

فهرست مطالب

۷	پیشگفتار.....
۹	بخش اول: مقدمات فیزیولوژی
۱۱	فصل اول: ساختار و عملکرد سلول
۳۱	فصل دوم: پتانسیل‌های غشاء و پتانسیل‌های عمل.....
۳۷	بخش دوم: فیزیولوژی انقباض عضله.....
۳۹	فصل سوم: فیزیولوژی انقباض عضله اسکلتی و صاف.....
۵۳	بخش سوم: فیزیولوژی قلب و گردش خون.....
۵۵	فصل چهارم: فیزیولوژی قلب.....
۷۱	فصل پنجم: سیستم گردش خون.....
۸۷	بخش چهارم: فیزیولوژی خون.....
۸۹	فصل ششم: ترکیبات خون.....
۹۹	فصل هفتم: هموستاز یا بند آمدن خون.....
۱۰۵	بخش پنجم: فیزیولوژی تنفس.....
۱۰۷	فصل هشتم: مکانیک تنفس.....
۱۲۳	فصل نهم: تبادل و انتشار گازها.....
۱۳۱	فصل دهم: کنترل تنفس.....
۱۳۵	بخش ششم: فیزیولوژی دستگاه ادراری.....
۱۳۷	فصل یازدهم: فیزیولوژی کلیه.....
۱۵۵	بخش هفتم: فیزیولوژی دستگاه گوارش.....
۱۵۷	فصل دوازدهم: دستگاه گوارش.....
۱۸۵	بخش هشتم: سیستم عصبی.....

- فصل سیزدهم: سیستم عصبی محیطی و مرکزی ۱۸۷
- فصل چهاردهم: فیزیولوژی حرکت ۲۰۵
- فصل پانزدهم: ارتباطات، خواب، یادگیری و حافظه ۲۱۹
- فصل شانزدهم: جریان خون مغز، مایع مغزی نخاعی و متابولیسم مغز ۲۲۳
- فصل هفدهم: سیستم عصبی خودمختار ۲۲۹
- فصل هجدهم: حواس ویژه ۲۳۷
- بخش نهم: غدد درون ریز ۲۴۹**
- فصل نوزدهم: کلیات غدد درون ریز و هورمون‌های هیپوتالاموس و هیپوفیز ۲۵۱
- فصل بیستم: غده تیروئید ۲۵۹
- فصل بیست و یکم: غده فوق کلیوی یا آدرنال ۲۶۷
- فصل بیست و دوم: انسولین، گلوکاگون و دیابت قندی ۲۷۵
- فصل بیست و سوم: متابولیسم کلسیم و فسفات، هورمون پاراتیروئید، کلسی تونین و ویتامین D و استخوان ۲۸۳
- فصل بیست و چهارم: هورمون‌های تولید مثل زنانه ۲۹۵
- فصل بیست و پنجم: دستگاه تولید مثل مردانه ۳۰۳
- واژه‌یاب ۳۰۹**

مدت مدیدی بود که وجود یک کتاب فیزیولوژی پزشکی که نیازهای دانشجویان رشته‌های مختلف علوم پزشکی را پوشش دهد احساس می‌شد. اینک خدای را سپاس می‌گوییم که ما را در نوشتن این کتاب یاری نمود.

فیزیولوژی دانشی از علوم پایه محسوب می‌شود که متمرکز بر عملکرد دستگاه‌های مختلف بدن انسان نظیر قلب و گردش خون، تنفس، کلیه و... می‌باشد. به همین جهت فیزیولوژی برای فهم بهتر و حل مشکلات بالینی پیش‌نیازی اساسی است. از طرفی یکی از مهمترین عوامل در امر یادگیری دانشجویان وجود منابع معتبر متناسب با تعداد واحد رشته تحصیلی آنهاست. وجود رفرنس‌های قطور و گاه چندجلدی به‌عنوان منبع قابل مطالعه برای دانشجویان کارشناسی منجر به جزوه‌خوانی دانشجویان شده است؛ اگرچه جزوات رسالت خود را به عنوان یک منبع ساده و قابل فهم و در عین حال مناسب برای قبولی دروس فیزیولوژی انجام می‌دهند اما هیچ چیز جایگزین یک کتاب اصولی و نگاشته شده نمی‌شود. هدف از نوشتن این کتاب نیز فراهم نمودن یک منبع کتبی با مطالب برگزیده کاربردی و متناسب با وقت و نیاز دانشجو است. کتابی که در عین سادگی بیان، مطالب اصلی و کاربردی را با زبانی شیوا و روان، در حجم متناسب با سرفصل‌های مصوبه شورای عالی فرهنگی ارائه دهد. کتابی که موجب شود استفاده گسترده دانشجویان از جزوه به حداقل برسد و حساسیت علمی دانشجویان به مطالب علمی و انگیزه تحصیلی و یادگیری کم نشود. در کتابی که پیش روی شماست سعی شده تا آنجایی که مقدور است خصوصیات فوق در آن لحاظ گردد.

در محتوای کتاب سعی شده که مطالبی عنوان شود که دانشجو باید بداند یا بهتر است که بداند و از مطالب غیر کاربردی کمتر بحثی به میان آید. لذا فرصت تکرار بیشتر مطالب مهم برای فهم هر چه بهتر مباحث به صورت دقیق و عمیق میسر می‌گردد. مطالب کتاب حاضر بخش اعظمی از نیازهای علمی دانشجویان علوم پزشکی را برآورده می‌کند و منبع مناسبی برای دانشجویان علوم پزشکی محسوب می‌شود.

با تشکر از همکاران ارجمند انتشارات رویان پژوه، توفیق روزافزون ایشان را از خداوند منان خواستاریم. در پایان یادآور می‌شویم که علی‌رغم اهتمام فراوان در صحیح بودن علمی و ادبی نوشتار این کتاب، از اساتید و دانشجویان محترم خواهشمندیم غلط‌های احتمالی، نظرات و پیشنهادات خود را از طریق آدرس ایمیل pajuhia@yahoo.com با ما در میان بگذارند.

بخش اول

مقدمات فیزیولوژی

فصل ۱: ساختار و عملکرد سلول

فصل ۲: پتانسیل‌های غشاء و پتانسیل‌های عمل

فصل اول

ساختار و عملکرد سلول

تعریف علم فیزیولوژی

فیزیولوژی علم شناخت و مطالعه عملکرد طبیعی سیستم‌های مختلف بدن موجود زنده می‌باشد.

تعریف سیستم

سیستم یک مجموعه هماهنگ از اجزای مختلف است که براساس قوانین معینی، هدف مشخصی را دنبال می‌کنند. اجزاء سیستم عبارتند از یک یا چند ورودی، یک یا چند خروجی و قانونی که حاکم بر سیستم است. دو نوع سیستم وجود دارد: سیستم باز و سیستم بسته.

در سیستم باز، خروجی سیستم تأثیری بر سیستم و ورودی آن ندارد. مثلاً اندازه‌گیری فشارخون تأثیری بر فشارخون ندارد و فقط آن را می‌سنجد. در سیستم بسته، خروجی سیستم توسط حس‌گرهایی احساس می‌شوند و از طریق فیدبک به سیستم باز خورد داده می‌شوند که منجر به تغییر در خروجی سیستم می‌شوند. سیستم‌های موجود زنده از قبیل سیستم‌های قلب و گردش خون، سیستم عصبی، سیستم گوارش و...، سیستم‌های بسته محسوب می‌شوند که سبب حفظ و نگهداری محیط بدن جهت ادامه حیات موجود زنده می‌گردد.

هومئوستاز! به حفظ و نگهداری حالت ثبات در محیط داخلی بدن هومئوستاز می‌گویند. محیط داخلی بدن، فضای خارج سلولی است که سلول‌ها در آن غوطه‌ورند و از آن تغذیه می‌کنند. این محیط شامل پلاسما، مایع مغزی نخاعی و مایع میان بافتی می‌باشد.

1. Homeostasis
2. Internal environment

روش‌های حفظ هومئوستاز

۱. فیدبک^۱ یا بازخورد

۲. فیدفوروارد^۲

۳. سازشی^۳

۱. فیدبک یا بازخورد

فیدبک، از سیستم‌های مهم بدن موجودات زنده می‌باشد که در ایجاد هومئوستاز نقش دارد. سیستم فیدبکی شامل الف: سیستم فیدبک مثبت و ب- سیستم فیدبک منفی است.

الف-سیستم فیدبک مثبت: در سیستم فیدبک مثبت، خروجی سیستم باعث افزایش فعالیت آن و در نتیجه افزایش بیشتر خروجی سیستم می‌شود.

تولد نوزاد یکی از نمونه‌های فیدبک مثبت در بدن است. همانطور که می‌دانیم اکسی‌توسین از هیپوفیز خلفی ترشح شده و باعث انقباضات ماهیچه لایه میومتر رحم می‌شود. هنگام زایمان این هورمون باعث انقباضات دیواره‌ی رحم می‌شود و در نتیجه جنین به سمت گردن رحم حرکت می‌کند با کشیدگی گردن رحم سیگنال‌های عصبی از دهانه رحم به هیپوتالاموس می‌رسد که منجر به افزایش ترشح اکسی‌توسین می‌شود. افزایش میزان اکسی‌توسین باعث افزایش انقباضات دیواره رحم و به تبع آن فشار بیشتر جنین به گردن رحم و کشیدگی بیشتر گردن رحم و به دنبال آن افزایش بیشتر میزان ترشح اکسی‌توسین می‌شود. این روند به صورت یک چرخه تکراری ادامه دارد تا اینکه نوزاد متولد شود.

تولید پتانسیل عمل در سلول‌های تحریک‌پذیر از فرآیند فیدبک مثبت تبعیت می‌کند. تحریک سلول معمولاً سبب کاهش مختصری در پتانسیل غشای سلول می‌شود که به آن دپلاریزاسیون گفته می‌شود. در غشای سلول دپلار شده، تعدادی کانال‌های وابسته به ولتاژ سدیم باز می‌شوند و در نتیجه یون سدیم بیشتری وارد سلول می‌شود و با افزایش ورود یون سدیم به درون سلول، سلول دپلارتر می‌شود که منجر به باز شدن کانال‌های Na^+ بیشتر در غشای سلول و ورود بیشتر یون سدیم می‌شود. این روند نهایتاً سبب رسیدن پتانسیل سلول به حد آستانه و ایجاد پتانسیل عمل می‌شود.

باید توجه داشت که فرایند فیدبک مثبت، کمتر باعث تنظیم فعالیت سیستم‌های بدن می‌شوند و بیشتر در مواردی بکار می‌رود که بخواهیم عملی تشدید شود یا خاتمه یابد. علاوه بر این، فیدبک مثبت می‌تواند منجر به ایجاد سیکل معیوب گردد. در این حالت نتیجه نهایی مضر می‌باشد. به عنوان مثال اگر ۲ لیتر خون به نحوی از بدن خارج شود؛ خون کمتری به اندام‌ها و از جمله به خود قلب می‌رسد و در نتیجه قلب ضعیف

1. Feedback

2. Feed forward

3. Adaptive

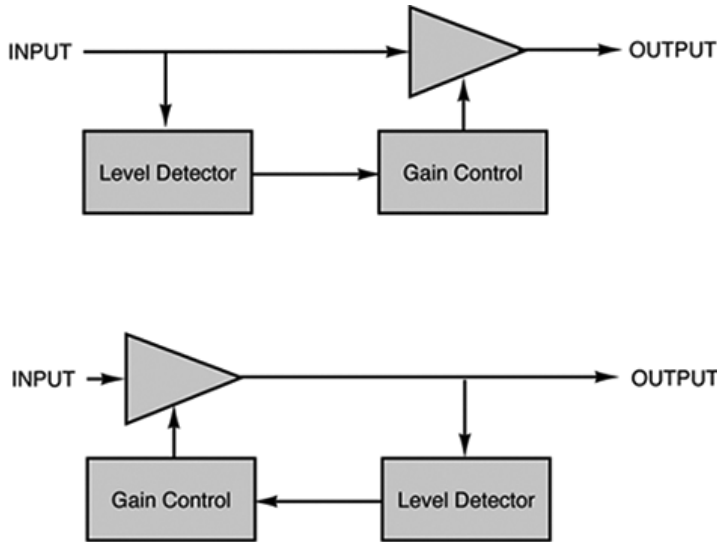
می‌شود. با ضعیف شدن قلب میزان خون کمتری پمپ می‌شود که منجر به کاهش خونرسانی بیشتر به خود قلب می‌شود. بنابراین کاهش خروج خون از قلب باعث کاهش بیشتر خروج خون از قلب می‌شود که سبب آسیب پیشرونده به مجموعه قلب و اندام‌های حیاتی بدن و نهایتاً منجر به مرگ می‌گردد.

ب- سیستم فیدبک منفی: بر خلاف فیدبک مثبت، سیستم فیدبک منفی، نقش کنترلی بر عملکرد سیستم‌های حیاتی بدن دارد. در سیستم فیدبک منفی اگر میزان خروجی سیستم کم شده باشد؛ سیستم فیدبکی آن را زیاد می‌کند و برعکس اگر میزان خروجی زیاد شده باشد سیستم فیدبکی آن را کم می‌کند. تنظیم بارورسپتوری فشارخون شریانی مثالی از فیدبک منفی است. هنگامی که فشارخون افزایش می‌یابد؛ کشش گیرنده‌های حساس به فشار موجود در سینوس کاروتید بیشتر شده و پیام‌های تحریکی بیشتری به مرکز تنظیم قلب و عروق (مرکز وازوموتور)، واقع در بصل النخاع ارسال می‌کنند. مرکز وازوموتور فعالیت اعصاب سمپاتیک عروق و قلب را کاهش می‌دهد. در نتیجه عروق گشاد شده و تعداد ضربان و قدرت انقباضی قلب کمتر می‌شود. لذا فشارخون به حد طبیعی قبلی برمی‌گردد.

تنظیم دقیق دمای بدن، فشار اکسیژن شریانی، غلظت قند خون و..... همه تحت کنترل سیستم فیدبک منفی است. در واقع می‌توان گفت حفظ هومئوستاز به عهده فیدبک منفی است. شرط دیگر برای هومئوستاز یک ماده این است که مقدار خروجی آن از بدن با ورودی آن مساوی باشد. یعنی برای ثابت بودن غلظت یک ماده در بدن، پلاسما و مایع خارج سلولی باید مقداری که در واحد زمان وارد می‌شود با مقداری که در واحد زمان خارج شود مساوی باشد. به عنوان نمونه حدود $10/5$ گرم در روز نمک طعام از طریق خوراک وارد بدن می‌شود (ورودی) که حدود 10 گرم آن از طریق ادرار، حدود $0/25$ گرم آن از طریق عرق کردن و حدود $0/25$ گرم دیگر از طریق مدفوع دفع می‌شود که در مجموع $10/5$ گرم در روز نمک طعام دفع می‌شود (خروجی). در چنین حالتی که ورودی و خروجی مساوی هستند هومئوستاز برقرار است. در غیر اینصورت مقدار کلرید سدیم خون افزایش یا کاهش می‌یابد.

۲. فیدفوروارد

در سیستم کنترلی فیدفوروارد، تغییرات ورودی سریعاً مشخص می‌گردد و قبل از اینکه در سیستم موجب تغییرات گردد، سیگنال تصحیحی ارسال می‌شود. سیستم گرمایشی پکیج، نمونه‌ای از یک سیستم کنترلی فیدفوروارد می‌باشد. این سیستم می‌تواند بازبودن درب اتاق را متوجه شود و با سرعت دادن به پاسخ، گرم‌کن دستگاه به طور خودکار زودتر از موعد روشن می‌شود به طوریکه تغییرات دمایی به حداقل می‌رسد. بنابراین عملکرد درست این سیستم فیدبکی سبب کاهش خطا، افزایش سرعت و پیشگیری از ایجاد ناپایداری می‌شود (شکل ۱-۱). افزایش تهویه و تعداد ضربان قلب هنگام تصمیم به شروع ورزش، ترشح اسید معده با دیدن غذا و ترشح انسولین با ورود غذا به لوله‌ی گوارش از نمونه‌های بیولوژیکی سیستم کنترلی فیدفوروارد می‌باشد.



شکل ۱-۱ مقایسه دو سیستم کنترلی الف- فید فورارد و ب- فیدبک

۳. سازشی

در کنترل سازشی تغییر عملکرد سیستم، در دراز مدت منجر به عملکرد بهتر سیستم می‌شود. مثلاً تکرار ورزش باعث افزایش متناسب تهویه می‌شود. مثال دیگر کنترل سازشی، کنترل دمای بدن در محیط بسیار گرم است. در طی ۵ تا ۷ روز بعد از قرار گرفتن در محیط گرم، بدن با افزایش تعریق و افزایش دفع گرما از سطح پوست دمای بدن را بهتر کنترل می‌کند.

■ گین^۱ یا قدرت

میزان قدرت یک سیستم کنترل کننده، جهت حفظ شرایط موجود در حد ثابت (هومئوستاز) را گین گویند. هرچه گین عدد بزرگتری باشد یعنی آن سیستم در جهت حفظ هومئوستاز قوی‌تر عمل می‌کند. گین سیستم‌ها از روی فرمول $\text{گین} = \frac{\text{تصحیح}}{\text{خطا}}$ محاسبه می‌شود.

مثال: فشارخون شریانی فردی در حالت نرمال ۱۰۰ میلی‌متر جیوه است. فرض کنید این فشار افزایش یابد و به ۱۵۰ میلی‌متر جیوه برسد.

حالت اول

سیستم کنترل فشار شریانی، فشارخون را ۱۰ میلی‌متر جیوه کاهش داده و فشارخون به ۱۴۰ میلی‌متر جیوه کاهش یافته است. در این شرایط میزان تصحیح فشارخون ۱۰ میلی‌متر جیوه و میزان خطا ۴۰ میلی‌متر جیوه است و مقدار گین سیستم $0/25$ خواهد بود.

1. Gain

$$\text{میزان تصحیح} = \frac{۱۵۰ - ۱۴۰}{۱۴۰ - ۱۰۰} = \frac{۱۰}{۴۰} = ۰/۲۵$$

$$\text{میزان خطا} = \frac{۱۵۰ - ۱۲۰}{۱۴۰ - ۱۰۰} = \frac{۳۰}{۴۰} = ۰/۷۵$$

حالت دوم

سیستم کنترل فشار شریانی، فشارخون را ۳۰ میلی‌متر جیوه کاهش داده و فشارخون به ۱۲۰ میلی‌متر جیوه کاهش یافته است. در این شرایط میزان تصحیح فشارخون ۳۰ میلی‌متر جیوه و میزان خطا ۲۰ میلی‌متر جیوه است و مقدار گین سیستم ۱/۵ خواهد بود. در واقع قدرت تصحیح فشارخون در حالت دوم ۶ برابر بیشتر از حالت اول است.

$$\text{گین} = \frac{۱۵۰ - ۱۲۰}{۱۴۰ - ۱۰۰} = \frac{۳۰}{۴۰} = ۰/۷۵$$

Ⓒ واحدهای اندازه‌گیری غلظت محلول‌ها

غلظت مواد محلول به صورت مول بر لیتر (mol/L)، اکی‌والان بر لیتر (Eq/L) یا اسمول بر لیتر (Osm/L) بیان می‌شوند. در محلول‌های بیولوژیک، غلظت مواد محلول معمولاً بسیار کم است و به صورت میلی‌مول بر لیتر (mmol/L)، میلی‌اکی‌والان بر لیتر (mEq/L) یا میلی‌اسمول بر لیتر (mOsm/L) بیان می‌شود.

مول: یک مول ماده بر حسب گرم، معادل مقدار وزن مولکولی آن ماده است. به عنوان مثال یک مول گلوکز ۱۸۰ گرم و یک مول کلرید سدیم ۵۸/۵ گرم می‌باشد. یک مول ماده معادل ۶×۱۰^{۲۳} ذره (اتم، مولکول یا یون) از آن ماده است.

اسمول: هر اسمول یک مول از هر ماده غیر قابل تجزیه (مانند گلوکز) است که حاوی $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ ذره است و به فشار اسمزی محلول کمک می‌کند. اگر مولکولی به دو یون تفکیک شود محلول یک مول در لیتر آن دارای غلظت اسمزی معادل ۲ اسمول در لیتر خواهد بود. به همین ترتیب یک مول از مولکولی که به سه یون تفکیک می‌شود، غلظت اسمزی معادل ۳ اسمول در لیتر خواهد داشت. لذا واژه‌ی اسمول نمایان‌گر تعداد ذرات محلول است که از نظر اسمزی فعال هستند نه غلظت مولی مواد. در مایعات بدن، اسمول واحد بیش از حد بزرگی است. بنابراین معمولاً از میلی‌اسمول (mosm) استفاده می‌کنند که یک هزارم اسمول می‌باشد.

اکی‌والان: یک اکی‌والان مقداری از یک ماده است که لازمست تا با یک مول یون هیدروژن (H^+) در واکنش اسید و باز واکنش نشان دهد. با توجه به این تعریف اکی‌والان برابر با تعداد مول از ماده محلول ضرب در قدر مطلق بار آن است. به عنوان مثال، یک مول از کلرید پتاسیم در محلول، به یک اکی‌والان پتاسیم و یک اکی‌والان کلر تبدیل می‌شود. به همین ترتیب محلول حاوی یک مول کلرید کلسیم دو اکی‌والان کلسیم و یک اکی‌والان کلر دارد. بر این اساس غلظت یک مول در لیتر Ca^{+2} معادل ۲ Eq/lit است.

pH: pH برابر است با منفی لگاریتم غلظت یون هیدروژن در مایعات بدن. از آنجا که غلظت H^+ در مایعات بدن بسیار پایین است از واحد pH استفاده می‌شود $pH = -\log [H^+]$

حجم و ترکیب بخش‌های مایع بدن

توزیع آب در بخش‌های مایع بدن: در مردان حدود ۶۰ درصد وزن بدن را آب تشکیل می‌دهد. بنابراین، یک مرد ۷۰ کیلوگرمی حدود ۴۲ لیتر آب در بدنش دارد. سلول‌های چربی درصد آب کمتری دارند و از آنجا که زنان دارای درصد بالاتری بافت چربی نسبت به مردان هستند، درصد آب بدن زنان کمتر از ۶۰ درصد است.

آب بدن به دو بخش مایع داخل سلولی (icf)^۱ و مایع خارج سلولی (ecf)^۲ تقسیم می‌شود. مایع داخل سلولی در داخل سلول‌ها قرار دارد و دو سوم کل آب بدن را تشکیل می‌دهد. مایع خارج سلولی خارج از سلول است که یک سوم کل آب بدن را شامل می‌شود. مایع داخل سلولی و مایع خارج سلولی توسط غشاهای سلولی جدا شده‌اند. مایع خارج سلولی خود به دو بخش پلاسما و مایع بین سلولی تقسیم می‌شود. پلاسما مایع موجود در رگ‌های خونی است. پلاسما و مایع بین سلولی توسط دیواره مویرگ جدا شده‌اند. از آنجا که دیواره مویرگ تقریباً به مولکول‌های بزرگ مانند پروتئین‌های پلاسما نفوذناپذیر است؛ مایع بین سلولی حاوی پروتئین بسیار کمی می‌باشد. ترکیب مایعات بدن یکنواخت نیست و مایع داخل سلولی و مایع خارج سلولی دارای غلظت‌های مختلفی از مواد مختلف هستند. هر دو مایع حاوی مولکول‌های باردار و بدون بار حل شده در آب با ترکیب شیمیایی مشابه هستند. اگرچه غلظت هر حل شونده/ یون در آن‌ها متفاوت است. در جدول ۱-۱ تفاوت غلظت مواد در مایع داخل سلولی و مایع خارج سلولی نشان داده شده است. با توجه به اهمیت غلظت‌های خارج سلولی و داخل سلولی Na^+ و K^+ برای تولید پتانسیل عمل، به غلظت Na^+ و K^+ در جدول ۱-۱ توجه کنید. غلظت Na^+ در ECF بیشتر از ICF است. خلاف این مساله در مورد K^+ صادق است، K^+ در ECF کم و در ICF زیاد است.

علی‌رغم تفاوت در غلظت حل شونده‌ها، اسمولاریته در دو بخش یکسان است. زیرا آب از خلال غشای سلولی نیمه تراوای جداکننده‌ی ICF از ECF آزادانه حرکت کرده و اسمولاریته را در هر دو بخش به ۲۹۰ میلی اسمول در لیتر می‌رساند. یک ویژگی جذاب دیگر بخش‌های مایع این است که هر دو از نظر الکتریکی خنثی هستند. زیرا غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در هر دو سمت غشای سلول یکی است.

1. Intra cellular fluid
2. Extra cellular fluid