

轴突的神经传导的电学模型

00班 张顺 PB01203010

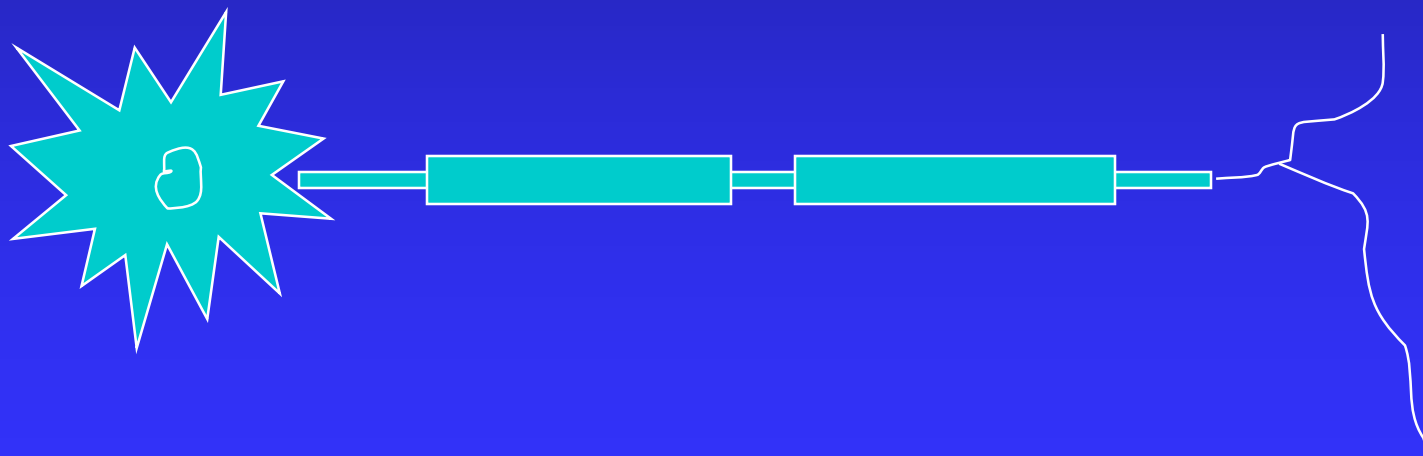
指导老师：程福臻
章江英

内容安排

- 神经细胞的构造
- 用电缆模型来描绘轴突
- 轴突对脉冲的传导和放大
- 神经传导中的能量耗费

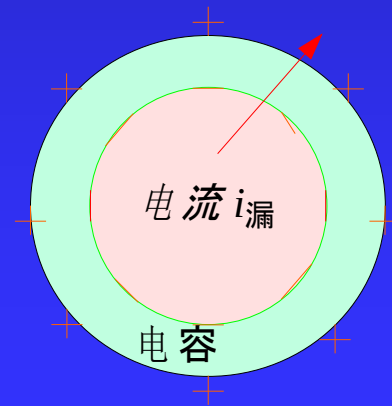
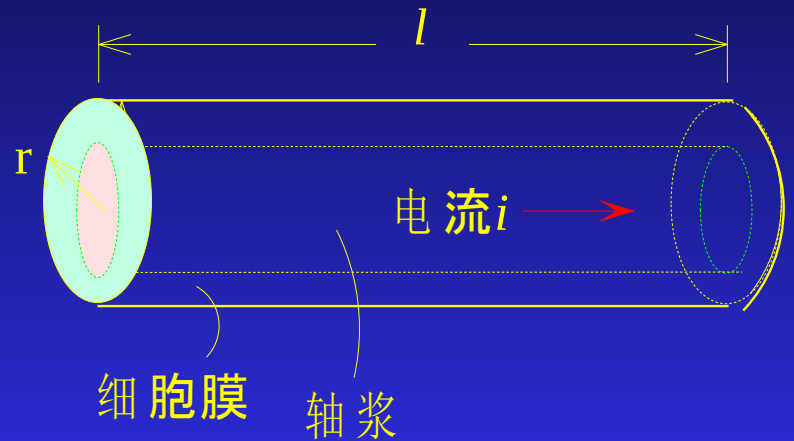
一、神经细胞的构造

- 神经细胞由树突和细长的轴突和细胞体相连，轴突由外面的细胞膜和里面的轴浆组成，有的轴突长达一米。
- 高等动物的某些轴突被一个多层髓鞘所包围



二、用电缆模型来描绘轴突

- 把轴突等效于同轴电缆。
- 轴浆看作电阻 R ，中有电流 i （神经脉冲）通过。
- 轴突膜很薄，两侧有电位差，（内负外正）故要考虑漏电电阻 R' 和电容 C 。

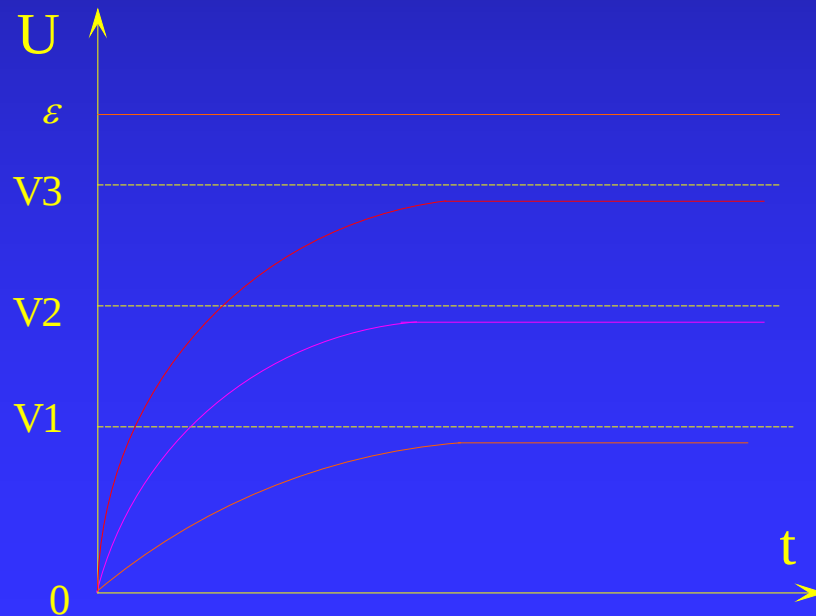
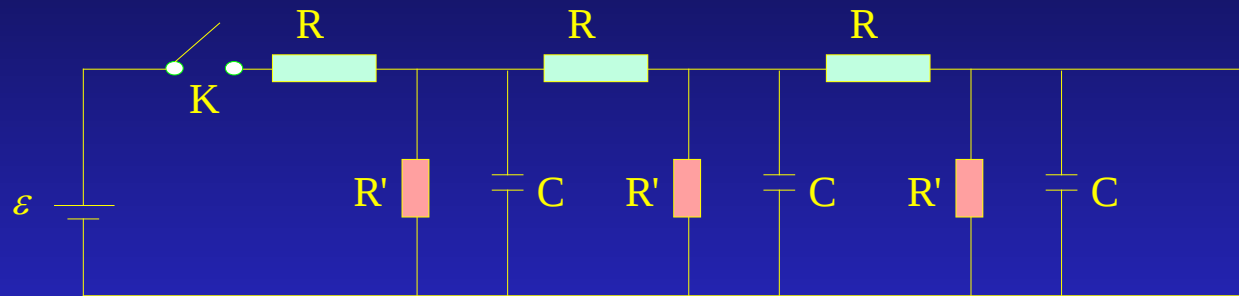


参量	有髓鞘轴突	无髓鞘轴突
轴浆电阻率 ρ	$2\Omega \text{ m}$	$2\Omega \text{ m}$
C_m	5×10^{-5}	10^{-2}
R_m	40	0.2
半径 r	5×10^{-6} 米	5×10^{-6} 米

- C_m 是单位面积电容 (F/m^2) , R_m 是单位面积漏电电阻 (Ω/m^2)
- 对一厘米轴突: $R = 2.5 \times 10^8 \Omega$
- 电阻竟有如此之大, 大自然竟用这种绝缘的导线, 设计出高效的神经联络系统。

- 细胞膜很薄，可看作平行板电容，C正比于面积S，因此不必求介电常数，若轴突长l，则 $C = C_m \times 2\pi r l$
- 膜电阻R却反比与S，因此 $R = R_m / 2\pi r l$
- 1cm无髓鞘轴突， $C = 3 \times 10^{-9} \text{F}$ ， $R = 6.4 \times 10^5 \Omega$ ，此值甚至小于轴浆电阻的1%，在1cm的路程内99%以上的电流都穿过细胞膜泄漏掉了。

三、轴突对脉冲的传导和放大



- 在实验中，无髓鞘轴突受刺激，显现出类似行为，一根探针与电池连接在 $x=0$ 的地方， V_i 升到 -60mV ，随着 x 的增大， V_i 变化减小，达到稳定的时间增大。

- 可以证明，当离子浓度 C_0 ， C_i 满足方程 $q(V_i - V_0) = kT \ln C_0 / C_i$ 时，离子处于平衡状态。测得膜内外的离子浓度，即可算得钠的平衡电势差为+66mV，钾为-98mV， $66\text{mV} > -90\text{mV} > -98\text{mV}$ ，所以， Na^+ 由外向里， K^+ 由里向外自由扩散

- 但当 $V_i|_{x=0}$ 增到 -50mV 以上, $x>0$ 的某处电势会突增, 稍后可看到, 这是神经传导的关键。
- 当电势突增时, 细胞膜对 Na^+ 的透性也突增, 造成 Na^+ 的急剧流入, 使 V_i 从负到正, 直至接近 $+66\text{mV}$, Na^+ 流变缓, 此时对 K^+ 的透性也突增, K^+ 急剧流出, V_i 恢复。

+	+	+	+	+	+
-	-	-	-	-	-

(a)

-	-	-	-	-	-
+	+	+	+	+	+

-	-	←	+	+	+	+
+	+	→	-	-	-	-

(b)

+	+	→	-	-	-	-
-	-	←	+	+	+	+

-	-	↓	+	+	+	+
+	+		-	-	-	-

Na⁺

(c)

+	+	↑	-	-	-	-
-	-		+	+	+	+

-	-	↑	+	+	+	+
+	+		-	-	-	-

K⁺

(d)

+	+	↓	-	-	-	-
-	-		+	+	+	+

四、神经传导中的能量耗费

- 以上过程虽复杂，却不耗费能量，真正耗费能量的是脉冲过后把多的 Na^+ 运出和少的 K^+ 运回的过程，轴突如果很粗，涌入的 Na^+ 和涌出的 K^+ 就会增多，要把它们运回去耗能也会增多。
- 主动运输造成的 Na^+ 的迁移率为 3×10^{-7} 摩每秒*平方米，对1平米的细胞膜
- $I=0.0289\text{A}$ ， $P=UI=0.09$
 $\times 0.0289=0.0026\text{W}$

■ THANK
YOU

