توسط پانکراس

یکی از برجسته‌ترین نمونه‌های فیدبک منفی، تنظیم غلظت گلوکز خون است. هنگامی که سطح قند خون افزایش می‌یابد، گیرنده‌های موجود در پانکراس این افزایش را شناسایی می‌کنند. در پاسخ، سلول‌های بتای جزایر لانگرهانس به ترشح هورمون انسولین تحریک می‌شوند.

انسولین با سه مکانیسم اصلی عمل می‌کند:

- افزایش جذب گلوکز در سلول‌های چربی
- افزایش برداشت گلوکز و مصرف آن در عضلات اسکلتی
- تحریک ذخیره سازی گلیکوژن در کبد

مجموع این فرایندها موجب کاهش سطح گلوکز خون و بازگشت آن به محدوده طبیعی می‌شود. با کاهش قند خون، ترشح انسولین نیز متوقف یا کاهش می‌یابد؛ در نتیجه چرخه تنظیمی کامل می‌شود.



شکل ۲-۱. در فیدبک منفی، یک محرک اولیه وجود دارد که با اثر بر گیرنده‌ها، در نهایت باعث برعکس شدن روند تغییرات می‌شود. در شکل بالا تنظیم قند خون با فیدبک منفی نشان داده شده است.

فیدبک مثبت (Positive Feedback)

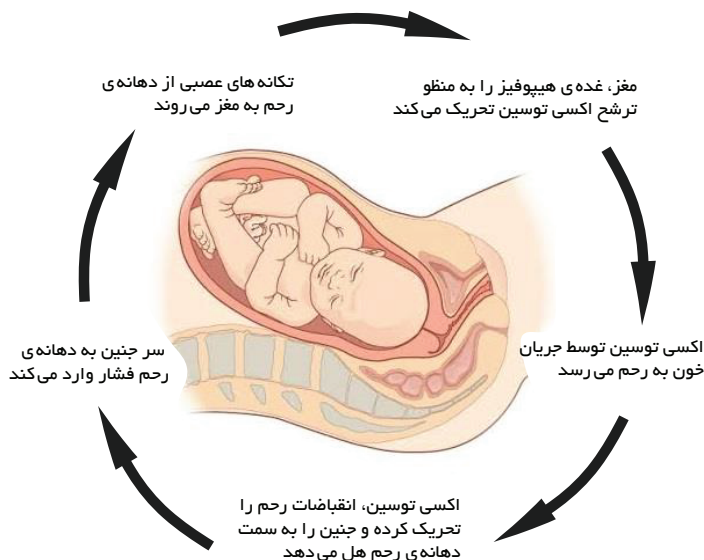
فیدبک مثبت یکی از سازوکارهای تنظیمی در سیستم‌های زیستی است که برخلاف فیدبک منفی، موجب تقویت و تشدید تغییرات ایجادشده در یک متغیر فیزیولوژیک می‌شود. در این مکانیسم، پاسخ حاصل از یک تغییر، نه تنها آن تغییر را متوقف نمی‌کند، بلکه با تقویت آن، سبب افزایش شدت یا سرعت همان فرایند می‌گردد. به بیان دیگر، در فیدبک مثبت محصول یا نتیجه یک فرایند، خود به عاملی برای تقویت همان فرایند تبدیل می‌شود. این چرخه تقویتی معمولاً تا زمانی ادامه می‌یابد که یک رویداد مشخص یا عامل خارجی آن را متوقف کند.

مثال: فیدبک مثبت در فرایند زایمان

یکی از شناخته شده ترین نمونه‌های فیدبک مثبت در بدن انسان، فرایند زایمان است. در این فرایند، با آغاز انقباضات رحمی، فشار وارد بر دهانه رحم (سرویکس) افزایش می‌یابد. گیرنده‌های کششی موجود در بافت

سرویکس این کشش را شناسایی کرده و پیام‌های عصبی را به هیپوتالاموس در مغز ارسال می‌کند. در پاسخ به این پیام‌ها، هیپوفیز خلفی هورمون اکسی توسین را ترشح می‌کند. اکسی توسین باعث افزایش شدت و دفعات انقباضات عضلات رحم می‌شود. تشدید انقباضات رحمی نیز به نوبه خود موجب کشش بیشتر سرویکس و در نتیجه تحریک بیشتر برای ترشح اکسی توسین خواهد شد.

بدین ترتیب یک چرخه تقویتی شکل می‌گیرد که در آن انقباضات رحمی و ترشح اکسی توسین یکدیگر را تقویت می‌کنند. این چرخه تا زمانی ادامه می‌یابد که در نهایت با تولد نوزاد و خروج جفت، محرک اصلی از بین رفته و فرایند متوقف می‌شود.



شکل ۲-۲. طی مکانیسم فیدبک مثبت هنگام زایمان، اکسی توسین باعث افزایش انقباضات رحمی و در نتیجه فشار بر دهانه رحم، افزایش ترشح اکسی توسین و به طور مجدد منجر به انقباضات شدیدتر دیواره رحم می‌شود. این حلقه بازخورد مثبت تا زمان تولد نوزاد ادامه دارد.

در ادامه به طور خلاصه به شاخص‌های مهم هموستازی در بدن انسان و همچنین سازوکار حفظ آنها در محدوده طبیعی اشاره می‌شود.

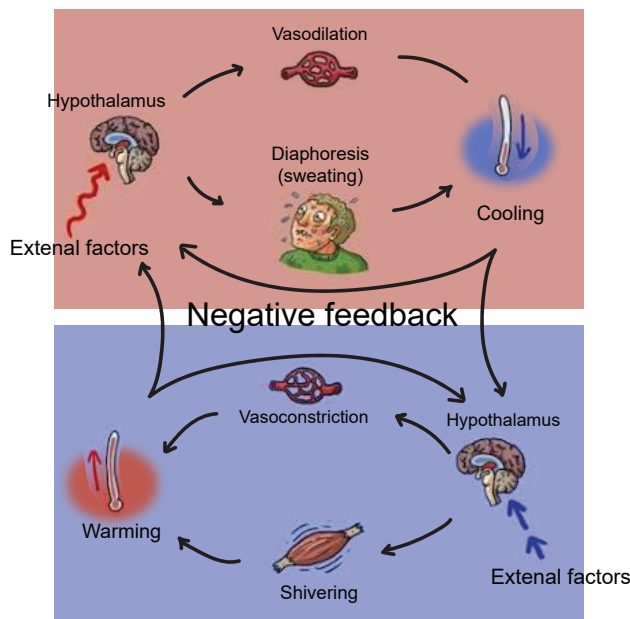
۱. تنظیم دمای بدن انسان

تنظیم دمای بدن یکی از نمونه‌های شاخص عملکرد هموستازی در انسان است. دمای مرکزی بدن در شرایط طبیعی در حدود ۳۷ درجه سانتی گراد حفظ می‌شود، هرچند این مقدار می‌تواند تحت تأثیر عوامل گوناگونی دچار نوسان گردد. از جمله این عوامل می‌توان به بیماری‌ها، تغییرات هورمونی، شدت متابولیسم، دمای محیط و میزان فعالیت بدنی اشاره کرد.

مرکز اصلی تنظیم دمای بدن در بخشی از مغز به نام هیپوتالاموس قرار دارد. هیپوتالاموس با دریافت اطلاعات دمایی از طریق خون عبوری و نیز پیام‌های دریافتی از گیرنده‌های حرارتی محیطی و مرکزی، دمای بدن را با یک سطح مرجع مقایسه می‌کند. در صورت انحراف دما از این سطح تنظیمی، پاسخ‌های جبرانی مناسب فعال می‌شوند تا دما به محدوده طبیعی بازگردد. در شرایط افزایش دمای بدن، سازوکارهای کاهش دهنده حرارت فعال می‌شوند.

این پاسخ‌ها شامل افزایش تعریق، گشادشدن عروق خونی زیرپوستی و افزایش جریان خون پوستی است. افزایش خون رسانی به سطح پوست موجب تسهیل انتقال گرما به محیط و در نتیجه کاهش دمای بدن می‌شود. تبخیر عرق از سطح پوست نیز به دفع مؤثرتر گرما کمک می‌کند.

در مقابل، هنگام کاهش دمای بدن، مکانیسم‌های تولید و حفظ گرما فعال می‌شوند. تنگ شدن عروق زیرپوستی باعث کاهش اتلاف حرارت از طریق پوست می‌گردد. همچنین لرزش عضلات اسکلتی با افزایش فعالیت انقباضی، تولید گرما را افزایش می‌دهد. افزون بر این، تغییر در فعالیت‌های متابولیک و آنزیمی سلول‌ها می‌تواند به افزایش تولید حرارت کمک کند. مجموع این پاسخ‌های عصبی و عروقی متابولیک، با هدایت هیپوتالاموس، دمای بدن را در محدوده‌ای پایدار نگه می‌دارند.



شکل ۲-۳. تنظیم دمای بدن با فیدبک منفی انجام می‌شود.

۲. فعالیت هورمون‌ها و هموستاز

سیستم غدد درون ریز مجموعه‌ای از غدد و بافت‌های ترشح کننده هورمون است که با آزادسازی پیام رسان‌های شیمیایی به جریان خون، فعالیت اندام‌های هدف را به صورت هماهنگ و پایدار تنظیم می‌کند. این دستگاه در حفظ هموستاز بدن نقشی بنیادین دارد و از طریق کنترل متابولیسم، رشد و تکامل، تعادل آب و الکترولیت‌ها، فشار خون، غلظت قند خون، تولیدمثل و پاسخ به استرس، شرایط داخلی بدن را در محدوده‌ای نسبتاً ثابت نگه می‌دارد.

از سوی دیگر، خود غدد درون ریز نیز دارای نوعی هموستاز عملکردی هستند که عمدتاً از طریق سازوکارهای بازخوردی، به ویژه بازخورد منفی در محورهای مانند محور هیپوتالاموس-هیپوفیز اندام هدف برقرار می‌شود.