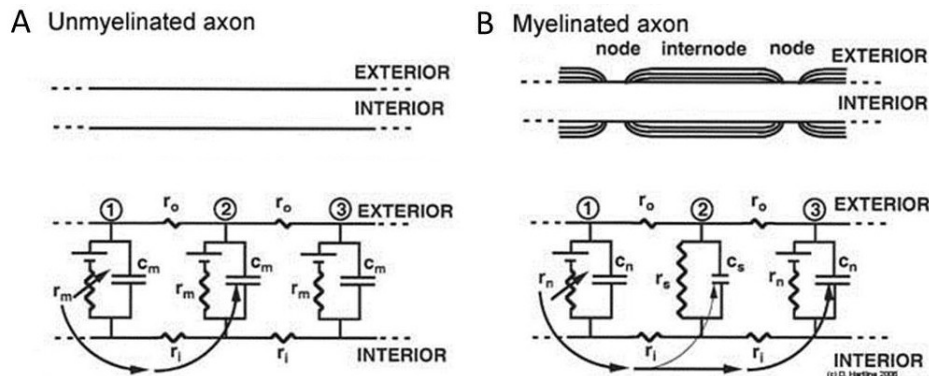


دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر	درس پدیده‌های بیوالکتریک فصل ششم: انتشار و مدل مداری خط انتقال	تفکر شماره ۵ تدوین: مهندس بلالی، اصلاح: مهندس رستمی
ارائه: دکتر مهرداد ساویز		

فصل ۶: انتشار پتانسیل عمل



(شکل شماره ۱)

۶-۱: یک فیبر HH در حالت استراحت را در نظر بگیرید. شعاع غشا ۳۰ میکرومتر است. جریان‌های خارجی در محیط خارج سلولی تا شعاع دو برابر شعاع آکسون گسترده شده‌اند و در امتداد محور آکسون عبور می‌کنند. مقاومت ویژه محیط خارج سلولی $50 \Omega \text{cm}$ است. مقدار مقاومت ویژه محیط داخل سلولی سه برابر این مقدار است. ظرفیت خازنی غشا بر واحد سطح $1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ است. شرایط استراحت HH صادق است. فیبر غیرفعال است. هریک از موارد خواسته شده را با واحد مناسب با

استفاده از مدل Core-conductor به دست آورید. (راهنمایی: $g_L = 0.3 \frac{\text{ms}}{\text{cm}^2}$, $g_{Na} = 0.011 \frac{\text{ms}}{\text{cm}^2}$, $g_k = 0.367 \frac{\text{ms}}{\text{cm}^2}$)

الف) مقاومت ویژه غشا

ب) مقاومت غشا در واحد طول r_m

ب) مقاومت داخل سلولی در واحد طول r_i

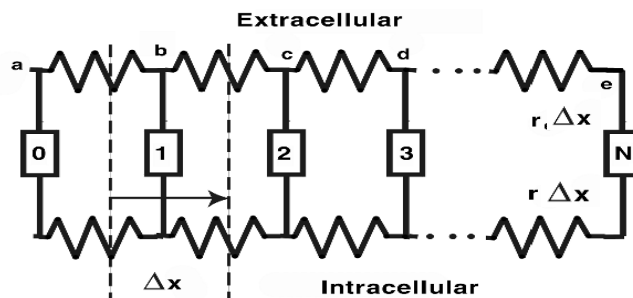
۶-۲: یک فیبر سیلندری توسط مدل core-conductor مدل شده است. پتانسیل دو سر غشا V_m ، شعاع فیبر a ، مقاومت‌های داخل و خارج سلولی به ترتیب r_i و r_e (مقاومت در واحد طول) هستند. این‌ها دانسته‌های ما هستند. برای زمانی که تحریکی از هیچ نوع نداشته باشیم، موارد زیر را با استدلال ریاضی بر حسب کمیت‌های دانسته به دست آورید:

الف) جریان طولی داخل سلولی (بر حسب r_e و r_i)

ب) جریان طولی خارج سلولی (بر حسب r_e و r_i)

پ) جریان غشا در cm^2 (بر حسب r_e و r_i)

۶-۳: مدل core-conductor یک فیبر به طول محدود را مانند مدل زیر در نظر بگیرید.



(شکل شماره ۲)

در این مدل، راه‌های غشا (جعبه‌های مستطیلی) از ۰ تا N در سمت چپ فیبر شماره گذاری شده‌اند. ولتاژهای دو سر غشا با واحد میلی‌ولت، $V_0 - V_N$ هستند و این ولتاژها یکسان نیستند زیرا به علت برخی فعالیت‌های سلولی ولتاژ غشا در طول فیبر

تغییر می‌کند. فرض کنیم $N=4$ و برای سادگی نمادها قرارداد می‌کنیم R مقاومت یک تکه درون سلولی و r مقاومت یک قطعه بیرون سلولی باشد. فرمول‌های ریاضی مناسبی برای موارد خواسته شده در زیر بر حسب $R, r, v_0, v_1, v_2, v_3, v_4$ به دست آورید. نمادهای کوچک v به معنای انحراف ولتاژ از مقدار پایه (حالت استراحت) هستند.

الف) جریان غشا در مسیر تراغشایی ۱ (ب) جریان غشا در مسیر تراغشایی ۲ (ج) جریان غشا در مسیر تراغشایی ۳
 ارزش این سوال در این است که برای یک نورون میلین دار مدل عبور جریان از غشا به واقع مانند شکل فوق گسسته است و به دست آوردن جریان‌های غشا می‌تواند با همین شیوه انجام شود (به جای استفاده از مفهوم مشتق مکانی). شکل شماره ۱ را در همین برگه تمرینات مشاهده نمایید. (دقت نمایید که شما با دانستن توزیع ولتاژ غشا در روی آکسون می‌توانید جریان غشا در هر قطعه را بدون دانستن خصوصیات رسانایی هر قطعه از غشا به دست آورید!)

۴-۶: در این سوال فرض کنید شعاع فیبر $10 \mu\text{m}$ است. جریان خارج سلولی از سطحی بین شعاع‌های a و $2a$ عبور می‌کند. هر گره از گره بعدی با $\lambda/20$ جدا شده است که $\lambda = \sqrt{r_m/r_i}$ فیبر در حالت استراحت قرار دارد و اختلاف‌های ظریف ولتاژ غشا ناشی از فعالیت‌های موضعی غشای سلولی است. مقاومت ویژه محیط خارج سلولی $50 \Omega\text{cm}$ و مقاومت ویژه محیط داخل سلولی سه برابر این مقدار است. جریان تحریک صفر است و اختلاف ولتاژهای دو سر غشا برای قطعات مختلف:

Node	Vm
0, 2, 4, ...	-59 mV
1, 3, 5, ...	-61 mV

ابتدا با محاسبه‌ی r_e و r_i ، بگویید Δx چقدر است؟ سپس مقدار جریان واحد طول غشا در تکه 0 و 1 را محاسبه کنید؟ (اگر لازم شد می‌توانید از برخی کمیت‌های جدول زیر نیز استفاده کنید - راهنمایی: از نتایج سوال ۳ استفاده کنید)

Table 13.5. Hodgkin-Huxley Membrane, Resting Values

Name	Value	Units	Description
V_r	-60	mV	transmembrane resting voltage
V_m	-60	mV	transmembrane voltage at rest
$[Na]_i$	49.5	mM	Internal sodium concentration
$[Na]_e$	437.0	mM	External sodium concentration
$[K]_i$	397.	mM	Internal potassium concentration
$[K]_e$	20.	mM	External potassium concentration
E_K	-72.100	mV	potassium equilibrium potential
E_{Na}	52.4	mV	sodium equilibrium potential
E_L	-49.187	mV	leakage equilibrium potential
C_m	1.0	$\mu\text{F}/\text{cm}^2$	Membrane capacitance
T	6.3	degrees C	Membrane temperature
n	0.31768	-	gating probability n
m	0.05293	-	gating probability m
h	0.59612	-	gating probability h
\bar{g}_{Na}	120.0	mS/cm^2	Max Na conductance (a constant)
\bar{g}_K	36.0	mS/cm^2	Max K conductance (a constant)
g_L	0.3	mS/cm^2	Leakage conductance (a constant)
g_{Na}	0.011	mS/cm^2	Na conductance
g_K	0.367	mS/cm^2	K conductance

۵-۶: فرض کنید انتشار یک نوع تغییرات پتانسیل با معادله‌ی زیر بیان شود:

$$V_m(x, t) = 50 \tanh \left[t - \frac{(x - x_0)}{\theta} \right]$$

که در آن V_m بر حسب mV، t بر حسب msec و x در راستای طولی بر حسب mm باشد. همچنین θ سرعت انتشار است که بر حسب mm/msec بیان می‌شود. اگر شعاع فیبر $50 \mu\text{m}$ باشد، مقاومت ویژه محیط داخل سلولی $100 \Omega\text{cm}$ و مقاومت ویژه محیط خارج سلولی صفر:

الف) جریان داخل سلولی در راستای طولی را به دست آورید ($I_i(x, t)$).

ب) اگر $x_0 = 2 \text{mm}$ و $\theta = 2 \text{m/sec}$ باشد $V_m(t)$ را در $x = 10 \text{mm}$ رسم کنید.

بیان کردن رابطه‌ی پتانسیل به شکل تانژانت هایپربولیک مزیت‌هایی دارد مثلاً خیلی سریع تر می‌توان یک مساله را شبیه‌سازی کرد و دید کلی درباره آن به دست آورد. البته این تابع تنها بخش خیز پتانسیل عمل را شبیه‌سازی می‌کند و بخش افت آن را ندارد.

۶-۶: آیا می‌توانید جریان غشا در شکل ۶,۷ کتاب را با اطلاعات شکل ۵,۱۶ به صورت حدودی تایید نمایید؟ (پاسخ با رسم)