پتانسیل عمل

به طور کلی پتانسیل عمل شامل موارد زیر است:

۱ مرحله‌ی بالارو اختلاف پتانسیل الکتریکی **۲ مرحله‌ی پایین‌رو اختلاف پتانسیل الکتریکی**

۱ تبدیل اثر محرک پیام عصبی

✓ یکی از ویژگی‌های یاخته‌های عصبی این است که می‌توانند **اثر محرک را به پیام عصبی تبدیل کنند.** منظور از تبدیل اثر محرک به پیام عصبی این است که وقتی محرک بر بخشی ازیاخته عصبی اثر کرد، در آن بخش از یاخته عصبی به صورت **ناگهانی** و **شدید** اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشاء تغییر می‌کند. در طی این تغییر در زمان بسیار کوتاهی پتانسیل داخل غشاء نسبت به خارج آن مثبت‌تر می شود و بلافاصله به حالت اول خود برمی‌گردد (یعنی مجدداً داخل غشاء نسبت به خارج منفی‌تر می‌شود).

نکته: اولین قدم برای شروع پتانسیل عمل در یاخته عصبی که در آرامش است، اثر محرک مؤثر بر غشای یاخته عصبی می‌باشد.

نکته: محرک می‌تواند داخلی (ناقل عصبی و ...) یا خارجی (نور، گرما و ...) باشد.

✓ **پتانسیل عمل** عبارت است از **تغییر ناگهانی** و **شدید اختلاف پتانسیل** بین دو سوی غشا. طی این تغییر، در زمان بسیار کوتاهی پتانسیل داخل غشاء نسبت به خارج آن مثبت‌تر می شود (مرحله‌ی بالارو اختلاف پتانسیل الکتریکی) و بلافاصله به حالت اول برمی‌گردد و مجدداً داخل غشاء نسبت به خارج منفی‌تر می‌شود (مرحله‌ی پایین رو اختلاف پتانسیل الکتریکی)

۲ مرحله‌ی بالارو اختلاف پتانسیل الکتریکی

✓ **در وقوع مرحله‌ی بالارو، یون‌های سدیم و کانال‌های دریچه‌دار سدیم فعالیت دارند :**

۱- **در شروع پتانسیل عمل دریچه‌ی کانال‌های سدیمی باز می شود و یون‌های سدیم به صورت ناگهانی از طریق کانال‌های مذکور وارد نورون می‌شوند و به صورت ناگهانی و شدید درون یاخته را مثبت می‌کنند.**

نکته: کانال‌های سدیمی که در مرحله‌ی بالارو اختلاف پتانسیل باز هستند، با کانال‌های سدیمی و پتانسیمی که در حین پتانسیل استراحت غشاء فعالیت می‌کنند **متفاوت‌اند** و از یک نوع نیستند.

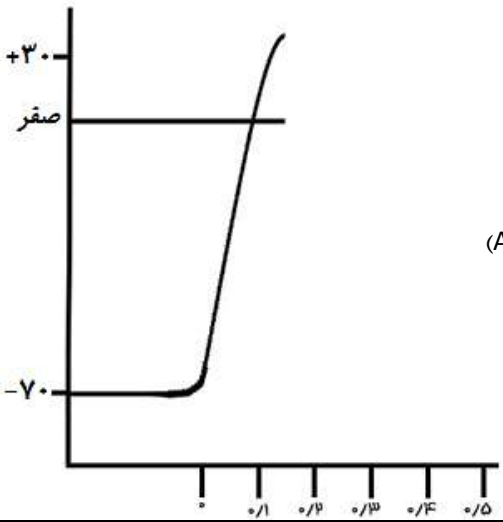
نکته: ورود یون‌های سدیم به درون یاخته عصبی از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی صورت می‌گیرد و از نوع **انتشار تسهیل شده و در جهت شیب غلظت** است **در طی فرآیند مذکور ATP مصرف نمی‌شود.**

۲- قبل از شروع پتانسیل عمل (و هنگامی که یاخته عصبی در حال آرامش است) اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته عصبی ۷۰- میلی‌ولت است. اما با باز شدن کانال‌های سدیمی اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته عصبی از ۷۰- میلی‌ولت به سمت صفر حرکت می‌کند و در نهایت به ۳۰+ میلی‌ولت می‌رسد.

۳- در طی وقوع مرحله‌ی بالارو اختلاف پتانسیل، مقدار یون‌های مثبت (سدیم) درون یاخته عصبی رو به افزایش است. ورود یون‌های سدیم به درون یاخته عصبی تا زمانی ادامه می‌یابد که دریچه‌ی کانال‌های سدیمی باز است. حال **در چه زمانی دریچه‌ی کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شود؟**

در ابتدای شروع پتانسیل عمل (۷۰- میلی‌ولت) دریچه‌ی کانال‌های سدیمی باز شد. حال در انتهای مرحله‌ی بالارو، وقتی اختلاف پتانسیل درون یاخته عصبی نسبت به خارج آن به ۳۰+ میلی‌ولت رسید، دریچه‌ی کانال‌های سدیم بسته شده و دیگر یون سدیم وارد یاخته عصبی نمی‌شود.

نکته: دریچه‌ی کانال‌های سدیم در ولتاژ خاصی باز و در ولتاژ (اختلاف پتانسیل) خاص دیگری بسته می‌شود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که **کانال‌های دریچه‌دار سدیمی در غشای یاخته عصبی وابسته به ولتاژ هستند.**



نکته: اولین قدم برای آغاز مرحله‌ی بالارو پتانسیل عمل، باز شدن دریچه‌ی کانال‌های سدیمی است.

۴- **درباره‌ی مرحله‌ی بالارو باید مطالب زیر را بدانید:**

✓ **تغییر اختلاف پتانسیل الکتریکی از ۷۰- میلی‌ولت تا صفر (۷۰- ← صفر)**

a- باز شدن دریچه‌ی کانال‌های سدیم (در ابتدا).

b- ورود یون‌های سدیم به درون یاخته عصبی از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی. (بدون مصرف ATP)

c- مقدار یون‌های مثبت (بار الکتریکی مثبت) درون یاخته عصبی رو به افزایش است.

d- باز بودن دریچه‌ی کانال‌های سدیمی (در ادامه)

e- **کاهش مقدار اختلاف پتانسیل الکتریکی.**

✓ **تغییر پتانسیل الکتریکی از صفر تا ۳۰+ (صفر ← ۳۰+)**

a- کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز هستند (در ادامه)

b- یون‌های سدیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار سدیمی وارد یاخته عصبی می‌شود. (انتشار تسهیل شده بدون مصرف ATP)

c- مقدار (و غلظت) یون‌های مثبت درون یاخته عصبی رو به افزایش است.

d- **اختلاف پتانسیل الکتریکی از صفر تا ۳۰+ میلی‌ولت در حال افزایش است.**

e- وقتی اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته عصبی به ۳۰+ رسید، دریچه‌ی کانال‌های سدیمی بسته می‌شود.

f- در ۳۰+ دریچه‌ی کانال‌های پتاسیمی و سدیمی بسته هستند. (طبق گفته‌ی کتاب درسی)

g- در ۳۰+ بیش‌ترین مقدار یون درون یاخته عصبی وجود دارد بنابراین در این حالت مقدار **فشار اسمزی حداکثر و پتانسیل آب حداقل** است.

۳ مرحله‌ی پایین‌رو اختلاف پتانسیل الکتریکی

✓ برای انجام مرحله‌ی پایین‌رو اختلاف پتانسیل الکتریکی، یون‌های پتاسیم و کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی نقش دارند.

۱- در غشای پلاسمایی یاخته های عصبی علاوه بر **کانال‌های نفوذپذیر به سدیم و پتاسیم، پمپ سدیم- پتاسیم و کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی** وجود دارد. **کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی** مانند **کانال‌های دریچه سدیمی وابسته به ولتاژ** هستند و وقتی اختلاف پتانسیل یاخته عصبی به **۳۰+ برسد، باز** و وقتی اختلاف پتانسیل **به۷۰- برسد بسته می‌شوند.**

۲- هنگام شروع مرحله‌ی پایین‌رو اختلاف پتانسیل الکتریکی، اختلاف پتانسیل بین دو سوی غشای یاخته عصبی ۳۰+ میلی‌ولت است. در این ولتاژ دریچه‌ی کانال‌های پتاسیمی باز شده و به طور ناگهانی یون‌های پتاسیم از یاخته عصبی خارج شده و سبب می شوند که اختلاف پتانسیل دو سوی غشای یاخته عصبی از ۳۰ میلی ولت به سمت صفر و سپس به طرف مقدار منفی (۷۰-) حرکت کند.

۳- در طی وقوع مرحله‌ی پایین‌رو اختلاف پتانسیل، مقدار یون‌های مثبت (پتاسیم) درون یاخته عصبی، در حال کاهش است. خروج یون‌های پتاسیم از یاخته عصبی تا زمانی ادامه می‌یابد که دریچه‌ی کانال‌های پتاسیمی باز است (یعنی تا ۷۰-).

ترکیب: کانال‌های نفوذپذیر به یون‌های سدیم و پتاسیم (در مرحله‌ی استراحت)، پمپ سدیم- پتاسیم، کانال‌های سدیمی و کانال‌های پتاسیمی، همگی جزء **پروتئین‌های سراسری** هستند.

نکته: در همه‌ی حالت‌ها، چه یاخته عصبی در حال آرامش باشد و چه در حال پتانسیل عمل، مقدار یون سدیم موجود در خارج از یاخته عصبی **همواره** بیش‌تر از درون یاخته می‌باشد. از طرف دیگر **همیشه** مقدار یون پتاسیم موجود در یاخته عصبی بیش‌تر از خارج یاخته است.

۴- **درباره‌ی مرحله‌ی پایین‌رو باید مطالب زیر را بدانید:**

✓ تغییر پتانسیل الکتریکی از ۳۰+ میلی‌ولت به صفر (۳۰+ ← صفر):

a) باز شدن دریچه‌ی کانال‌های پتاسیمی (در ابتدا)

b) خروج ناگهانی یون‌های پتاسیم از یاخته عصبی از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی (بدون مصرف ATP)

c) مقدار یون‌های مثبت درون یاخته عصبی (K^+) در حال کاهش است.

d) باز بود دریچه‌ی کانال‌های پتاسیمی (در ادامه)

e) **کاهش اختلاف پتانسیل الکتریکی**

✓ **تغییر پتانسیل الکتریکی صفر تا ۷۰- میلی‌ولت (صفر ← ۷۰-):**

a) کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی باز هستند.

b) یون‌های پتاسیم از طریق کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی خارج می‌شوند (انتشار تسهیل شده، بدون مصرف ATP)

c) **مقدار و غلظت یون‌های مثبت درون یاخته عصبی در حال کاهش است.**

d) **اختلاف پتانسیل الکتریکی از صفر تا ۷۰- در حال افزایش است.**

نکته: هنگامی که اختلاف پتانسیل به ۷۰- میلی‌ولت رسید، (آخر پتانسیل عمل) **درون یاخته عصبی** مقدار زیادی **یون سدیم و خارج آن** مقدار زیادی **یون پتاسیم** وجود دارد.

نکته: اگر به شکل کتاب دقت کنید، دریچه کانال‌های دریچه‌دار سدیمی، در بخش خارجی غشا قرار گرفته و به سمت بیرون (خارج یاخته) باز می شوند، اما در کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، دریچه کانال در سمت درون (داخل یاخته) قرار دارد و به سمت درون باز می‌شود.

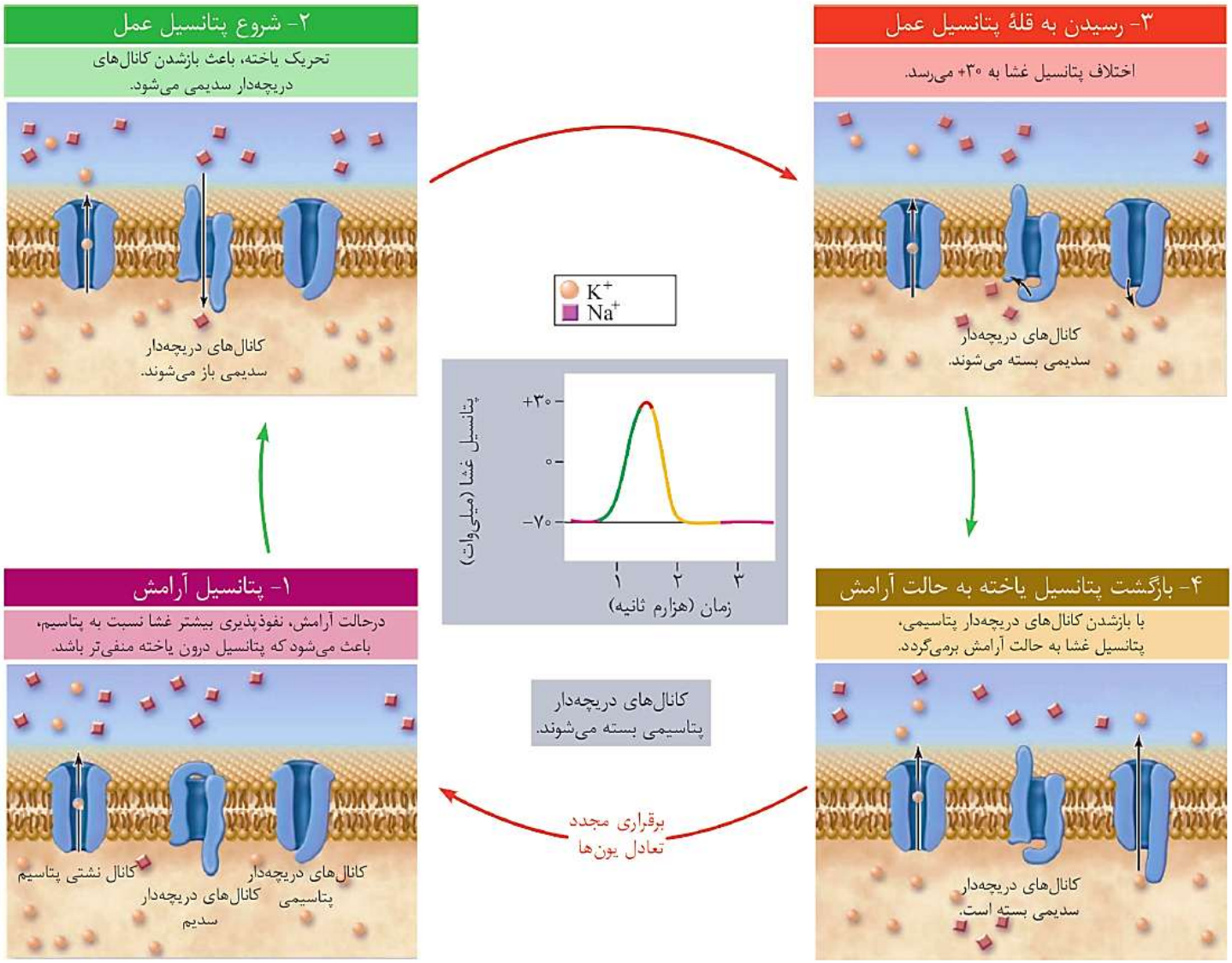
نکته: پس از پایان پتانسیل عمل، **شیب غلظت** یون‌های سدیم و پتاسیم با حالت آرامش **تفاوت** دارد.

نکته: فعالیت بیشتر پمپ سدیم-پتاسیم در پایان پتانسیل عمل سبب ☜ شیب غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در دو سوی غشا مجددا به حالت آرامش برگرد.

نکته مهم : حداکثر فعالیت پمپ سدیم-پتاسیم (بیشترین مصرف انرژی آن) در **پایان پتانسیل عمل** است. (نه در هنگام شروع یا حین آن)

یه جمع بندی بزنیم به بدن ☺ :

نوع پروتئین غشایی یاخته عصبی	مصرف انرژی زیستی (ATP)	نوع فعالیت	چه بلایی سر یون‌ها می‌آره؟!	زمان فعالیت
کانال‌های نشتی پتاسیم	***ندارد***	**انتشار تسهیل شده** (درجهت شیب غلظت)	یون پتاسیم رو از یاخته خارج می‌کنه	همواره باز (هم پتانسیل آرامش، هم پتانسیل عمل)
کانال‌های نشتی سدیم	***ندارد***	**انتشار تسهیل شده** (درجهت شیب غلظت)	یون سدیم رو وارد یاخته می‌کنه	همواره باز (هم پتانسیل آرامش، هم پتانسیل عمل)
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی	***ندارد***	**انتشار تسهیل شده** (درجهت شیب غلظت)	یون سدیم رو وارد یاخته می‌کنه	بخش بالارو پتانسیل عمل باز و در هنگام پتانسیل آرامش و مرحله پایین رو پتانسیل عمل بسته است
کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی	***ندارد***	**انتشار تسهیل شده** (درجهت شیب غلظت)	یون پتاسیم رو از یاخته خارج می‌کنه	بخش پایین‌رو پتانسیل عمل باز و در هنگام پتانسیل آرامش و مرحله بالارو پتانسیل عمل بسته است
پمپ سدیم-پتاسیم	***دارد***	**انتقال فعال** (در خلاف شیب غلظت)	یون سدیم رو از یاخته خارج می‌کنه و یون پتاسیم رو وارد یاخته می‌کنه	همواره فعال (هم پتانسیل آرامش، هم پتانسیل عمل)


۱- پتانسیل آرامش
درحالت آرامش، نفوذپذیری بیشتر غشا نسبت به پتاسیم، باعث می‌شود که پتانسیل درون یاخته منفی‌تر باشد.
کانال نشتی پتاسیم
کانال‌های دریچه‌دار سدیم
کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی
۲- شروع پتانسیل عمل
تحریک یاخته، باعث بازشدن کانال‌های دریچه‌دار سدیمی می‌شود.
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی باز می‌شوند.
۳- رسیدن به قلهٔ پتانسیل عمل
اختلاف پتانسیل غشا به ۳۰+ می‌رسد.
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته می‌شوند.
۴- بازگشت پتانسیل یاخته به حالت آرامش
با بازشدن کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی، پتانسیل غشا به حالت آرامش برمی‌گردد.
کانال‌های دریچه‌دار سدیمی بسته است.
کانال‌های دریچه‌دار پتاسیمی بسته می‌شوند.
برقراری مجدد تعادل یون‌ها
K^+
Na^+
پتانسیل غشا (میلی‌وات)
+۳۰
۰
−۷۰
۱
۲
۳
زمان (هزارم ثانیه)