

Física do Corpo Humano

Prof. Adriano Mesquita Alencar
Dep. Física Geral
Instituto de Física da USP



Sensores e Visão

B08

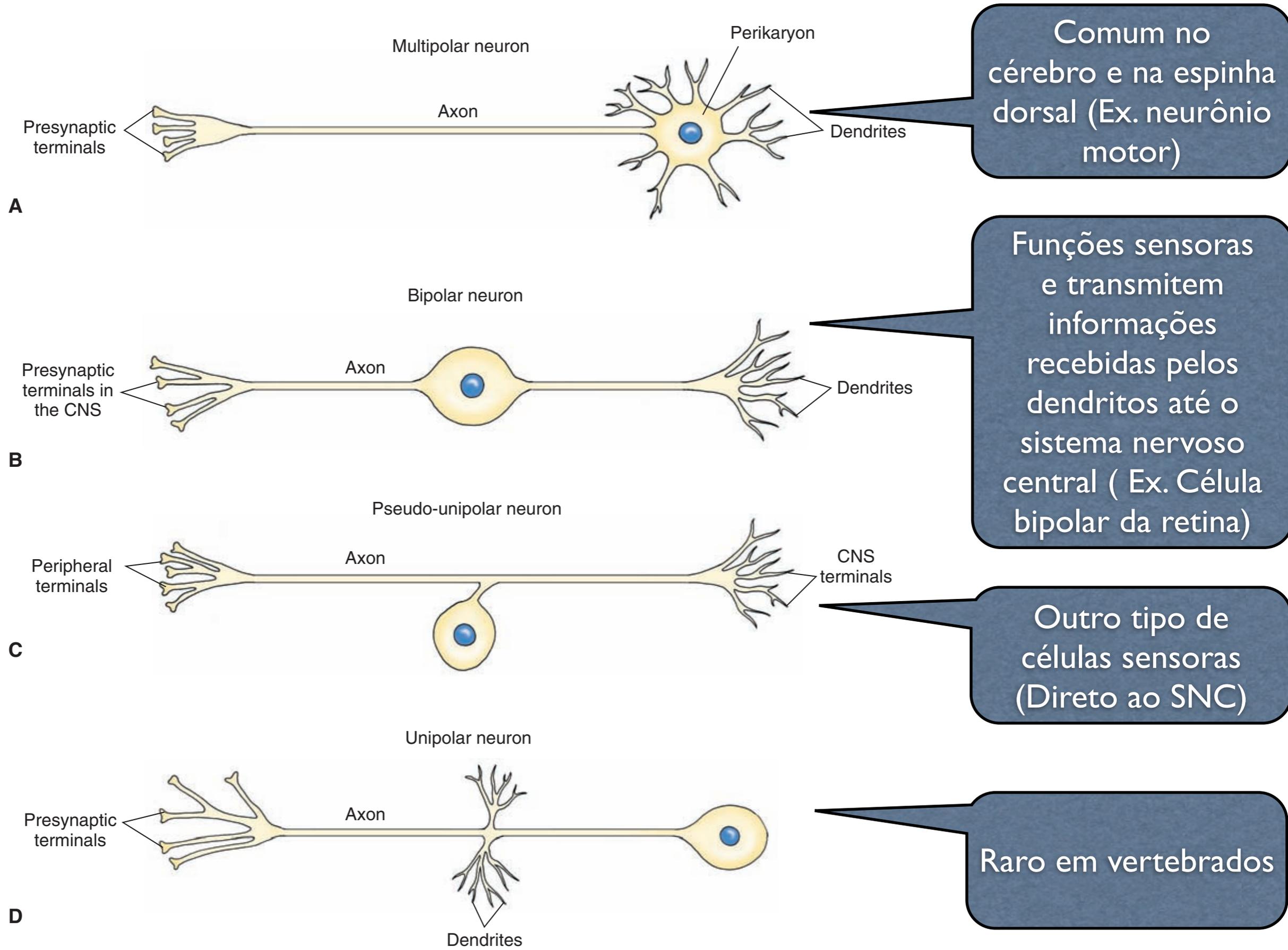
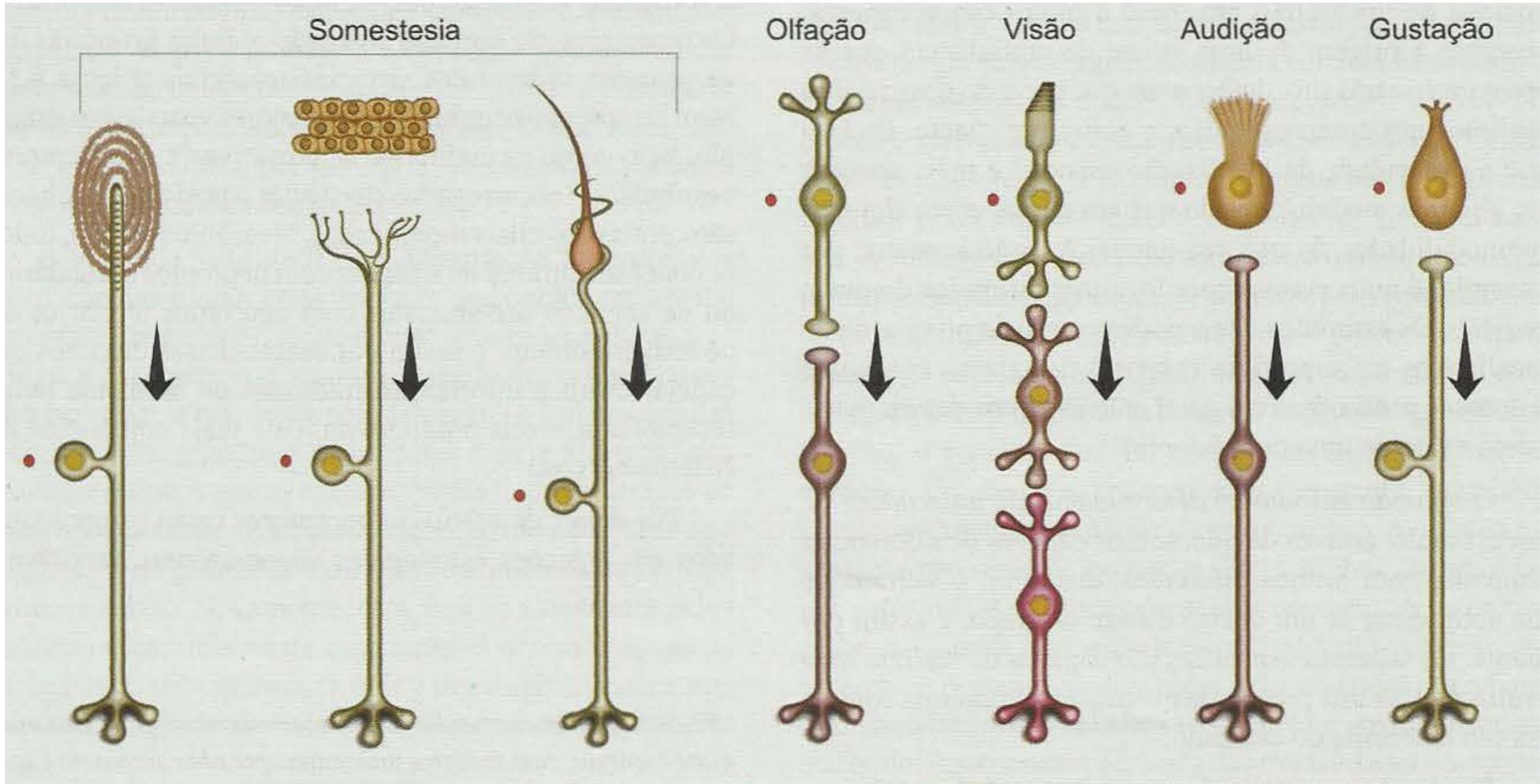


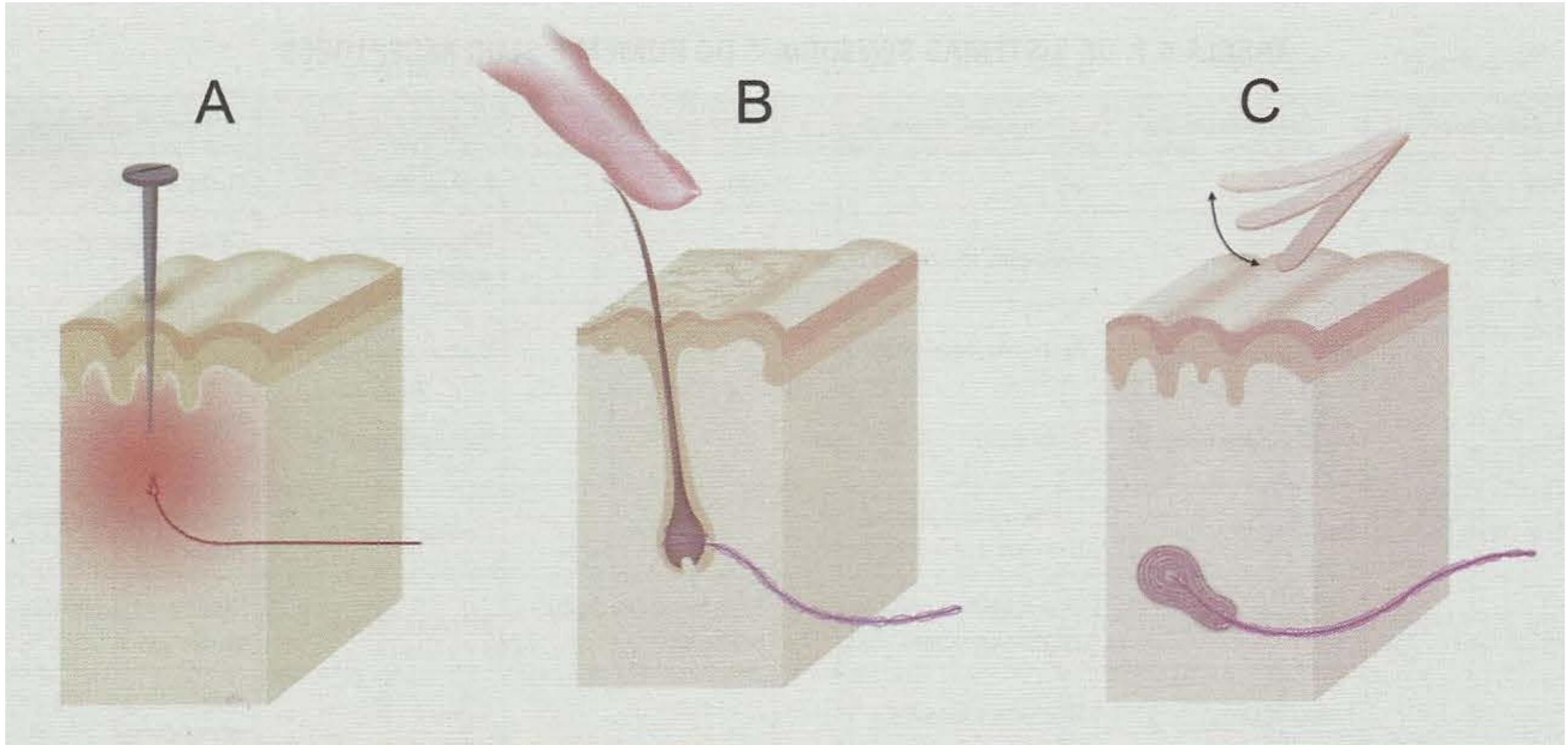
FIGURE 5-3 Different types of neurons. (A) Multipolar neuron. (B) Bipolar neuron. (C) Pseudo-unipolar neuron. (D) Unipolar neuron. CNS = central nervous system.

Transdutores



► **Figura 6.1.** Os receptores sensoriais (assinalados por pontos vermelhos) são células especializadas em captar a energia que provém do ambiente (externo ou interno ao organismo). São também as células primárias dos sistemas sensoriais.

Transdutores



► **Figura 6.2.** Há muitos tipos de mecanorreceptores. Alguns (A) são nociceptores, terminações livres da pele, sensíveis a fortes estímulos mecânicos capazes de provocar lesão dos tecidos. Outros (B) são terminais de fibras miélicas que se enroscam em torno dos pelos, detectando os menores movimentos deles. Outros ainda (C) são corpúsculos formados por camadas de tecido conjuntivo em torno da extremidade de fibras sensitivas, capazes de detectar estímulos vibratórios (corpúsculos de Pacini).

TABLE 8–1 Major Classes of Neurotransmitters

Small-Molecule Neurotransmitters	Neuropeptides	Gaseous Neurotransmitters
Acetylcholine	Opioid peptides	Nitric oxide
Excitatory amino acids	β-endorphin,	
Glutamate	Methionine-enkephalin	
Aspartate	Leucine-enkephalin	
Inhibitory amino acids	Endomorphins	
GABA	Nociceptin	
Glycine		
Biogenic amines	Substance P	
Catecholamines		
Dopamine		
Norepinephrine		
Epinephrine		
Indoleamine		
Serotonin (5-hydroxytryptamine, [5-HT])		
Imidazole amine		
Histamine		
Purines		
ATP		
Adenosine		

ATP = adenosine triphosphate; GABA = gamma aminobutyric acid.

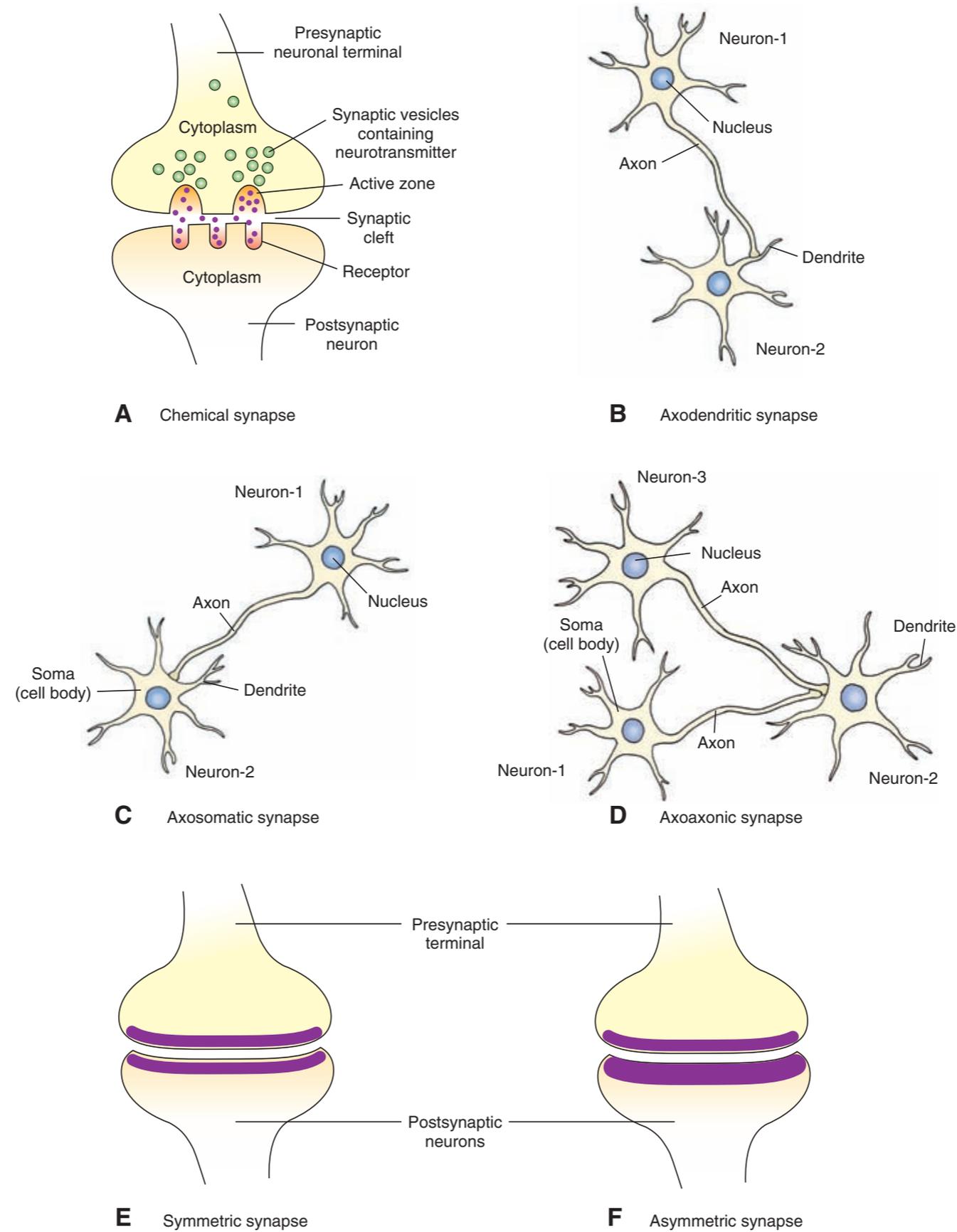
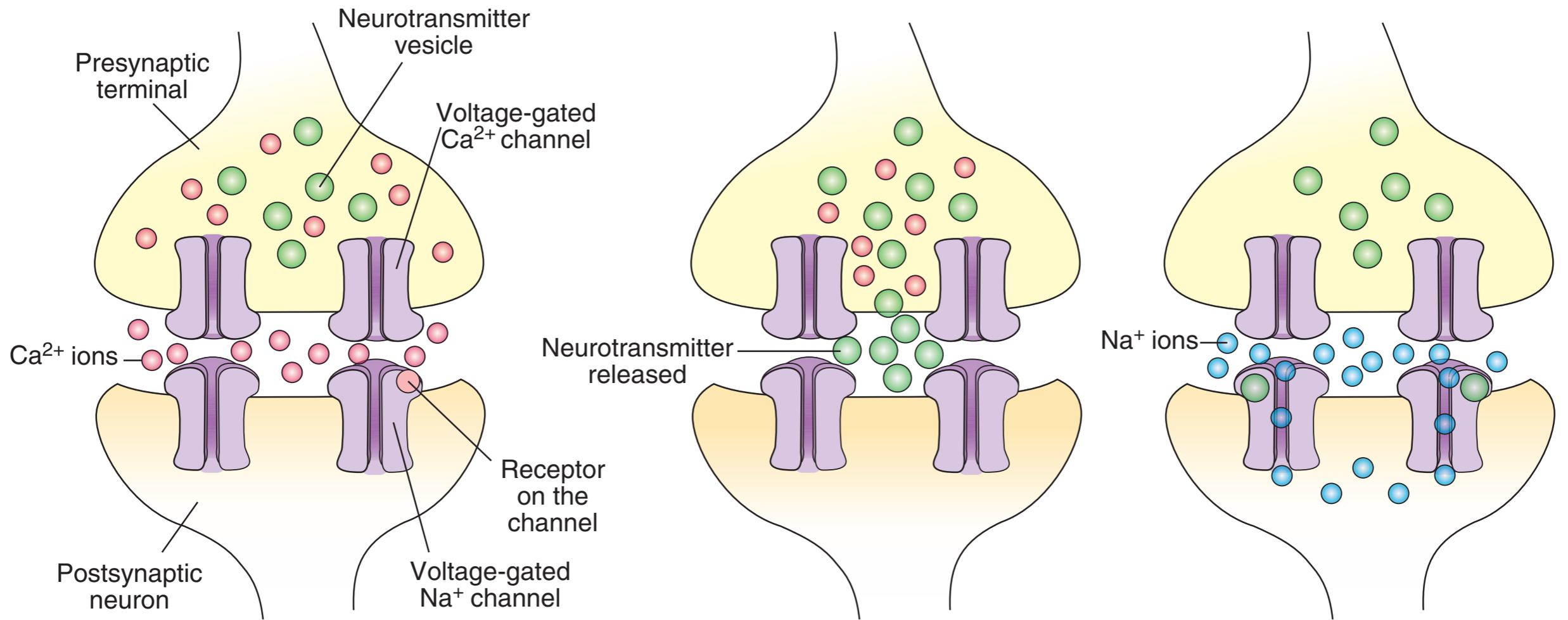


FIGURE 7-2 Morphology of a chemical synapse. **(A)** The presynaptic terminal and postsynaptic neuron are separated by a fluid-filled synaptic cleft. Note that the presynaptic terminal contains synaptic vesicles, which contain neurotransmitter and active zones. Receptors for the transmitter are located on the postsynaptic membrane. Different types of central nervous system synapses include **(B)** axodendritic synapse, **(C)** axosomatic synapse, and **(D)** axoaxonic synapse. **(E)** In a symmetrical synapse, the presynaptic and postsynaptic membranes are similar in thickness. **(F)** In an asymmetrical synapse, the postsynaptic membrane of a synapse is thicker than the presynaptic membrane.



A Action potential depolarizes the presynaptic terminal membrane, Ca^{2+} channels open and Ca^{2+} ions enter the terminal.

B Ca^{2+} ions in the terminal promote fusion of vesicular and terminal membranes and the neurotransmitter is released in the synaptic cleft.

C Neurotransmitter binds with the receptor on the channel which opens, Na^+ ions enter the postsynaptic neuron, depolarize it, and excite it.

FIGURE 8-1 Mechanism of transmitter release.

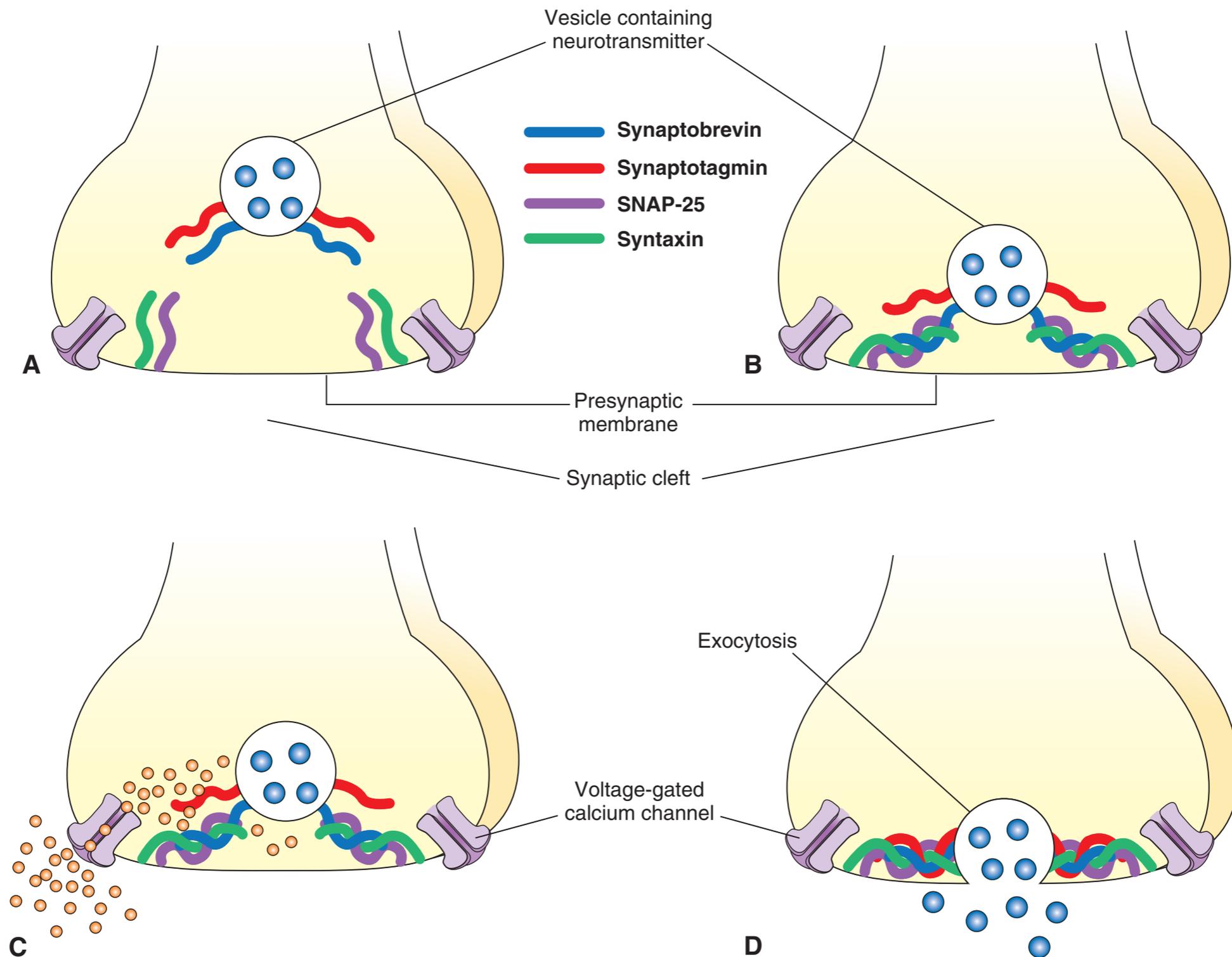


FIGURE 8-2 Steps involved in exocytosis. **(A)** SNARE (SNAP receptor) proteins on the vesicle and the presynaptic plasma membrane. **(B)** SNARE proteins on the vesicle and the presynaptic plasma membrane form complexes. **(C)** Formation of SNARE protein complexes pulls the vesicle closer to the presynaptic plasma membrane and Ca^{2+} (calcium) entering into the terminal via the voltage-gated Ca^{2+} channels binds with synaptotagmin. **(D)** Binding of Ca^{2+} to synaptotagmin promotes fusion of the vesicle to the presynaptic plasma membrane.

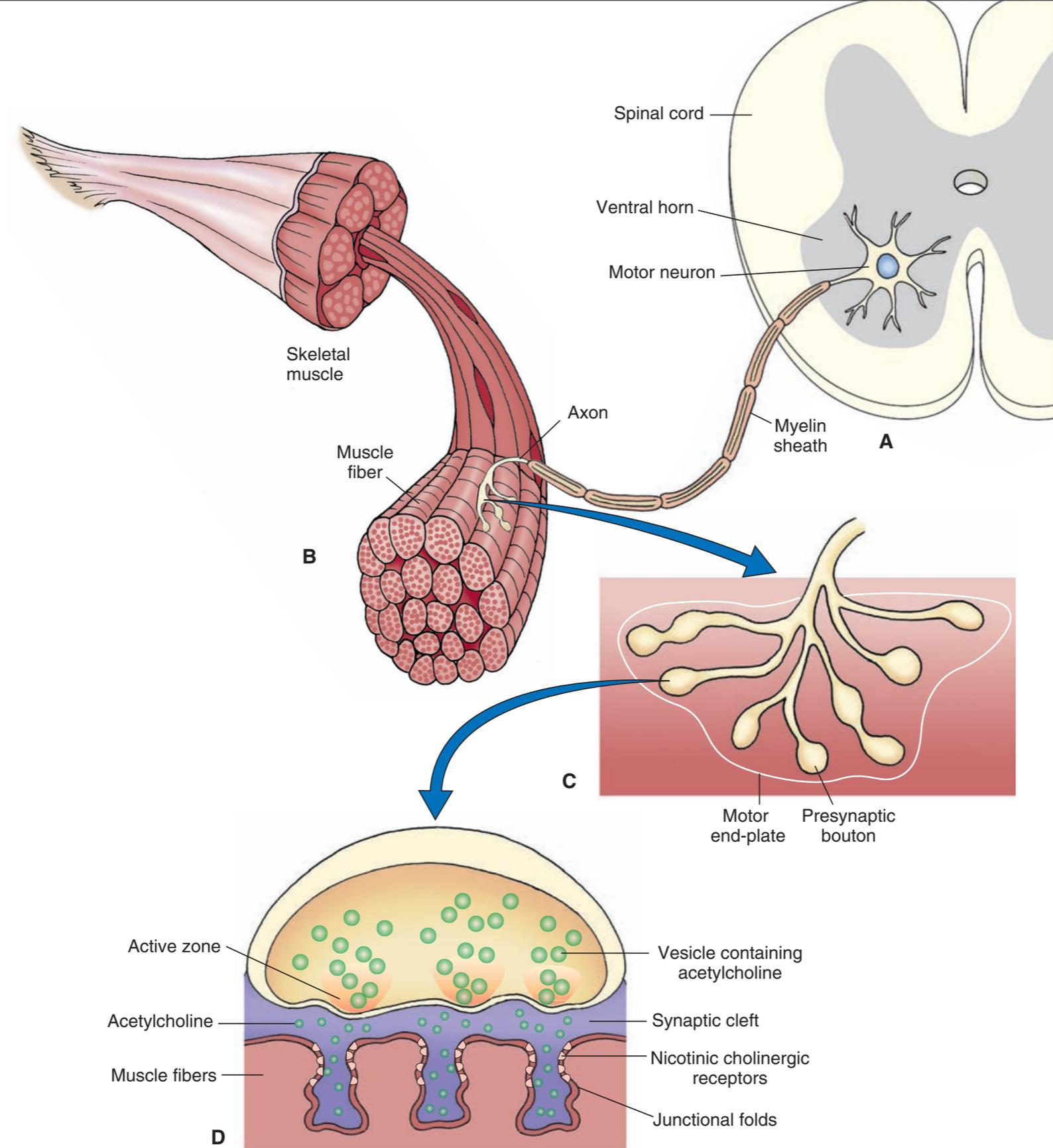


FIGURE 7-3 Mechanism of directly gated synaptic transmission at a neuromuscular junction. (A) Cell bodies of motor neurons. (B and C) Myelinated axons of motor neurons innervate skeletal muscle fibers. As the motor axon reaches a specialized region on the muscle membrane (motor end-plate), it loses its myelin sheath and gives off several fine branches. Presynaptic boutons (swellings) are present at the terminals of these branches. (D) The presynaptic boutons have synaptic vesicles containing acetylcholine.

(1) mecanoreceptores, (2) quimiorreceptores, (3) fotoreceptores, (4) termoreceptores, (5) nociceptores

TABELA 6.1. OS SISTEMAS SENSORIAIS DO HOMEM E SEUS RECEPTORES

<i>Modalidade</i>	<i>Submodalidade</i>	<i>Estímulo Específico</i>	<i>Órgão Receptor</i>	<i>Tipo Funcional</i>	<i>Tipo Morfológico</i>
Visão	Todas	Luz	Olho	Fotoceptores	Cones e bastonetes
Audição	Todas	Vibrações mecânicas do ar	Ouvido	Mecanoceptores auditivos	Células estereociliadas da cóclea
Somestesia	Tato	Estímulos mecânicos	—	Mecanoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
	Sensibilidade térmica	Calor e frio	—	Termoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
	Dor	Estímulos mecânicos, térmicos e químicos intensos	—	Nociceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
	Propriocepção	Movimentos e posição estática do corpo	Fuso muscular, órgão tendinoso	Mecanoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
	Interocepção	Múltiplos estímulos	—	Todos	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
Olfato	—	Substâncias químicas voláteis	Nariz	Quimioceptores	Neurônios da mucosa olfatória
Paladar	Todas	Substâncias químicas	Boca	Quimioceptores	Células das papilas gustativas

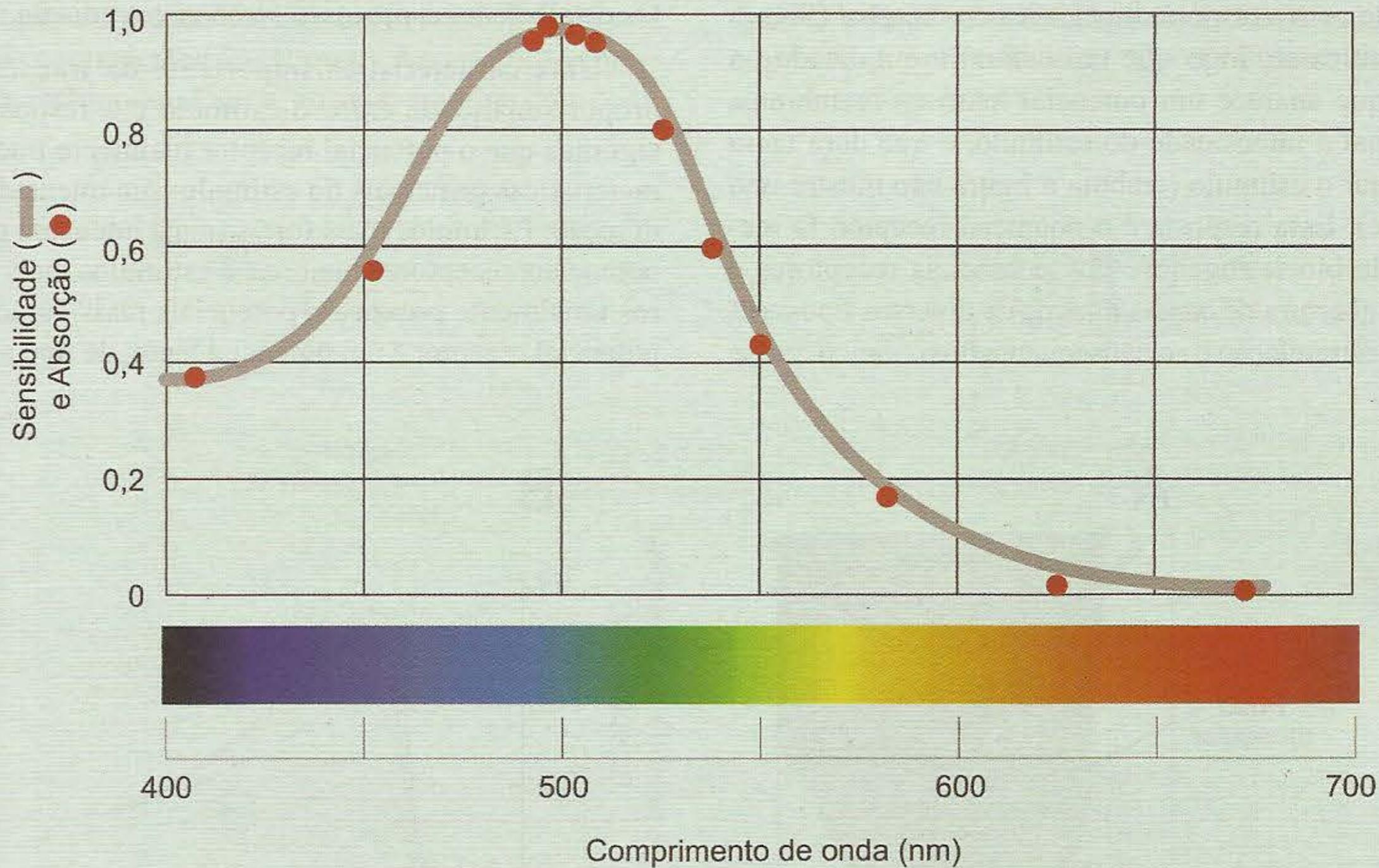
Transdutores

- Apesar dos receptores serem especializados eles também podem ser ativados por outros estímulos, so que o limiar é muito maior que o limiar no qual o receptor foi desenhado.
- Uma pancada mecânica no olho, faz você ver estrelas
- O limiar de ativação, sensibilidade, de um fotorreceptor pode chegar próximo a um fóton.
- Os responsáveis pela transdução sensorial são as macromoléculas situadas na membrana - receptores moleculares.
- Os receptores moleculares, ao mudar de conformação 3D, geram sinais bioelétricos ou bioquímicos

TABELA 6.2. RECEPTORES COM FUNÇÕES DE CONTROLE

<i>Função</i>	<i>Estímulo Específico</i>	<i>Órgão Receptor</i>	<i>Tipo Funcional</i>	<i>Tipo Morfológico</i>
Equilíbrio	Posição e movimentos da cabeça	Labirinto	Mecanoceptores	Células ciliadas do labirinto
Controle motor	Estiramento muscular	Fuso muscular	Mecanoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
Controle motor	Tensão muscular	Órgão tendinoso	Mecanoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
Controle motor	Ângulo articular	—	Mecanoceptores	Neurônios ganglionares da raiz dorsal
Controle cardiovascular	Pressão sanguínea	Seio carotídeo	Mecanoceptores (Baroceptores)	Neurônios do tronco encefálico
Controle cardiorrespiratório	pH, pCO ₂ , pO ₂	—	Quimioceptores	Neurônios do hipotálamo
Controle da hidratação (sede)	Concentração sanguínea de Na ⁺ (osmolaridade)	Órgãos circunventriculares	Quimioceptores (natrioceptores)	Neurônios do hipotálamo e do tronco encefálico
Controle da alimentação (fome)	Concentração sanguínea de nutrientes	Órgãos circunventriculares	Quimioceptores	Neurônios do hipotálamo e do tronco encefálico
Controle da temperatura corporal	Temperatura do sangue	Órgãos circunventriculares	Termoceptores	Neurônios do hipotálamo e do tronco encefálico
Controle da digestão	Distensão visceral	—	Mecanoceptores	Neurônios do tronco encefálico
Reprodução e sexualidade	Substâncias químicas específicas (feromônios)	Órgão vômero-nasal*	Quimioceptores	Neurônios da mucosa olfatória
Interações sociais	Substâncias químicas específicas (feromônios)	Órgão vômero-nasal*	Quimioceptores	Neurônios da mucosa olfatória

* A existência do órgão vômero-nasal no homem ainda é controversa.



► **Figura 6.4.** A sensibilidade de um indivíduo a luzes de diferentes cores é comparável à dos fotorreceptores. A curva em cinza apresenta o limiar de sensibilidade de um indivíduo adaptado ao escuro, ou seja, a mínima intensidade luminosa (relativa) que ele é capaz de detectar (na ordenada) para cada cor (na abscissa). Os pontos vermelhos mostram a energia luminosa absorvida pelas moléculas fotossensíveis dos receptores da retina para as mesmas cores. A ordenada representa unidades relativas à maior sensibilidade (100% ou 1,0), geralmente em torno da cor verde. Modificado de R.L. Gregory (1997) *Eye and Brain*. Princeton University Press, EUA.

Transdução e Codificação

- Linguagem do meio ambiente (diversas formas de energia) → Linguagem do cérebro (potenciais bioelétricos).
- Transdução: absorção da energia do estímulo seguida da gênese de um potencial bioelétrico lento.
- Codificação: conversão desse sinal lento em um potencial de ação

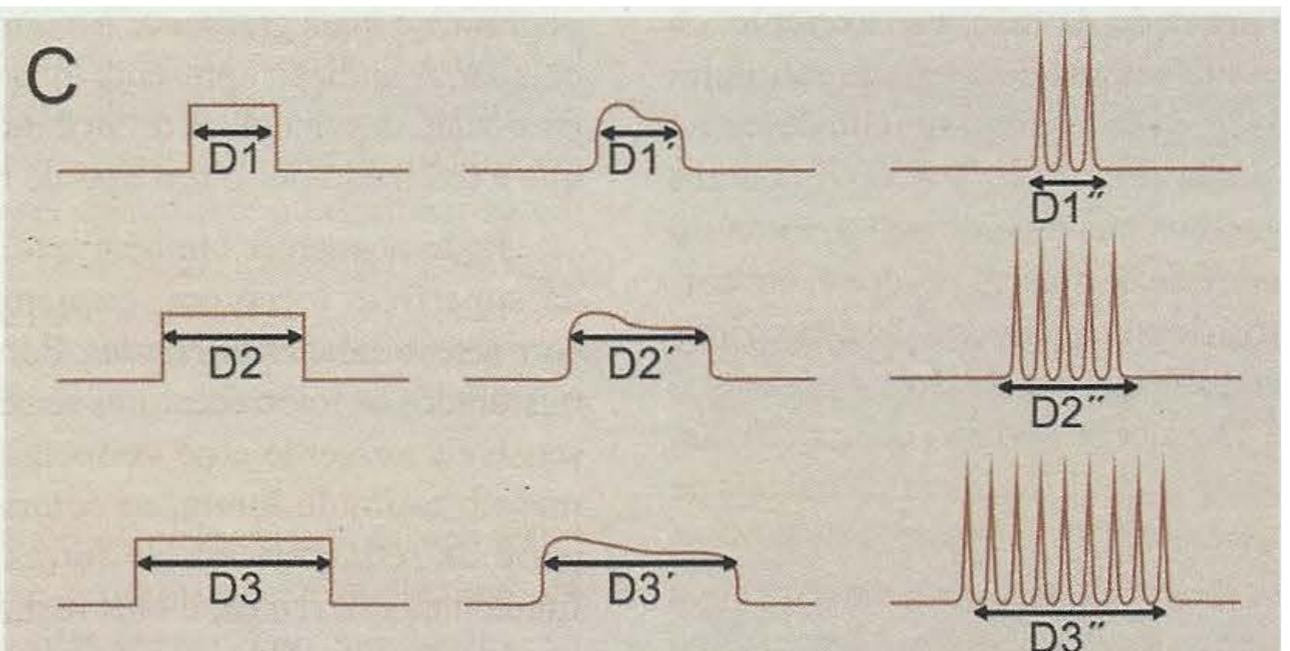
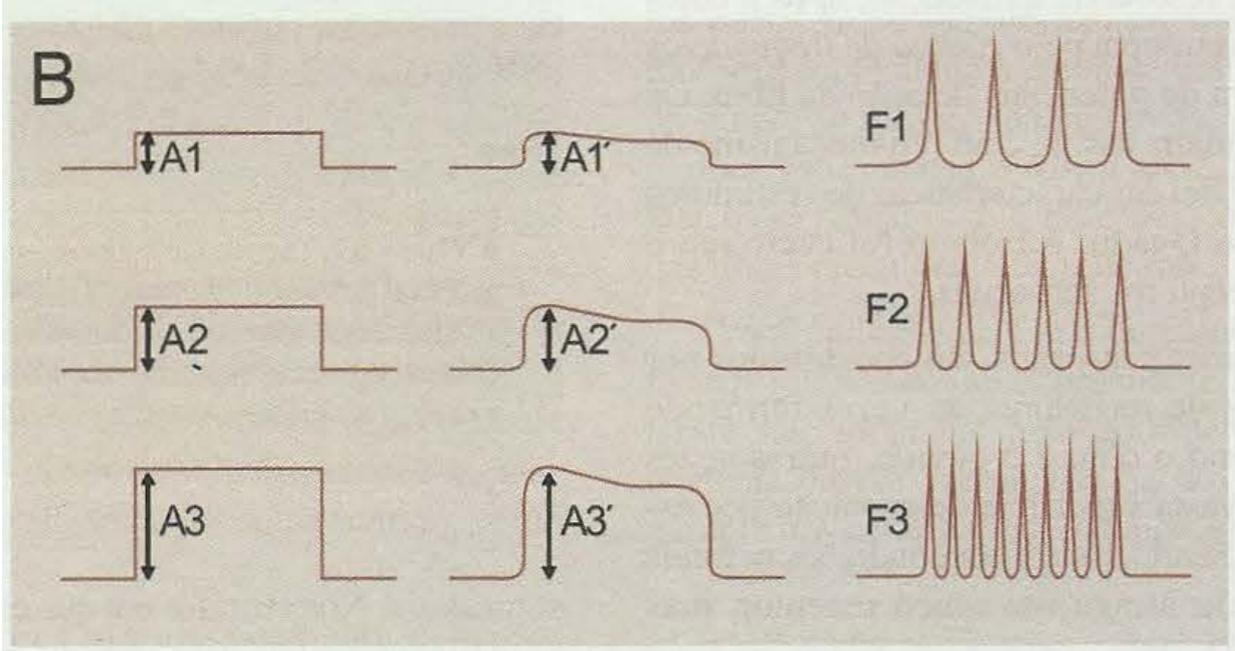
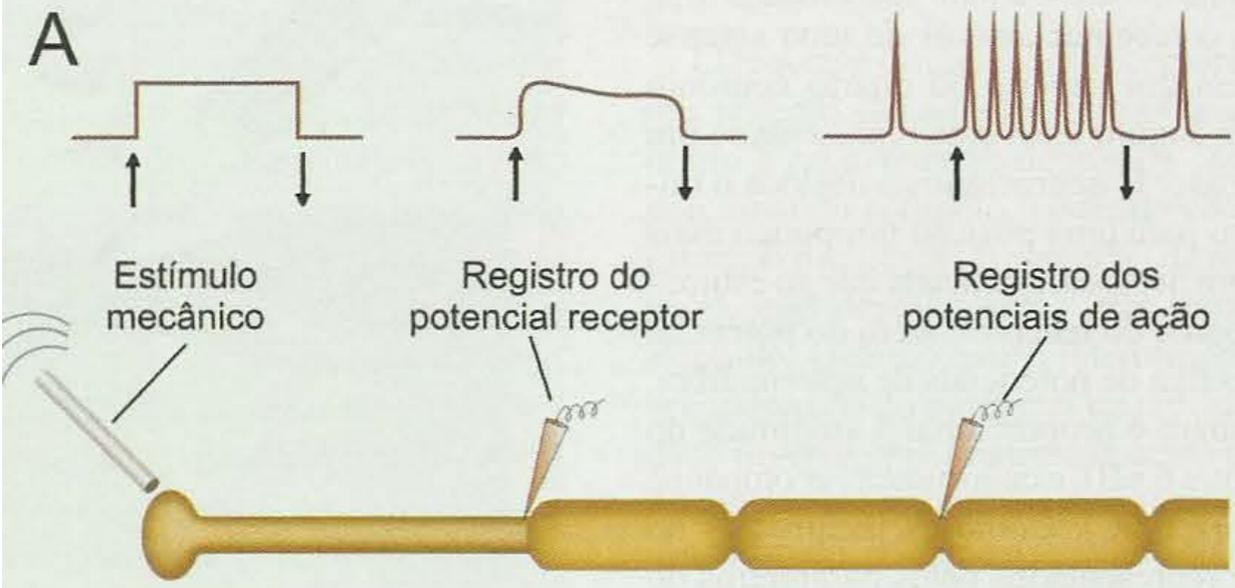
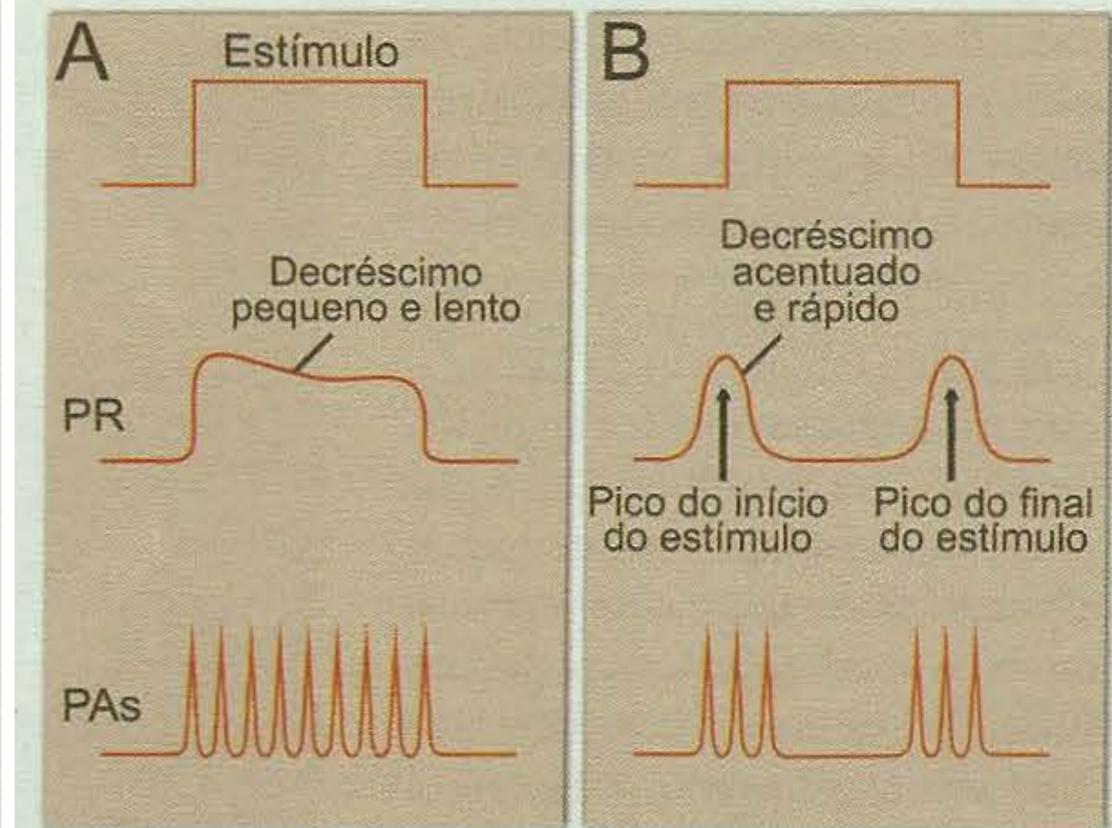
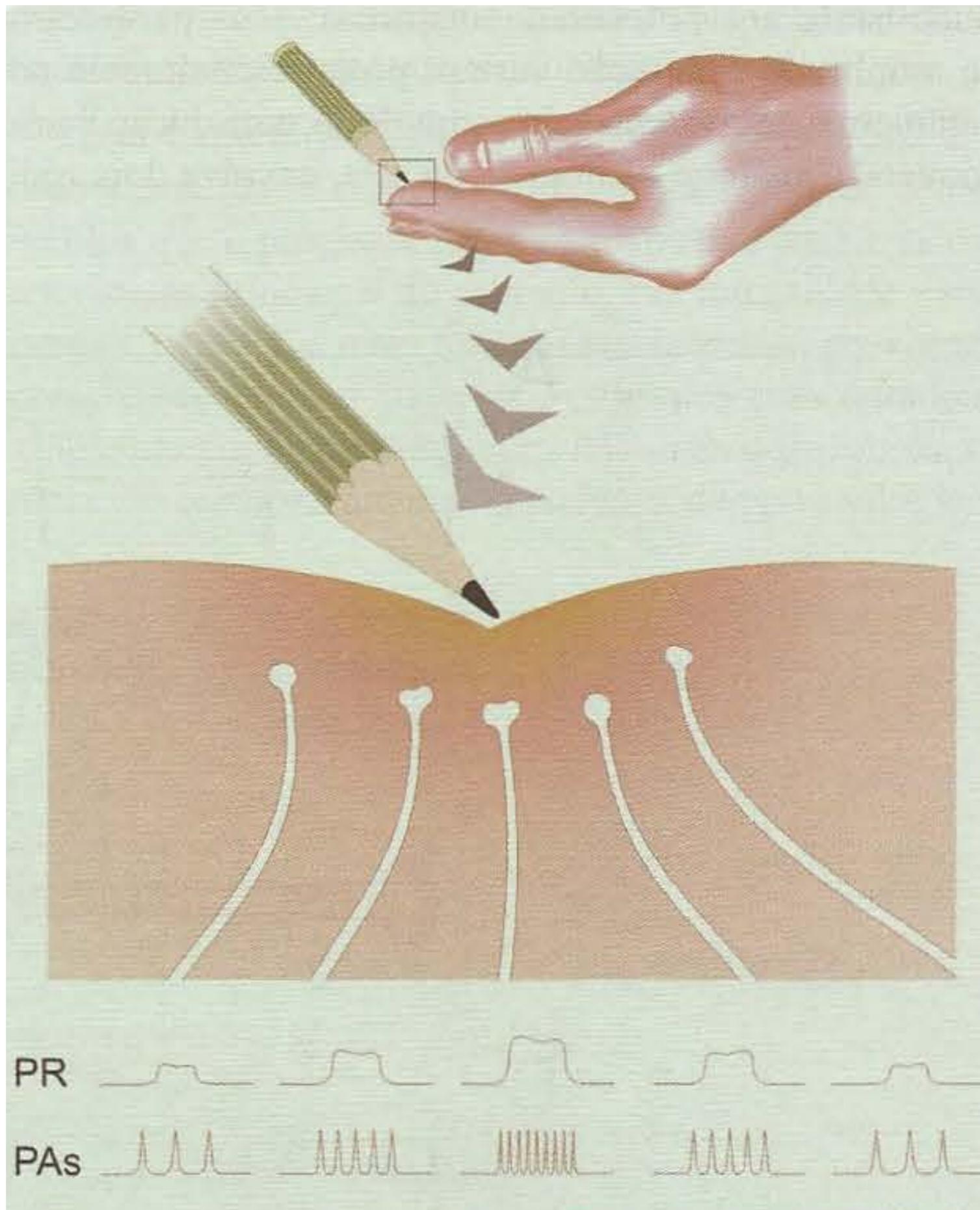
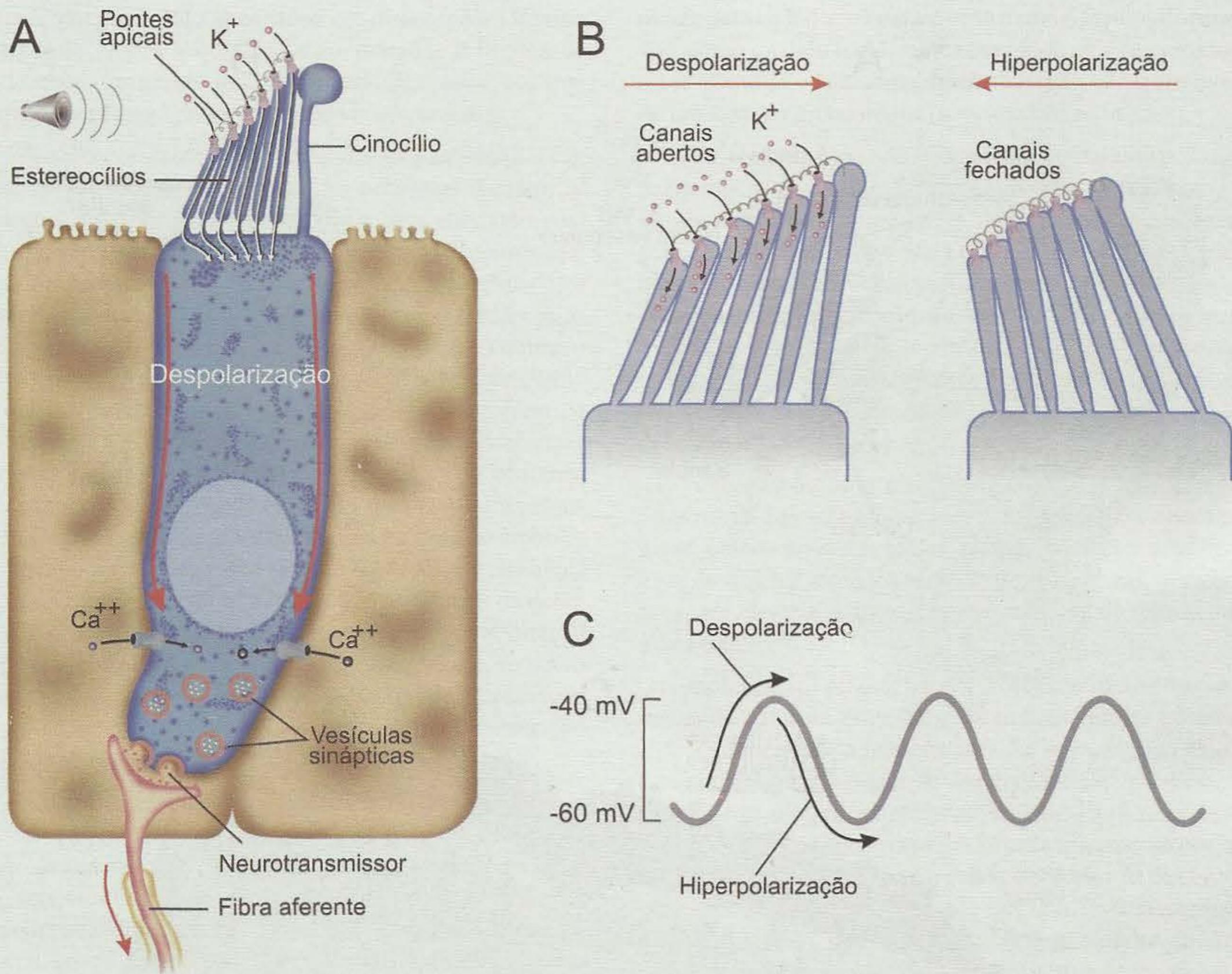


Figura 6.6. A. A transdução e a codificação podem ser estudadas em um receptor variando os parâmetros do estímulo aplicado (neste exemplo, mecânico), e ao mesmo tempo registrando a certa distância o potencial receptor e os potenciais de ação produzidos pela fibra. O início e o final do estímulo são assinalados pelas setas para cima e para baixo, respectivamente. **B.** Quando a amplitude do estímulo aumenta ($A1 < A2 < A3$), a amplitude do potencial receptor aumenta de forma proporcional ($A1'$ proporcional a $A1$; $A2'$ proporcional a $A2$ etc.), e assim também acontece com a frequência da salva de potenciais de ação que a fibra produz ($A1$ e $A1'$ proporcionais a $F1$; $A2$ e $A2'$ proporcionais a $F2$ etc.). **C.** Quando é a duração do estímulo que aumenta, a duração do potencial receptor acompanha proporcionalmente ($D1'$ proporcional a $D1$; $D2'$ proporcional a $D2$ etc.), e o mesmo ocorre com a duração da salva de potenciais de ação ($D1$ e $D1'$ proporcionais a $D1''$; $D2$ e $D2'$ proporcionais a $D2''$ etc.).

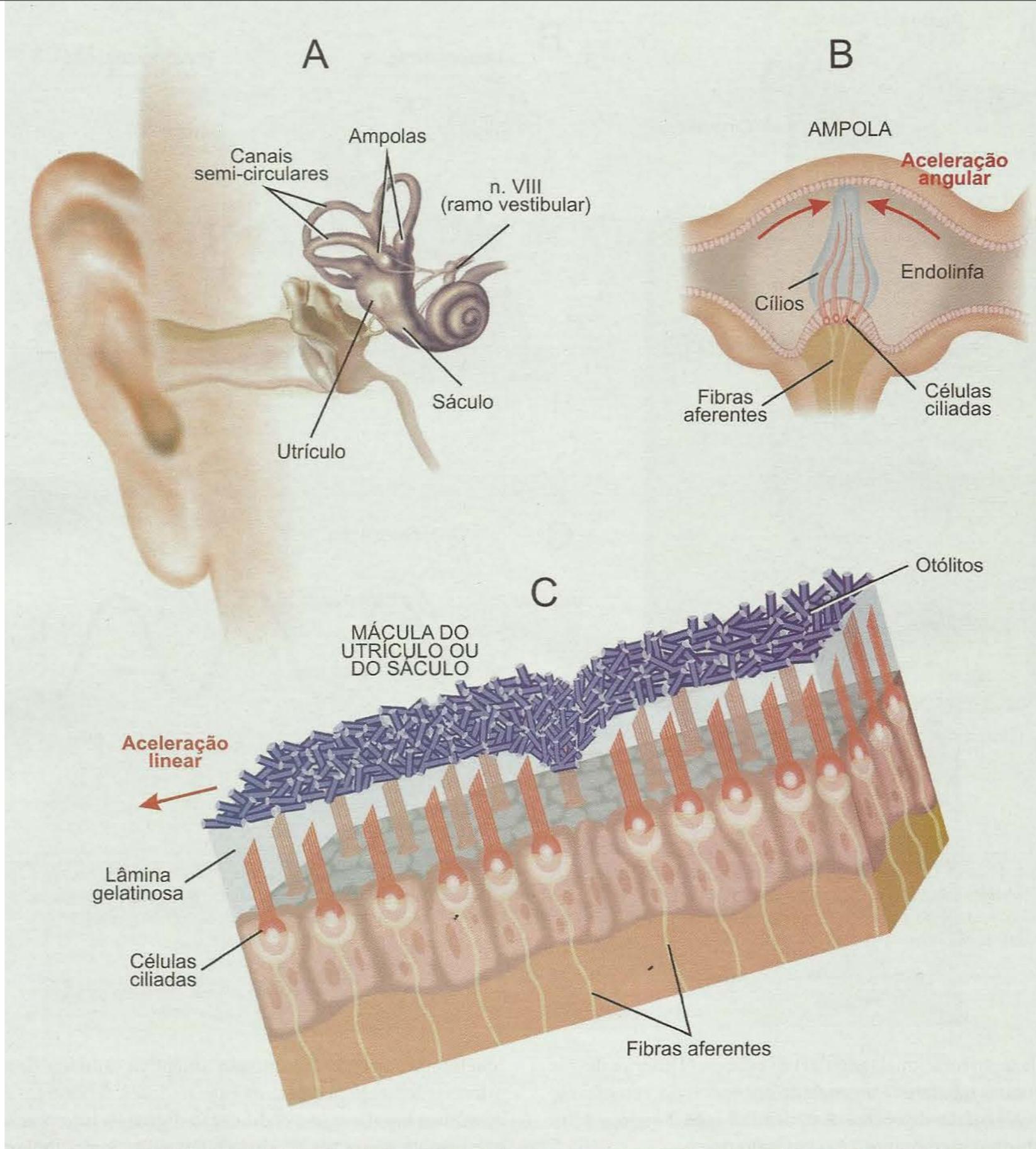
Adaptação: receptores tônicos (Ex. tato) e fásicos (Ex. dos pelos)



► **Figura 6.8.** **A.** Os receptores de adaptação lenta (tônicos) apresentam potencial receptor (PR) semelhante ao estímulo. **B.** Os receptores de adaptação rápida (fásicos), diferentemente, apresentam um potencial receptor "duplo", com um pico quando o estímulo começa e outro quando termina. A frequência de potenciais de ação (PAs) acompanha proporcionalmente, nos dois casos.

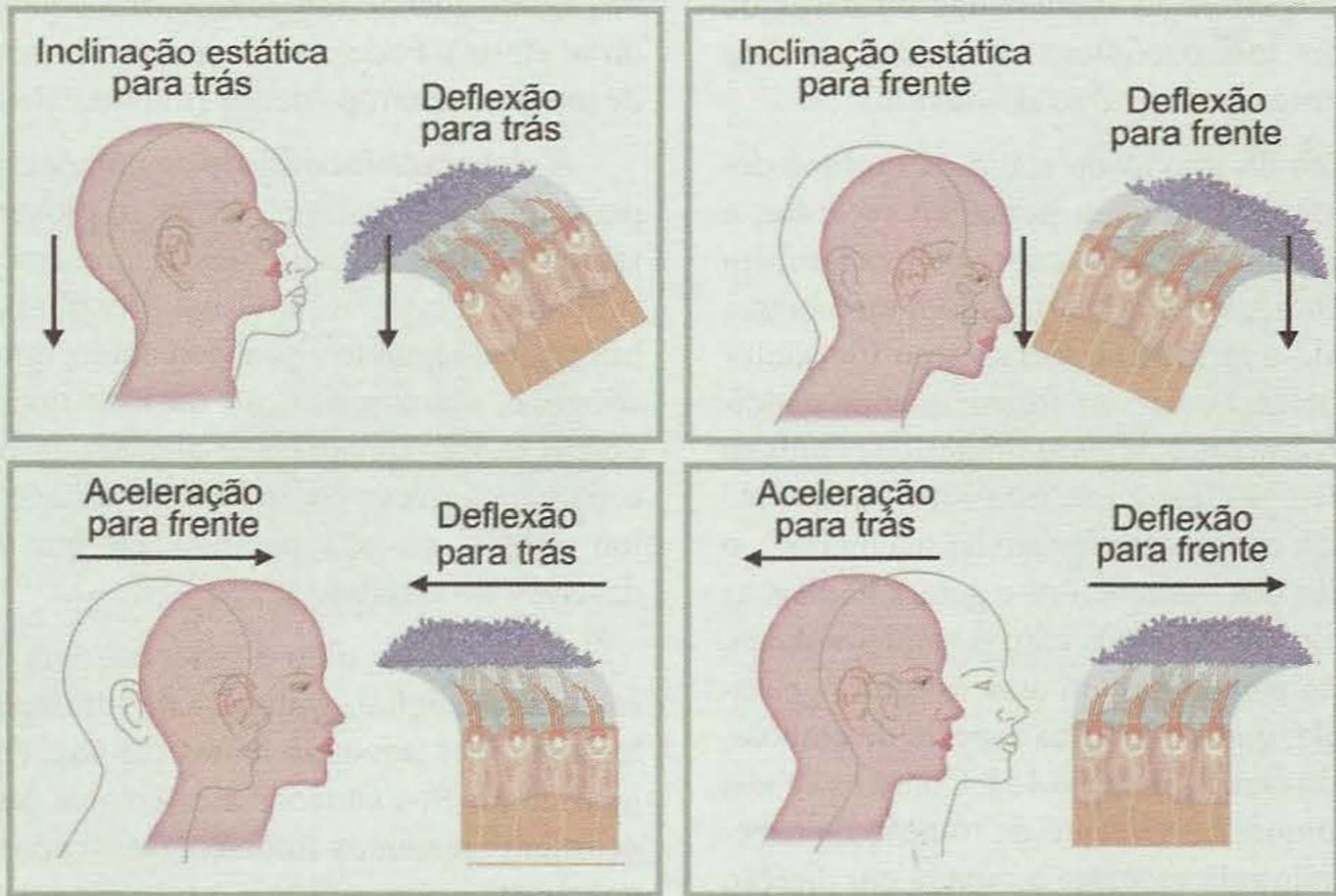


D **Figura 6.13.** O mecanismo de transdução audioneural ocorre nas células receptoras da cóclea, cuja estrutura é mostrada em **A**. Quando ocorre a vibração da membrana basilar, os estereocílios são defletidos, ocorrendo despolarização ou hiperpolarização do receptor (**B**), segundo o sentido da deflexão. Sendo uma vibração, a deflexão dos estereocílios ocorre alternadamente para um lado e para o outro, e essa alternância é acompanhada pelo potencial receptor, mostrado em **C**.

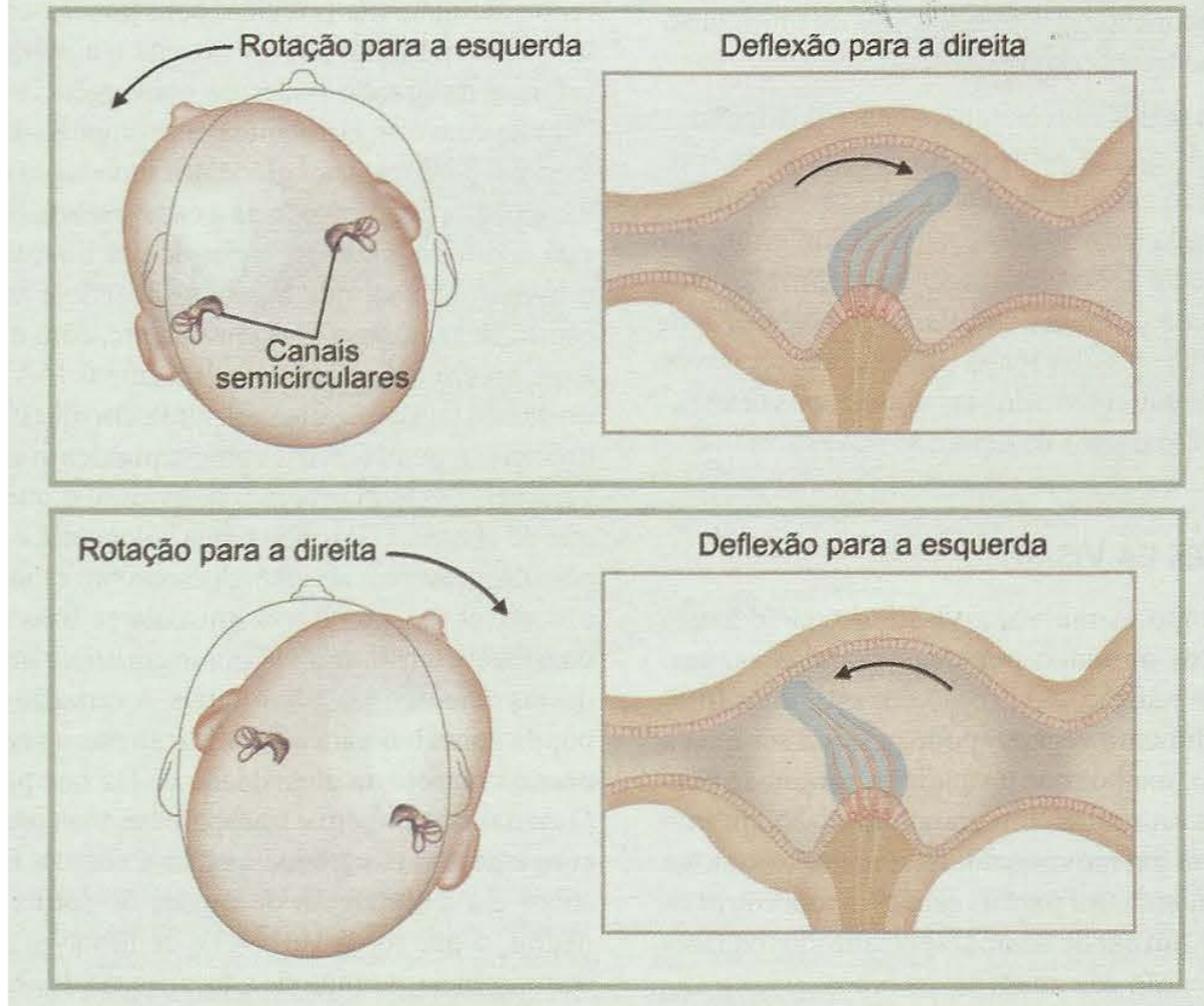


► **Figura 6.14.** Os órgãos receptores da audição e o do equilíbrio compartilham o mesmo sistema de túbulos ósseos e membranosos (os labirintos), incrustados no osso temporal (A). Os canais semicirculares cheios de endolinfa (B) apresentam, cada um, uma dilatação (ampola), onde estão as células estereociliadas que respondem à aceleração angular da cabeça (setas vermelhas) resultante de movimentos do pescoço. De modo parecido, os órgãos otolíticos (sáculo e utrículo) apresentam uma região (mácula) que aloja células estereociliadas (C). O peso dos otólitos ajuda a defletir os estereocílios a cada aceleração linear da cabeça (seta vermelha), inclusive a própria gravidade.

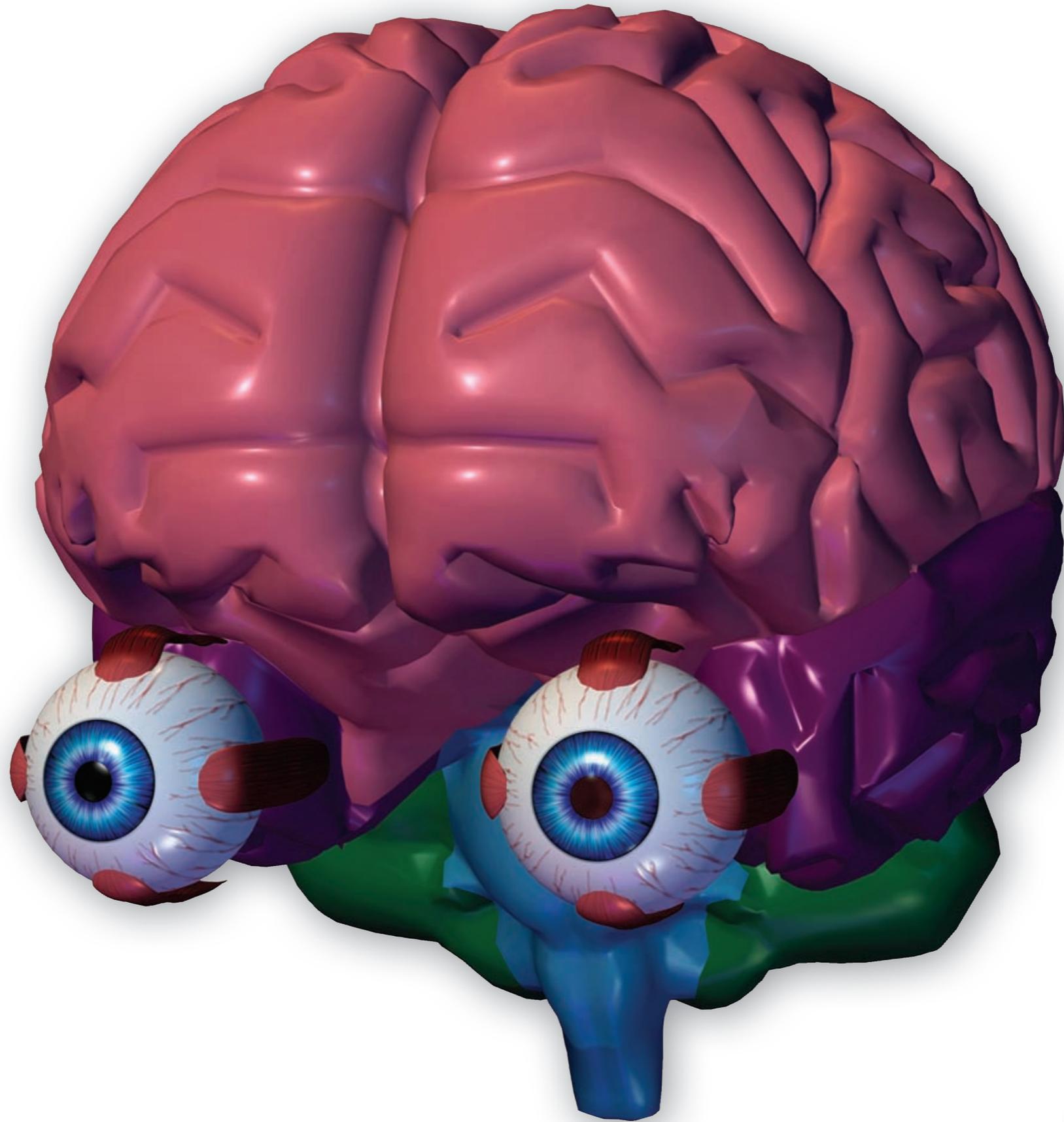
A



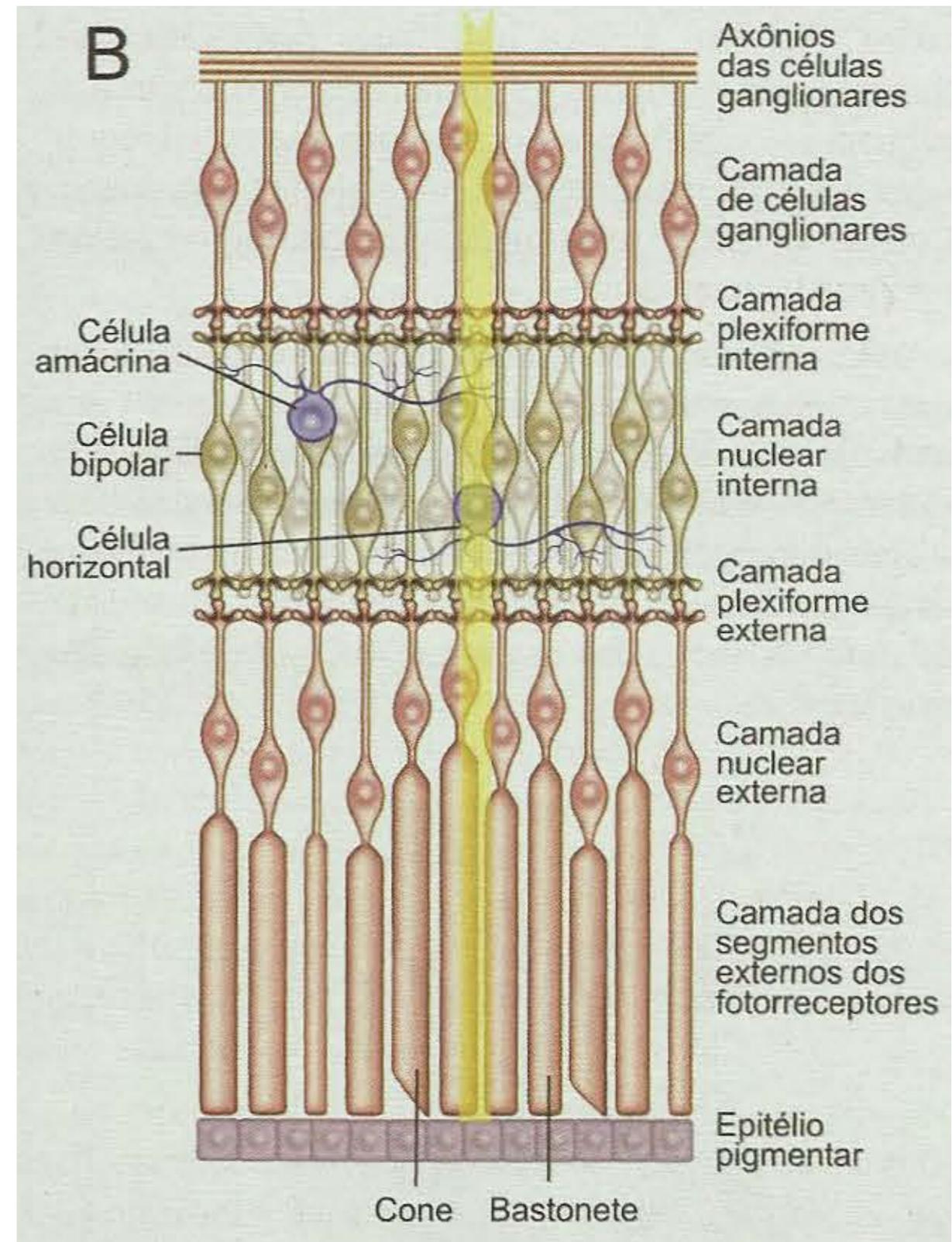
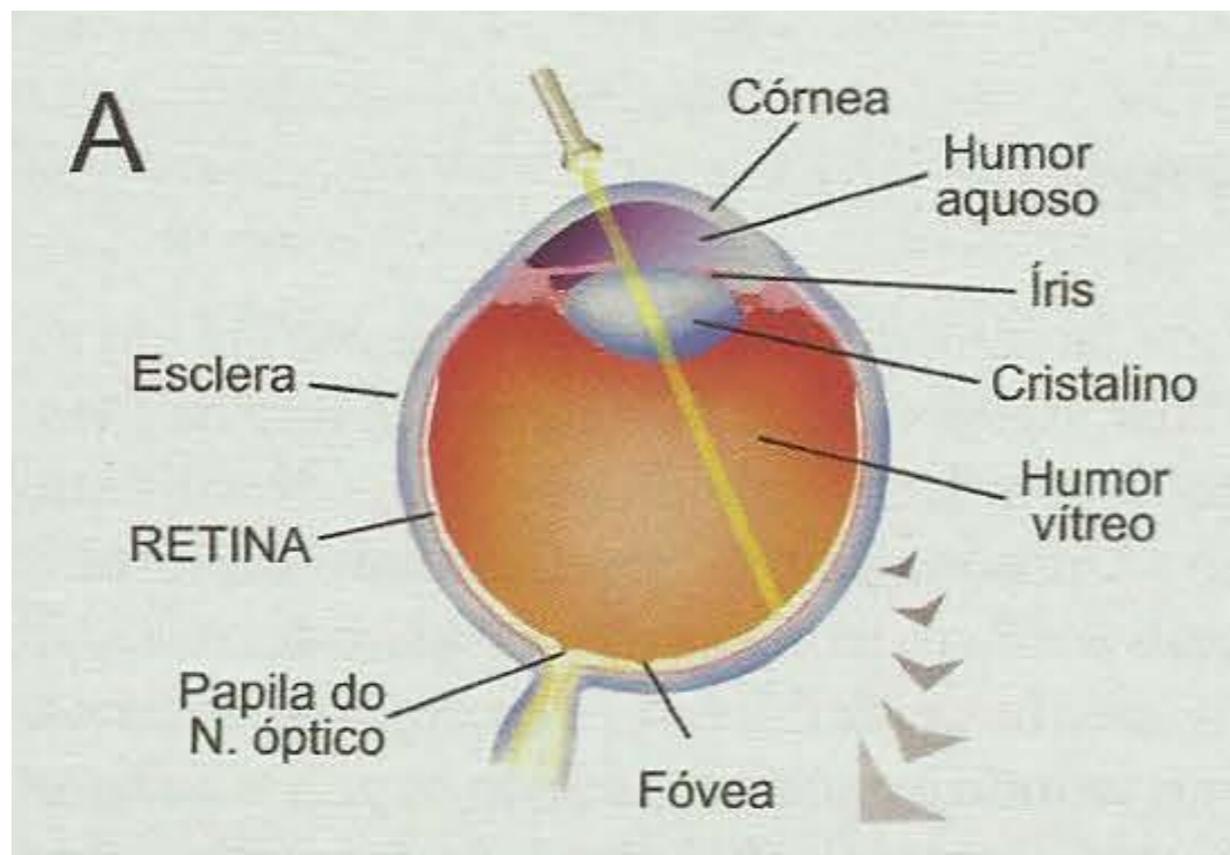
B



► **Figura 6.15. A.** A deflexão dos estereocílios nos órgãos otolíticos é provocada pelo movimento dos otólitos, e este pela ação da gravidade ou por qualquer outra aceleração linear da cabeça. A inércia da perilinfa causa o seu deslocamento "atrasado" em relação ao da cabeça, no início do movimento. No final do movimento dá-se o contrário: a perilinfa continua a "arrastar" os otólitos quando a cabeça para. **B.** Já nos canais semicirculares, a deflexão dos estereocílios é causada pela inércia da cúpula, que se desloca em sentido contrário às rotações da cabeça.



Receptores de Visão



► **Figura 6.16.** *A. A retina é o "filme fotográfico" do olho. B. Sobre ela são projetadas as imagens da cena visual, atravessando todas as camadas até estimular diretamente os fotorreceptores (cones e bastonetes). São estas as células responsáveis pela fototransdução. As outras células da retina são neurônios, responsáveis pelo processamento inicial da informação visual, seguido da sua condução ao cérebro pelos axônios das células ganglionares.*

Receptores de Visão

Ambos, os cones e os bastonetes têm um cílio modificado cuja membrana se invagina várias vezes, formando uma pilha de discos onde se realizam os mecanismos moleculares de fototransdução:

- (1) uma molécula deve absorver seletivamente a luz (fotopigmentos)
- (2) A energia absorvida deve ser utilizada para disparar reações químicas que resultem na formação de potenciais

TABLE 16–1 Comparison of Rods and Cones

	Cones	Rods
Sensitivity to light stimulus	Low	High
Photosensitive pigments	Less abundant	More abundant
Response to light stimulus	Fast	Slow
Specialized for	Day vision	Night vision
Effects of damage	Loss of cones causes decreased visual acuity (legal blindness)	Loss of rods causes night-blindness and loss of peripheral vision
Acuity of vision	Acuity of vision mediated by cones is high	Acuity of vision mediated by rods is low
Saturation	Saturate when light is very intense	Saturate in day light
Role in color vision	Mediate color vision (3 types of cone cells)	They are achromatic
Concentration in fovea	High	Absent in fovea
Relative numbers	Less numerous than rods	More numerous than cones (20:1)

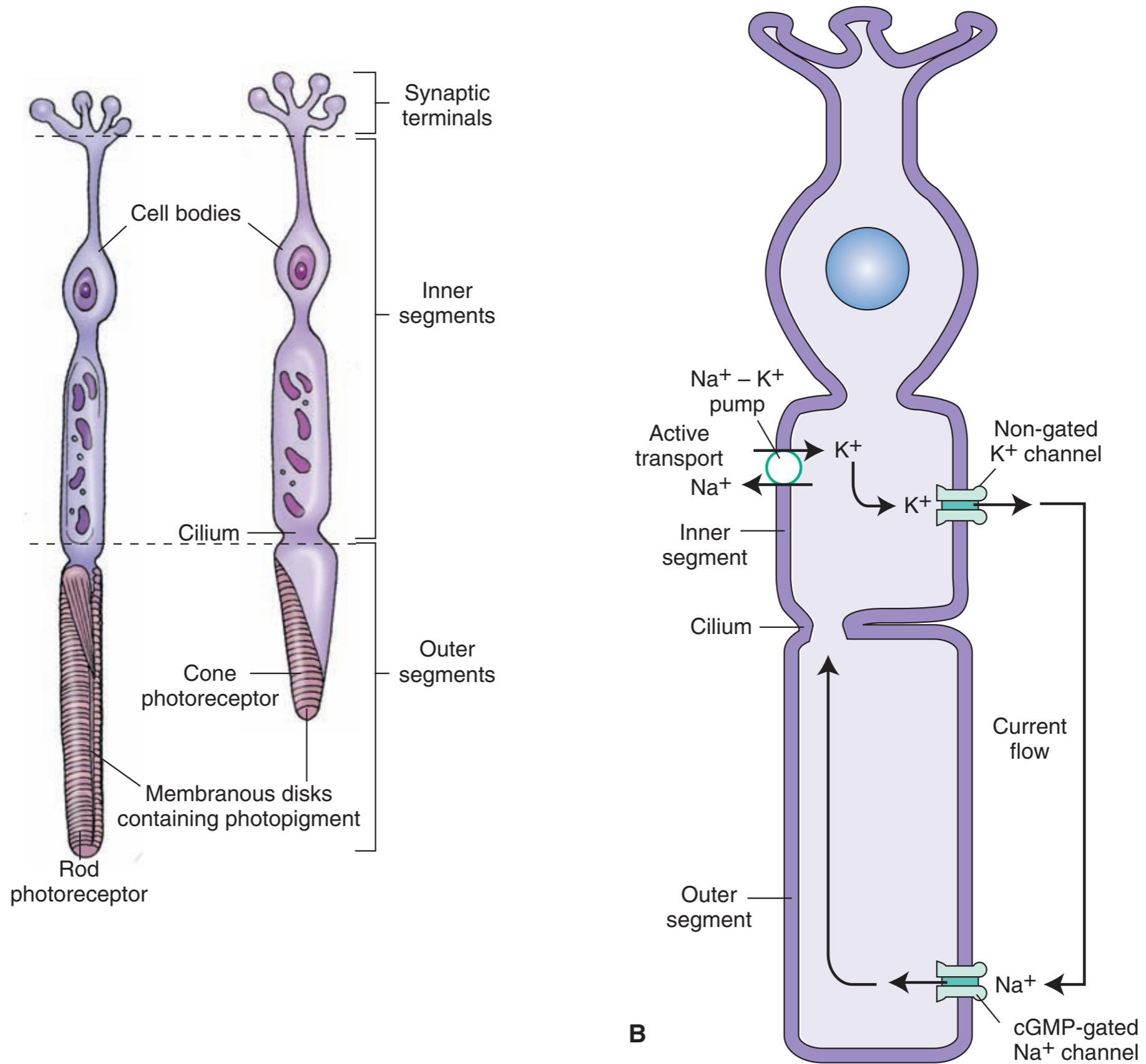


FIGURE 16-2 The structure of the photoreceptors. **(A)** Each type of photoreceptor (rods and cones) consists of three regions: an outer segment, an inner segment, and the region of synaptic terminals. **(B)** Note the location of cGMP-gated Na⁺ channels and nongated K⁺ (leakage) channels. For details, see text. cGMP = cyclic guanosine monophosphate; Na⁺ = sodium; K⁺ = potassium.

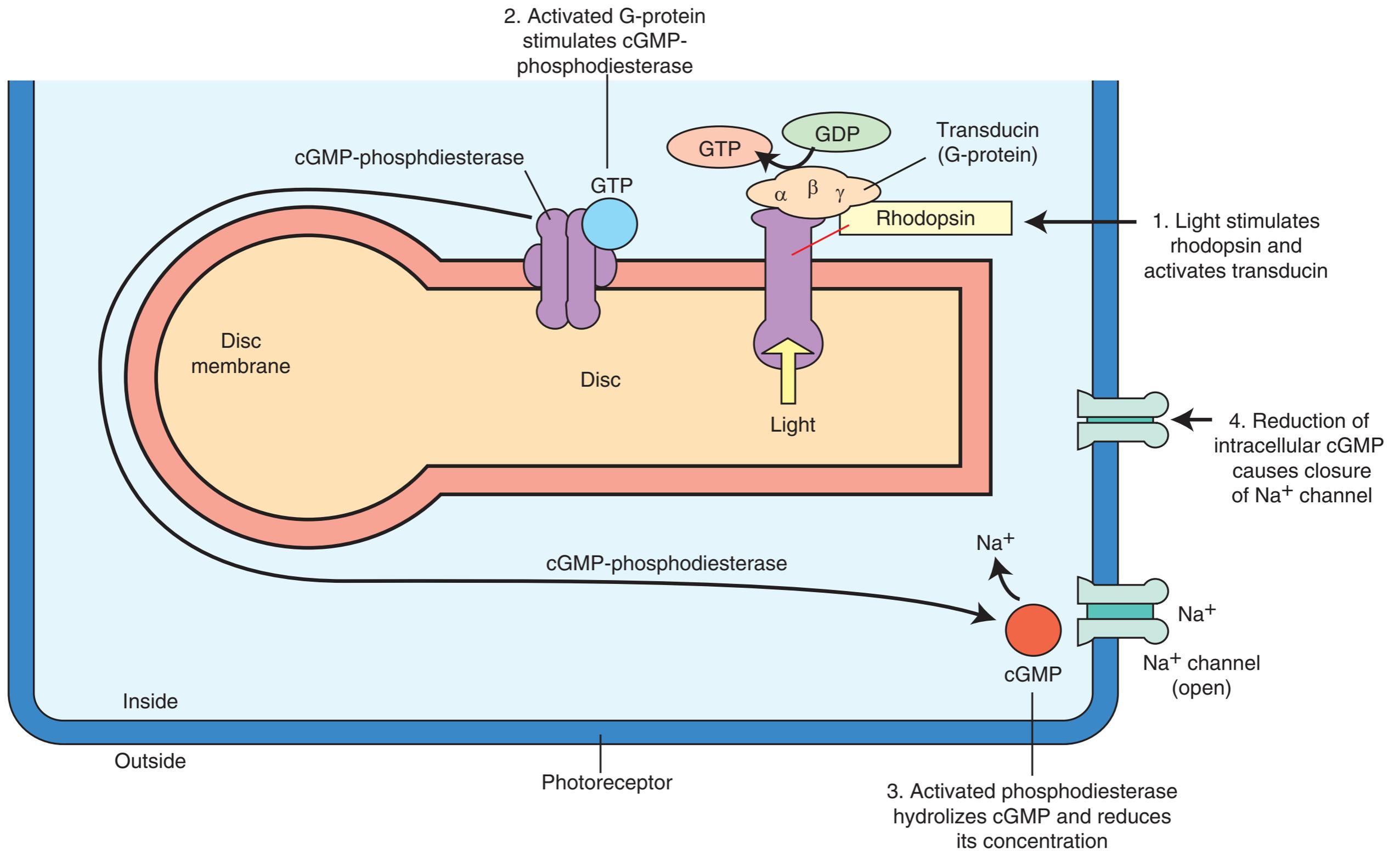
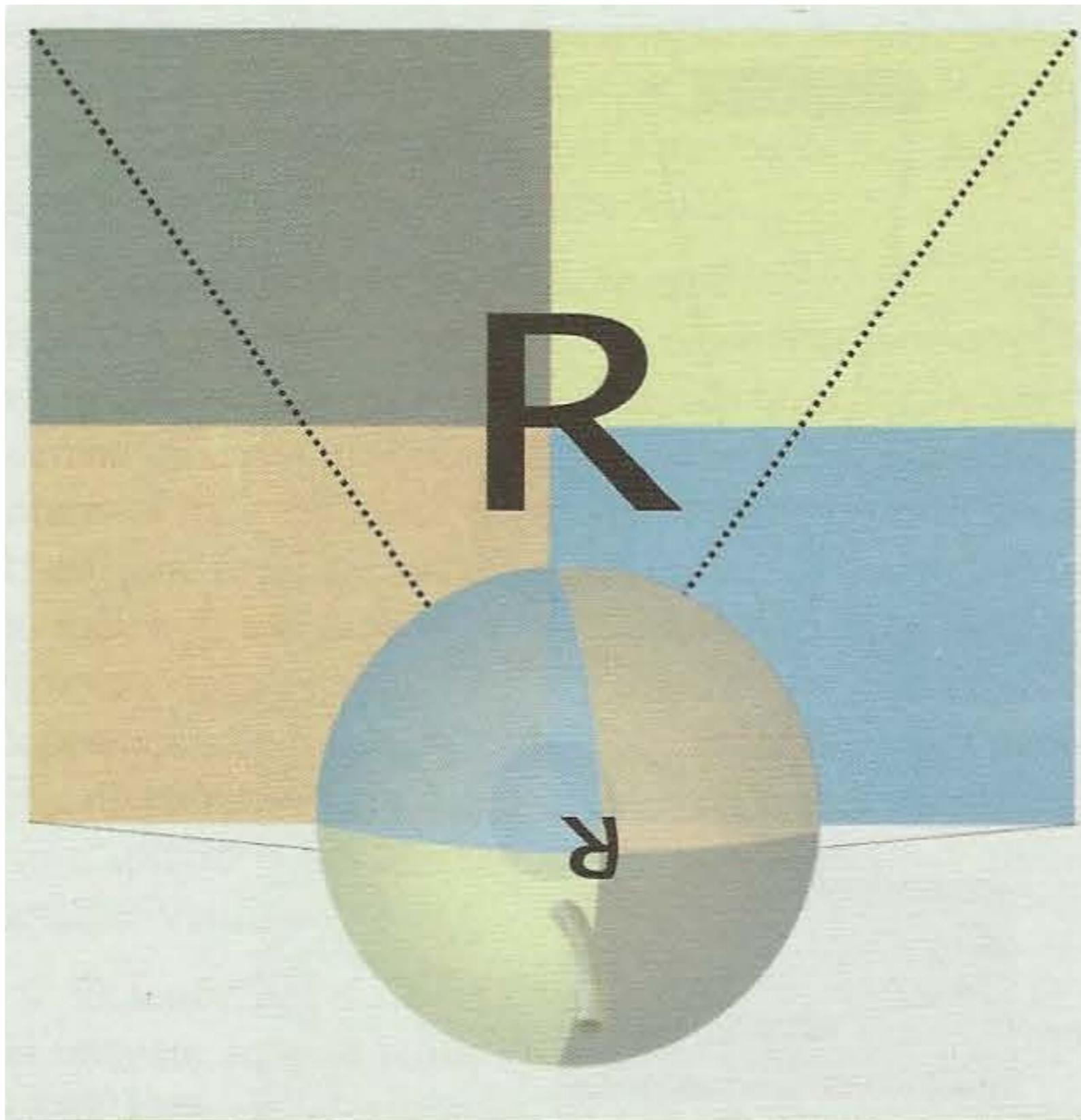
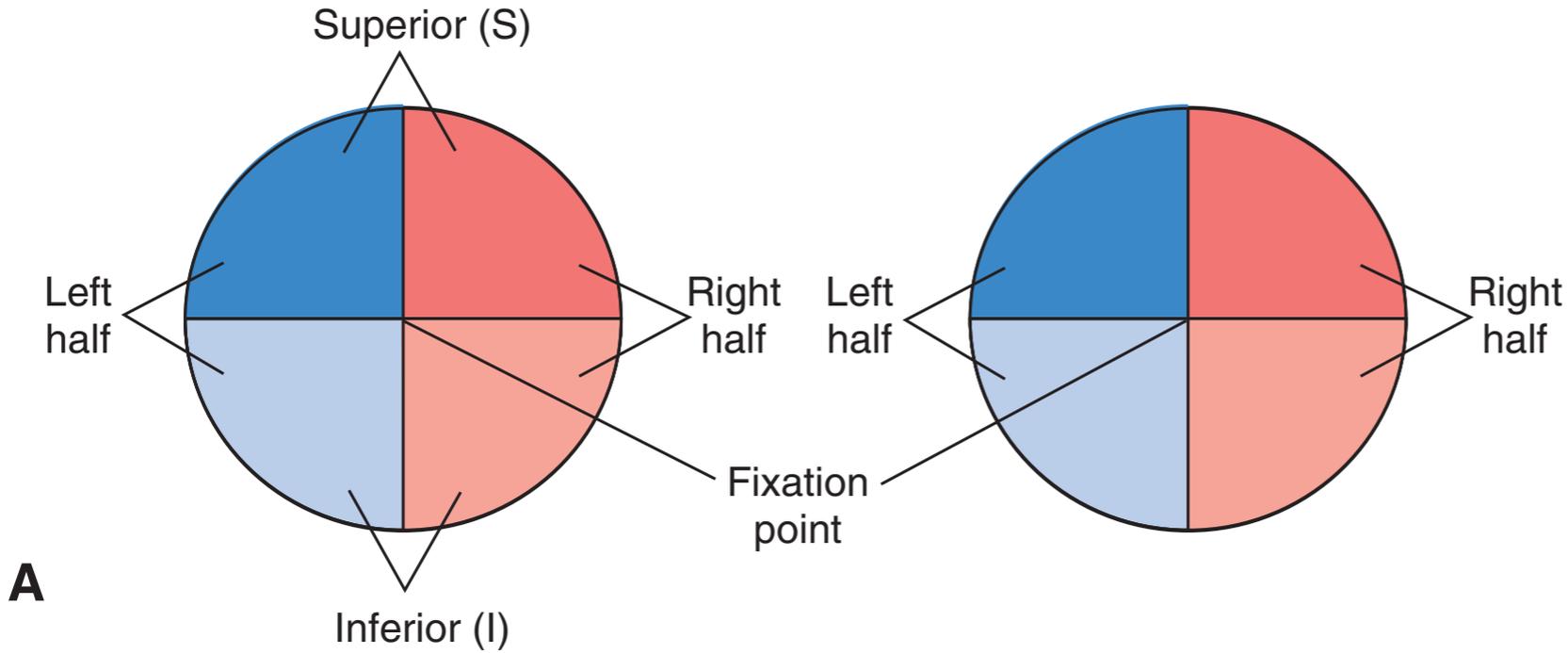


FIGURE 16–3 The mechanism of phototransduction in rods. The retinal component of rhodopsin (photopigment of rods) absorbs light, the conformation of rhodopsin is changed, a G protein (transducin in rods) is activated, cGMP phosphodiesterase is activated, hydrolysis of cGMP takes place, reducing its concentration, cGMP-gated Na^+ channels are closed, the influx of intracellular Na^+ is reduced, and the photoreceptor cell is hyperpolarized. cGMP = cyclic guanosine monophosphate; Na^+ = sodium; GTP = guanosine triphosphate; GDP = guanosine diphosphate.



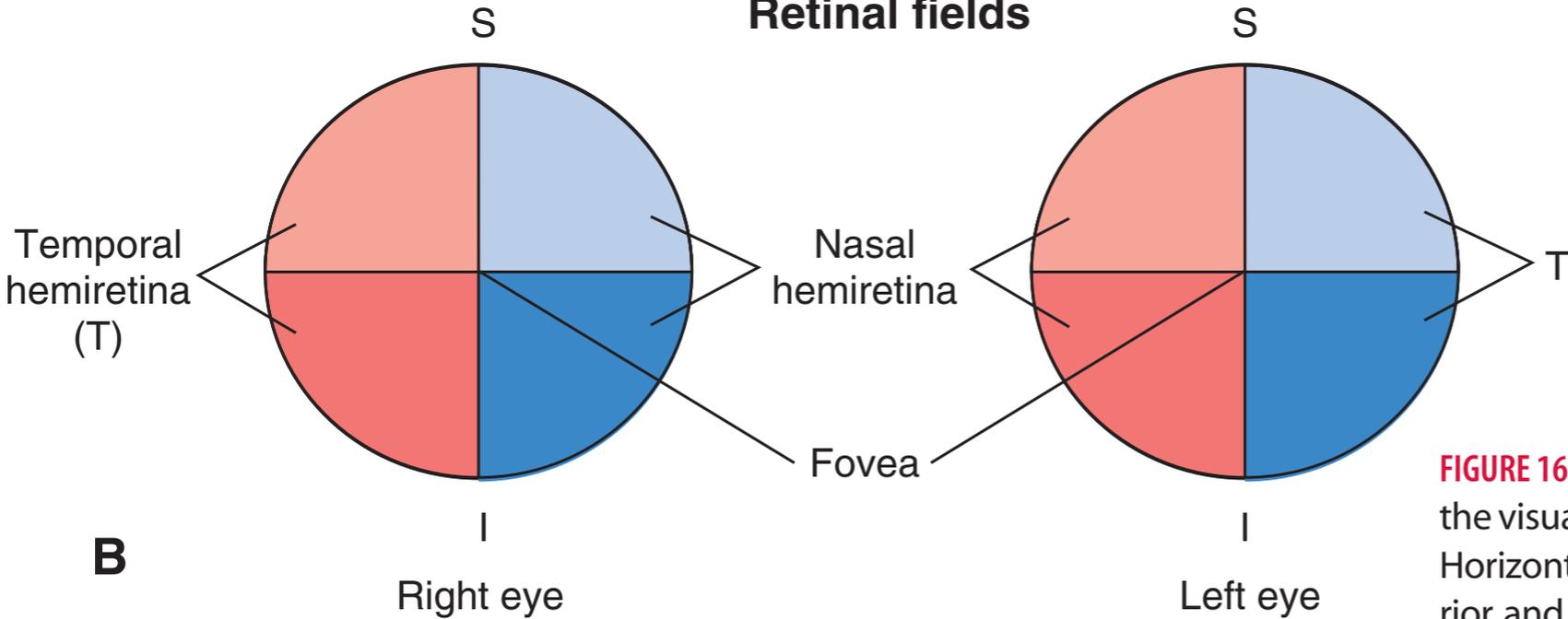
► **Figura 9.5.** *O campo visual (dividido em quadrantes coloridos) e um objeto (R) formam imagens duplamente invertidas na retina.*

Visual fields



A

Retinal fields

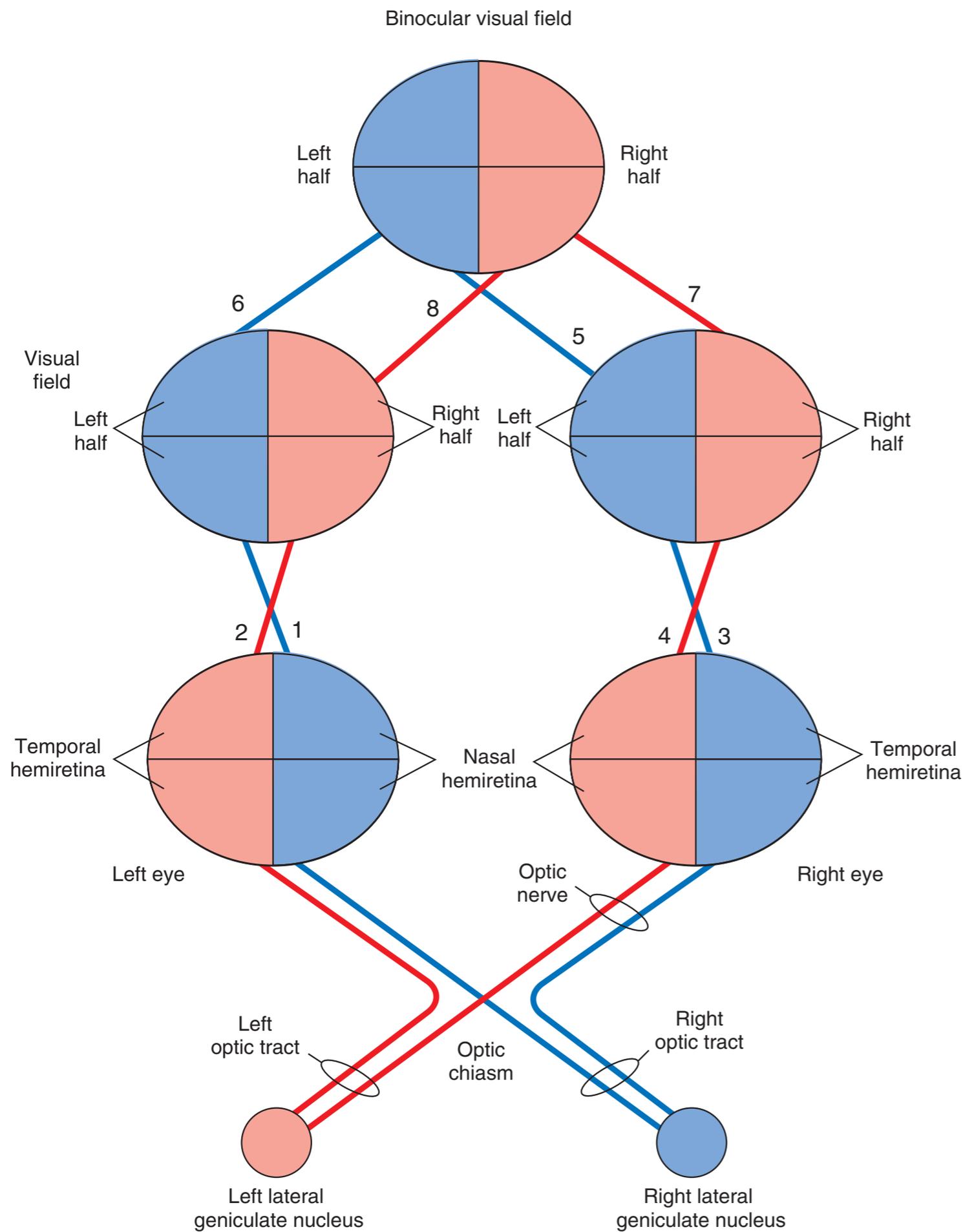


B

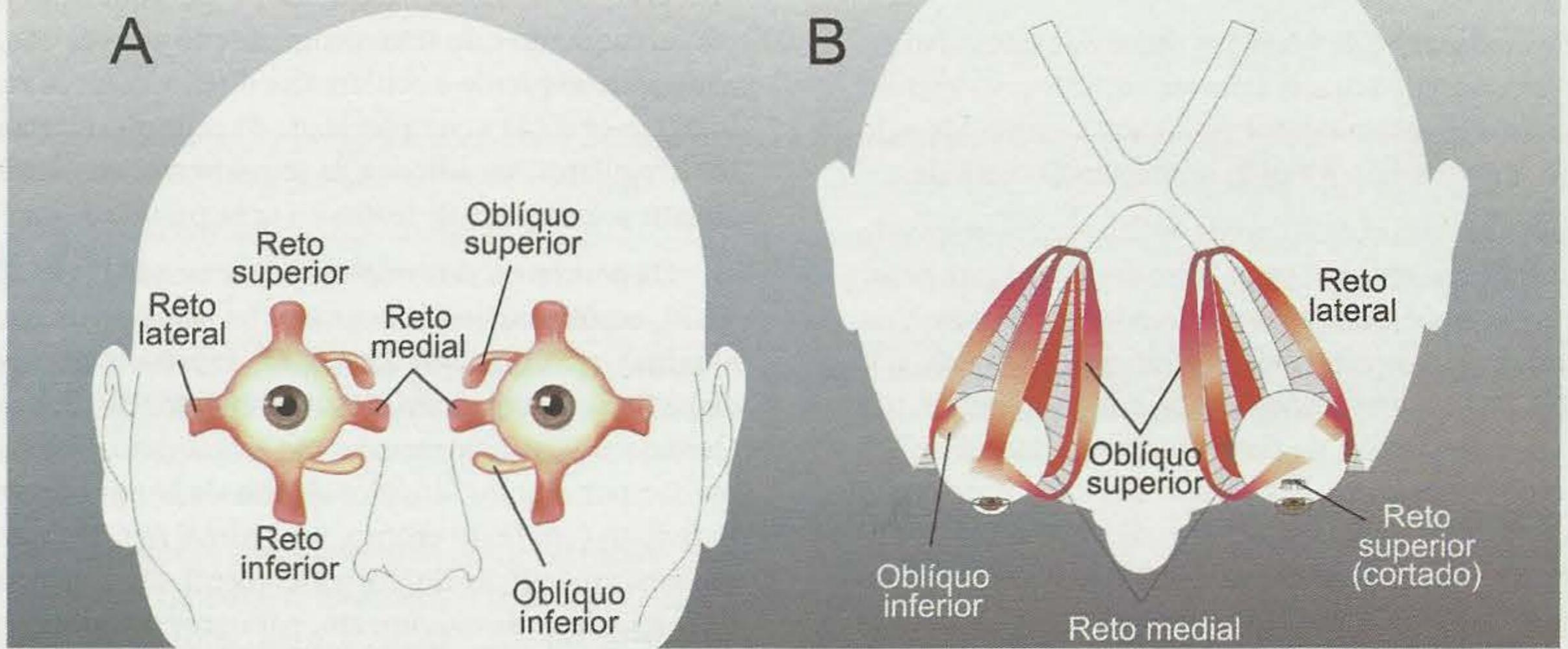
Right eye

Left eye

FIGURE 16-7 Visual and retinal fields. **(A)** Vertical lines divide the visual field of each eye in space into right and left halves. Horizontal lines divide the visual field of each eye into superior and inferior halves. These lines intersect at the fixation point. **(B)** Vertical lines divide the retina of each eye into temporal and nasal hemiretinae. Horizontal lines divide the retina of each eye into superior and inferior halves. These lines intersect at the fovea.



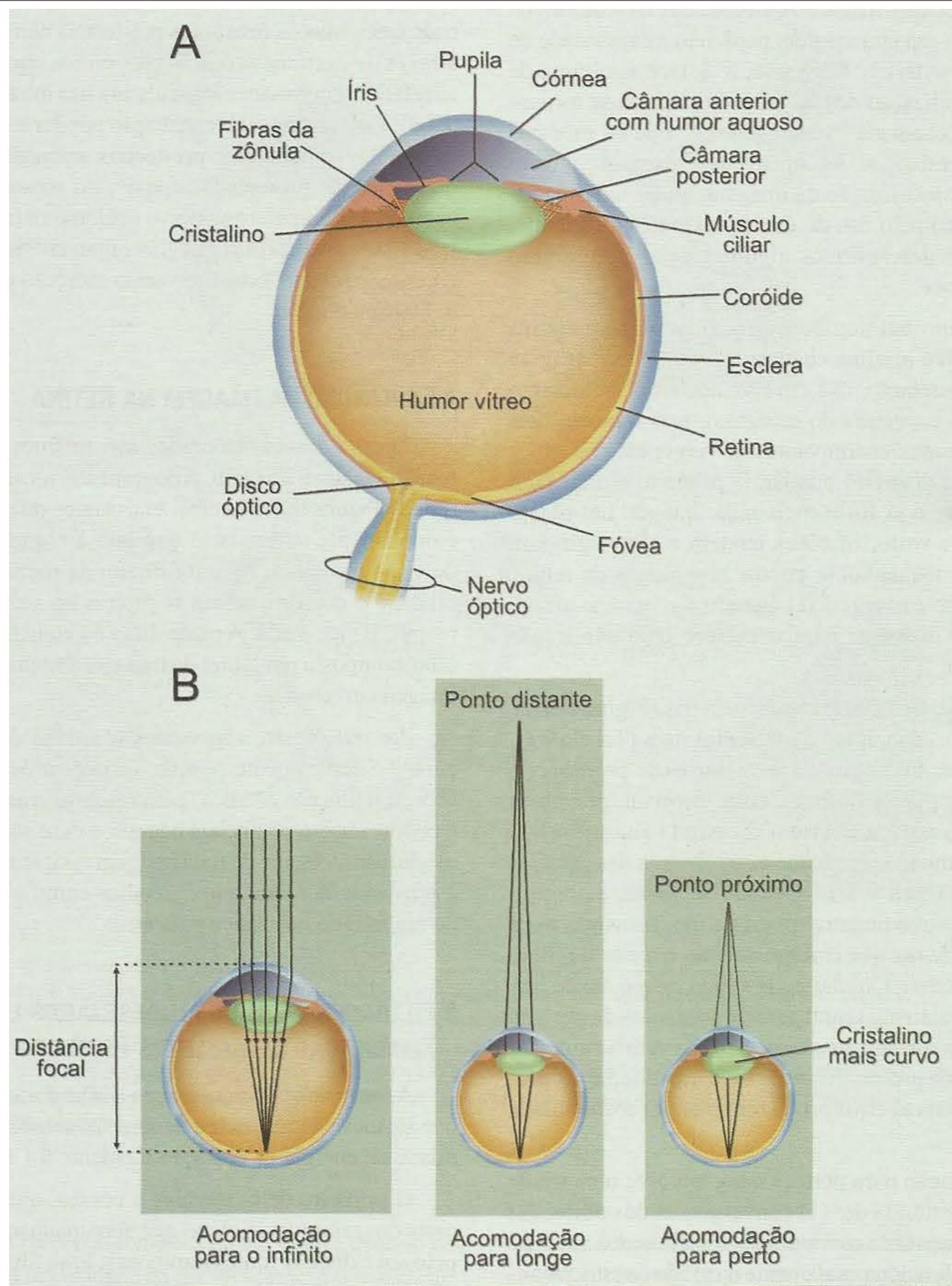
Relationship between the visual fields and retinae. 1 and 2: The nasal half of the left eye sees objects in the left half of the visual field of the left eye (shown in blue) and the temporal half of the left eye sees objects in the right half of the visual field of the left eye (shown in red). 3 and 4: Relationship between the visual fields and hemiretinae of the right eye is similar to that of the left eye. 5 and 6: When the visual fields of the two eyes are superimposed, the left halves of the two eyes coincide to form the left half of the binocular visual field (shown in blue). 7 and 8: When the visual fields of the two eyes are superimposed, the right halves of the two eyes coincide to form the right half of the binocular visual field (shown in red). Each optic nerve contains axons from the nasal and temporal hemiretinae. At the optic chiasm, the axons from the nasal hemiretinae cross to the contralateral side, whereas the axons from the temporal retinae remain uncrossed. The crossed and uncrossed axons on each side form the optic tracts.



► **Figura 9.2.** Os três pares de músculos extraoculares são os responsáveis pela motilidade do globo ocular. **A** apresenta uma vista frontal dos olhos e dos músculos, e **B** mostra uma vista dorsal dos mesmos.

TABELA 9.1. OS MÚSCULOS OCULARES, SUA FUNÇÃO E INERVAÇÃO

<i>Músculo Ocular</i>	<i>Tipo de Fibra Muscular</i>	<i>Tipos de Movimentos Produzidos pela Contração</i>	<i>Inervação</i>
Reto superior	Estriada esquelética	Vertical de elevação, sacádico e de seguimento	Fibras motoras somáticas do N. oculomotor (III)
Reto inferior	Estriada esquelética	Vertical de abaixamento, sacádico e de seguimento	Fibras motoras somáticas do N. oculomotor (III)
Reto lateral	Estriada esquelética	Horizontal de abdução, disjuntivo divergente, sacádico e de seguimento	Fibras motoras somáticas do N. abducente (VI)
Reto medial	Estriada esquelética	Horizontal de adução, disjuntivo convergente, sacádico e de seguimento	Fibras motoras somáticas do N. oculomotor (III)
Oblíquo superior	Estriada esquelética	Torsional, sacádico?	Fibras motoras somáticas do N. troclear (IV)
Oblíquo inferior	Estriada esquelética	Torsional, sacádico?	Fibras motoras somáticas do N. oculomotor (III)
Ciliar	Lisa	Relaxamento da zônula e aumento da curvatura do cristalino	Fibras motoras autonômicas do gânglio ciliar
Circular da íris	Lisa	Miose	Fibras motoras autonômicas do gânglio ciliar
Radial da íris	Lisa	Midríase	Fibras motoras autonômicas do gânglio cervical superior



► **Figura 9.3.** O desenho **A** mostra as principais estruturas que compõem o olho humano (representado em corte). Em **B**, o olho se encontra acomodado para o infinito ou para um ponto distante, e o cristalino estirado (à esquerda e ao centro); quando o objeto se aproxima (à direita), o cristalino se torna mais curvo e globoso, para manter o foco (acomodação para perto).

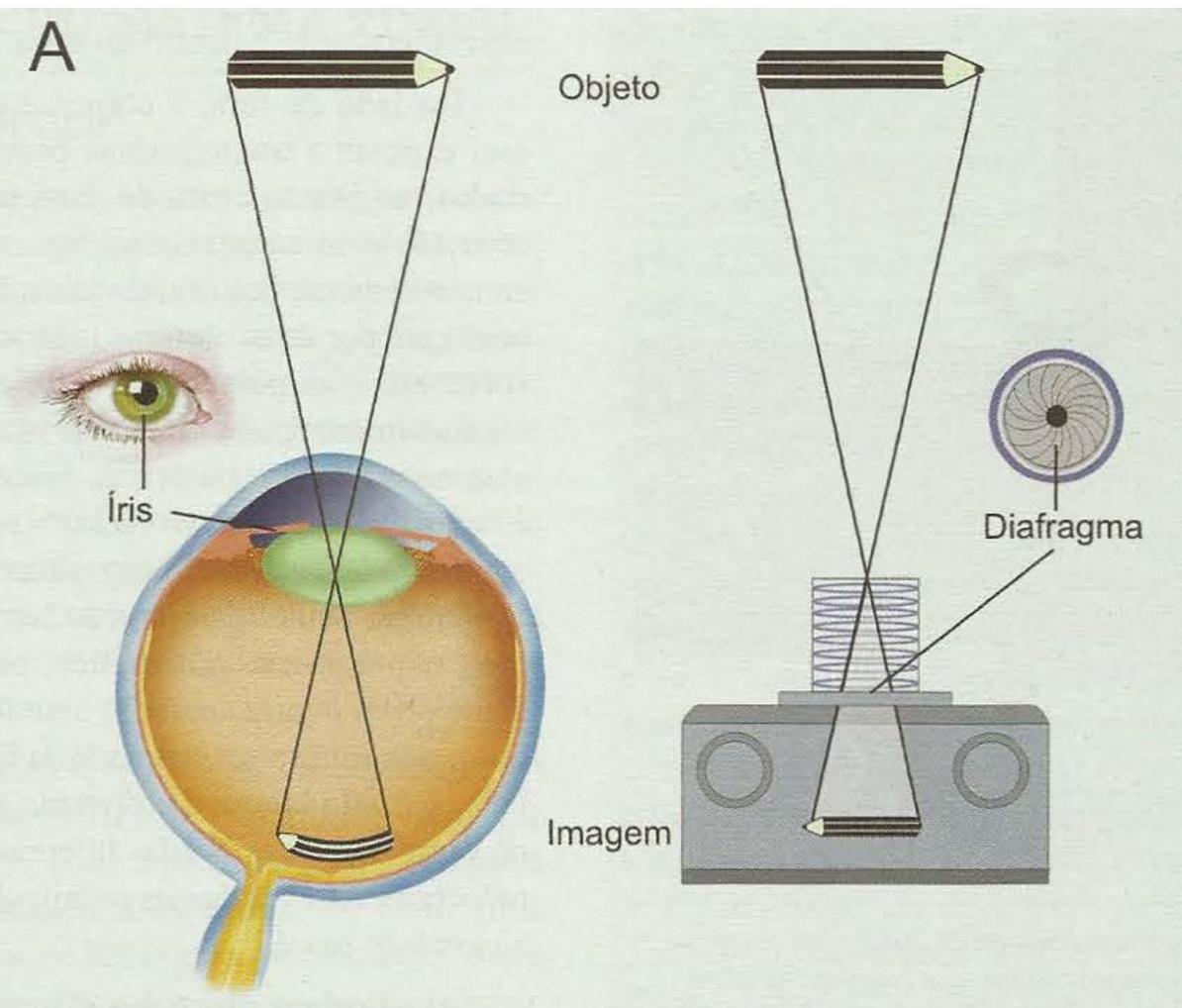


Figura 9.4. A. Existem semelhanças entre o olho e uma câmera fotográfica. A córnea e o cristalino são como as lentes da câmera, a íris assemelha-se funcionalmente ao diafragma, e a retina é como um filme "inteligente". **B.** Tanto a íris como o cristalino, entretanto, exercem sua função sob comando de núcleos subcorticais e gânglios autonômicos, e não movidos pela mão humana como a câmera. O detalhe em **C** mostra fibras autonômicas que inervam a íris e o músculo ciliar. Modificado de D. Purves e cols. (1997). Neuroscience. Sinauer Associates: Nova York, EUA.

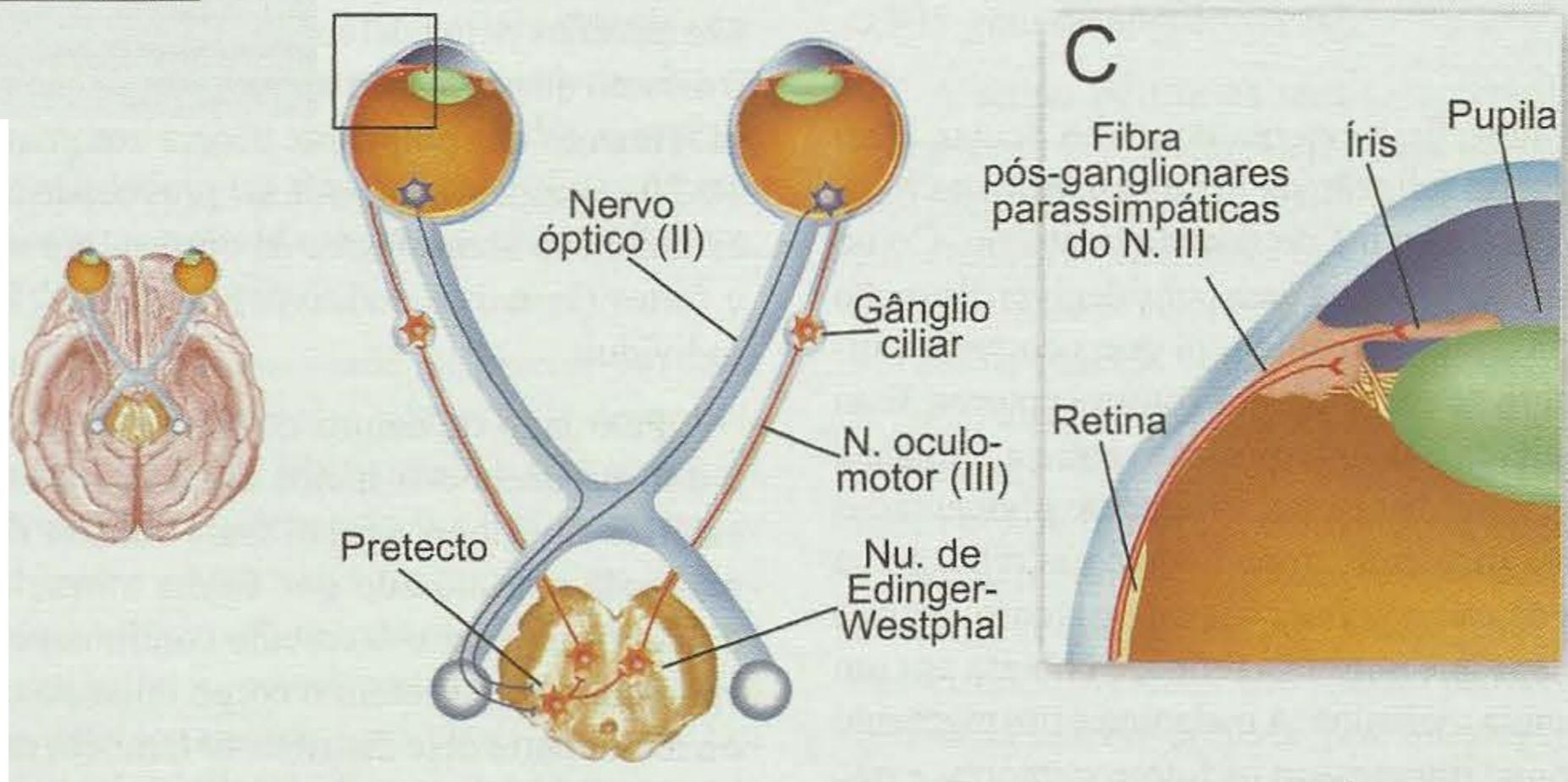


TABELA 9.2. DIFERENÇAS ENTRE A RETINA CENTRAL E A RETINA PERIFÉRICA

<i>Característica</i>	<i>Retina Central</i>	<i>Retina Periférica</i>
Melhor desempenho	Visão fotópica	Visão escotópica
Receptor mais frequente	Cone	Bastonete
Circuito mais frequente	Linha exclusiva	Projeção convergente
Sensibilidade à intensidade	Baixa	Alta
Discriminação de formas	Ótima	Precária
Visão de cores	Ótima	Precária
Resultado de lesão	Cegueira total localizada	Cegueira noturna