پردازش سیگنال‌های بیولوژیکی

Dr. Maleki
http://sun.semnan.ac.ir/~maleki/Lectures/BSP

مبحث دوم

منشا سیگنال‌های بیوالکتریک

فهرست مطالب

- مقدمه
- سلول عصبی
- عضله
- هادی‌های حجمی

ضرورت پرداختن به فعالیت سلول‌های عصبی و عضلانی

در سیستم‌های بیولوژیکی:

مهمترین مکانیزم **پردازش اطلاعات و کنترل**: شبکه‌های عصبی

مهمترین مکانیزم **انتقال اطلاعات**: پیام‌های عصبی در اعصاب

مهمترین مکانیزم **ایجاد نیرو، گشتاور و حرکت**: انقباض تارهای عضلانی در عضلات

پرداختن به این پدیده‌ها، نیازمند اندازه‌گیری فعالیت‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی در یک سلول و مجموعه‌ای از سلول‌ها است.

معرفی پتانسیل بیوالکتریک

بسیاری از عملکردهای سلول‌های عصبی و عضلانی، طبیعت شیمیایی دارد.

این عملکردها موجب ایجاد میدان الکتریکی می‌گردد.

میدان الکتریکی پس از انتشار در هادی‌های حجمی به سطح پوست می‌رسند.

اثر میدان حاصل از مجموعه‌ای از سلول‌ها را می‌توان توسط الکترودها پایش (فرانگری) و ثبت نمود که اصطلاحا پتانسیل بیوالکتریک نامیده می‌شود.

پتانسیل بیوالکتریک اغلب ناشی از فعالیت الکتروشیمیایی سلول‌های عصبی و سلول‌های عضلانی است که اثر مجموعه‌ای از آنها، پس از عبور از هادی حجمی (که شامل بافت‌های مختلف بدن است) ثبت می‌گردد.

واژه‌نامه:

پتانسیل بیوالکتریک	Bioelectric potential
فرانگری، پایش	monitor

نمونه‌هایی از پتانسیل بیوالکتریک

الکتروانسفالوگرام (EEG)

الکترومایوگرام سطحی (SEMG)

الکتروکاردیوگرام (ECG)

هر کدام از این سیگنال‌ها از کجا سرچشمه می‌گیرند؟

راه‌کارهای مطالعه‌ی عملکرد سلول‌های عصبی و عضلانی

به طور مستقیم با اندازه‌گیری این پدیده‌های شیمیایی

به عنوان نمونه می‌توان به اندازه‌گیری تغییرات غلظت یون‌ها توسط مبدل‌های خاص نظیر الکترودهای انتخاب‌گر یون اشاره نمود. چنین ثبت‌هایی تهاجمی و بسیار مشکل است.

به طور غیرمستقیم با پردازش پتانسیل‌های بیوالکتریک

اگرچه ثبت پتانسیل‌های بیوالکتریک نظیر EEG ، SEMG و ECG غیرتهاجمی و نسبتا ساده است ولی تعیین نقش هر یک از سلول‌های عصبی یا عضلانی تاثیرگذار در سیگنال، با در نظر گرفتن تاثیر هادی حجمی‌ای که سیگنال‌ها از آن عبور کرده‌اند بسیار مشکل است.

واژه‌نامه:

الکترود انتخاب‌گر یون	Ion selective electrode
تهاجمی (غیرتهاجمی)	Invasive (noninvasive)

فهرست مطالب

- مقدمه
- سلول عصبی
- عضله
- هادی‌های حجمی

سلول عصبی

سلول عصبی یا نورون، عنصر پردازشی پایه در سیستم نروفیزیولوژیکی است.

نقش نورون‌ها:

۱- پردازش اطلاعات و کنترل

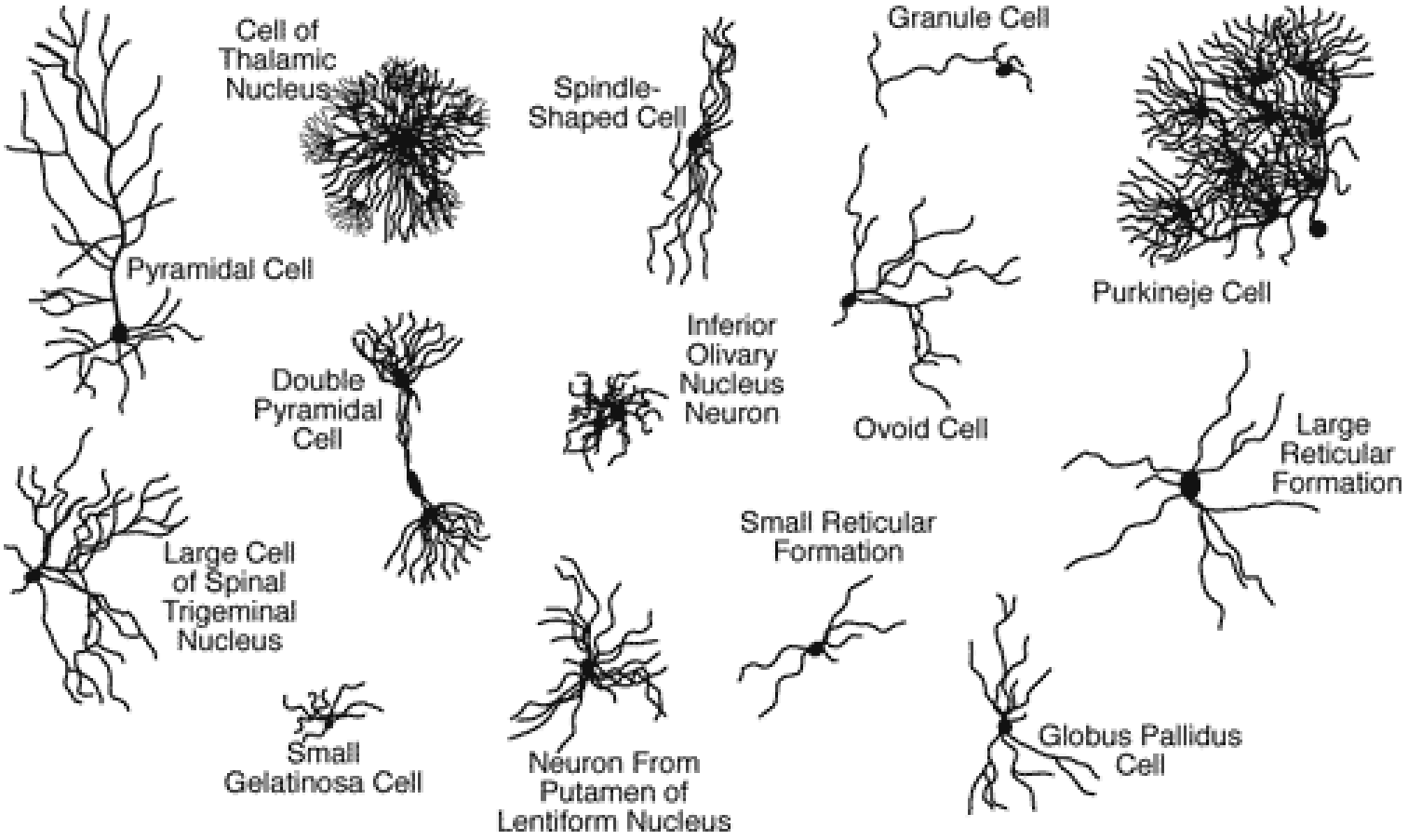
۲- انتقال اطلاعات

۳- دریافت اطلاعات

واژه‌نامه:

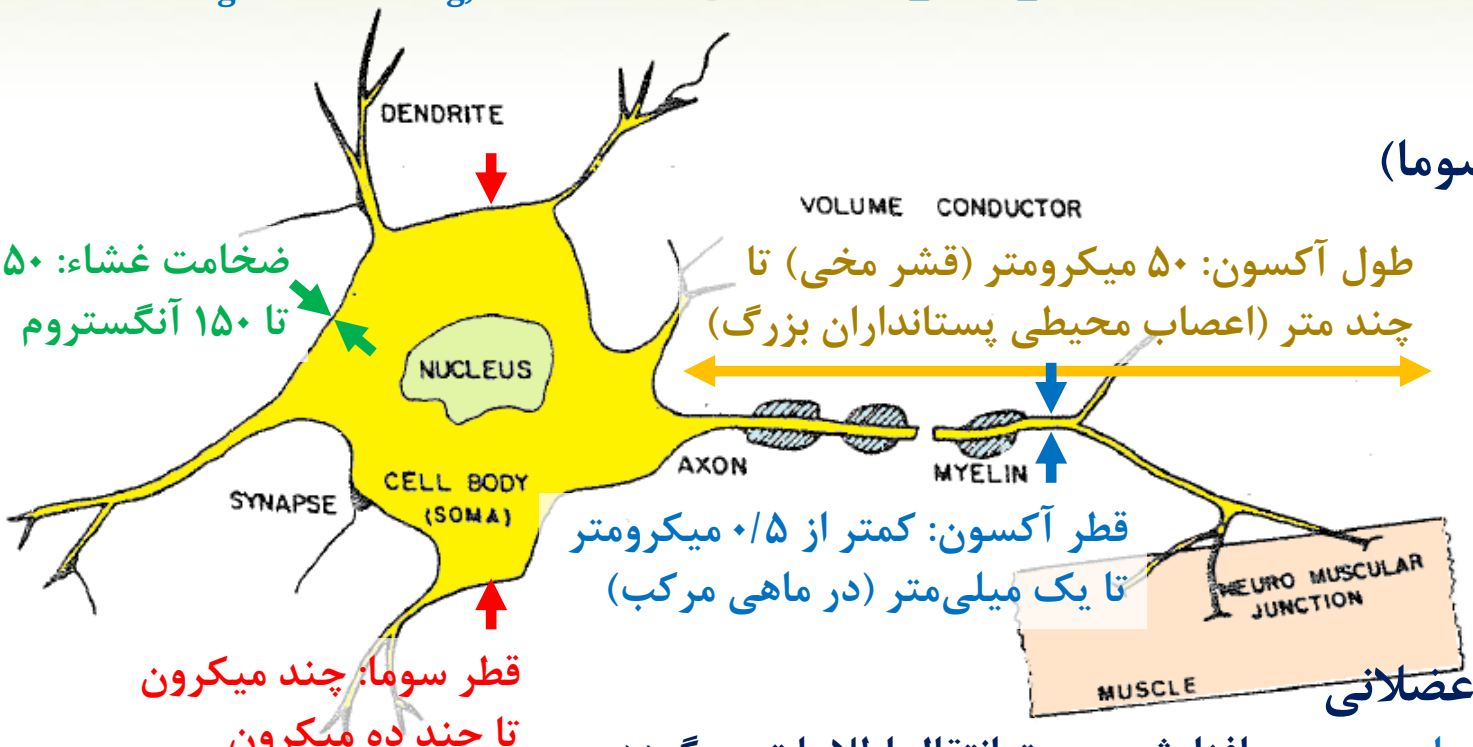
سلول عصبی	Nerve cell
نورون	Neuron

انواع سلول عصبی



ساختار سلول عصبی

Biomedical Signal Processing, Cohen.



ضخامت غشاء: ۵۰ تا ۱۵۰ آنگستروم

طول آکسون: ۵۰ میکرومتر (قشر مخی) تا چند متر (اعصاب محیطی پستانداران بزرگ)

قطر آکسون: کمتر از ۰/۵ میکرومتر تا یک میلی‌متر (در ماهی مرکب)

قطر سوما: چند میکرون تا چند ده میکرون

اجزای نورون:

۱- بدنه‌ی سلول (سوما)

۲- دندریت‌ها

۳- آکسون

۴- غلاف میلین

اتصال‌ها:

۱- سیناپس

۲- اتصال عصبی- عضلانی

غلاف میلین: موجب افزایش سرعت انتقال اطلاعات می‌گردد.

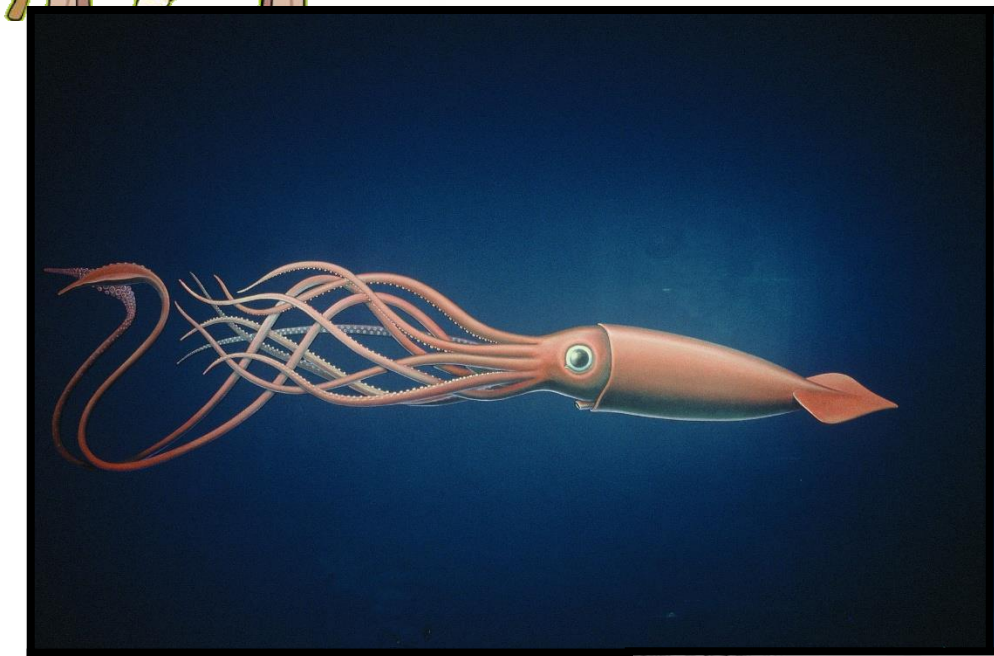
سیناپس: اتصالی معمولا در دندریت یا سومای سلول که می‌تواند موجب کاهش یا افزایش پتانسیل غشاء شود. عملکرد سلول بر اساس انتگرال زمانی-مکانی این تغییرات پتانسیل استوار است.

اتصال عصبی عضلانی: اتصال یک عصب حرکتی به عضله که **endplate** نیز نامیده می‌شود.

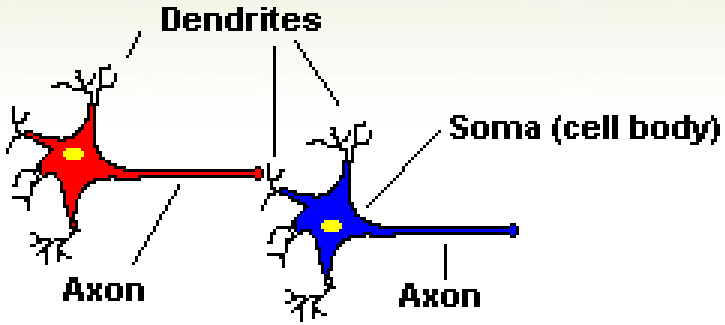
واژه‌نامه:

قشر مخی	**Cerebral cortex**
غلاف میلین	**Myelin sheath**
اتصال عصبی- عضلانی	**Neuromuscular junction**

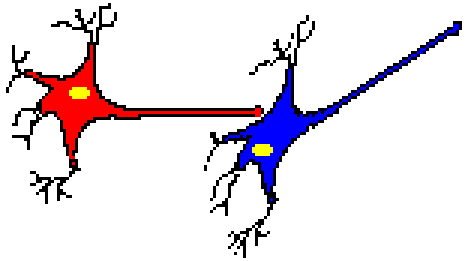
بیشتر بدانیم: ماهی مرکب



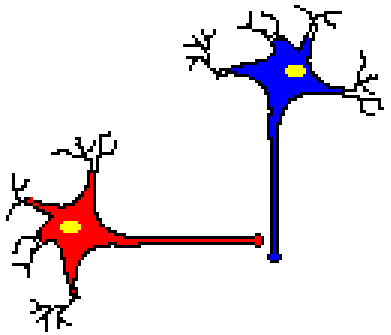
انواع سیناپس



Axodendritic Synapse

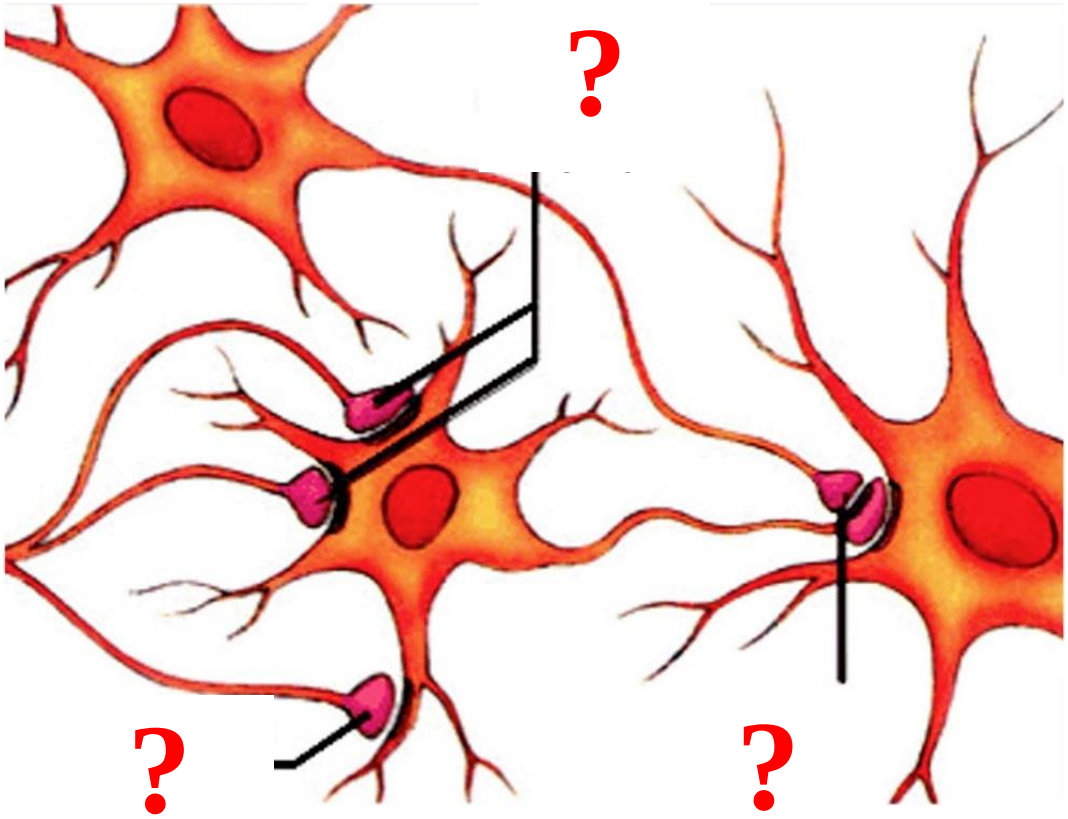


Axosomatic Synapse

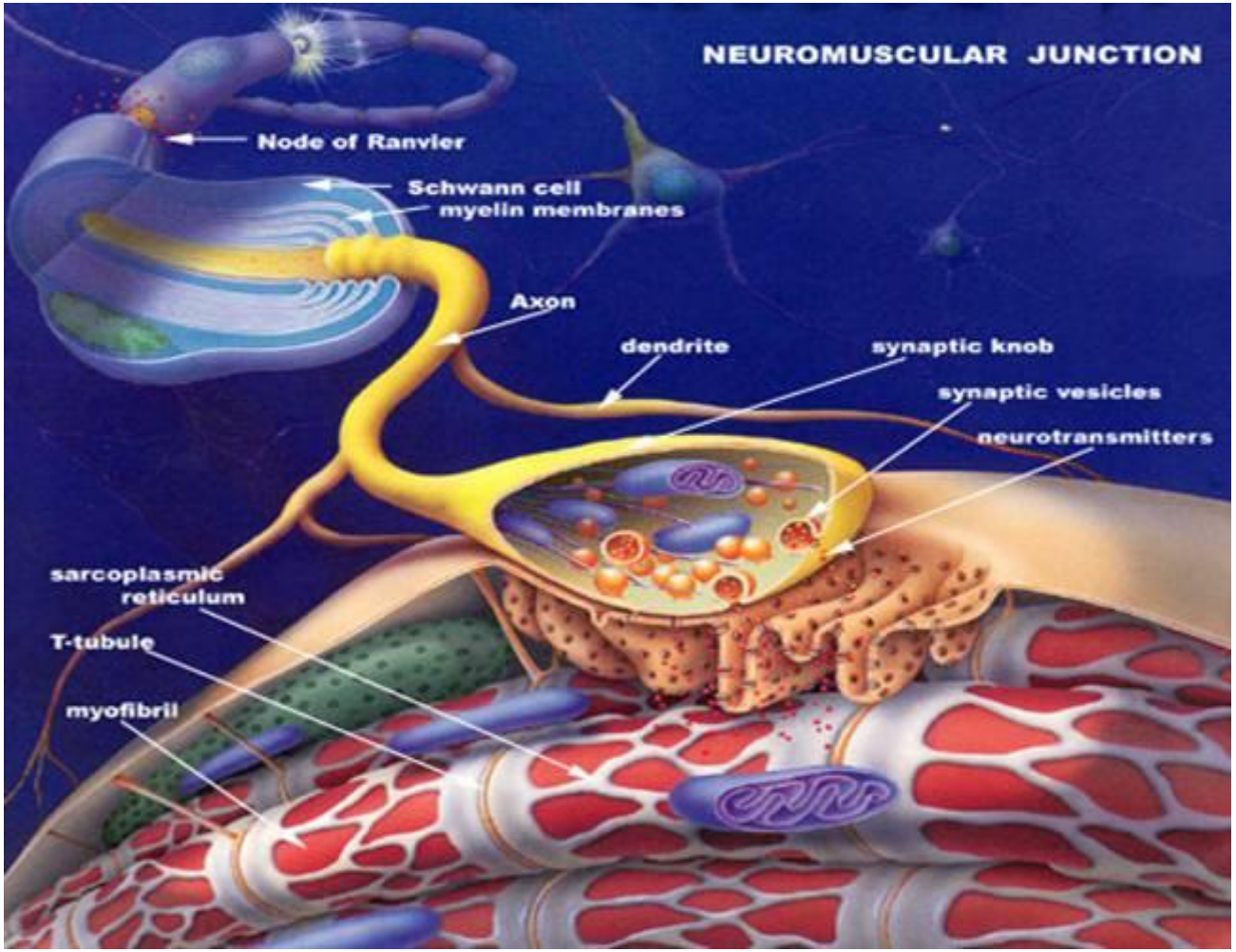


Axoaxonic Synapse

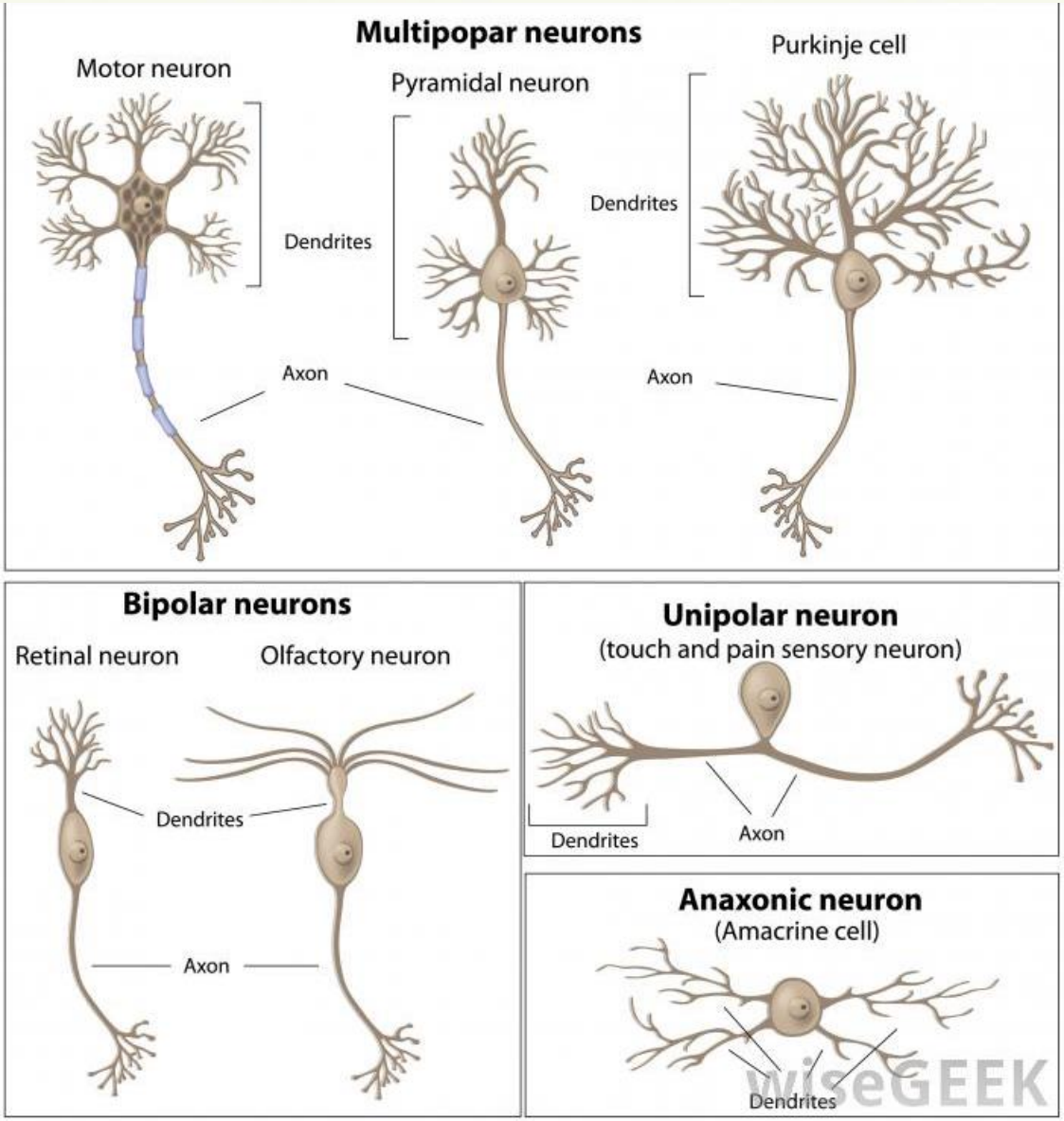
بر این اساس در مورد نوع سیناپس‌های زیر نظر دهید.



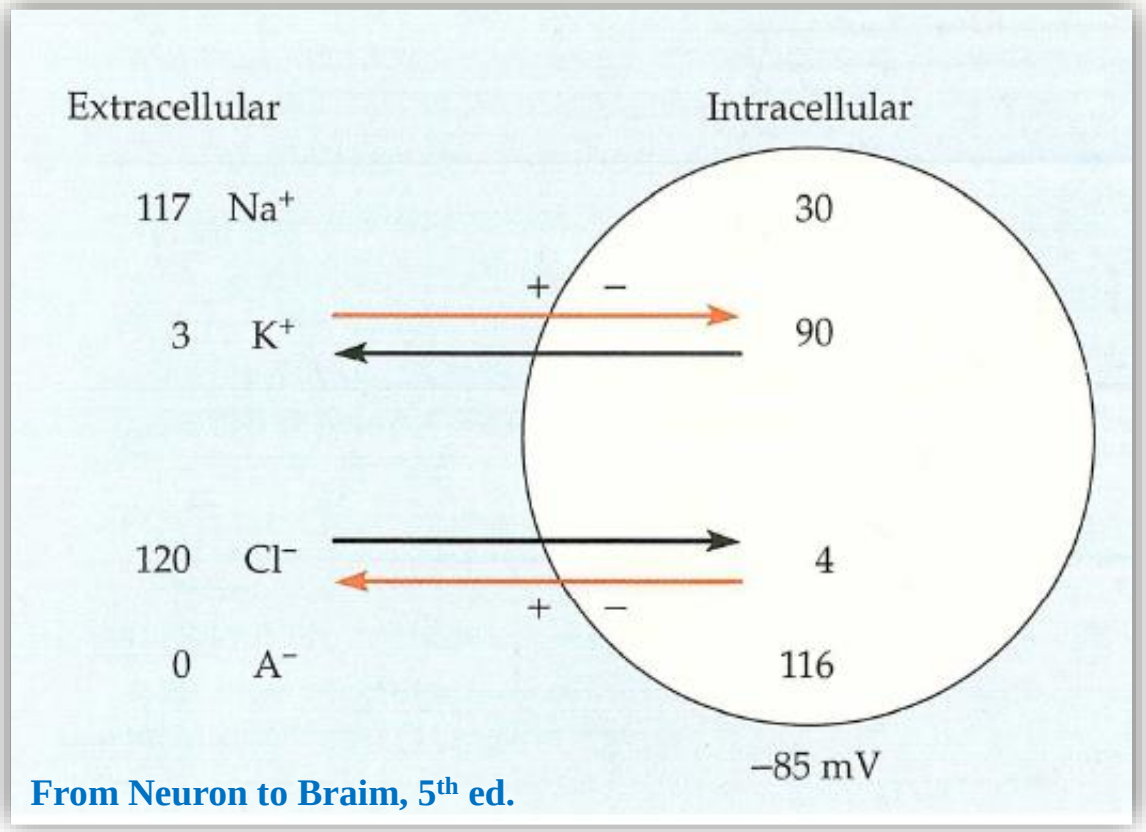
اتصال عصبی– عضلانی



انواع نورون‌ها



غشاء و غلظت یونی مایعات درون‌سلولی و برون‌سلولی



From Neuron to Braim, 5th ed.

نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌های مختلف متفاوت است.

واژه‌نامه:

extracellular	برون‌سلولی
intracellular	درون‌سلولی
permeability	نفوذپذیری

پتانسیل غشاء با در نظر گرفتن سه یون اصلی

معادله‌ی Nernst :

$$E = \frac{RT}{F} ln \left\{ \frac{P_k[K^+]_0 + P_{Na}[Na^+]_0 + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_k[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_o} \right\}$$

R: universal gas constant

T : absolute temperature

F : Faraday constant

P_X : permeability of resting membrane to the ion X

$[X]_o$: concentrations of the ion X in the extracellular fluid

$[X]_i$: concentrations of the ion X in the intracellular fluid

پتانسیل غشاء در حالت استراحت، ۸۰- میلی‌ولت محاسبه می‌گردد که مطابق با اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی است.

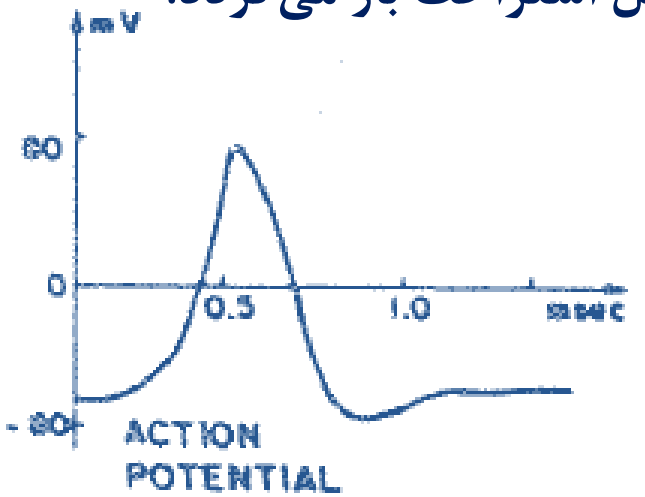
غشاء تحریک‌پذیر

سلول‌های عصبی و عضلانی دارای غشاء تحریک‌پذیر هستند.

هنگام تحریک غشاء با تحریک الکتریکی، مکانیکی یا شیمیایی، نفوذپذیری غشاء نسبت به انتقال یونی دچار تغییراتی می‌شود.

این تغییرات موجب می‌شود پتانسیل استراحت غشاء افزایش یافته و برای دوره‌ی زمانی کوتاهی مثبت شود؛ سپس با رپلاریزاسیون غشاء، به پتانسیل استراحت باز می‌گردد.

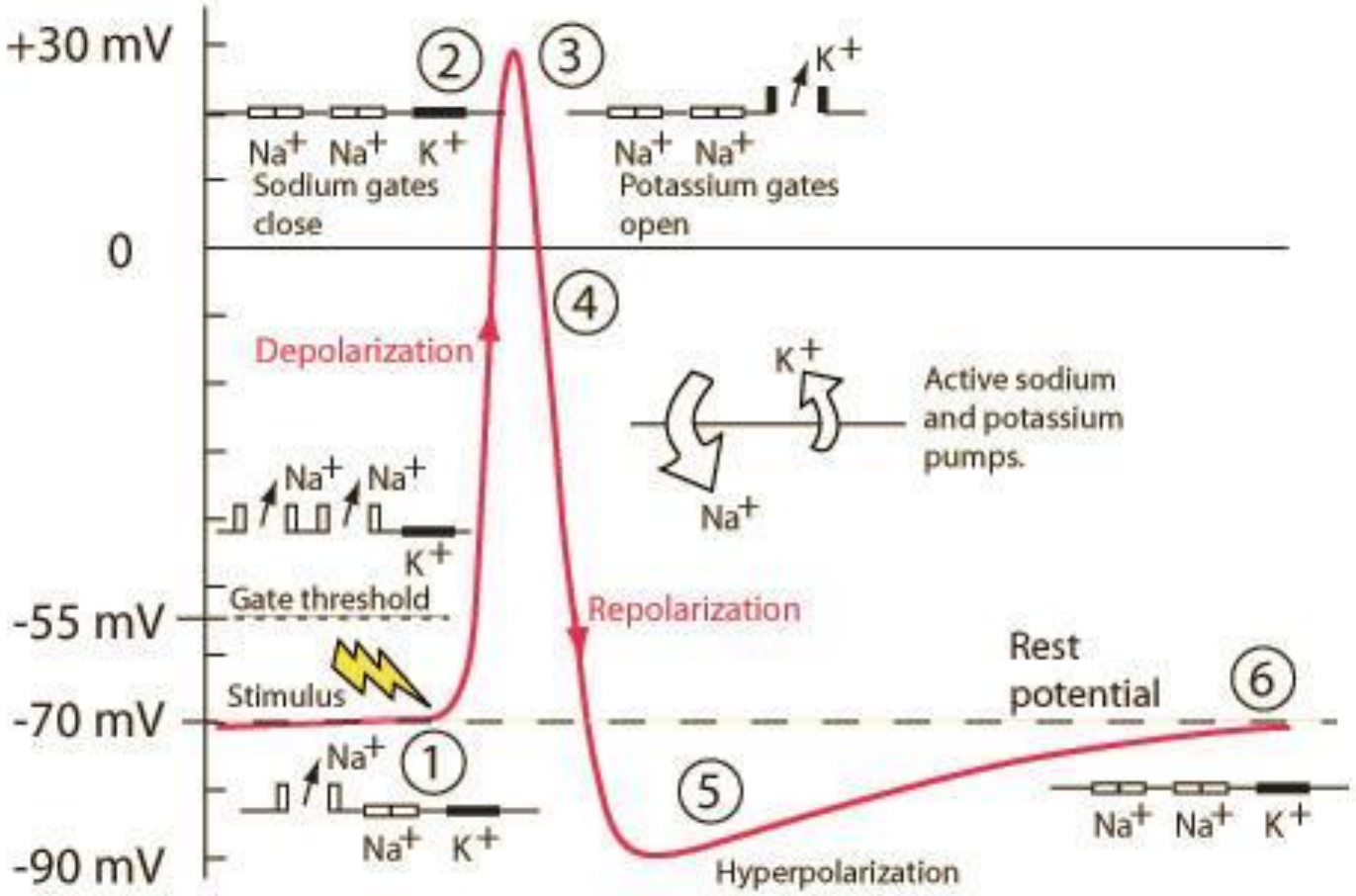
این فرایند، پتانسیل عمل نامیده می‌شود.



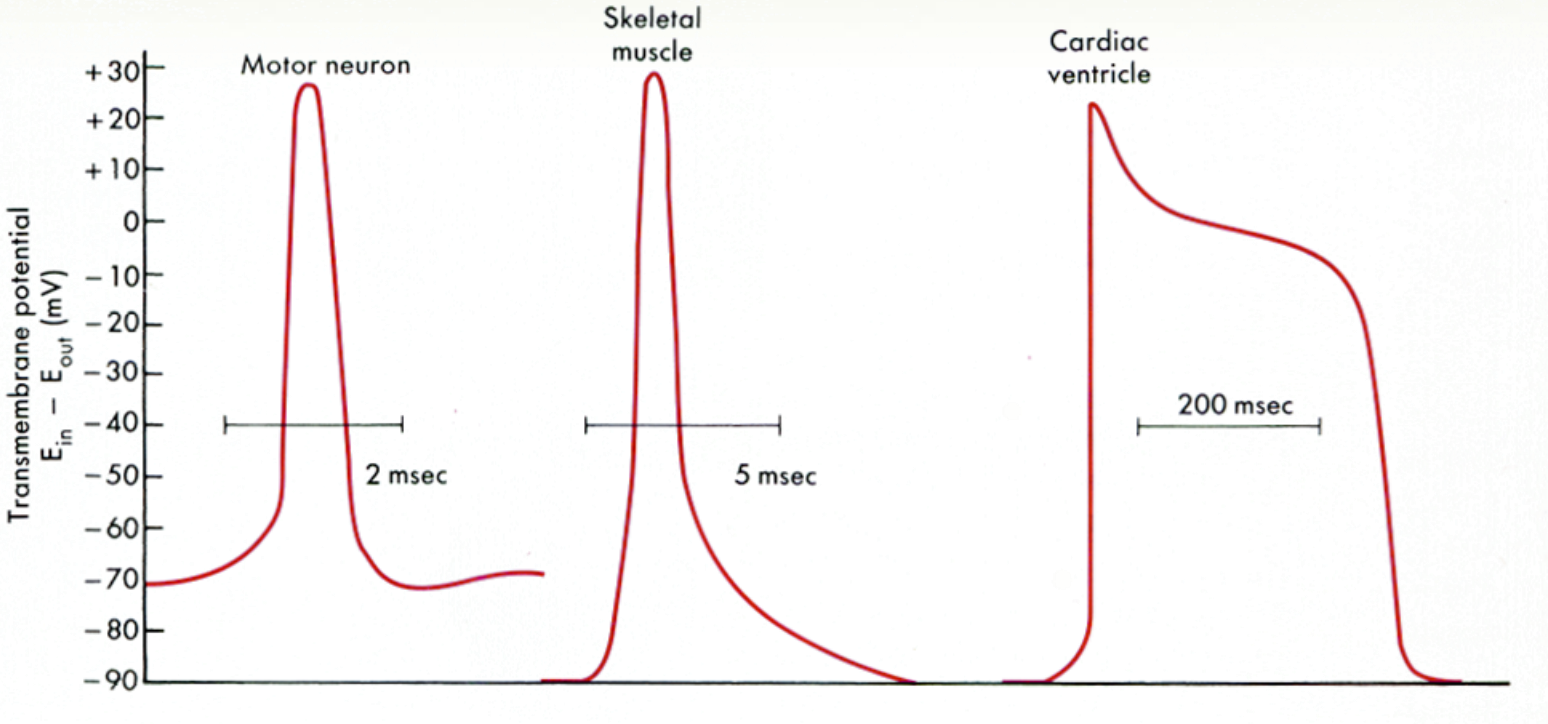
Biomedical Signal Processing, Cohen.

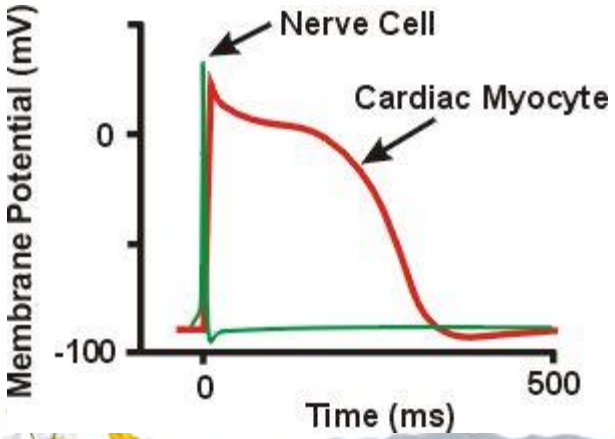
واژه‌نامه:

Action potential	پتانسیل عمل


+30 mV
0
-55 mV
-70 mV
-90 mV
2
3
Na+ Na+ K+
Sodium gates close
K+
Na+ Na+
Potassium gates open
4
Depolarization
K+
Active sodium and potassium pumps.
Na+
Na+ Na+
K+
Gate threshold
Repolarization
Rest potential
6
Stimulus
Na+
1
Na+ K+
5
Na+ Na+ K+
Hyperpolarization

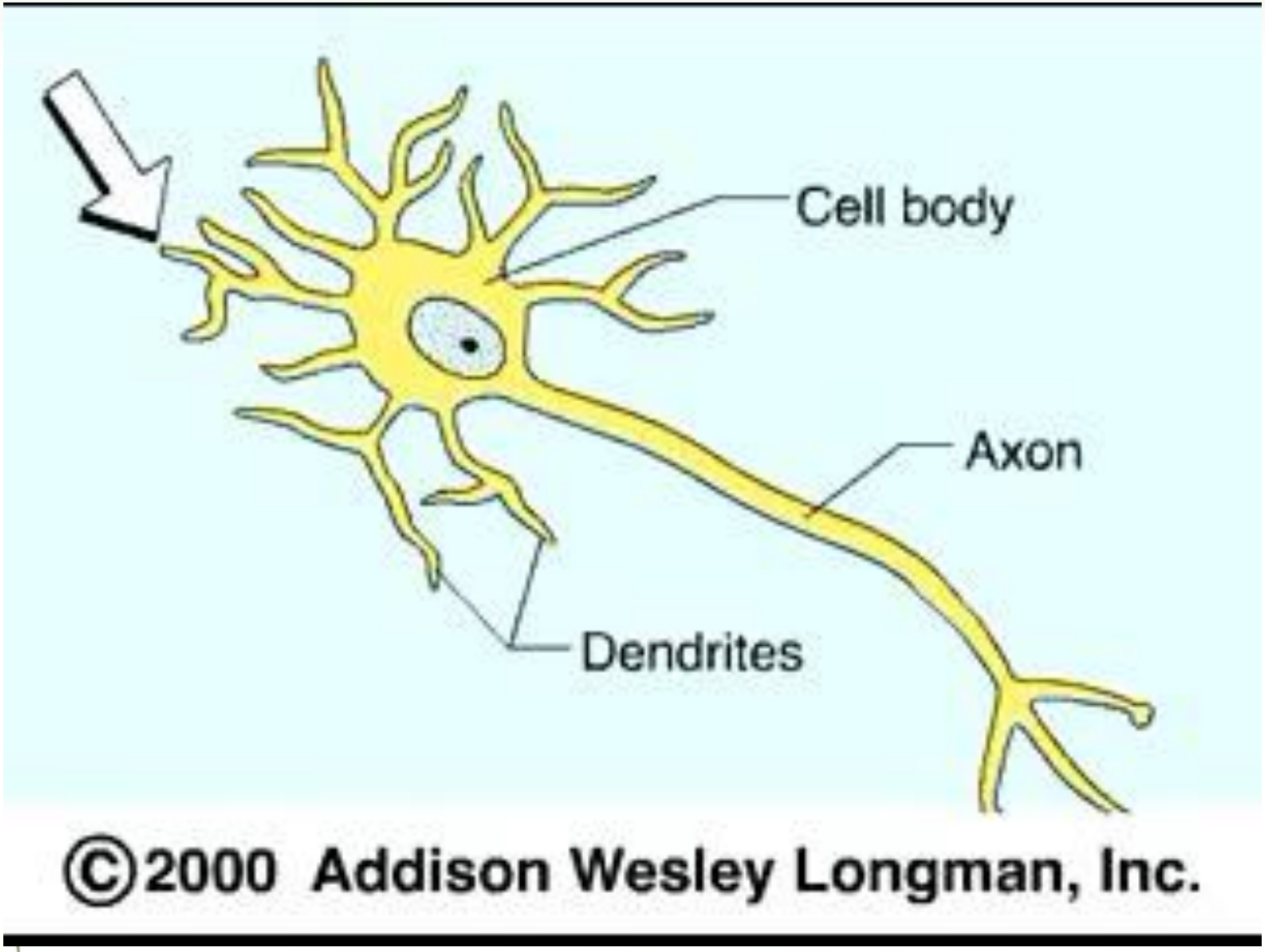
پتانسیل عمل در سلول‌های عصبی و عضلانی





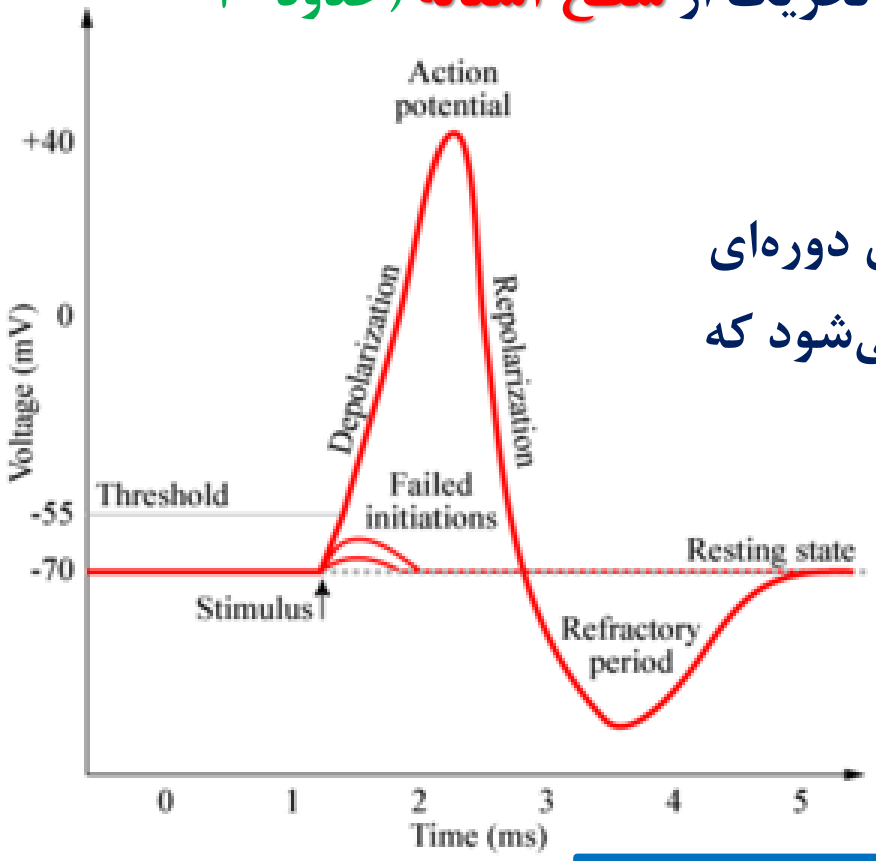
شکل و دوره‌ی زمانی پتانسیل عمل در سلول‌های مختلف متفاوت است.

فیلم: مفاهیم پتانسیل عمل



آستانه و دوره‌ی تحریک‌ناپذیری

غشاء تنها در صورتی برانگیخته می‌شود که میزان تحریک از **سطح آستانه** (حدود ۲۰ میلی‌ولت) تجاوز نماید.



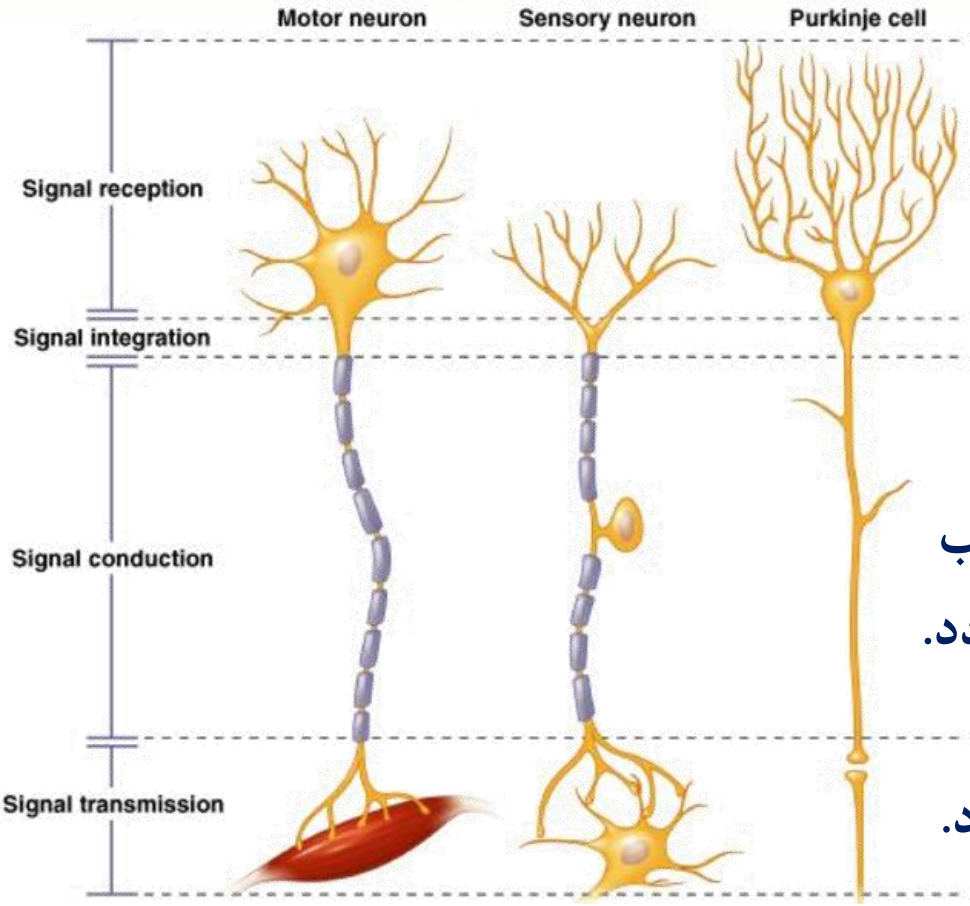
با برانگیخته شدن غشاء و آغاز پتانسیل عمل، برای دوره‌ای (حدود ۱ تا ۲ میلی‌ثانیه)، سطح آستانه بی‌نهایت می‌شود که **دوره‌ی تحریک‌ناپذیری مطلق** نامیده می‌شود.

سپس سطح آستانه شروع به کاهش کرده تا به سطح استراحت برسد. به این دوره‌ی زمانی، **دوره‌ی تحریک‌ناپذیری نسبی** گویند.

واژه‌نامه:

threshold level	سطح آستانه
total refractory period	دوره‌ی تحریک‌ناپذیری مطلق
relative refractory period	دوره‌ی تحریک‌ناپذیری نسبی

شکل‌گیری پتانسیل عمل (دریافت ورودی)



ورودی حسگر: شدت نور جذب شده، مقدار فشار اعمال شده و ...

ورودی سلول عصبی: اثر دریافتی از پایانه‌های عصبی نورون‌های دیگر (سیناپس‌ها)

انواع سیناپس: تحریکی و مهاری

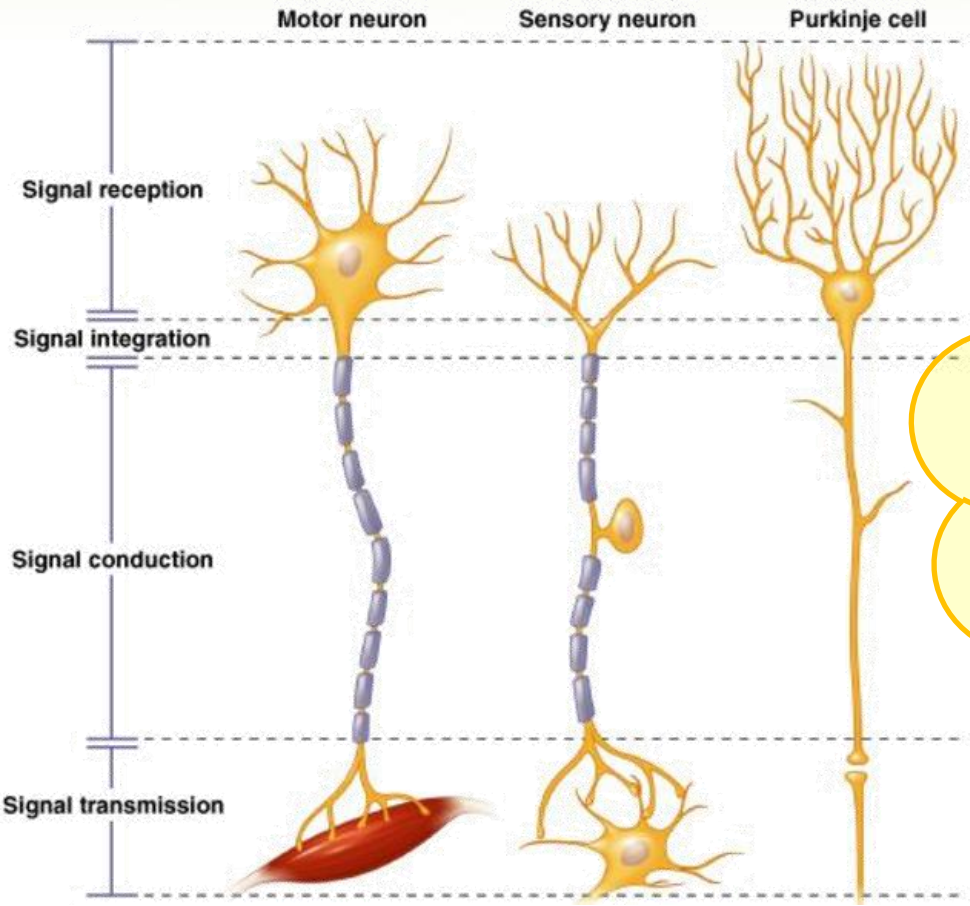
سیناپس تحریکی: سیناپسی که می‌تواند موجب اندکی افزایش در پتانسیل استراحت غشاء گردد.

سیناپس مهاری: سیناپسی که می‌تواند موجب اندکی کاهش در پتانسیل استراحت غشاء گردد.

واژه‌نامه:

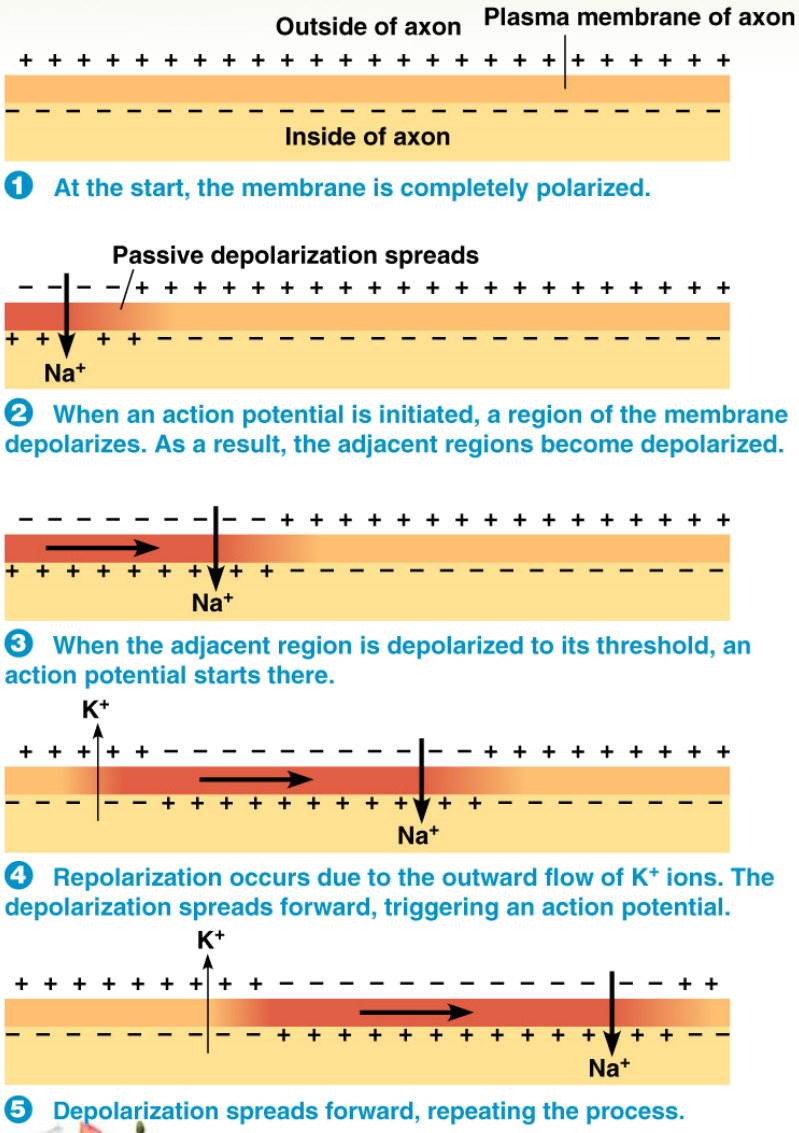
سیناپس تحریکی	Excitatory synapse
سیناپس مهاری	Inhibitory synapse

شکل‌گیری پتانسیل عمل (انتگرال‌گیری زمانی–مکانی)



پتانسیل غشاء توسط **انتگرال‌گیری زمانی و مکانی** تمام اثرات سیناپسی تعیین می‌گردد. با رسیدن مجموع اثرات به سطح آستانه، پتانسیل عمل شکل خواهد گرفت.

انتشار پتانسیل عمل در طول آکسون



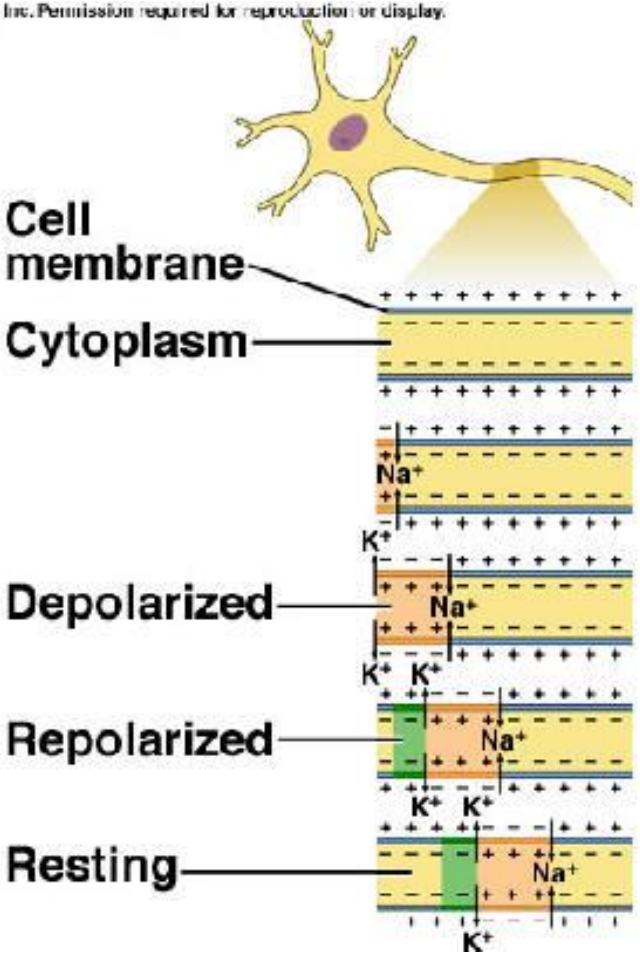
© 2012 Pearson Education, Inc.

با شکل‌گیری پتانسیل عمل، میدان الکتریکی درونی آنقدر قوی است که بخش‌های مجاور از غشاء را تحریک نماید.

پتانسیل عمل هنگام انتشار در آکسون، به طور محلی **بازتولید** می‌گردد. از این رو، بدونِ تضعیف انتقال می‌یابد.

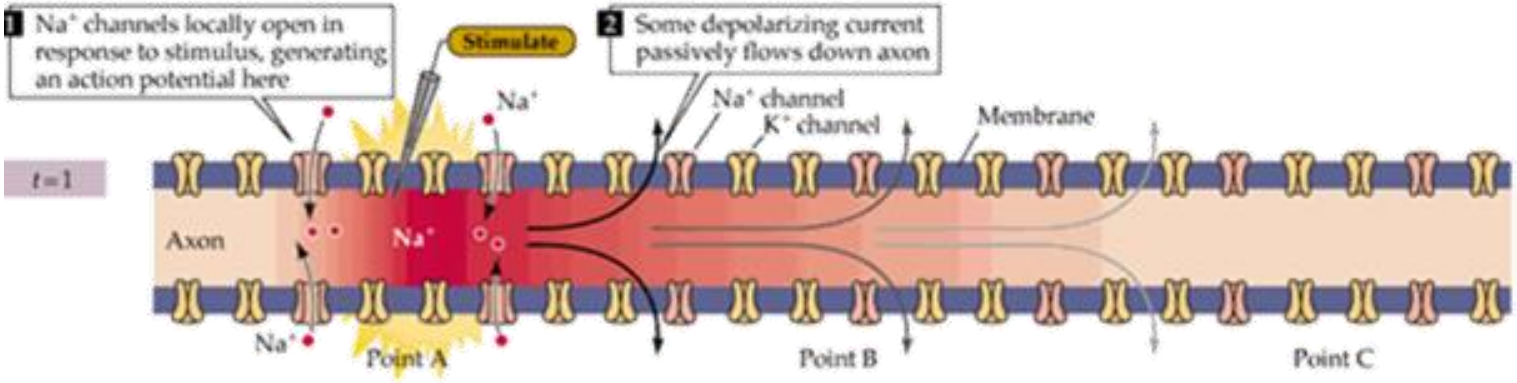
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

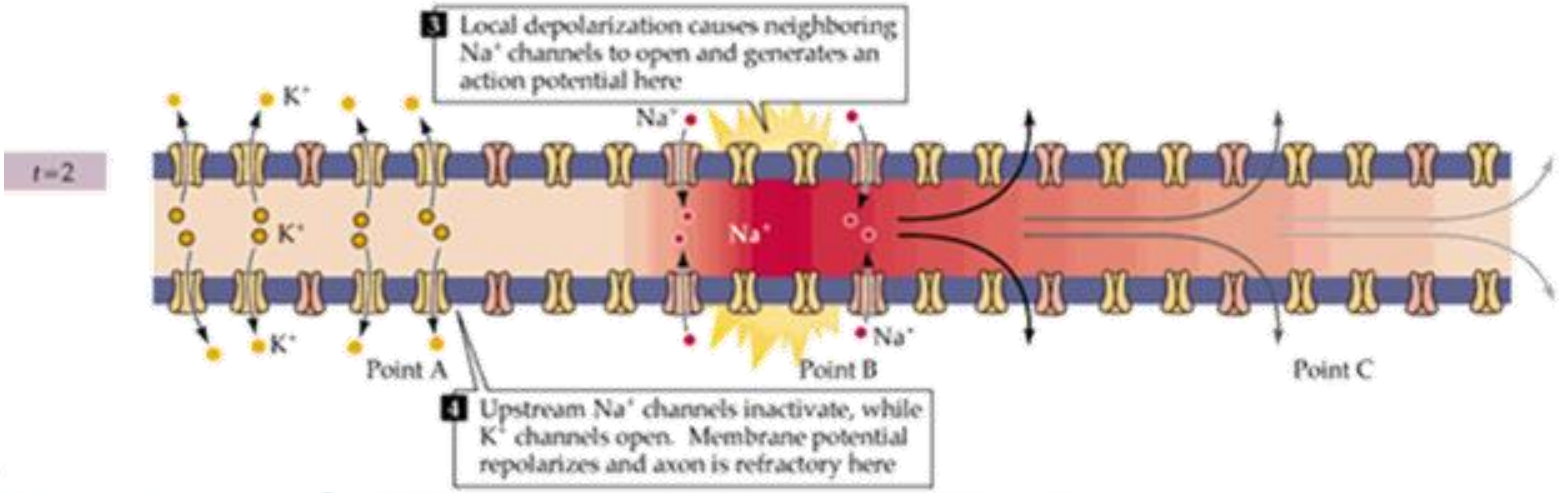
Action Potential Propagation



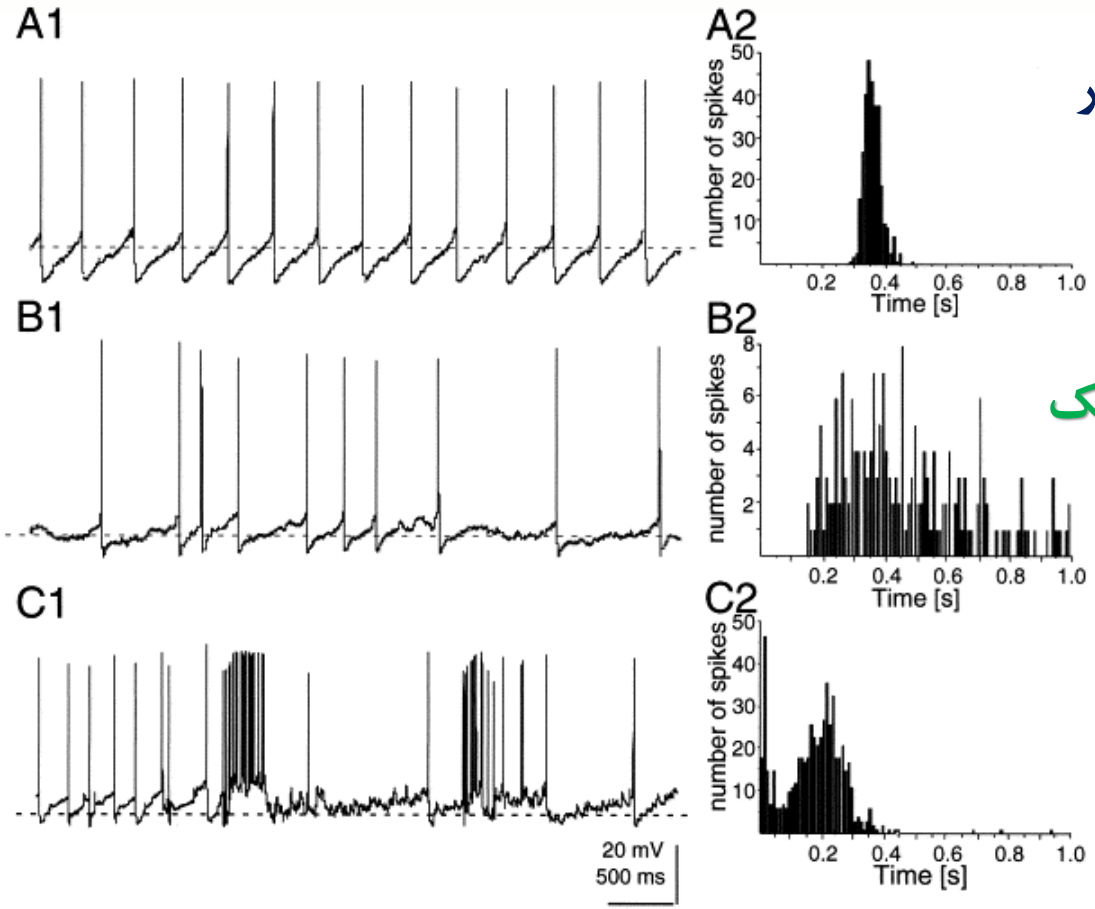
انتشار پتانسیل عمل در طول آکسون

چرا پتانسیل عمل در آکسون نورون، تنها در یک جهت منتشر می‌گردد؟





چگونگی انتقال اطلاعات در نورون‌ها



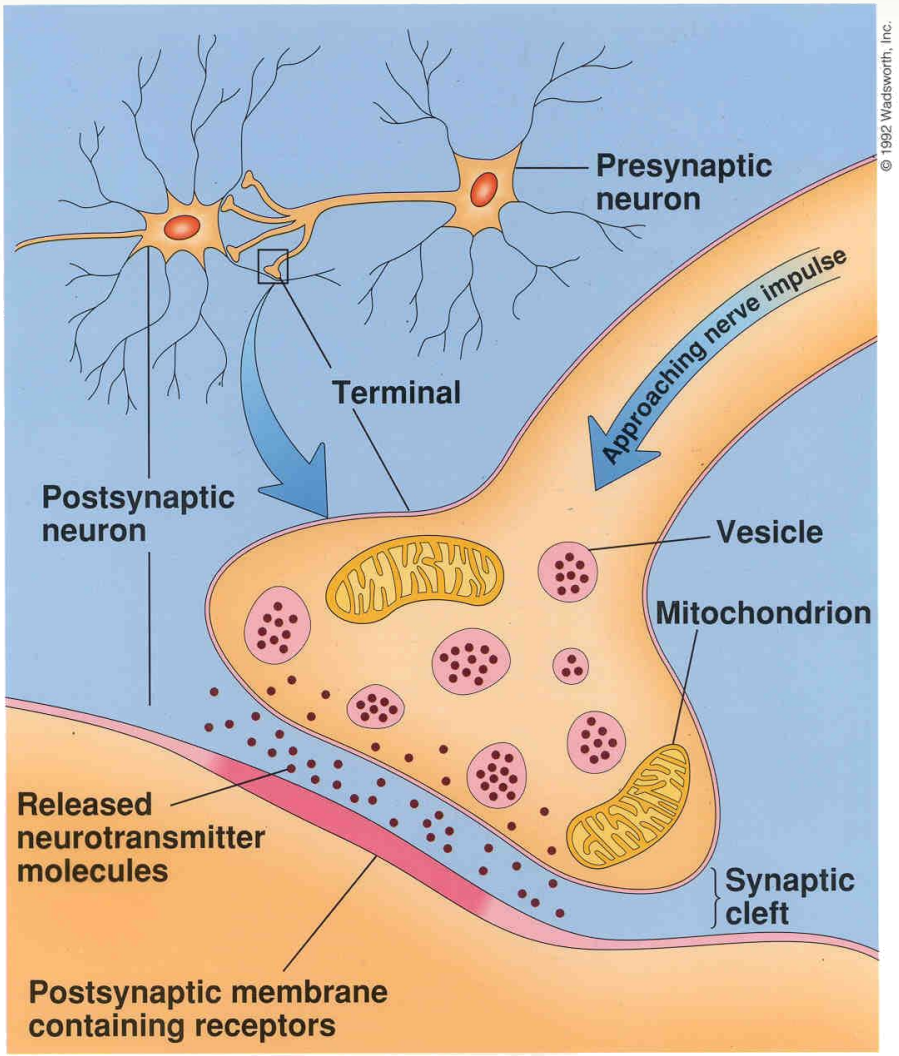
اطلاعات منتقل شده توسط نورون‌ها در شکل پتانسیل عمل نیست بلکه در **فاصله‌ی بین اسپایک‌ها** است.

از این رو می‌توان نورون را **مبدل تحریک به فرکانس** دانست.

واژه‌نامه:

فاصله‌ی بین اسپایک‌ها	Interspike interval

سیناپس



نواحی سیناپس:

pre-synaptic region

synaptic cleft (about 200 Å)

post-synaptic region

فرآیند

transmitter release

cleft crossing

postsynaptic receiving

حدود ۰/۵ میلی‌ثانیه طول می‌کشد.

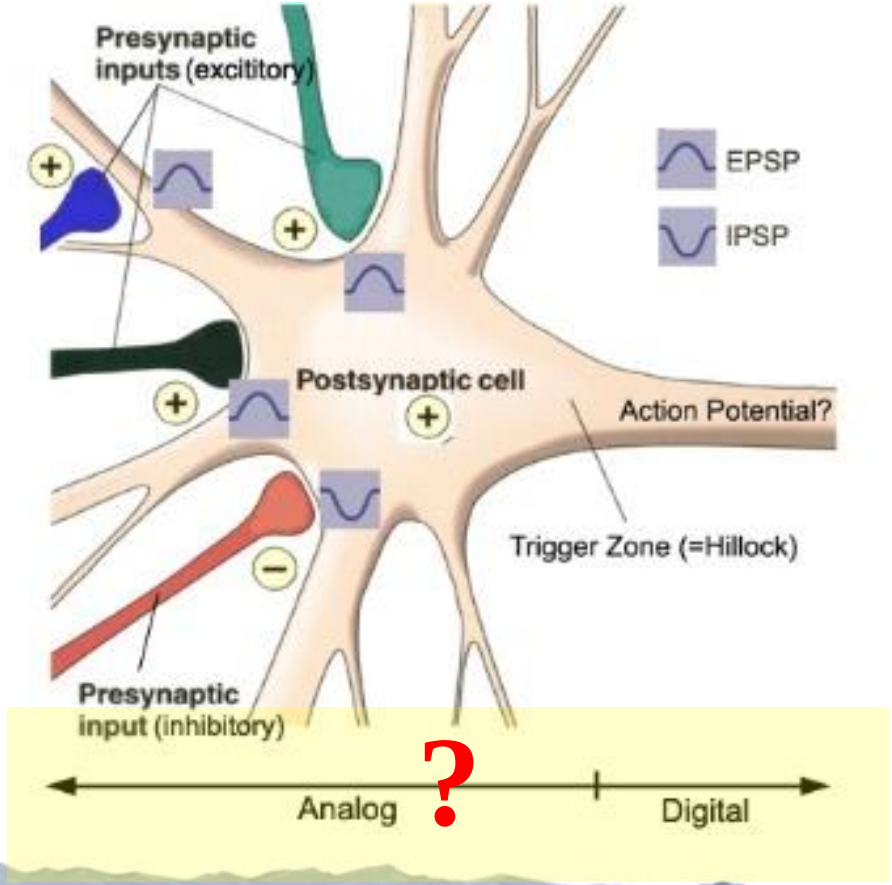
Synapse

انواع پتانسیل در ناحیه‌ی پس‌سیناپسی

Excitatory postsynaptic potential (EPSP)

Inhibitory postsynaptic potential (IPSP)

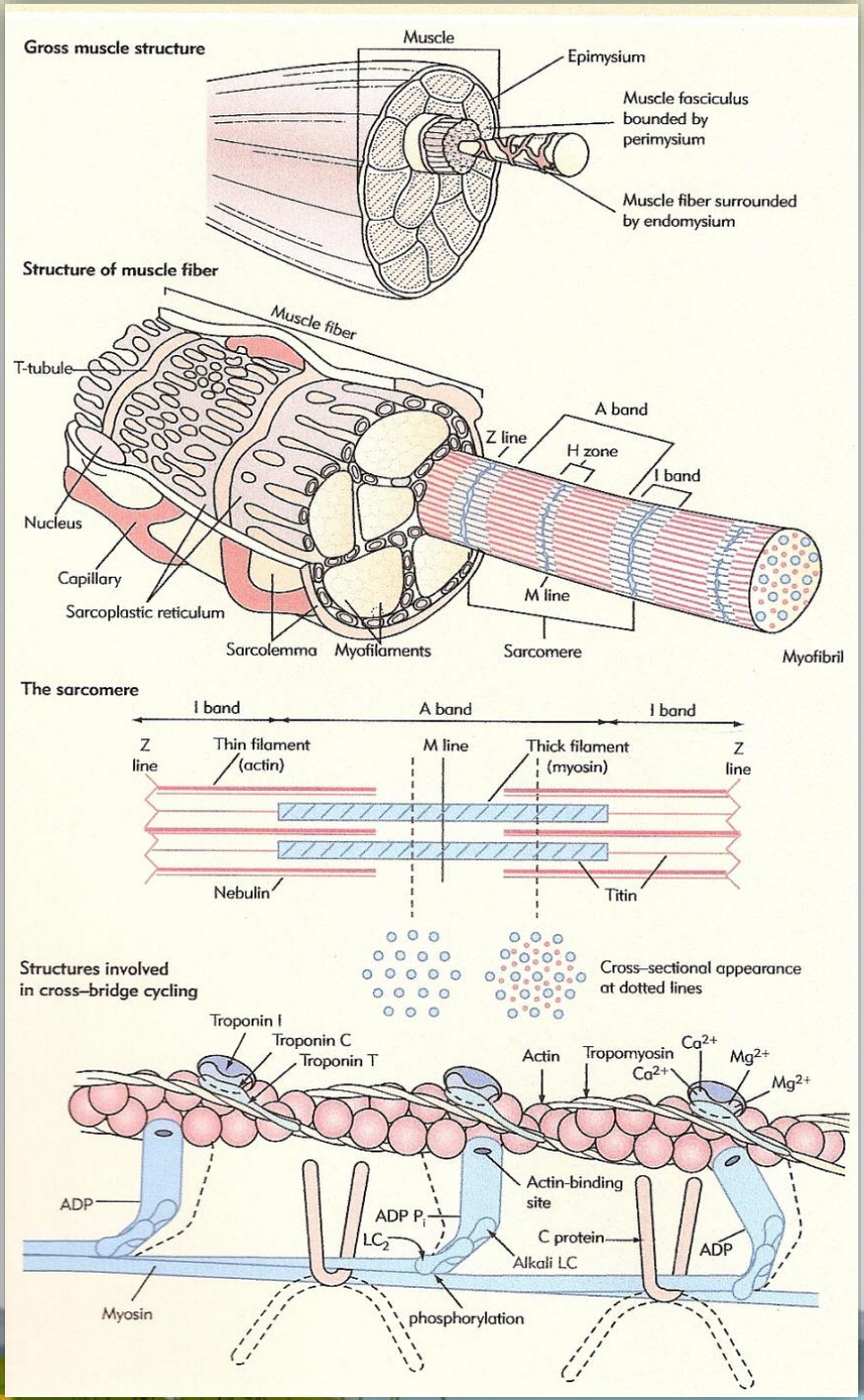
به نوع **transmitter** وابسته است.



فهرست مطالب

- مقدمه ✓
- سلول عصبی ✓
- عضله
- هادی‌های حجمی

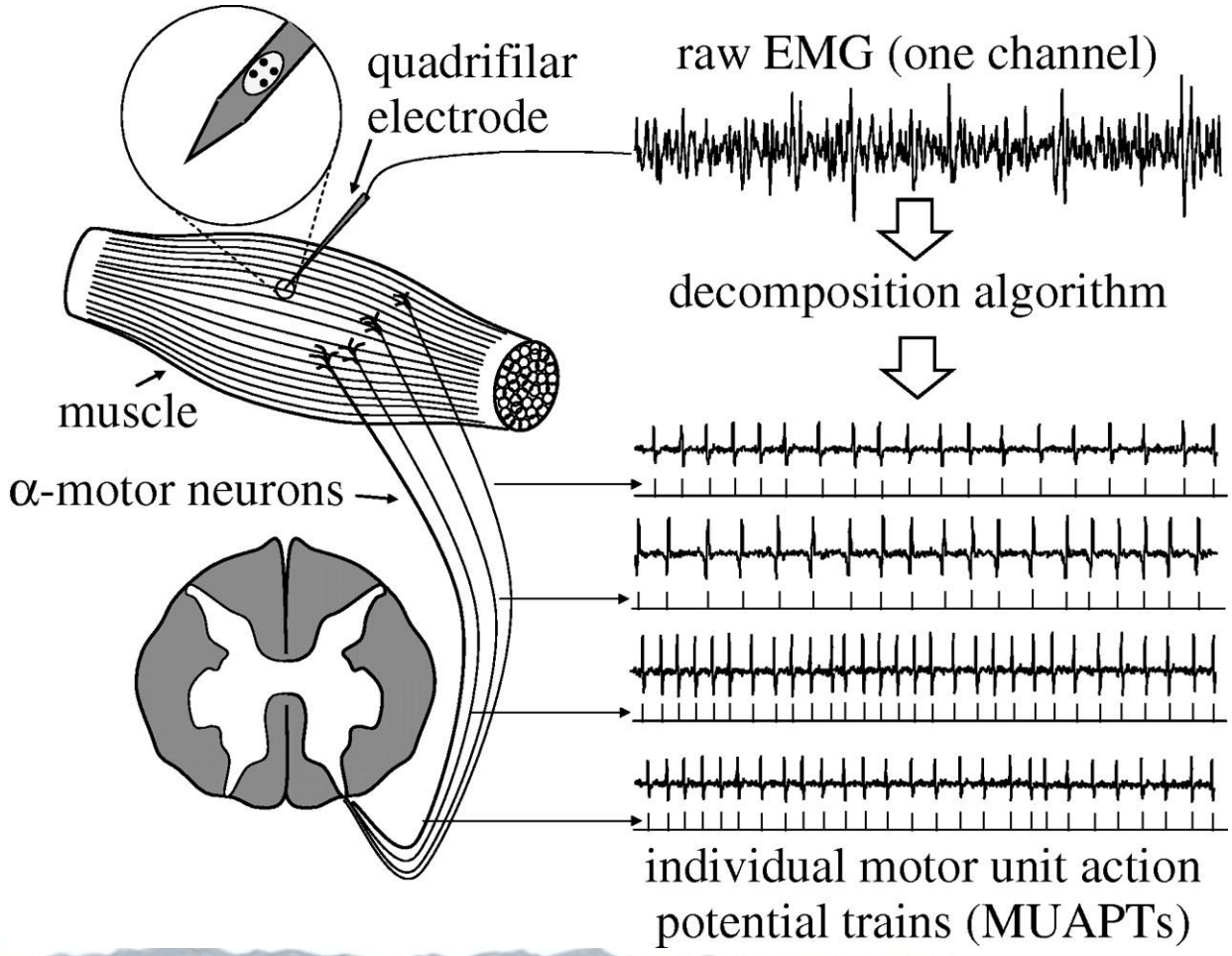
ساختار عضله



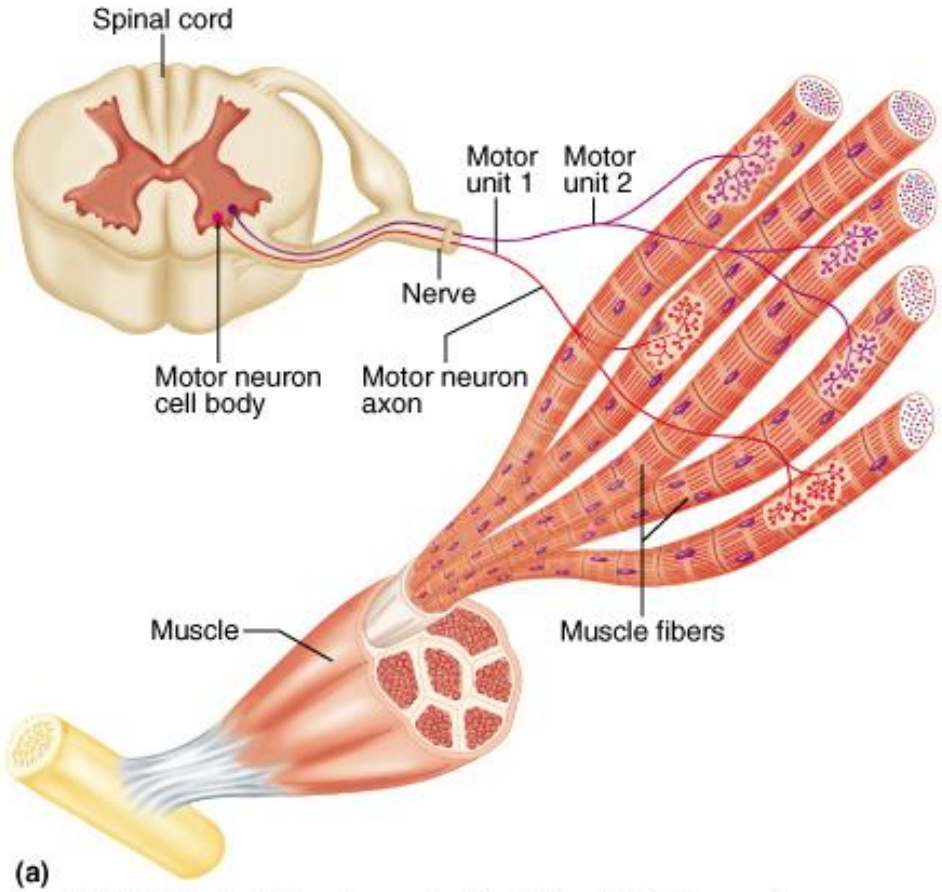
برخلاف سلول‌های عصبی که نقش **انتقال و پردازش اطلاعات** را دارند، سلول‌های عضلانی، نقش **ایجاد کشش** را دارند که به نوبه‌ی خود، موجب **ایجاد نیرو یا حرکت** می‌گردد.

سیگنال الکترومایوگرام

سیگنال الکترومایوگرام سطحی: اثر پتانسیل عمل تارهای مختلف در زمان‌های مختلف و نرخ آتش مختلف پس از عبور از هادی‌های حجمی.

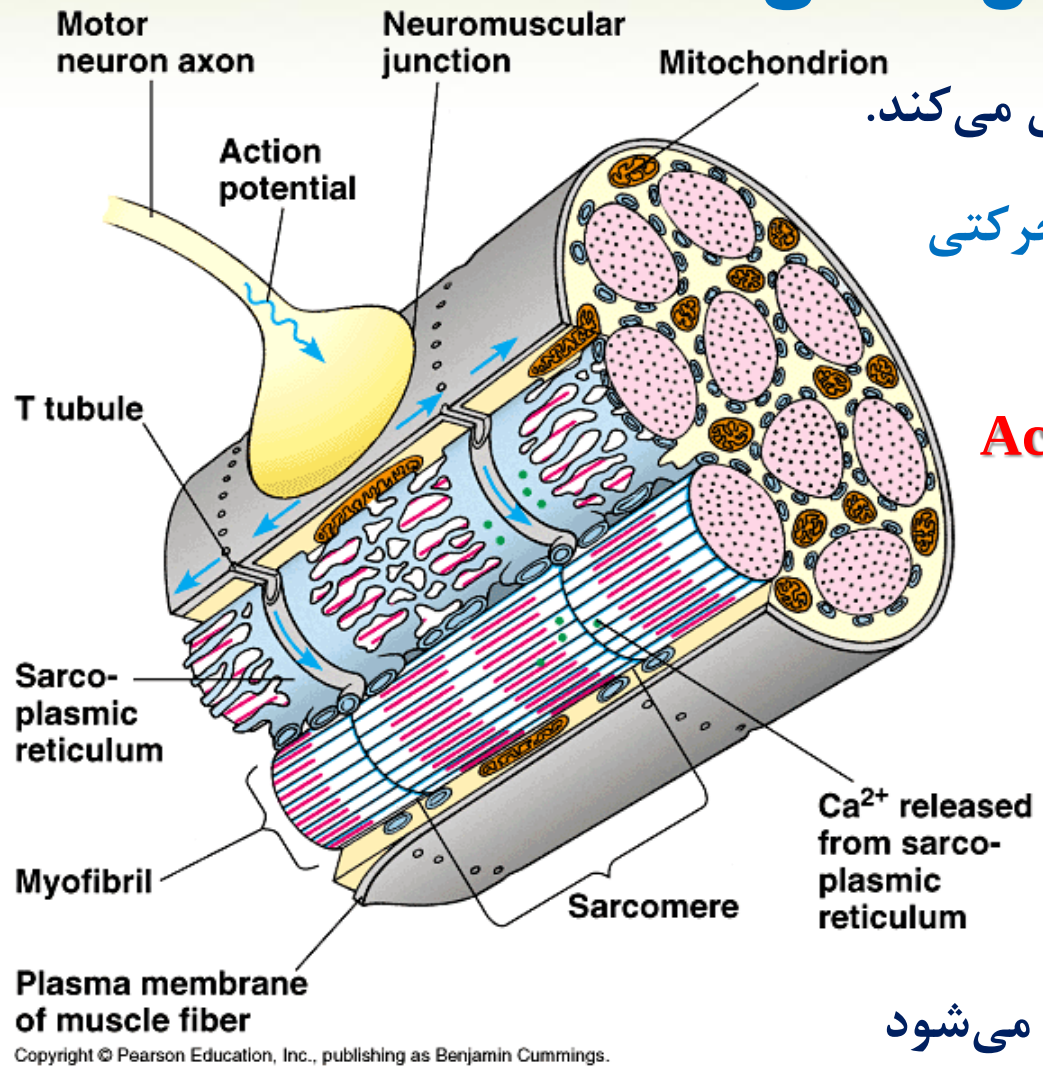


واحد حرکتی



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

انقباض عضلانی



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

عصب حرکتی: نورونی که عضله را عصب‌دهی می‌کند.

اتصال عصبی- عضلانی: اتصال یک عصب حرکتی به عضله که **endplate** نیز نامیده می‌شود.

در اتصال عصبی-عضلانی، **Acetylecholine (Ach)** نقش **transmitter** را ایفا می‌کند.

فرآیند

transmitter release

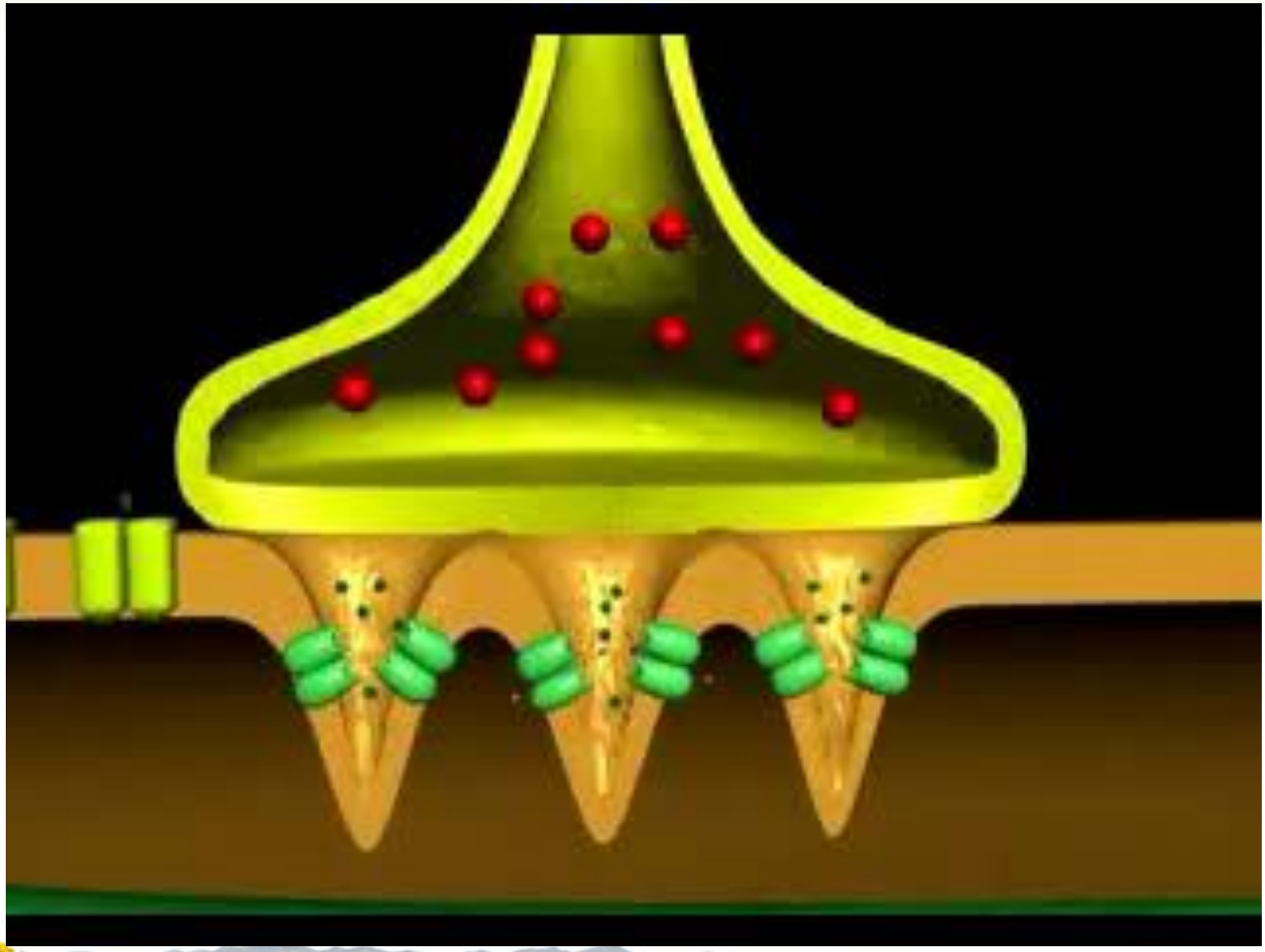
diffusion

reception at muscle

حدود ۰/۵ تا ۱ میلی‌ثانیه طول می‌کشد.

همچنین ویژگی‌های **دینامیک عضله** موجب می‌شود که انقباض با تاخیر بیشتری همراه باشد.

فیلم: پتانسیل عمل در واسط عصب–عضله و انقباض عضلانی

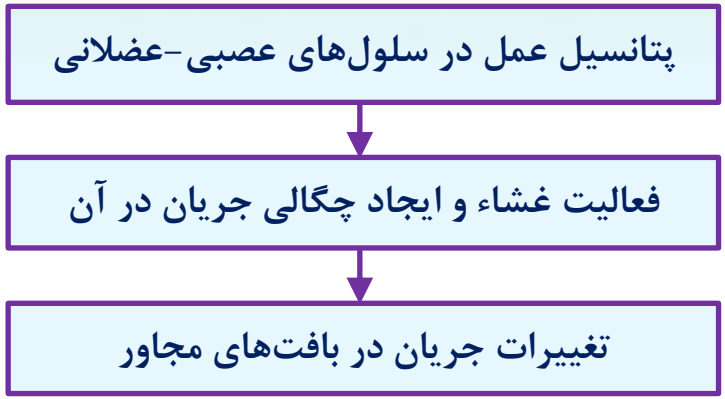


فهرست مطالب

- ✓ مقدمه
- ✓ سلول عصبی
- ✓ عضله
- هادی‌های حجمی

هادی‌های حجمی

منشاء سیگنال‌های بیولوژیکی:



هادی حجمی: بافت‌هایی که در آن تغییرات جریان القایی رخ می‌دهد.

در اکثر کاربردهای **کلینیکی** و بسیاری از کاربردهای **نروفیزیولوژیکی**، به جای منبع بیولوژیکی، **میدان هادی حجمی** پایش می‌شود.

این موضوع علاوه بر الکتروکاردیوگرافی، الکتروانسفالوگرافی و الکترومایوگرافی سطحی، حتی در مطالعات نروفیزیولوژیکی‌ای که الکترود وارد بافت می‌شود هم صادق است.

این که بتوان منبع بیولوژیکی موثر را از اندازه‌گیری‌های هادی حجمی به طور دقیق استخراج نمود از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است هرچند کار فوق‌العاده مشکلی می‌باشد.

در این زمینه، **مدل‌های ریاضی پخش جریان در هادی‌های حجمی** مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

فهرست مطالب

- مقدمه
- سلول عصبی
- عضله
- هادی‌های حجمی

همت بلند دار که مردان روزگار

از همت بلند به جایی رسیده اند