



**پتانسیل انتشار (diffusion potential):** به اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده ، بعلت حرکت یون ها در جهت شیب غلظت ، پتانسیل انتشار آن یون گفته می شود .

در شکل زیر فرض بر این است که غشا فقط به یک نوع یون ، نفوذپذیر است . در شکل A ، غشا فقط به یون پتاسیم نفوذپذیر است . بنابراین پتاسیم در جهت شیب غلظت از داخل سلول به سمت خارج حرکت می کند . حرکت پتاسیم به سمت خارج تا زمانی ادامه پیدا می کند که به پتانسیل تعادلی برسیم . در این حالت تعدادی بار مثبت از سلول خارج شده است . از آنجا که سلول ، به هیچگونه یون دیگر نفوذپذیر نمی باشد ، با خروج پتاسیم از سلول در جهت شیب غلظت سلول دارای بار منفی و فضای خارج سلولی دارای بار مثبت خواهد شد ، در نتیجه بین دو طرف غشا ، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می شود .

**پتانسیل تعادلی:** در این پتانسیل الکتریکی حرکت یون در جهت شیب غلظت ، برعکس حرکت یون در جهت شیب الکتریکی می باشد . عبارتی در حالت پتانسیل تعادلی شیب غلظت باعث بوجود آمدن یک پتانسیل الکتریکی شده و این پتانسیل الکتریکی به خودی خود از حرکت یون ها در جهت شیب غلظت جلوگیری می کند .

( با توجه به مطالب ذکر شده ، پتانسیل تعادلی همان پتانسیل انتشار می باشد )

در این حالت ، حرکت بصورت شبکه ای نمی باشد بلکه حرکت یون از داخل به خارج ، با حرکت یون از داخل به خارج برابر است ( برآمد حرکت یون صفر می باشد ) ، به عنوان مثال یک یون پتاسیم بر اثر شیب غلظت به سمت خارج سلول حرکت می کند ، از آنجا که تراکم بار مثبت در خارج سلول زیاد است بنابر این با خروج یک پتاسیم از درون سلول بر اساس شیب غلظت ، یک پتاسیم به دلیل تراکم الکتریکی و شیب الکتریکی به داخل سلول فرستاده می شود . پس نیروی انتشاری که پتاسیم را به خارج سلول می راند ، با نیروی الکتریکی که پتاسیم را به داخل سلول می فرستد برابر است .

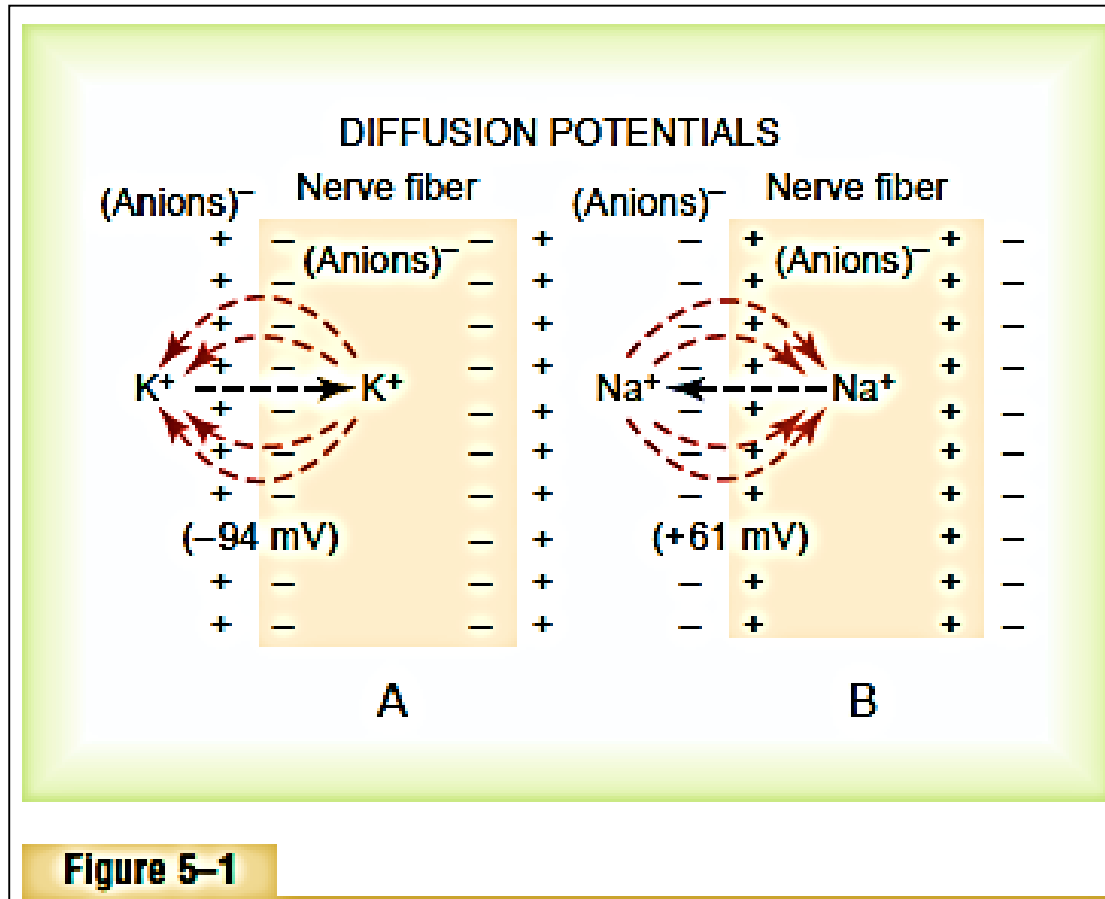
- پتانسیل انتشار اندازه گیری شده برای یون پتاسیم ، ۹۴- میلی ولت اندازه گیری شده است .

در شکل زیر قسمت B ، غشایی را مشاهده می کنید که فقط نسبت به یون سدیم نفوذ پذیر است . پس با توجه به شیب غلظت یون سدیم از بیرون به داخل سلول حرکت می کند ، این حرکت باعث تجمع بار الکتریکی مثبت درون سلول می شود ، در نتیجه پتانسیل الکتریکی داخل



سلول نسبت به خارج آن مثبت شده و اختلاف پتانسیل مثبتی را حاصل می شود. این حرکت یون تا زمان رسیدن اختلاف پتانسیل به پتانسیل انتشار ادامه می یابد.

- پتانسیل انتشار اندازه گیری شده برای یون سدیم ، +61 میلی ولت اندازه گیری شده است .



**نتیجه :** در پتانسیل انتشار ، حرکت یون در هر دو طرف متعادل شده و حرکت شبکه ای (Net movement) وجود ندارد .

این پتانسیل برای هر یون قابل اندازه گیری بوده ، ولی اندازه گیری بشکلی است که غشای مورد استفاده لزوما باید نسبت به همان یون خاص نفوذ پذیر باشد .

برای محاسبه ی پتانسیل تعادل ، از فرمول معادله ی nerst استفاده می شود .

$$\text{EMF (millivolts)} = \pm 61 \log \frac{\text{Concentration inside}}{\text{Concentration outside}}$$



$$\text{غلظت یون در داخل سلول} \\ \text{غلظت در یون خارج سلول} = \pm 61 \log (\text{میکرو ولت}) \text{ نیرو راننده الکتریکی}$$

بنابر فرمول بالا اندازه ی پتانسیل انتشار ، به اختلاف غلظت وابسته می باشد . دلیل این واقع بر آن است که هر چه اختلاف غلظت میان دو محیط بیشتر باشد ، تعداد ذرات بیشتری ( تعداد بار های بیشتری) در سلول جابجا می شود در نتیجه نیروی بزرگ تر ( اختلاف پتانسیل بیشتر) برای مقابله با آن لازم است .

موارد ذکر شده فقط در غشا های مصنوعی صادق است چرا که غشای فیزیولوژیک ، به تعداد زیادی یون نفوذ پذیر می باشد و نفوذ پذیری آن محدود به یک یون نیست .

زمانی که چند یون در معادله دخیل باشند ، برای محاسبه ی نیروی راننده ی الکتریکی ، از فرمول زیر استفاده می شود :

EMF (millivolts)

$$= -61 \cdot \log \frac{C_{Na^+}_i P_{Na^+} + C_{K^+}_i P_{K^+} + C_{Cl^-}_o P_{Cl^-}}{C_{Na^+}_o P_{Na^+} + C_{K^+}_o P_{K^+} + C_{Cl^-}_i P_{Cl^-}}$$

این معادله ، معادله ی Goldman خوانده می شود .

زمانی که غشا نسبت به چند یون نفوذ پذیر باشد ، نیروی راننده ی الکتریکی به سه عامل وابسته می شود :

۱- میزان قطبیت ( بار الکتریکی) هر یون

۲- میزان نفوذ پذیری غشا نسبت به هر یون (P)

۳- میزان غلظت هر یون ، در داخل و خارج از سلول (C)

توجه : در معادله غلظت در میزان نفوذ پذیری ضرب می شود .

توجه : در صورت کسر ، غلظت یون های مثبت در داخل سلول ولی برای یون منفی غلظت خارج سلول در نظر گرفته شده است .

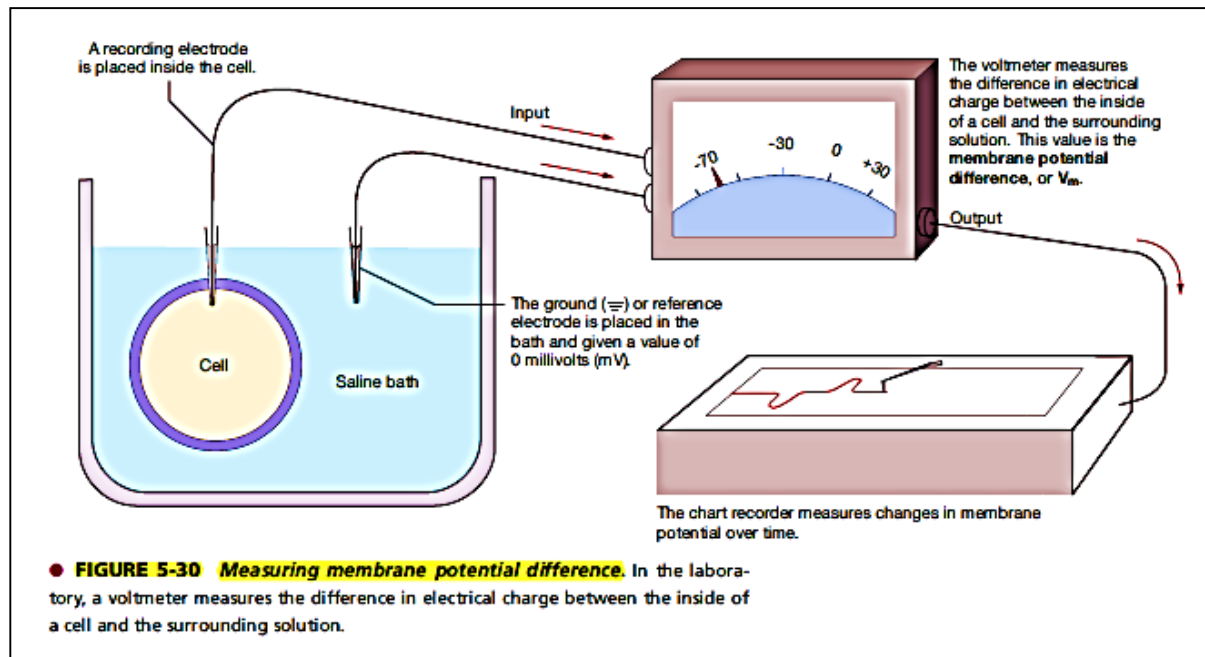
توجه : در مخرج کسر ، غلظت یون های مثبت در خارج سلول ولی برای یون منفی غلظت داخل سلول در نظر گرفته شده است .

نکته : یون های مهم در ایجاد پتانسیل انتشار غشا ، سدیم ، پتاسیم و کلرید می باشند .



بصورت قراردادی در علم فیزیولوژی پتانسیل مایع خارج سلولی صفر در نظر گرفته شده و اختلاف پتانسیل داخل سلول نسبت به بیرون محاسبه می شود .

برای اندازه گیری پتانسیل غشا ، سلول را در حمام سالین قرار داده و یک الکتروود نیز در فضای حمام سالین ( مایع خارج سلولی) قرار می دهیم ، پتانسیل مایع خارج سلولی صفر در نظر گرفته می شود پس با قرار دادن یک الکتروود در سلول میزان اختلاف پتانسیل براحتی قابل محاسبه است . پتانسیل غشا  $-70$  میلی ولت می باشد .



به صورت قراردادی پتانسیل مایع خارج سلولی را صفر در نظر گرفته و پتانسیل داخل سلولی را نسبت به بیرون محاسبه میکنیم . در بیولوژی اگر سلول را در حمام Saline قرار دهیم ، یک رفلکس الکتروود داریم که در ECF قرار میگیرد و یک الکتروود که داخل سلول است ، هر دو به یک ولت متر وصل می شوند پتانسیل خارج سلولی ، صفر میلی ولت اندازه گیری می شود و ولت متر ، اختلاف پتانسیل داخل سلول نسبت به خارج سلول را نشان می دهد که این عدد پتانسیل غشا نام دارد.

یک مفهوم داریم به نام **resting membrane potential** یا **RMP** که به اختلاف الکتریکی ( گرادیان الکتریکی ) بین داخل و خارج سلول ، زمانی که غشا در وضعیت استراحت است گفته میشود ( یعنی زمانی که غشا هیچ فعالیتی الکتریکی خاصی از خود نشان نمی دهد و به هیچ محرکی هم پاسخ نمی دهد )

در سلول های مختلف این عدد متفاوت است به طوری که در اکثر سلول های بدن ، این عدد  $-70$  میلی ولت است و در سلول های عصبی بزرگ حدود  $-90$  میلی ولت ثبت شده است .



برای اینکه بدانیم RMP از کجا و چگونه به وجود می آید ، باید به بیس پتانسیل انتشار توجه کنیم.

سه عامل در ایجاد RMP دخیل می باشند :

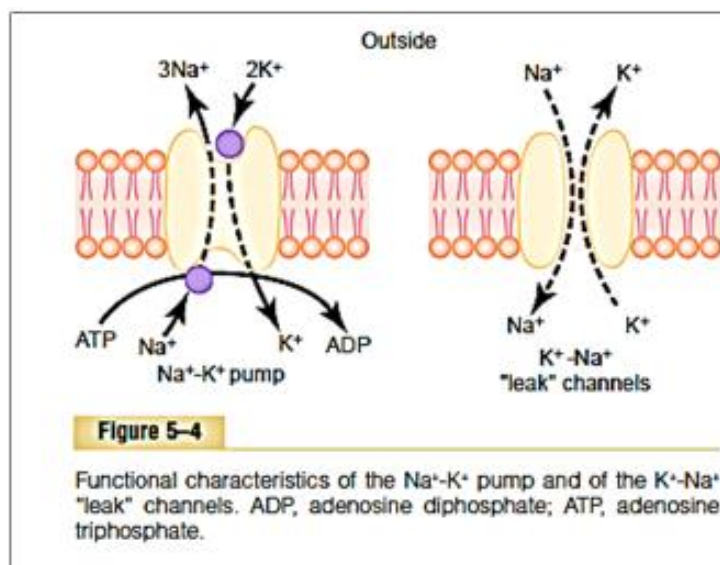
۱. انتقال فعال سدیم و پتاسیم از طریق پمپ سدیم - پتاسیم ATP که قبلا در مورد چگونگی ایجاد اختلاف الکتریکی توسط این پمپ توضیح داده شد ( گفتیم پمپ سدیم-پتاسیم ATP از یک پمپ الکتروژنیک است زیرا سه یون سدیم را از سلول خارج می کند و در یون پتاسیم به آن وارد می کند و یک پتانسیل منفی در داخل سلول ایجاد میکند.

۲. پتانسیل انتشاری پتاسیم ( مهمترین نقش )

۳. پتانسیل انتشاری سدیم

leaky channelها، (یادآوری: قبلا گفته شد کانال ها یا همیشه باز هستند (Leaky) یا Gated اند - کانال هایی که Leaky هستند ، بر اساس ویژگی های فیزیکی شیمیایی شان ، همیشه اجازه می دهند یون هایی که با این کانال ها match هستند از آن ها عبور کنند ) کانال هایی که میتوانند یون پتاسیم را از خود عبور دهند ، قادر به عبور یون سدیم نیز هستند زیرا پتاسیم از نظر اندازه بزرگ تر از سدیم است. بنابراین به نام  $K^+ - Na^+$  leaky channel شناخته می شوند.

این کانال به عنوان یک مسیر و راه همیشه باز است که بارها مثبت توانایی عبور از آن را دارند و نمی توان جلوی ورود و خروج آن ها از این راه را گرفت اما با توجه به اینکه نفوذپذیری غشا برای پتاسیم خیلی بیشتر از سدیم است ( در اکثر سلول ها ۴۰ برابر و در بعضی از سلول های ۱۰۰ برابر ) بنابراین پتاسیم هایی که از این کانال ها از سلول خارج می شوند ، بسیار بیشتر از تعداد یون های سدیم ورودی به سلول است ، به همین دلیل و در اکثر مواقع ، این کانال ها را  $K^+$  Leaky channel یا کانال های لیکی پتاسیم می شناسیم



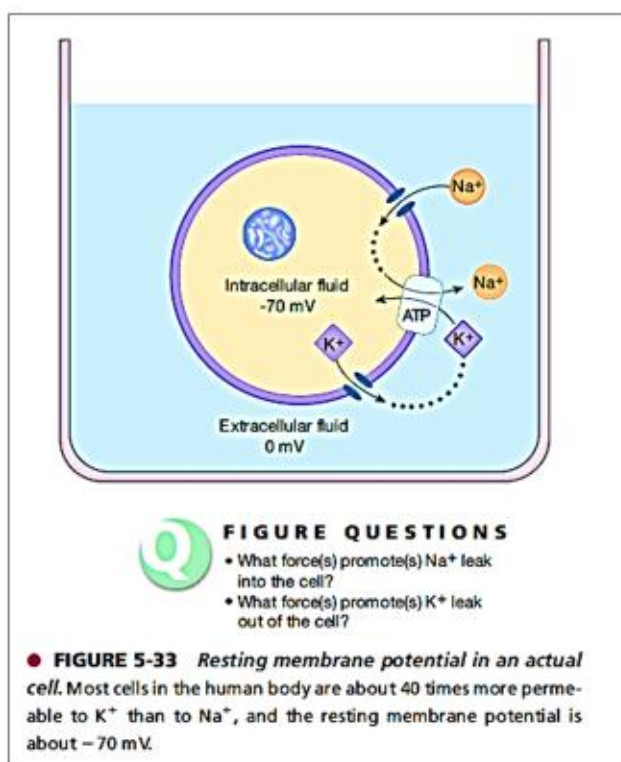
اگر به ازای هر ۱۰۰ پتاسیم خروجی ، یک سدیم وارد سلول شود یک net charge منفی در داخل سلول ایجاد میشود.



بنابراین کانال های **Leaky** که سدیم و پتاسیم را جا به جا می کنند هم در ایجاد **RMP** دخیل هستند و از آن جایی که نفوذ پذیری غشا برای پتاسیم خیلی بیشتر از سدیم است طبق اصلی که در معادله **Goldman** گفته شد یکی از عوامل تعیین کننده میزان نفوذ پذیری غشا برای یک یون خاص است و هرچه میزان نفوذ پذیری غشا برای یک یون بیشتر باشد پتانسیل نهایی غشا به پتانسیل تعادلی آن یون نزدیک تر می شود.

یعنی ، **RMP** به پتانسیل تعادلی پتاسیم نزدیک است ( پتانسیل تعادلی پتاسیم =  $-94$  میلی ولت )

در اکثر نوروها ، **RMP** حدود  $-90$  میلی ولت می باشد و به پتانسیل تعادلی پتاسیم خیلی نزدیک است .



Human Physiology,  
Silverthorn

بنابراین می توان این گونه در نظر گرفت که به قدری نفوذ پذیری غشا نسبت به سدیم کم است که گویا فقط نسبت به پتاسیم نفوذ پذیر است ( اما در عمل این گونه نیست و میزان اندکی سدیم نیز جا به جا می شود بنابراین هیچ وقت **RMP** به حد پتانسیل تعادلی پتاسیم نمی رسد )

پس سه عامل در ایجاد **RMP** دخیلند : پتانسیل انتشاری پتاسیم ، پتانسیل انتشاری سدیم و پمپ سدیم-پتاسیم **ATP**آز

اگر از معادله **Goldman** استفاده کنیم ، جمع پتانسیل انتشاری پتاسیم و پتانسیل انتشاری سدیم ، عدد  $-86$  می شود و  $-4$  میلی ولت مابقی ، به وسیله ی پمپ سدیم-پتاسیم **ATP**آز ایجاد میشود اما باید به خاطر داشت که همه ی کارها به پمپ  $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$  وابسته است



زیرا اگر این پمپ از کار بیفتد ، اصلا اختلاف غلظتی وجود نخواهد داشت که سبب خروج  $K^+$  و ورود  $Na^+$  از Leaky channel ها بشود.

بنابراین اگر پمپ به درستی کار نکند و این اختلاف غلظتی را به خوبی حفظ نکند پس از مدتی ، این یون ها به حالت تعادلی در می آیند و دو طرف سلول از نظر الکتریکی با هم برابر می شود

وقتی در مورد RMP صحبت می کنیم با چند مفهوم دیگر نیز سر و کار داریم :

۱. depolarization: زمانی که اختلاف پتانسیل بین دو سمت غشای سلول کاهش پیدا کند و پتانسیل داخل سلول به پتانسیل خارج سلول ( صفر ) نزدیک شود ( مثلا از  $-80$  به  $-40$  برسد ) به این حالت depolarization گفته می شود.

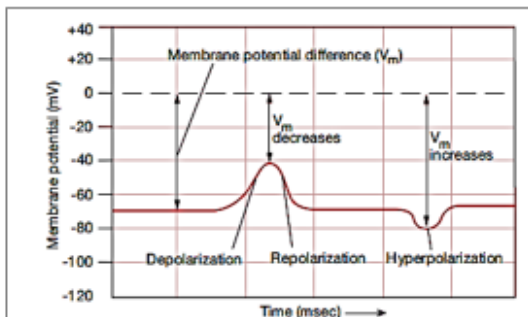
۲. repolarization: برگشت وضعیت depolarization به شرایط Resting را repolarization می گوئیم.

۳. Hyper polarization: زمانی که اختلاف پتانسیل بین داخل و خارج غشا افزایش یابد ( به عنوان مثال از  $-80$  به  $-90$  برسد ) Hyper polarization اتفاق افتاده است .

4. over shoot: زمانی که قطبیت غشا برعکس شود یعنی به جای اینکه داخل غشا نسبت به بیرون منفی باشد ، داخل نسبت به خارج مثبت شود Over shoot

The terms "depolarize," "repolarize," and "hyperpolarize" are used to describe the direction of changes in the membrane potential relative to the resting potential

اتفاق افتاده است . ( که در پتانسیل عمل فبر های عصبی بزرگ صورت میگیرد )



● FIGURE 5-34 Terminology associated with changes in membrane potential. If the membrane potential becomes less negative, the cell depolarizes. If the membrane potential becomes more negative than the resting potential, the cell hyperpolarizes.

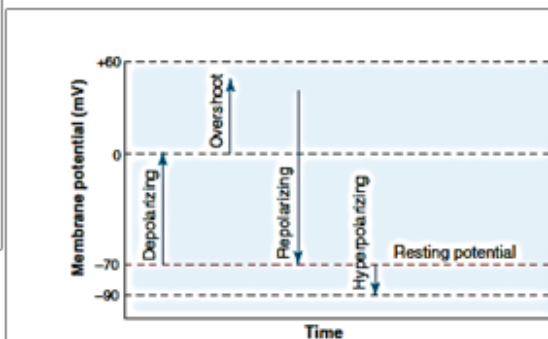


FIGURE 8-14 Depolarizing, repolarizing, hyperpolarizing, and overshoot changes in membrane potential.

آنچه تا به حال گفته شد مربوط به حالت استراحت و زمانی است که سلول به هیچ محرکی پاسخ نمی دهد اما سلول های بدن ، این توانایی را دارند که به محرک ها پاسخ بدهند که سلول های عصبی ، ماهیچه ای و بعضی از سلول های ایمنی و



بعضی از سلول های اندوکراین از مهم ترین آنها می باشند. این سلول ها در برابر تحریک های محیطی اعم از electrical ، physical ، chemical (نوع تحریک فرقی نمی کند) این قابلیت را دارند که پتانسیل غشای

خود را از حالت resting تغییر دهند و یک سیگنال الکتریکی در آنها ایجاد شود ، این سیگنال های الکتریکی به دو صورت ایجاد می شوند:

۱. graded potential ( پتانسیل درجه بندی شده )

۲. action potential (پتانسیل عمل )

graded potential ها مسئول انتقال پیام ها در فواصل کوتاه می باشند و action potential ها مسئول انتقال پیام ها در فواصل طولانی هستند ( به عنوان مثال انتقال پیام از یک نورون موجود در مغز به یک عضله ی پا )

پتانسیل های graded چند ویژگی مشخص دارند :

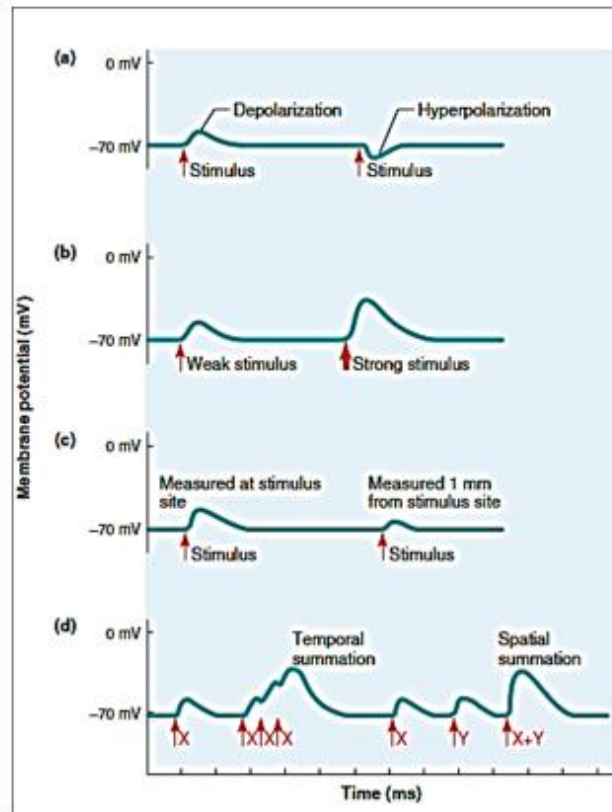
- به نواحی کوچکی از غشا محدود می شوند و برای انتقال پیام در فواصل کوتاه مناسبند و با عبور از ناحیه ای که در آن تولید شده اند ، از بین می روند.
- Magnitude یا دامنه اندازه آن ها ثابت نیست و درجه بندی شده است وابسته به شدت متحرک می تواند کوچک یا بزرگ باشد وقتی stimulus یا محرک ضعیف شده باشد ، ارتفاع / دامنه magnitude کم تر خواهد بود و وقتی که Stimulus قوی باشد ، دامنه افزایش خواهد یافت .
- duration این پتانسیل ها بر اساس قدرت محرک ، متفاوت است به این صورت که اگر قدرت محرک بیشتر باشد این پتانسیل ها قبل از ، از بین رفتن فاصله ی بیشتر را طی می کنند ( به عنوان مثال اگر قدرت محرک زیاد باشد ممکن است این پتانسیل عمل بعد از 2mm از بین برود و اگر قدرت محرک کمتر باشد بعد از 1mm از بین می رود )
- این نوع پتانسیل هم می تواند به شکل depolarization و هم به شکل hyperpolarization باشد یعنی هم میتواند پتانسیل داخل غشا را به صفر نزدیک کند و اختلاف پتانسیل را کاهش دهد و هم می تواند اختلاف پتانسیل را افزایش دهد و پتانسیل داخل غشا را منفی تر کند

(این ویژگی را در پتانسیل عمل نداریم)

در شکل زیر با ویژگی قابلیت از بین رفتن این نوع پتانسیل را می توان دید به این صورت که اگر در محل وارد شدن Stimulus پتانسیل را اندازه گیری کنیم و پس از 1mm از محل دور شویم و بار دیگر این عدد را اندازه گیری کنیم می توانیم به وضوح این ویژگی را مشاهده کنیم و احتمالاً در فاصله 2mm از محل ، هیچ پتانسیلی ثبت نمی شود.

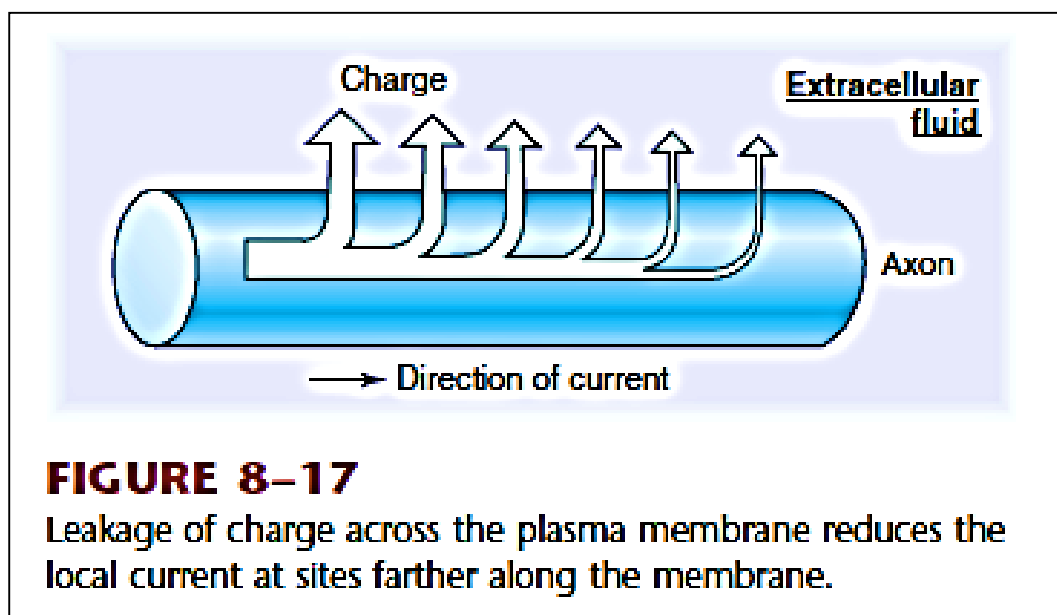


## Graded Potentials



Human Physiology,  
Vander

علت کمتر شدن ارتفاع و از بین رفتن پتانسیل، نفوذ پذیری بسیار زیاد غشاست که پر از کانال های یونی بوده و قادر به جا به جا کردن بار ها در عرض خود هستند. (همانطور که گفته شد، سیگنال هایی که ایجاد میشوند، همگی در اثر اختلاف بار و حرکت بار های الکتریکی می باشند)



**FIGURE 8-17**

Leakage of charge across the plasma membrane reduces the local current at sites farther along the membrane.



بنابراین علت میرا بودن این نوع پتانسیل این است که در غشای سلول بسیار نفوذ پذیر است و بار می تواند هم در جهت عرضی و هم در جهت طولی جا به جا شود و به دلیل نشت یون های به صورت عرضی ، بعد از یک فاصله ی کوتاه ، دیکر بار داخل سلول به مقداری نیست که بتواند این پتانسیل را حفظ کند .

-یکی دیگر از ویژگی های بسیار مهم graded potential این است که قابلیت summation یا جمع شدن دارند.

Summation به دو شکل رخ می دهد:

۱- temporal summation (جمع زمانی): زمانی رخ میدهد که تعداد تحریکاتی را که به یک سلول خاصی می دهیم در واحد زمان افزایش دهیم به عنوان مثال اگر ده تحریک در واحد زمان به یک سلول خاص می دهیم الان به بیست تحریک افزایش دهیم، این تحریکات و یک پتانسیل بزرگتر را برای ما ایجاد کند.

۲- spatial summation (جمع فضایی): زمانی رخ می دهد که تحریکات چند سلول مختلف با هم جمع بشود که در سلول های عصبی به طور واضح مشاهده می شود به عنوان مثال نورونی که دارای یک جسم سلولی و چندین دندریت است؛ زمانی که هر کدام از این دندریت ها یک تحریک دریافت میکنند پتانسیل این چند دندریت با هم جمع میشوند و یک پتانسیل قوی ایجاد میکنند که سلول را مجبور به تولید پتانسیل عمل میکند.

وقتی X با Y جمع میشود و پتانسیل افزایش پیدا میکند و جمع شدن رخ می دهد، در temporal summation تحركات پشت سر هم اتفاق می افتد و جمع می شود.

چند مثال از graded potential:

1-receptor potential

۲-synaptic potential

۳-pacemaker potential: در قلب داریم و باعث می شود که سلول بتواند خود به خود وارد action potential شود.

Receptor potential: نورونی است که در بافت محیطی بدن است، دارای چندین دندریت است، پیام ها را از دندریت ها جمع می کند و یک پتانسیل عمل تولید می کند و آن را به CNS ارسال می کند.

synaptic potential: در سیناپس نورون به نورون یا نورون به عضله داریم، ابتدا یک graded potential در سلول پیش سیناپسی ایجاد می کنیم که این سلول می تواند نورون یا عضله باشد زمانی که به اندازه کافی قوی شد پتانسیل عمل برای انتقال پیام ایجاد میکند.



Potential difference: اختلاف الکتریسیته بین دو نقطه و همیشه به صورت قراردادی جهت جریان از مثبت

به منفی است

Membrane potential=transmembrane potential: اختلاف ولتاژ بین داخل و خارج سلول

Equilibrium potential (پتانسیل انتشاری یا تعادلی یا پتانسیل ...): اختلاف ولتاژی است که در عرض غشا ایجاد میکند که دقیقاً هم اندازه ولی مخالف جریانی است که در اثر اختلاف غلظت به وجود می آید به همین دلیل به آن تعادلی می گوئیم چون یون، در خارج و داخل آن به تعادل رسیده است

Resting membrane potential=resting potential: یک پتانسیل پایدار است یعنی داخل سلول نسبت به خارج آن منفی است و این وضعیت همیشه حفظ می شود (در سلولی وجود دارد که در حال تولید پتانسیل الکتریکی نیست).

duration: Graded potential و amplitude آن تغییر میکند و به صورت کاهش یابنده انتقال می یابد به این صورت که هر مقدار که پتانسیل جلوتر می رود کاهش می یابد و دوره تحریک را برای آن نداریم.

Action potential: قانون همه یا هیچ؛ می تواند قطبیت غشا را برعکس کند یعنی داخل نسبت به بیرون مثبت شود و بدون هیچ کاهشی تا پایان مسیر جلو می رود و دارای آستانه (threshold) و refractory است.

Synaptic potential: محل اتصال عصب به عصب یا عصب به عضله؛ یک پتانسیل در سلول پس سیناپسی ایجاد می کند.

TABLE 8-3 A Miniglossary of Terms Describing the Membrane Potential	
Potential = potential difference	The voltage difference between two points.
Membrane potential = transmembrane potential	The voltage difference between the inside and outside of a cell.
Equilibrium potential	The voltage difference across a membrane that produces a flux of a given ion species that is equal but opposite the flux due to the concentration gradient affecting that same ion species.
Resting membrane potential = resting potential	The steady transmembrane potential of a cell that is not producing an electric signal.
Graded potential	A potential change of variable amplitude and duration that is conducted decrementally; it has no threshold or refractory period.
Action potential	A brief all-or-none depolarization of the membrane, reversing polarity in neurons; it has a threshold and refractory period and is conducted without decrement.
Synaptic potential	A graded potential change produced in the postsynaptic neuron in response to release of a neurotransmitter by a presynaptic terminal; it may be depolarizing (an excitatory postsynaptic potential or EPSP) or hyperpolarizing (an inhibitory postsynaptic potential or IPSP).
Receptor potential	A graded potential produced at the peripheral endings of afferent neurons (or in separate receptor cells) in response to a stimulus.
Pacemaker potential	A spontaneously occurring graded potential change that occurs in certain specialized cells.



سلول های پیش سیناپسی معمولاً نورون هستند و سلول پس سیناپسی می تواند عصب، عضله، غده و ... باشد. بین سلول پیش سیناپسی و پس سیناپسی synaptic cleft را داریم.

- پیام هنگامی که به سلول پیش سیناپسی می رسد در آنجا تغییراتی ایجاد می کند (پیام از نوع graded است که به آن synaptic potential میگویند که میتواند به دو شکل ایجاد شود

۱- excitatory post synaptic potential یا به اختصار EPSP (تحریک کننده)

۲- inhibitory post synaptic potential یا به اختصار IPSP (مهار کننده)

اگر تغییراتی که در شکاف سیناپسی رخ داده منجر به این موضوع شود که درون سلول پس سیناپسی نسبت به بیرون از شرایط معمول منفی تر شود یعنی در واقع اختلاف داخل با خارج بیشتر شود IPSP داریم، اگر تغییراتی که در شکاف سیناپسی داریم باعث این امر شود که داخل سلول را نسبت به خارج مثبت کند یا اختلاف پتانسیل بین داخل و خارج سلول را کاهش بدهد EPSP داریم.

EPSP و IPSP طبق قانون GRADED POT قابلیت جمع پذیری را دارند به عنوان مثال اگر EPSP با هم جمع شود می تواند غشای سلول پس سیناپسی را دپولاریزه کنند و می تواند سلول پس سیناپسی را به آستانه شلیک پتانسیل عمل برساند، اگر IPSP با هم جمع شوند می توانند غشای سلول پس سیناپسی را هایپرپلاریزه کنند و غشای سلول پس سیناپسی را از آستانه دور می کنند و میزان تحریک پذیری سلول پس سیناپسی را کاهش می دهند به گونه ای که برای ایجاد پتانسیل عمل شرایط آن سخت تر می شود.

### پتانسیل استراحت غشا:

در شرایط نرمال در ECF غلظت  $Na^+$  به عنوان کاتیون و در کنار آن غلظت  $Cl^-$  به عنوان آنیون بالا است و در ICF غلظت  $K^+$  به عنوان کاتیون و در کنار آن آنیون های سولفات، فسفات و پروتئین هایی که دارای بار منفی هستند دارای غلظت بالایی هستند و معمولاً از سلول خارج نمی شوند.

پتانسیل انتشار یا Diffusion pot: فرض میکنیم یک غشا داریم که فقط به یک یون خاص نفوذ پذیر است به عنوان مثال در سمت a غشا فقط به یون پتاسیم نفوذ پذیر است و در سمت b غشا به یون سدیم نفوذ پذیر است.

پتاسیم در جهت شیب غلظت از داخل سلول به سمت بیرون سلول حرکت میکند (پتاسیم دارای بار مثبت است و با خروج پتاسیم در واقع بار مثبت از سلول خارج می شود و چون سلول به هیچ یون مثبت یا منفی دیگری نفوذ پذیر نیست بنابراین داخل سلول نسبت به بیرون منفی می شود که بار منفی در داخل سلول به علت خروج پتاسیم و یک بار مثبت در خارج سلول به علت انتقال پتاسیم به خارج سلول ایجاد می شود و مانع از انتشار بیشتر پتاسیم می شود



علت: بار منفی که در داخل سلول ایجاد شده است، تمایل دارد که پتاسیم را در داخل سلول نگه دارد و بار مثبتی که در خارج سلول است تمایل دارد که پتاسیم را پس بزند. به این اختلاف پتانسیل الکتریکی که در اثر حرکت یون در جهت شیب غلظت آن به وجود آمده است پتانسیل انتشار برای آن یون خاص گفته می شود. این مقدار را برای یون پتاسیم اندازه گیری کرده اند که عدد آن  $-94\text{mv}$  است.

در پتانسیل انتشاری برای یک یون خاص، که آن را به اسم پتانسیل تعادلی برای آن یون می شناسیم، حرکت یون در جهت شیب غلظت آن (مثل پتاسیم در مثال بالا) کاملاً برعکس حرکت یون در جهت شیب الکتریکی آن می شود.

یعنی شیب غلظت پتاسیم، پتاسیم را از سلول خارج میکند و شیب الکتریکی پتاسیم را وارد سلول می کند و این دو حرکت کاملاً به اندازه هم هستند. یعنی نیرویی که پتاسیم را در اثر شیب غلظت بیرون می برد به اندازه شیب غلظت پتاسیم را به سلول وارد می کند.

بنابراین ما در اینجا حرکت خالص نداریم (هر مقدار که پتاسیم به همان اندازه نیز پتاسیم وارد می شود)، ما در ابتدای کار حرکت خالص داریم.

چکیده: اگر اختلاف غلظت یک یون یا ماده در دو سوی غشا منجر به پتانسیل الکتریکی شود که خود پتانسیل از حرکت بیشتر یون در جهت شیب غلظت جلوگیری کند می گوئیم پتانسیل تعادلی یا انتشار برای آن یون به وجود آمده است.

در نقطه ۲ یک محرکی که قابلیت ایجاد تغییر در غشا را دارد که می تواند از نوع فیزیکی، شیمیایی یا الکتریکی باشد را وارد می کنیم که باعث اجاد یک تغییر در پتانسیل می شود به گونه ای که اختلاف پتانسیل داخل با بیرون اختلاف کم می شود به گونه ای که به سمت مقادیر منفی حرکت می کند. این فاصله یعنی بین نقطه ۲ تا  $3$  Graded potential داریم یعنی اگر شدت محرک بیشتر بود ارتفاع صعود بیشتر می شود.

در مرحله ۱ بعد به اندازه ای بار مثبت وارد سلول شده یعنی تحریک به اندازه ای قوی بوده که به تعداد کافی بار مثبت وارد سلول بکند تا این سلول را به آستانه شلیک پتانسیل عمل برساند.

مرحله ۱ بعد شروع شلیک پتانسیل عمل است که در اثر ورود تعداد خیلی زیاد یون سدیم به طور همزمان به داخل سلول ایجاد می شود که در این مرحله تمام کانال های سدیمی باز می شوند و غشا یک افزایش چشمگیر در پتانسیلش دارد به گونه ای که می تواند حتی از عدد ۰ عبور کند و به  $+30$  برسد. نقطه ای که از ۰ عبور می کند overshoot می نامیم و  $+30$  را قله پتانسیل می نامیم در قله ی پتانسیل عمل پتانسیل غشا به بیشترین حد ممکن خودش، به پتانسیل تعادلی سدیم نزدیک شده چون انقدر نفوذ پذیری غشا برای سدیم در مقایسه با پتاسیم بالا رفته که دیگر به پتاسیم نفوذ پذیر نیست. بنابراین در قله ی پتانسیل عمل حداکثر نزدیکی پتانسیل غشا به پتانسیل استراحتی سدیم را داریم.



در مرحله ی بعد تمامی کانال های سدیمی غشا غیر فعال می شود به دلیل ولتاژ غشا اینها کانال های سدیمی دریچه دار وابسته به ولتاژ اند بنابراین باز یا بسته شدن دریچه کاملا به اختلاف پتانسیل موجود در عرض غشا بستگی دارد.

اکنون کانال های سدیمی بسته شده اند و کانال های پتاسیمی شروع بکار میکنند .

نکته: دقت داشته باشیم در نقطه ای که کانال های سدیمی باز می شوند کانال های پتاسیمی نیز باز می شوند اما سرعت باز شدنشان خیلی کم است و در واقع از نوع delayed channel هستند .

بنابراین در این مرحله سرعت ورود سدیم به داخل بسیار بیشتر از سرعت خروج پتاسیم است یعنی بار مثبتی که وارد می شود بیشتر از خروج آن است پس دیپلاریزاسیون اتفاق می افتد اما در جایی که ولتاژ نزدیک به  $+30$  است کانال های سدیمی بسته شده اند و تقریبا تمام کانال های پتاسیمی باز شده اند و خروج شدید پتاسیم از داخل به خارج داریم و پتانسیل غشا شروع به falling می کند و به resting برسد به این مرحله repolarization می گویند  
نکته: در مرحله rest غشا پلاریزه است.

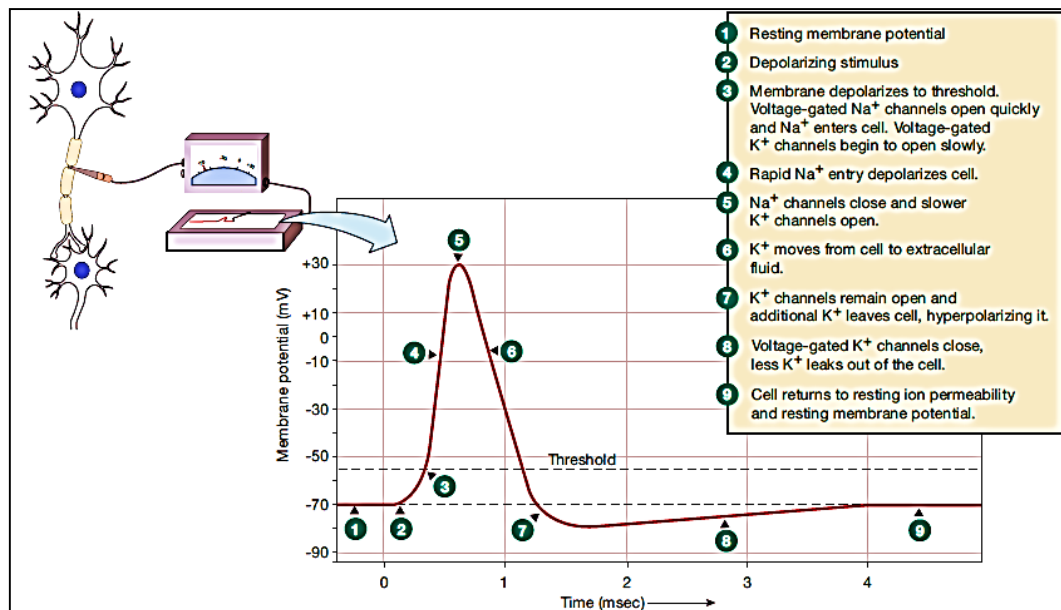
زمانی که به resting میرسیم کانال های پتاسیمی چون آهسته بسته میشود باعث میشود که پتانسیل غشا کمی از resting منفی تر شود که به این وضعیت hyperpolarization میگویند. (Under shoot هم میگویند).

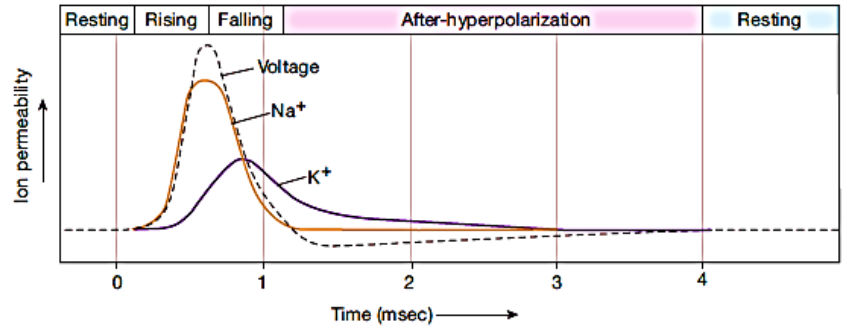
بعد از این که کانال های پتاسیمی کاملا بسته شدند همه چیز به شرایط استراحت بازمیگردد.

بعد از پایان پتانسیل عمل وضعیت یون ها و الکتروسیته غشا به هم ریخته است اینجا هست که نقش پمپ سدیم پتاسیم ATPase به وسط

میاید که با پمپ کردن و مصرف انرژی همه چیز را به شرایط resting برمیگرداند.

این مراحل مربوط به پتانسیل عمل یک نورون بود زیرا در عضله قلبی و صاف یا جاهای دیگر شکل آن فرق میکند.



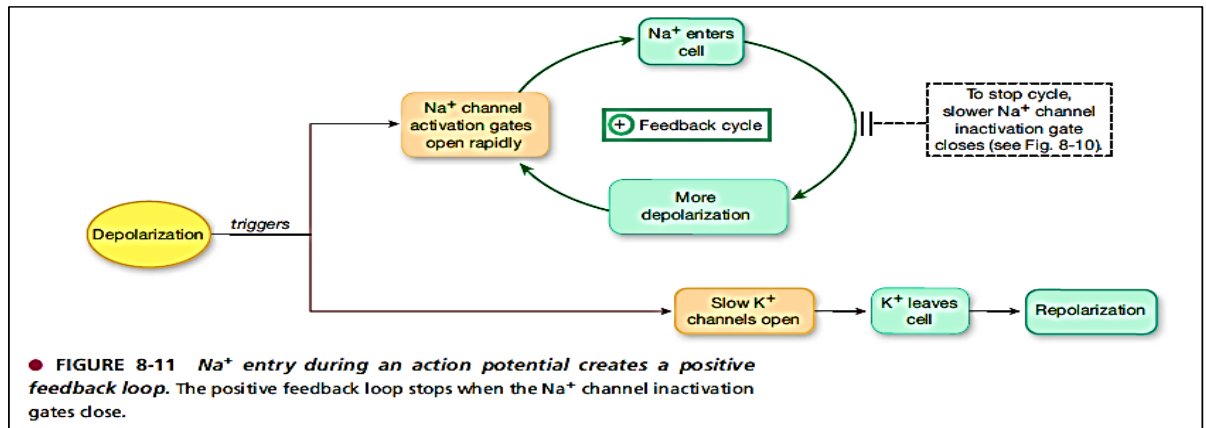


● FIGURE 8-9 Voltage and ion permeability changes during the action potential.

در این شکل صحبت هایی را که کردیم بر حسب نفوذ پذیری نشان داده است.

خطوط نقطه چین تغییر ولتاژ، خط قهوه ای رنگ نفوذ پذیری نسبت به سدیم و آبی رنگ برای پتاسیم را نشان میدهد.

این که چه چیزی باعث میشود که به threshold برسیم و پتانسیل عمل ایجاد شود سیکل positive feedback یا سیکل مخرب است.



● FIGURE 8-11  $\text{Na}^+$  entry during an action potential creates a positive feedback loop. The positive feedback loop stops when the  $\text{Na}^+$  channel inactivation gates close.

Human Physiology,  
Silverthorn

به این شکل که هنگامی که یک محرک را وارد میکنیم باعث باز شدن کانالهای سدیمی می شود و اگر محرک ضعیف باشد تعداد کمی

کانال باز میشود تعداد کمی سدیم وارد میشود و کمی هم پتانسیل بالا میرود که آن را graded potential مینامیم.

اما اگر محرک بقدر کافی قوی باشد که به اندازه ای که کانال باز کند و به اندازه ای بار مثبت سدیم وارد کند که باعث دپلیریزاسیون غشا

شود که کانال های بیشتری باز شود یعنی هر چه غشا دپلاریزه شود تعداد بیشتری کانال باز می شود.



پس اگر محرک قوی داشته باشیم تعداد زیادی کانال سدیمی باز می شود حجم زیادی بار مثبت وارد می شود حجم زیاد بار مثبت غشا را به یک حد خاصی که به آن آستانه می گوئیم، دپلاریزه میکند همین باعث باز شدن کانال های بیشتری میشود، غشا دوباره دپلاریزه تر میشود و پتانسیل عمل ایجاد میشود بنابراین مکانیزم ایجاد پتانسیل عمل سیکل مخرب است. اگر بخواهیم این سیکل را متوقف کنیم باید کانال متوقف شود که هنگامی اتفاق می افتد که ولتاژ به  $+30$  برسد دیگر بیشتر از این ورود بار مثبت را نداریم پس این سیکل قطع می شود و قله ی پتانسیل عمل شکل می گیرد.

محرکی که آنقدر قوی باشد که ما را به آستانه برساند را محرک آستانه ای می گویند معمولاً آستانه حدود  $15$  الی  $30$  میلی ولت مثبت تراز **reting** یعنی اگر  $-70$  در حدود  $-50$  که بریم به **threshold** می رسیم قانون **all or none** حاکم می شود یعنی مجبور است پتانسیل عمل شلیک کند چون تمام کانال های سدیمی اش با هم باز میشود.

پس قانون **all or none** بیان میکند یا سلول به آستانه نمیرسد یا اگر برسد سلول ناگزیر به تولید پتانسیل عمل است به آنجا که رسید تمام کانال ها باز میشوند و پتانسیل غشا فوق العاده بالا میرود.