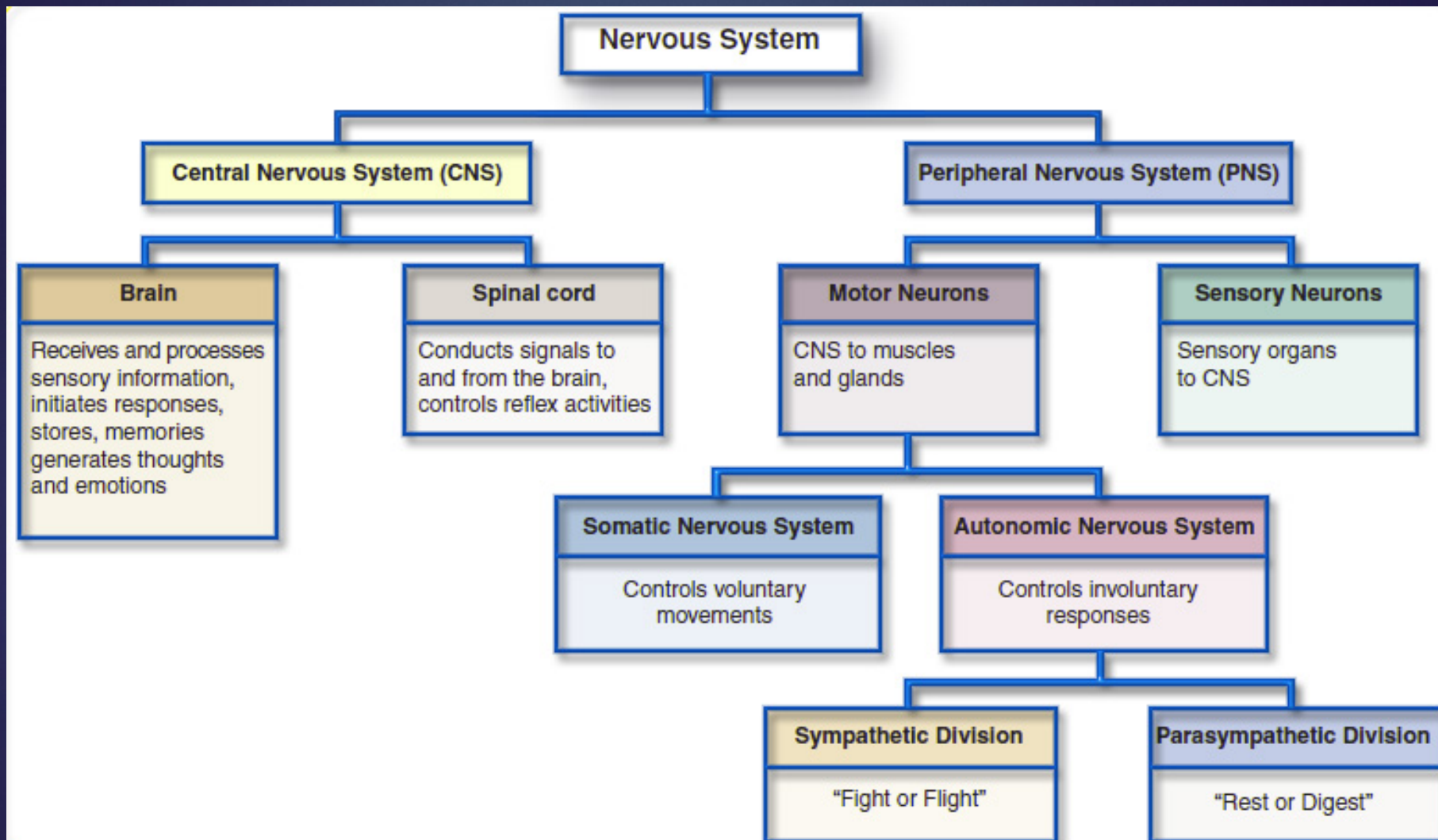




**Fisiologia do
sistema nervoso autónomo
AFA II 2020**



Controlo nervoso de efectores involuntários

SNA tem um importante papel na regulação da actividade do músculo cardíaco, do músculo liso e das glândulas

os nervos motores autonómicos inervam órgãos cuja função não se encontra usualmente sob controlo voluntário

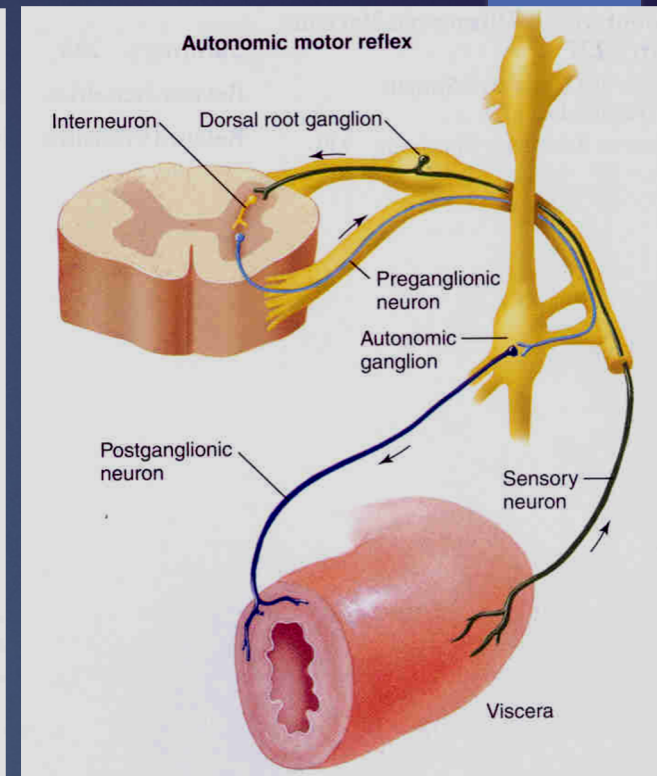
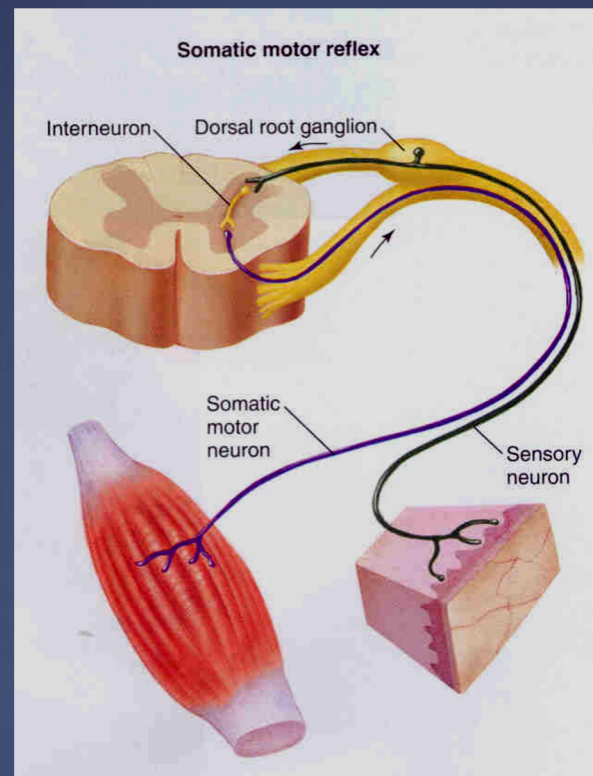
os efeitos involuntários da inervação autonómica são marcadamente diferentes do controlo voluntário do músculo esquelético por neurónios motores somáticos

nesta regulação os impulsos nervosos são conduzidos desde o SNC por um axónio que faz sinapse com um segundo neurónio autonómico; o axónio deste segundo neurónio vai inervar os efectores involuntários

Neurónios autónómicos

ao contrário dos neurónios motores somáticos, que conduzem os impulsos nervosos desde a medula espinhal até à junção neuromuscular através de um único axónio

o controlo motor autónómico apresenta uma via eferente que envolve dois neurónios

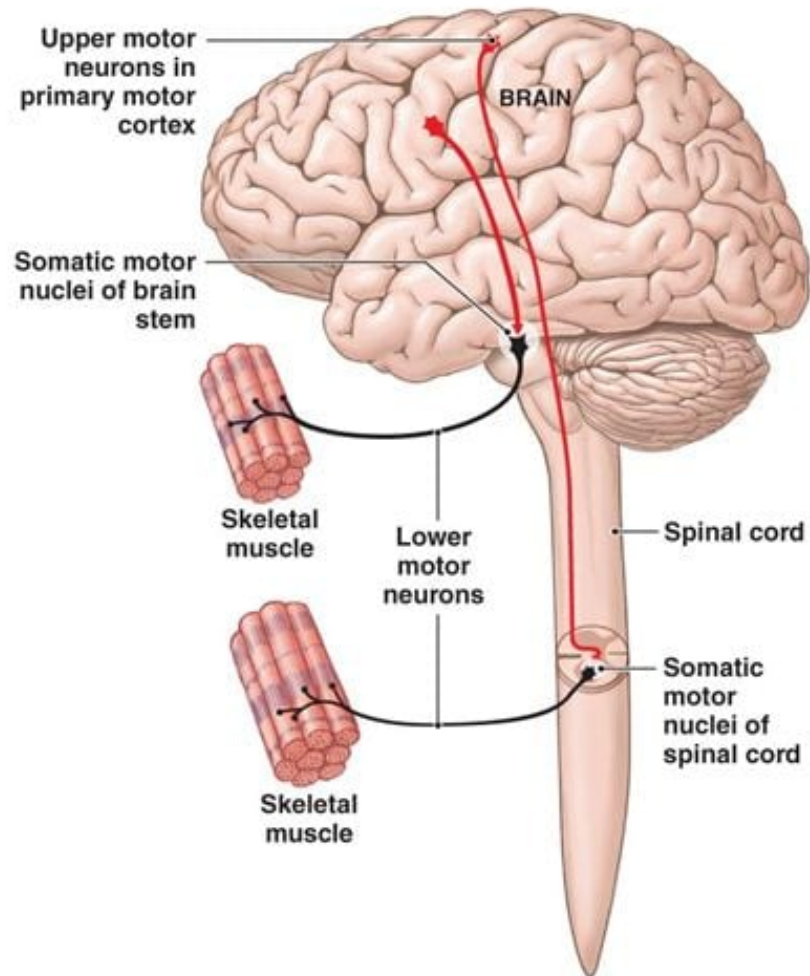


o primeiro neurónio é designado por neurónio pré-ganglionar e encontra-se na matéria cinzenta do cérebro ou da medula espinhal; o seu axónio vai estabelecer uma sinapse com o segundo neurónio localizado num gânglio autónómico

o axónio do segundo neurónio, designado por pós-ganglionar, estende-se desde o gânglio autónómico até ao órgão eferente, onde faz sinapse com o tecido alvo

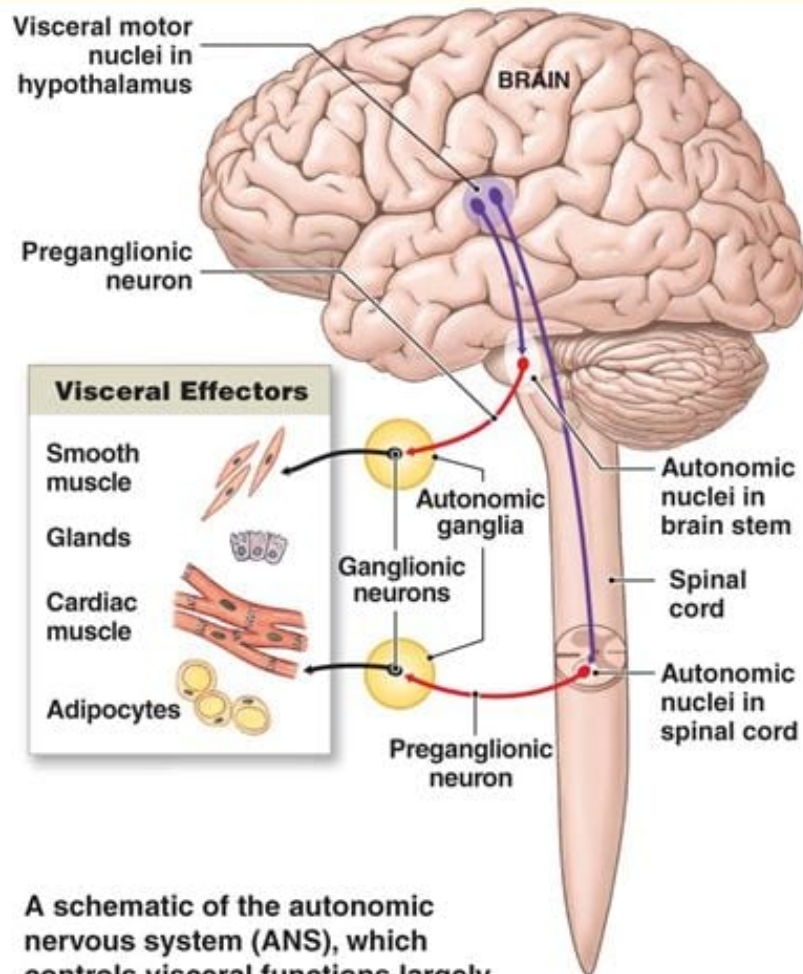
SOMÁTICO

A schematic of the somatic nervous system (SNS), which provides conscious and sub-conscious control over skeletal muscles



AUTÓNOMO

Visceral motor nuclei in hypothalamus

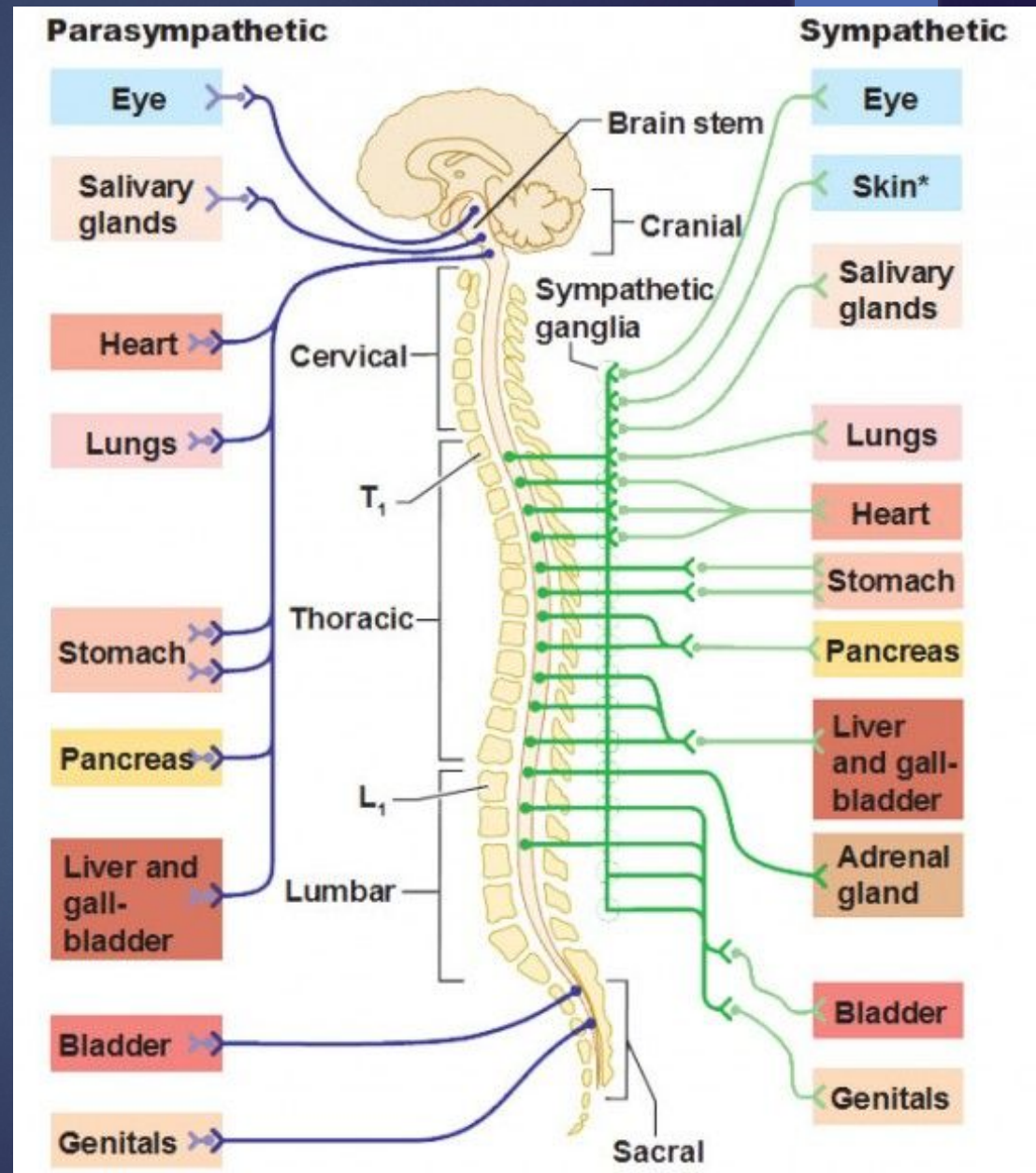


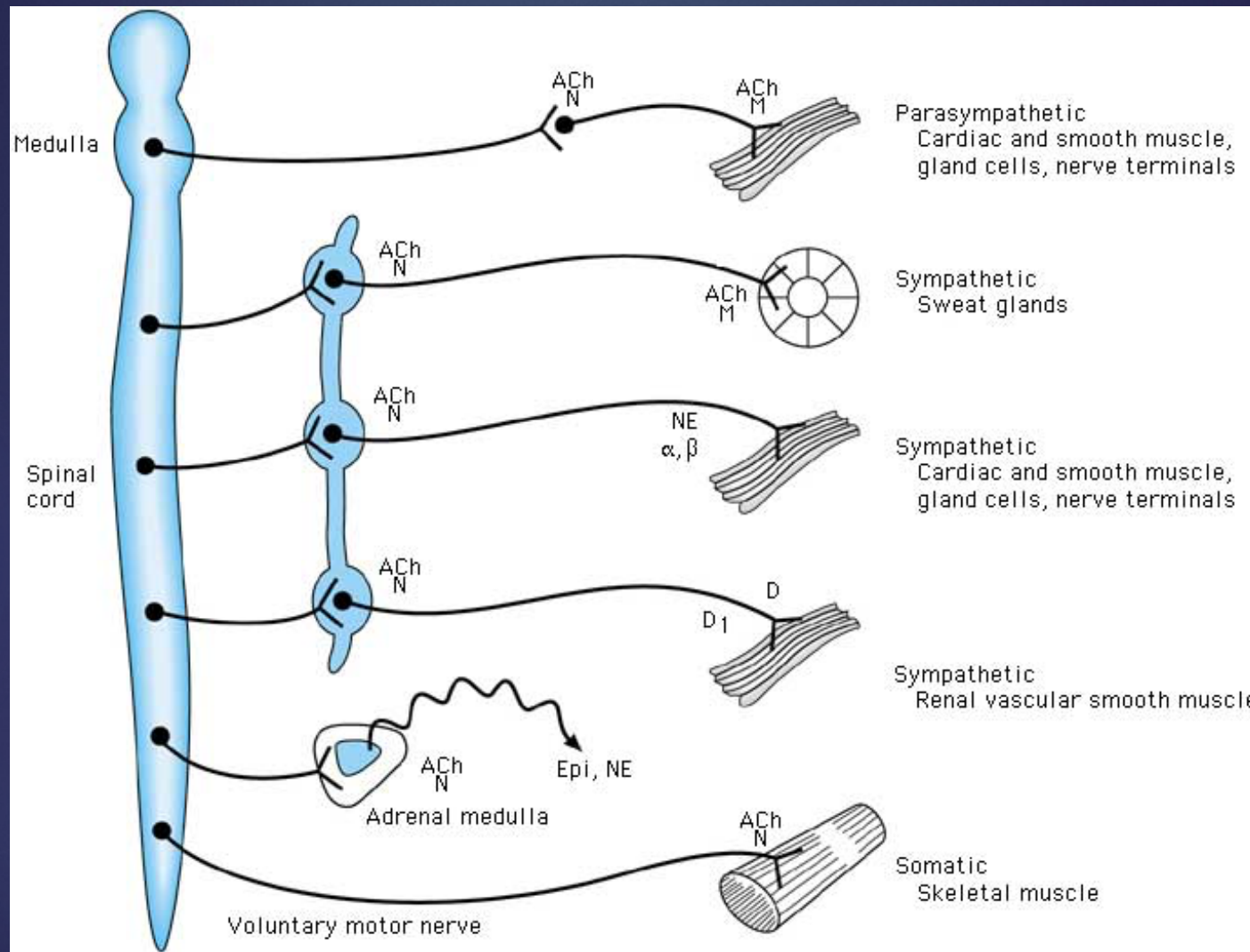
A schematic of the autonomic nervous system (ANS), which controls visceral functions largely outside our awareness

as fibras autonómicas pré-ganglionares têm origem no **mesencéfalo** e na **medula espinhal** desde o nível das vértebras torácicas superiores até ao da quarta vértebra sacral

os gânglios autonómicos localizam-se no pescoço, cabeça e abdómen; cadeias de gânglios encontram-se dispostas paralelamente à medula espinhal, de ambos os lados

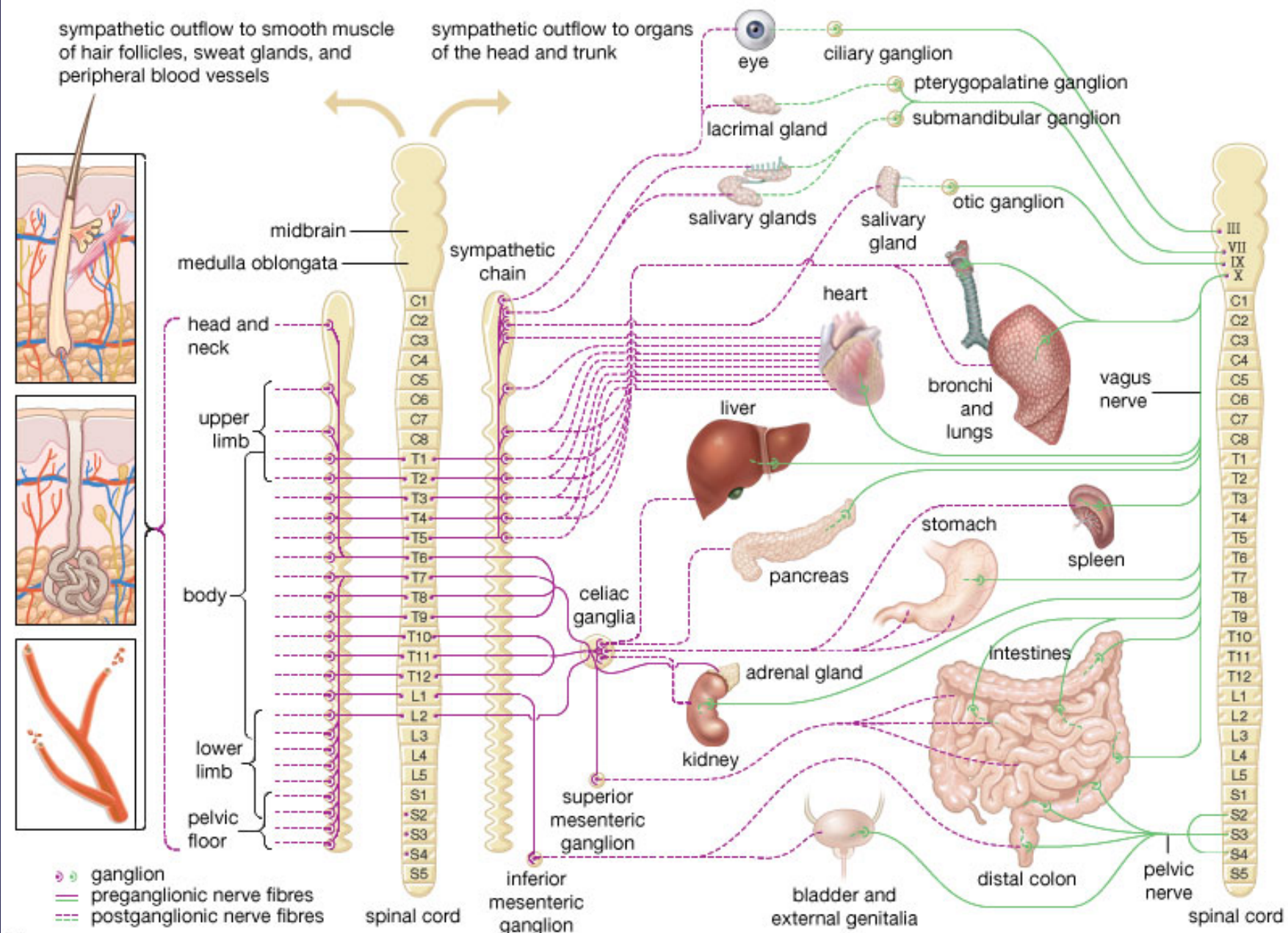
a origem das fibras pré-ganglionares e a localização dos gânglios autonómicos permite a distinção entre as divisões simpática e parassimpática do sistema nervoso autónomo





Sympathetic nervous system

Parasympathetic nervous system



os nervos autonómicos mantêm um tónus de repouso, apresentando uma estimulação basal que pode ser aumentada ou diminuída

uma diminuição do aporte excitatório ao coração, faz reduzir a sua frequência

a libertação de acetilcolina pelos neurónios somáticos motores resulta invariavelmente na estimulação do órgão efector, o músculo esquelético; em contraste, alguns nervos autonómicos libertam transmissores que inibem a actividade dos seus órgãos efectores

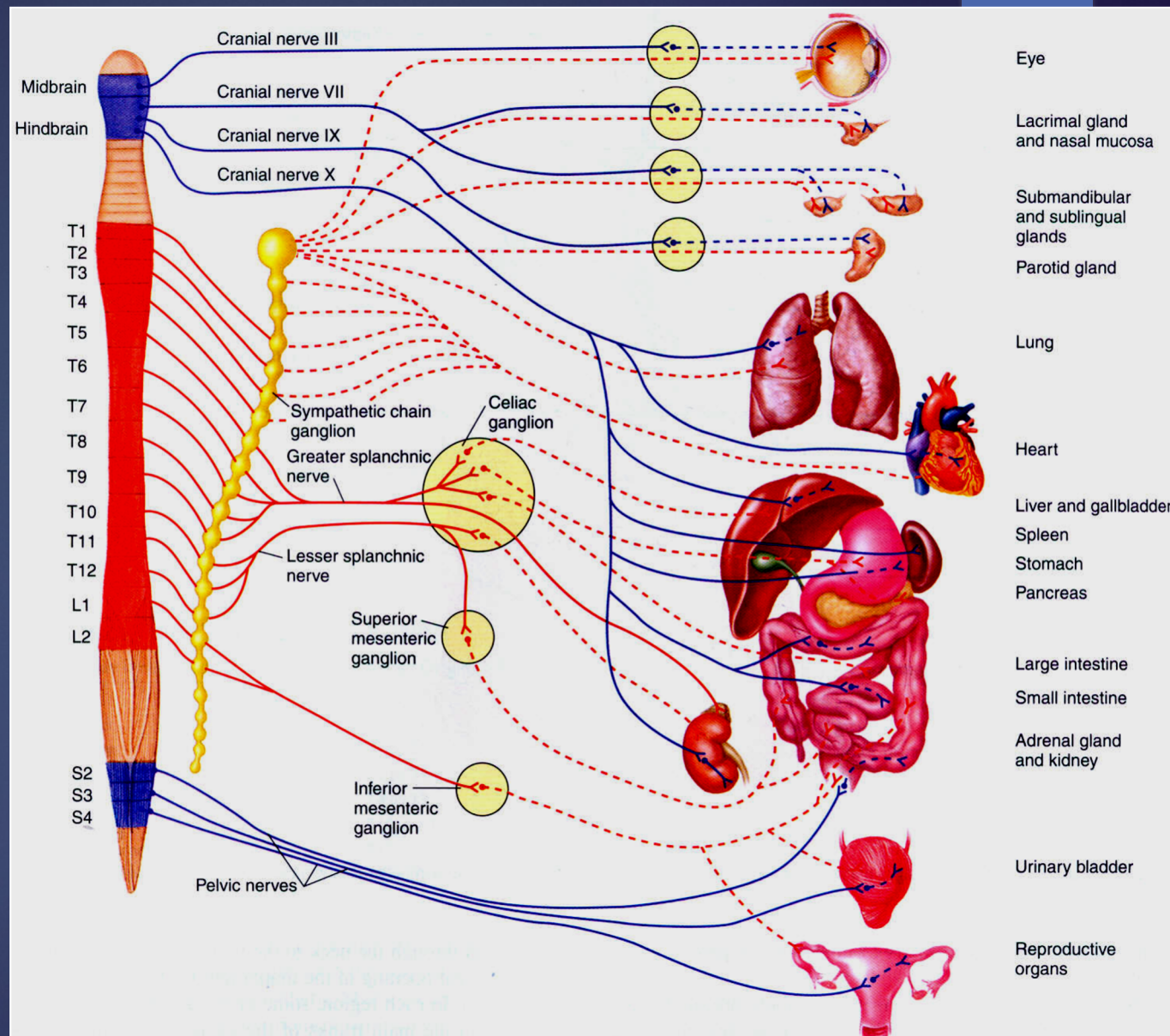
um aumento da actividade do vago, o nervo que fornece fibras inibitórias ao coração, faz baixar a frequência cardíaca, enquanto que uma diminuição dessa actividade faz aumentar a frequência cardíaca

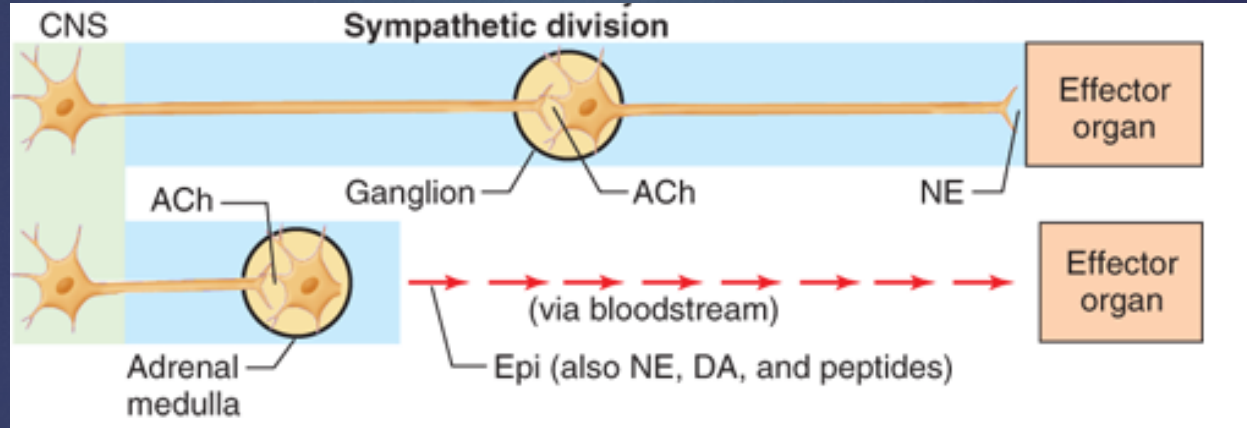
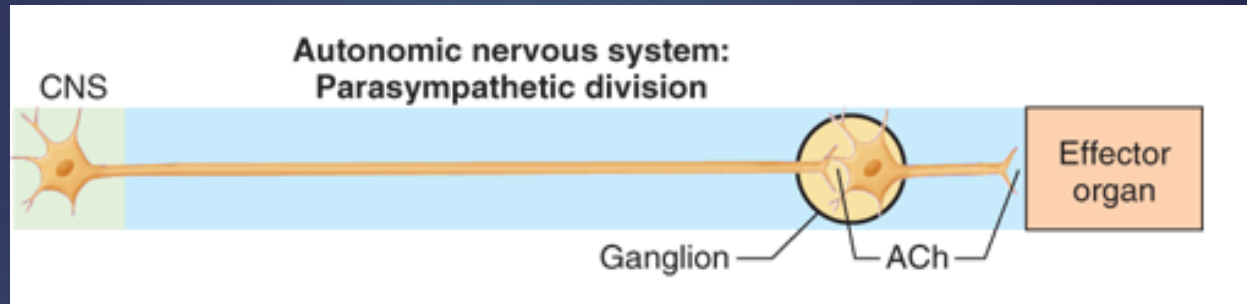
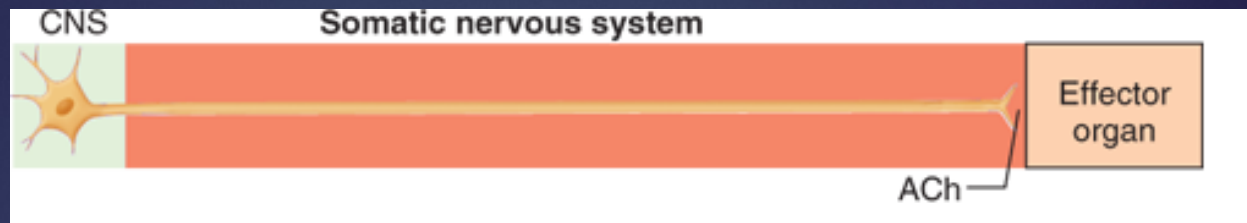
Divisões do sistema nervoso autónomo

as divisões simpática e parassimpática do SNA apresentam algumas características estruturais em comum

são ambas compostas por neurónios pré-ganglionares com origem no SNC e neurónios pós-ganglionares que têm origem em gânglios fora do SNC

a origem das fibras pré-ganglionares e a localização dos gânglios difere nas duas divisões do SNA



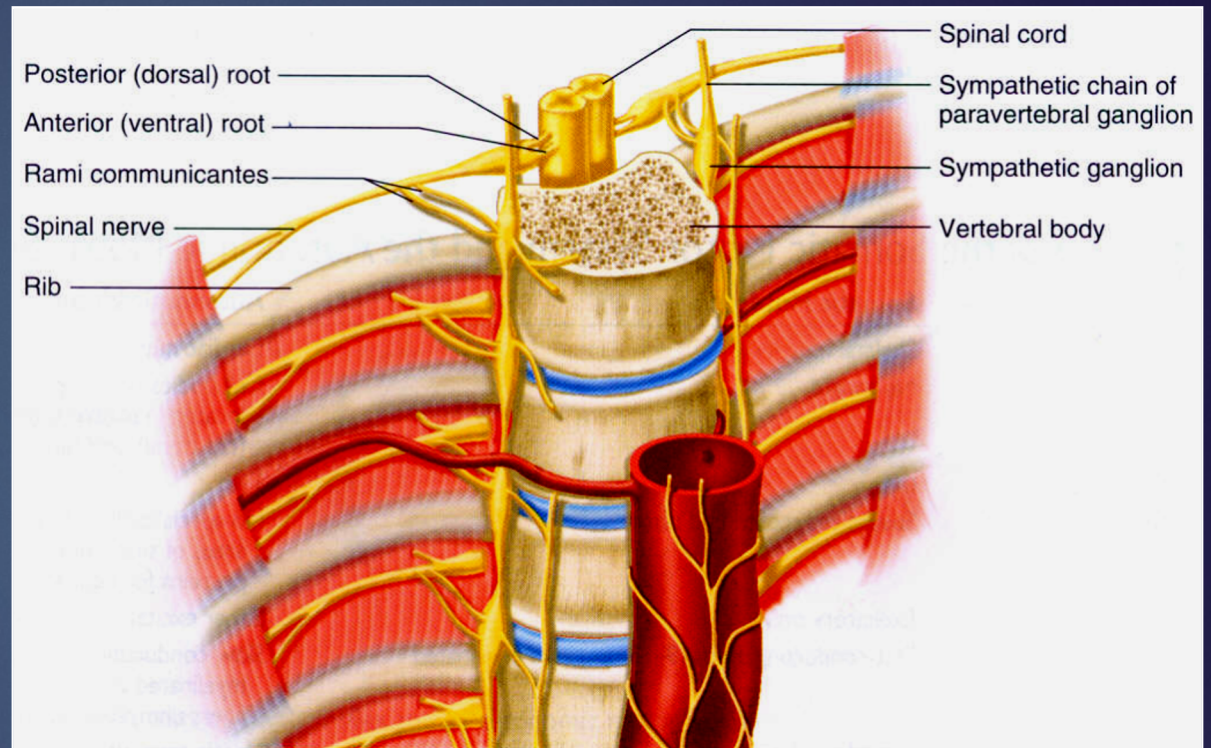


Sistema nervoso simpático

divisão toracolombar; as suas fibras pré-ganglionares têm origem na medula espinhal desde o nível da primeira vértebra torácica até ao da segunda vértebra lombar

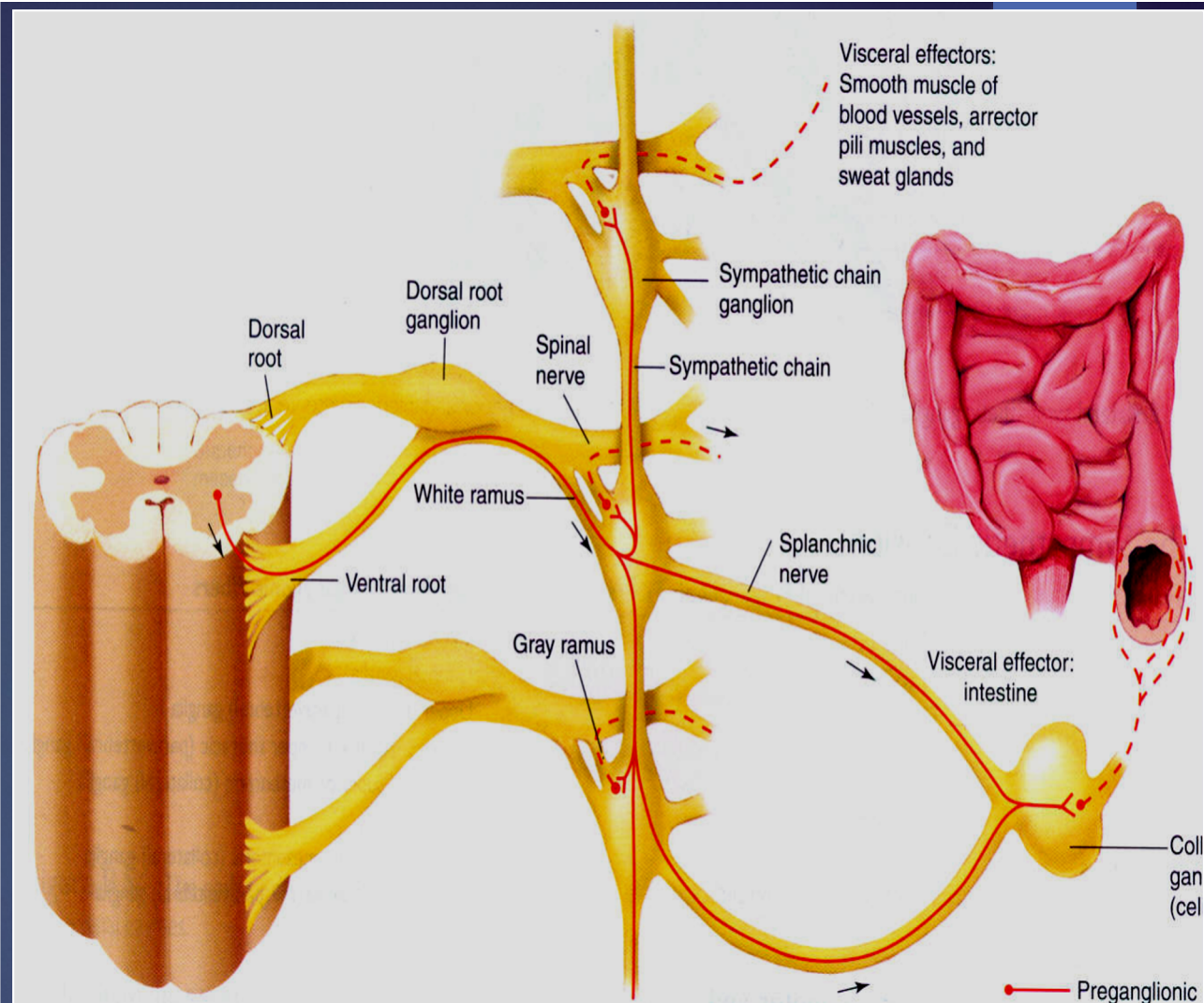
as fibras nervosas simpáticas separam-se das fibras somáticas motoras e fazem sinapse com neurónios pós-ganglionares ao nível duma dupla fila de gânglios simpáticos, **gânglios paravertebrais**, situadas em cada um dos lados da medula espinhal

os gânglios de cada uma das filas encontram-se ligados entre si, formando a **cadeia de gânglios simpáticos** que corre paralelamente à medula espinhal



os axónios simpáticos **pré-ganglionares** mielinizados saem da medula espinhal ao nível das raízes ventrais dos nervos espinhais, divergindo rapidamente dos nervos espinhais através de vias curtas designadas por **ramos comunicantes brancos**

os axónios em cada um destes ramos entram na **cadeia de gânglios simpáticos**, onde podem correr de encontro a gânglios localizados a diferentes níveis, onde estabelecem sinapses com os neurónios **pós-ganglionares** simpáticos



os axónios dos neurónios **pós-ganglionares** são não-mielinizados e formam os **ramos comunicantes cinzentos** ao retornarem para os nervos espinhais, com os quais correm de encontro aos seus órgãos alvo

por fazerem parte do nervos espinhais, os axónios simpáticos são amplamente distribuídos pelos músculos esqueléticos e pela pele, onde inervam vasos sanguíneos e outros efeitores involuntários

Simpático é activado em massa

ao nível da cadeia de gânglios simpáticos à medida que as fibras pré-ganglionares se ramificam de forma a estabelecer sinapses com numerosos neurónios pós-ganglionares em gânglios localizados em diferentes níveis da cadeia verifica-se divergência

quando um neurónio pós-ganglionar recebe influxos sinápticos de um grande número de fibras pré-ganglionares verifica-se convergência

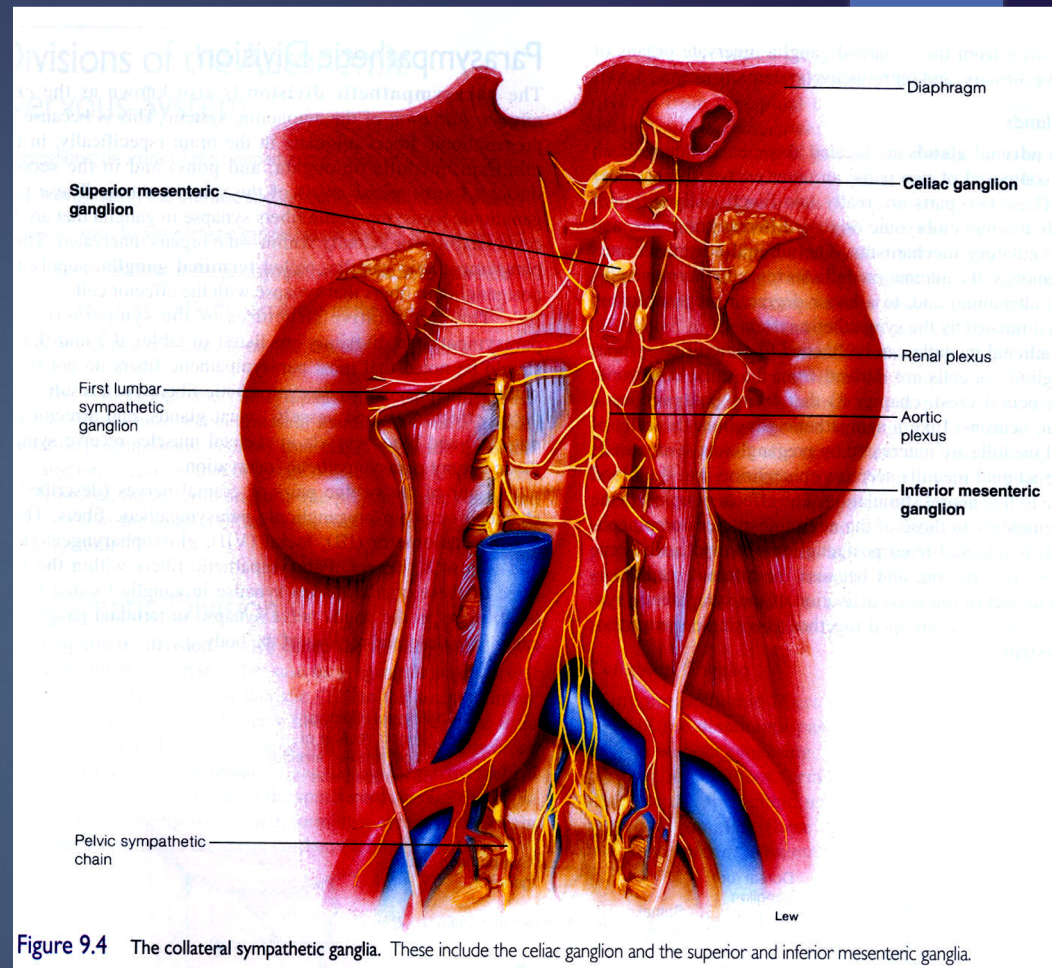
a divergência dos impulsos desde a medula espinhal até aos gânglios e a convergência de impulsos ao nível dos gânglios resulta na activação em massa da grande maioria dos neurónios simpáticos pós-ganglionares

permite que o sistema simpático seja normalmente activado como uma única unidade, afectando simultaneamente todos os seus órgãos efectores

Nervos esplâncnicos e gânglios colaterais

uma parte das fibras pré-ganglionares que saem da medula espinhal posteriormente ao nível do diafragma atravessam a cadeia ganglionar simpática sem estabelecer sinapses, formando os **nervos esplâncnicos**

as fibras pré-ganglionares dos nervos esplâncnicos estabelecem sinapses nos **gânglios colaterais**, que incluem os gânglios **celíaco**, **mesentérico superior** e **mesentérico inferior**



as fibras pós-ganglionares com origem nos gânglios colaterais inervam órgãos dos aparelhos digestivo, urinário e reprodutivo

Glândulas adrenais

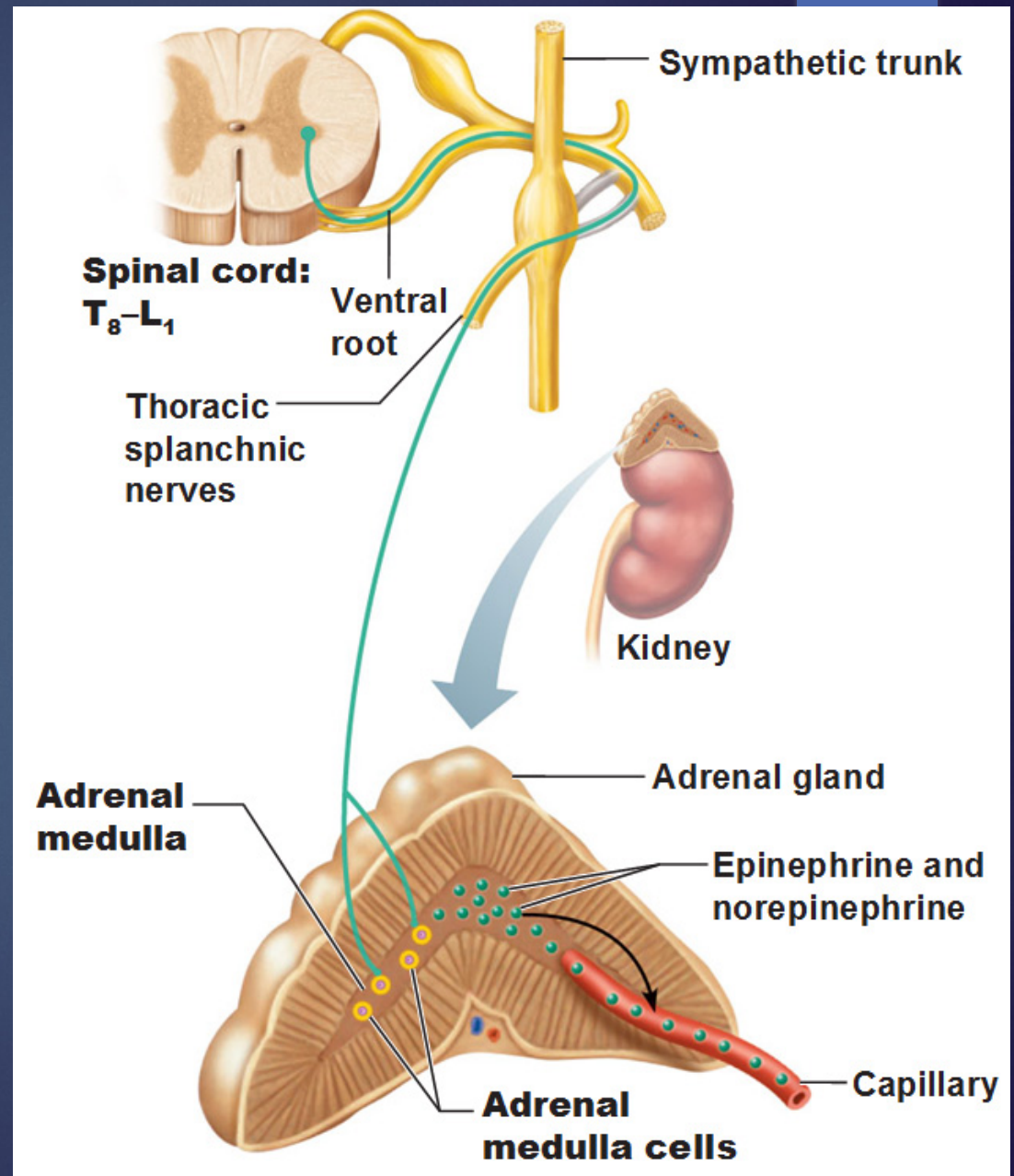
as glândulas adrenais estão localizadas por cima de cada rim

são composta por duas partes: o córtex externo e a medula interna

estas duas partes são na realidade duas glândulas funcionalmente diferentes, com origem embrionária distinta, as quais secretam diferentes hormonas e são parte de mecanismos reguladores diferentes

o córtex da adrenal secreta **hormonas esteróides**

a medula secreta a hormona **adrenalina** e, em menor grau, a **noradrenalina**, em resposta à estimulação pelo sistema simpático



A medula da adrenal é um gânglio simpático modificado

células derivadas do mesmo tecido embrionário (crista neural) que dá origem aos neurónios simpáticos pós-ganglionares

células da medula da adrenal são inervadas por fibras simpáticas pré-ganglionares e secretam adrenalina para o sangue em resposta a essa estimulação nervosa

efeitos da adrenalina são complementares aos da noradrenalina libertada pelas terminações nervosas pós-ganglionares simpáticas

a medula adrenal é estimulada enquanto parte da activação em massa do sistema simpático

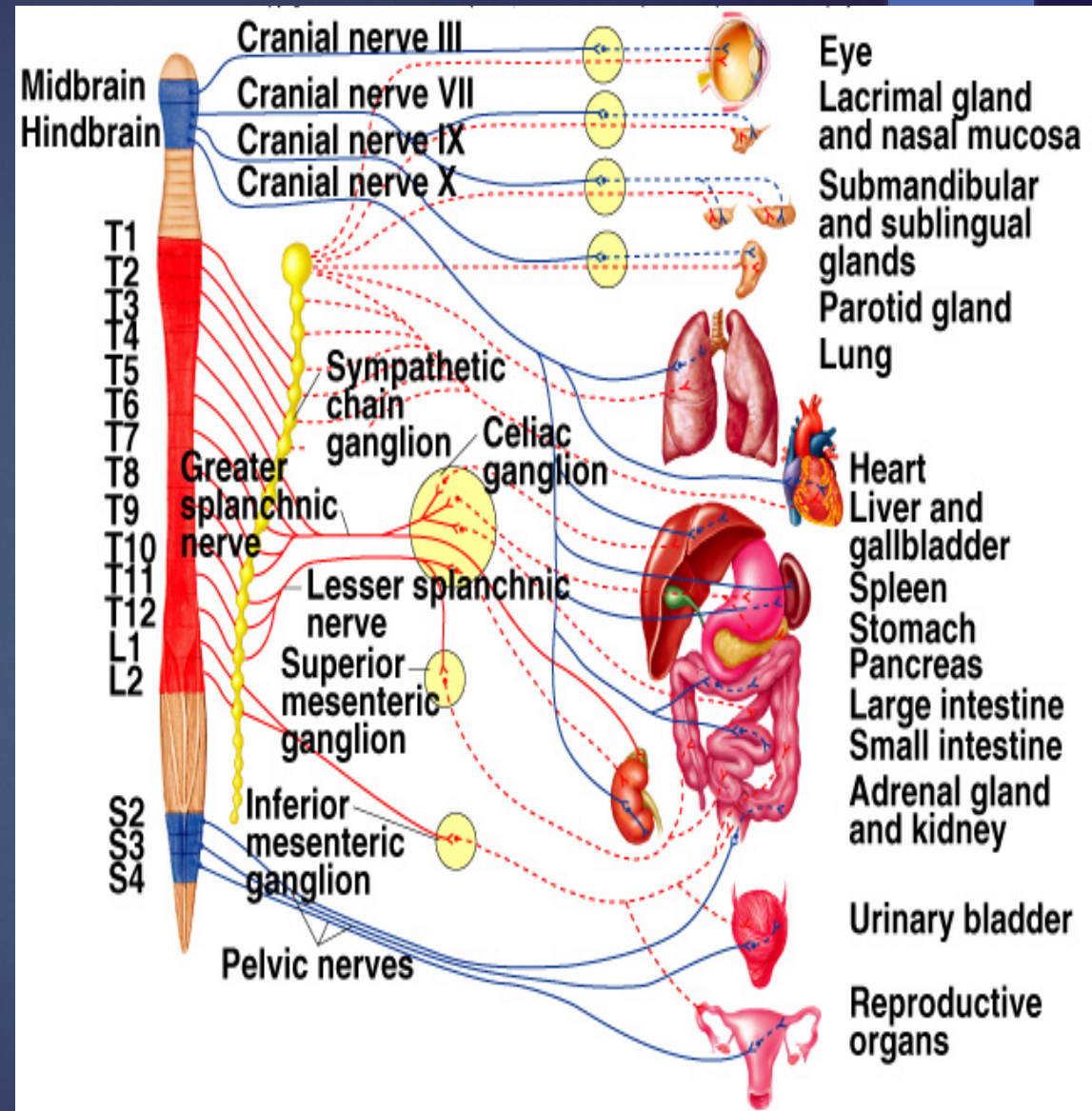
os dois são frequentemente agrupados como parte de um único sistema simpático-adrenal

Sistema nervoso parassimpático

divisão craniossacral do sistema autónomo, as suas fibras pré-ganglionares têm origem no cérebro (mesencéfalo, medula oblonga e ponte) e na medula espinhal entre a segunda e a quarta vértebras sacrais

fibras pré-ganglionares estabelecem sinapses em gânglios localizados próximo ou no seio dos órgãos inervados

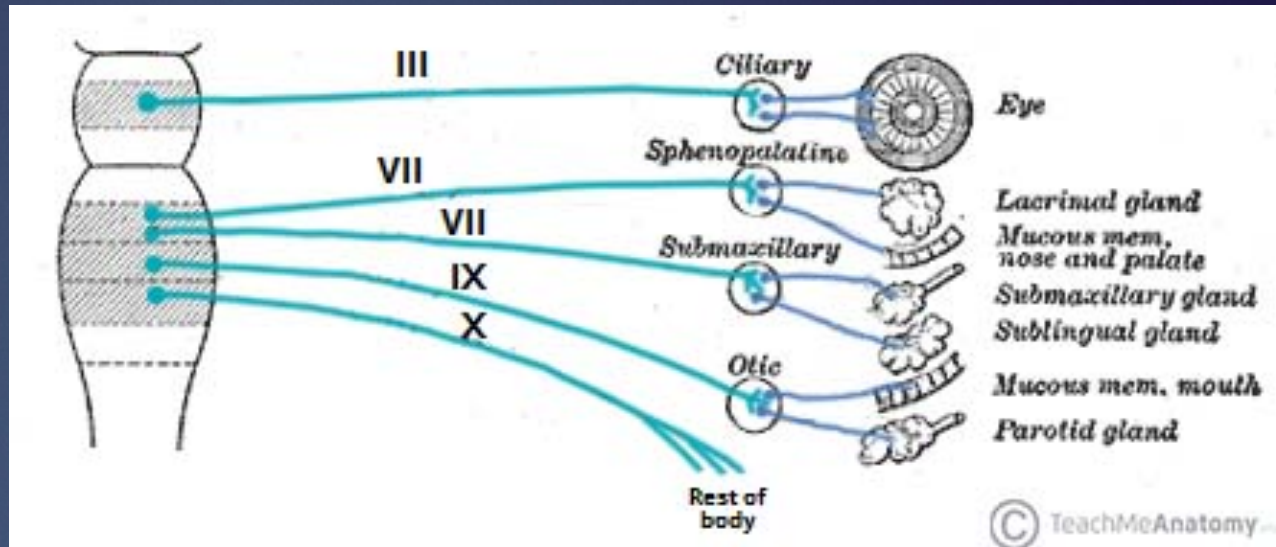
gânglios parassimpáticos, designados **gânglios terminais**, emitem as fibras pós-ganglionares que fazem sinapse com as células eceptoras



a maioria das fibras parassimpáticas não se incorporam nos nervos espinhais, como acontece com as fibras simpáticas; em consequência, os efeitores cutâneos e os vasos sanguíneos dos músculos esqueléticos recebem apenas inervação simpática

Nervos cranianos

quatro dos doze pares de nervos cranianos contêm fibras parassimpáticas pré-ganglionares; nervos: oculomotor (III), facial (VII), glossofaríngeo (IX) e vago (X)



as fibras parassimpáticas incluídas nos primeiros três destes nervos fazem sinapse em gânglios localizados na cabeça;

as fibras do vago fazem sinapse em gânglios terminais localizados em variadas regiões do corpo: coração, pulmões, esófago, estômago, pâncreas, fígado, intestino delgado e metade anterior do intestino grosso

Vago

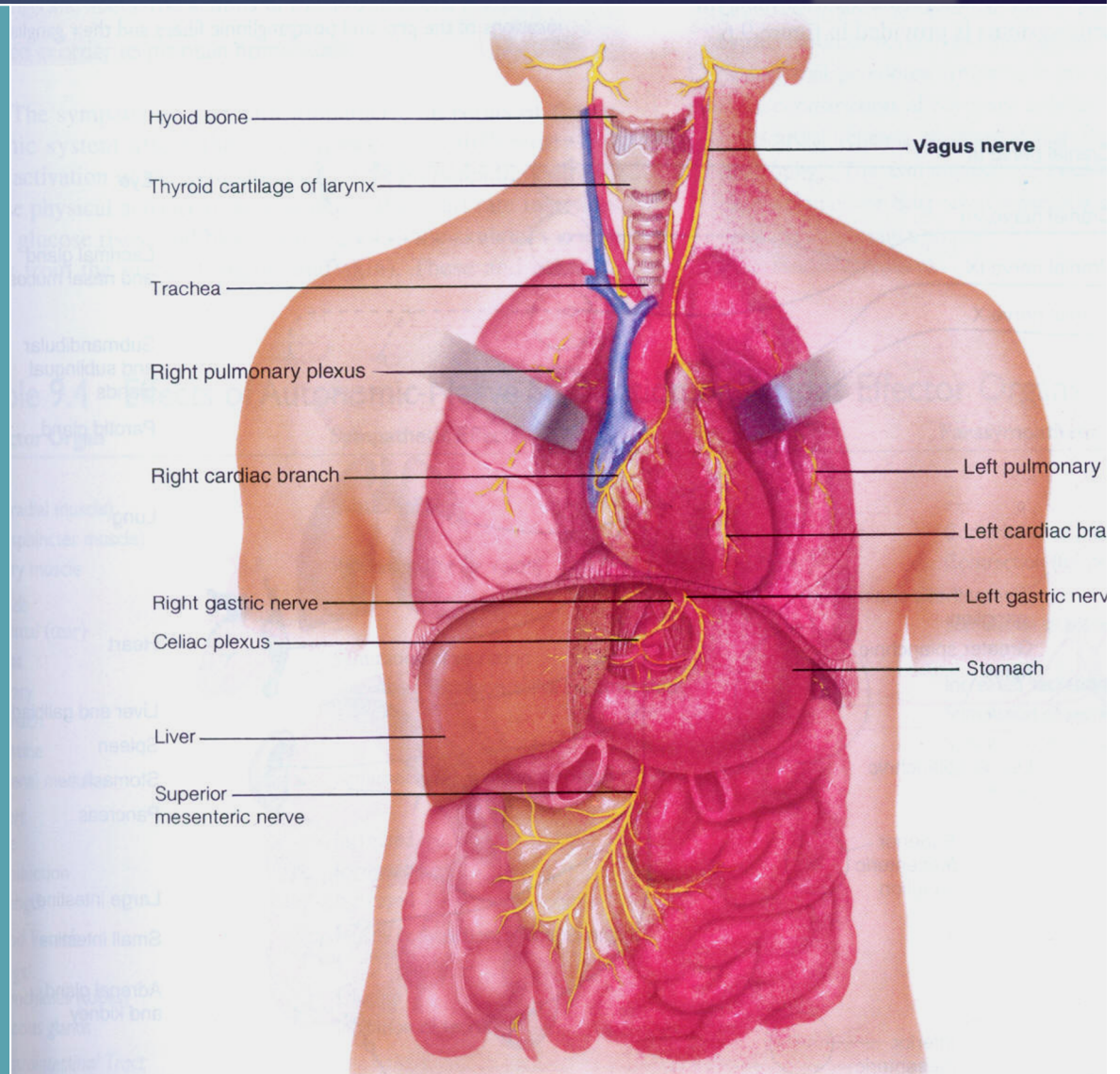
núcleos da medula oblonga contribuem com fibras pré-ganglionares para o décimo nervo craniano ou vago, *o qual fornece a maior parte da inervação parassimpática do corpo*

fibras pré-ganglionares passam através do pescoço até à cavidade torácica e através da abertura esofágica no diafragma para a cavidade abdominal

em cada uma destas regiões, algumas das fibras ramificam-se a partir do tronco principal do nervo vago e vão fazer sinapse com neurónios pós-ganglionares localizados no seio dos órgãos inervados

as fibras pré-ganglionares do vago são pois muito longas, fornecendo inervação parassimpática ao coração, pulmão, esófago, estômago, pâncreas, fígado, intestino delgado e a metade anterior do intestino grosso

as fibras parassimpáticas pós-ganglionares têm origem nos gânglios terminais no seio destes órgãos e fazem sinapse com as células efectoras (músculo liso e glândulas)



Porção sacral do parassimpático

as fibras pré-ganglionares com origem ao nível das vértebras sacrais fornecem inervação parassimpática à metade posterior do intestino grosso, ao recto e aos sistemas urinário e reprodutivo

como as do vago, estas fibras fazem sinapse ao nível dos gânglios terminais localizados no seio dos órgãos efectores

os nervos **parassimpáticos** que inervam os órgãos viscerais consistem em **fibras pré-ganglionares**
os nervos **simpáticos** para estes órgãos contêm **fibras pós-ganglionares**

Funções do sistema nervoso autónomo

simpático e parassimpático afectam de várias formas os órgãos viscerais

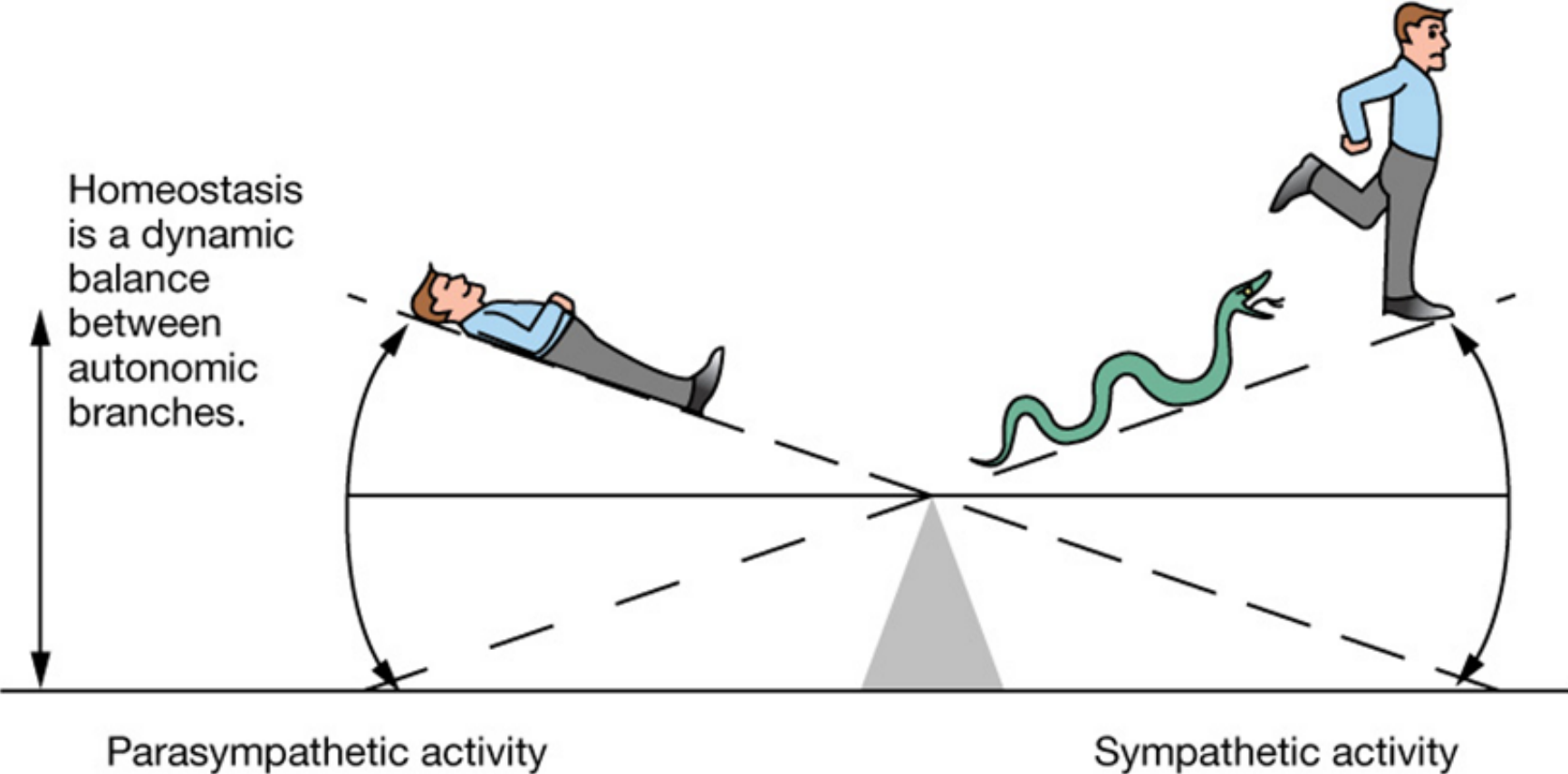
activação em massa do sistema simpático prepara o corpo para intensa actividade física em situações de emergência: aumenta a frequência cardíaca, aumentam os níveis plasmáticos de glucose e o sangue é desviado para os músculos esqueléticos (em detrimento dos órgãos viscerais e da pele)

função do sistema simpático foi excelentemente sintetizada na frase: *fight or flight*

Rest-and-digest

Fight-or-flight

Homeostasis is a dynamic balance between autonomic branches.



Funções do sistema nervoso autónomo

efeitos da estimulação nervosa do parassimpático são na maior parte opostos aos produzidos pela estimulação simpática

o sistema parassimpático não é normalmente activado como um todo; estimulação individual de nervos parassimpáticos pode resultar no abrandamento da frequência cardíaca, dilatação dos vasos sanguíneos viscerais e aumento da actividade do tracto digestivo

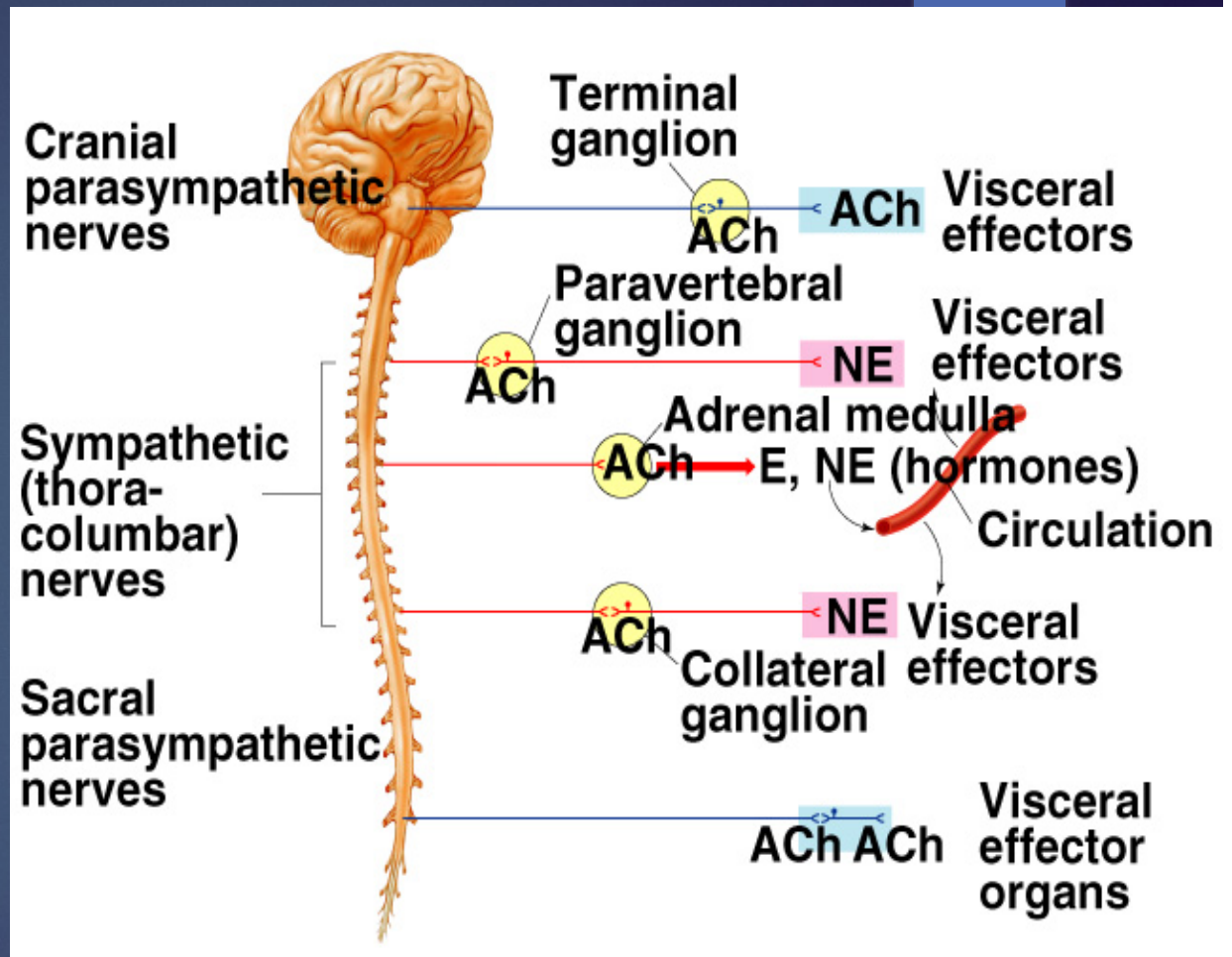
os órgãos viscerais respondem de forma diferente à actividade nervosa simpática e parassimpática porque as fibras pós-ganglionares destas duas divisões do SNA libertam neurotransmissores diferentes

Transmissão sináptica adrenérgica e colinérgica

a acetilcolina é o neurotransmissor de todas as fibras pré-ganglionares: simpáticas e parassimpáticas

é igualmente o neurotransmissor libertado pela generalidade das fibras pós-ganglionares parassimpáticas ao nível das sinapses com as células eceptoras; a transmissão ao nível destas sinapses diz-se colinérgica

o neurotransmissor libertado pela generalidade das fibras pós-ganglionares simpáticas é a noradrenalina e a transmissão a esse nível diz-se adrenérgica



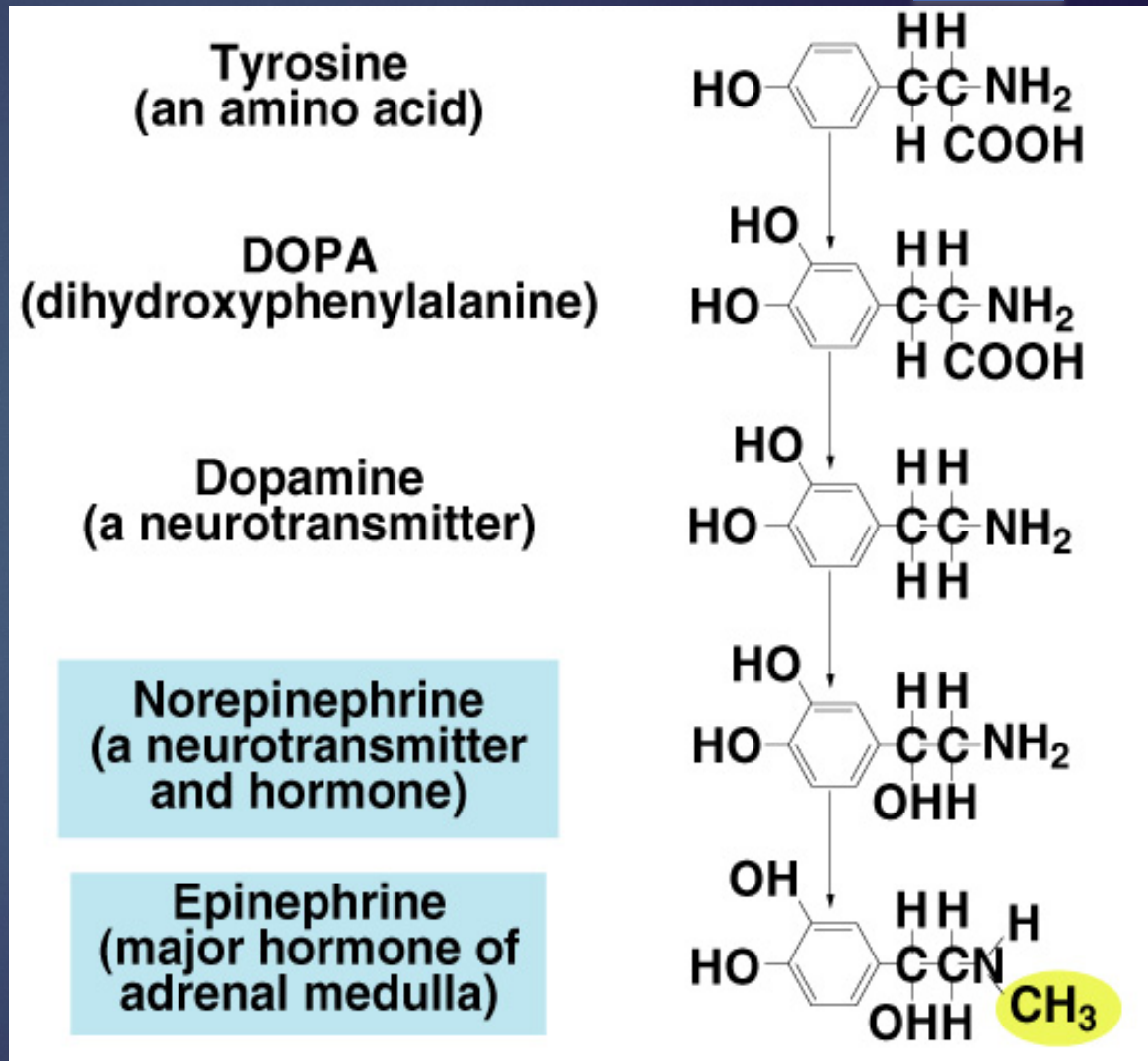
verificam-se exceções: algumas das fibras simpáticas que inervam vasos sanguíneos em músculos esqueléticos, bem como as fibras simpáticas que inervam as glândulas sudoríparas, libertam acetilcolina (são colinérgicas)

Neurotransmissores secretados pela medula da adrenal

como as células da medula adrenal são embriologicamente relacionadas com os neurónios simpáticos pós-ganglionares, não é de estranhar que as hormonas por elas secretadas consistam em **adrenalina** (cerca de 85%) e **noradrenalina** (cerca de 15%)

diferença entre a adrenalina e noradrenalina reside apenas na presença de um grupo metilo adicional na primeira

a adrenalina, a noradrenalina e a dopamina são todas derivadas do aminoácido tirosina e são colectivamente designadas **catecolaminas**



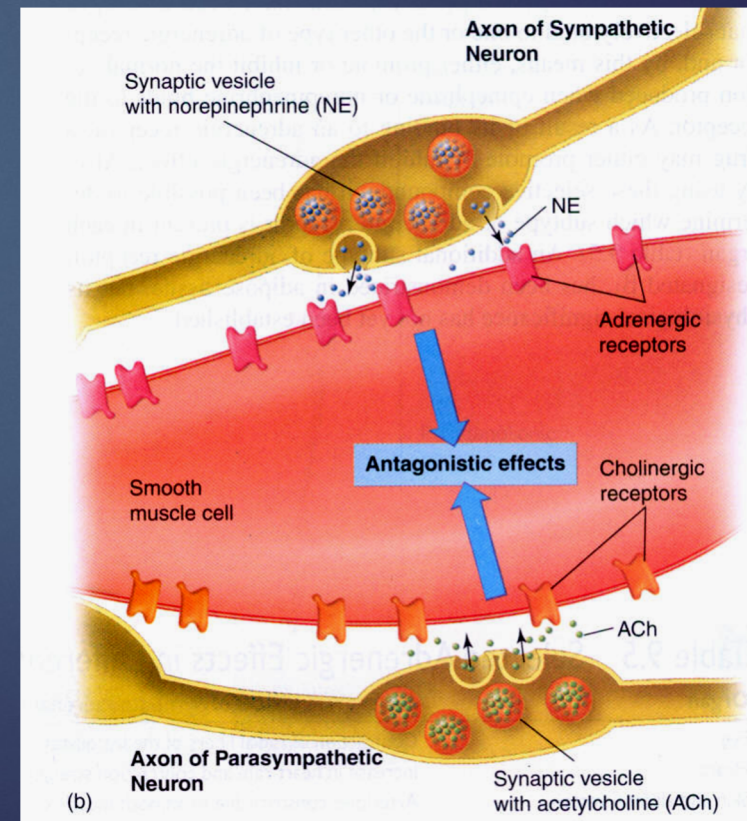
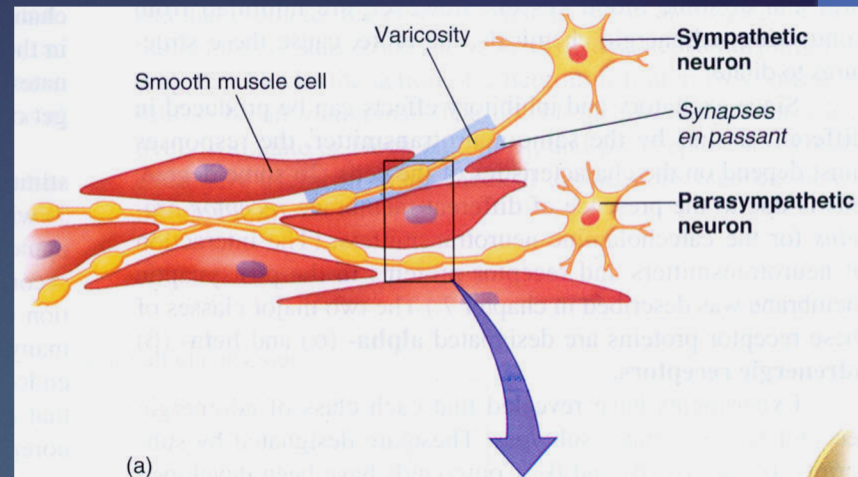
Sinapses en passant

quando os axónios dos neurónios autonómicos pós-ganglionares entram nos seus órgãos alvo, apresentam numerosas varicosidades, as quais contêm as moléculas do neurotransmissor

os neurotransmissores podem assim ser libertados ao longo do comprimento do axónio, em vez de apenas ao nível do terminal axónico

diz-se que os axónios autonómicos estabelecem sinapses *en passant* (de passagem) com a suas células alvo

os axónios simpáticos e parassimpáticos inervam frequentemente uma mesma célula, libertando neurotransmissores diferentes que promovem efeitos diferentes, por vezes antagónicos



Resposta à estimulação adrenérgica

a estimulação adrenérgica – pela adrenalina no sangue e pela noradrenalina libertada nas terminações nervosas simpáticas – tem efeitos excitatórios e inibitórios

coração, músculos dilatadores da íris e o músculo liso de muitos vasos sanguíneos são estimulados a contrair

o músculo liso dos bronquíolos e de alguns vasos sanguíneos, pelo contrário, são *inibidos de se contraírem*, provocando os sinais adrenérgicos a dilatação destas estruturas

uma vez que um mesmo neurotransmissor produz efeitos inibitórios e excitatórios em tecidos diferentes, a resposta tem que depender das características das células

esta diferença assenta em grande parte da presença de diferentes receptores membranares para as catecolaminas

a estimulação dos receptores adrenérgicos α_1 causa consistentemente a contracção do músculo liso

o efeito vasoconstrictor dos nervos simpáticos resulta assim da activação dos receptores α

os efeitos da activação β -adrenérgica são mais complexos; a activação dos receptores β promove o relaxamento do músculo liso (no tracto digestivo, bronquíolos e útero, por exemplo), mas aumenta a força de contracção do músculo cardíaco e promove um aumento da frequência cardíaca

Os diferentes efeitos da adrenalina e noradrenalina podem ser melhor compreendidos no contexto da reacção de luta-ou-fuga (*fight-or-flight*)

a estimulação adrenérgica decorrente da activação do sistema nervoso simpático promove:

um aumento do bombeamento cardíaco - **efeito β_1**

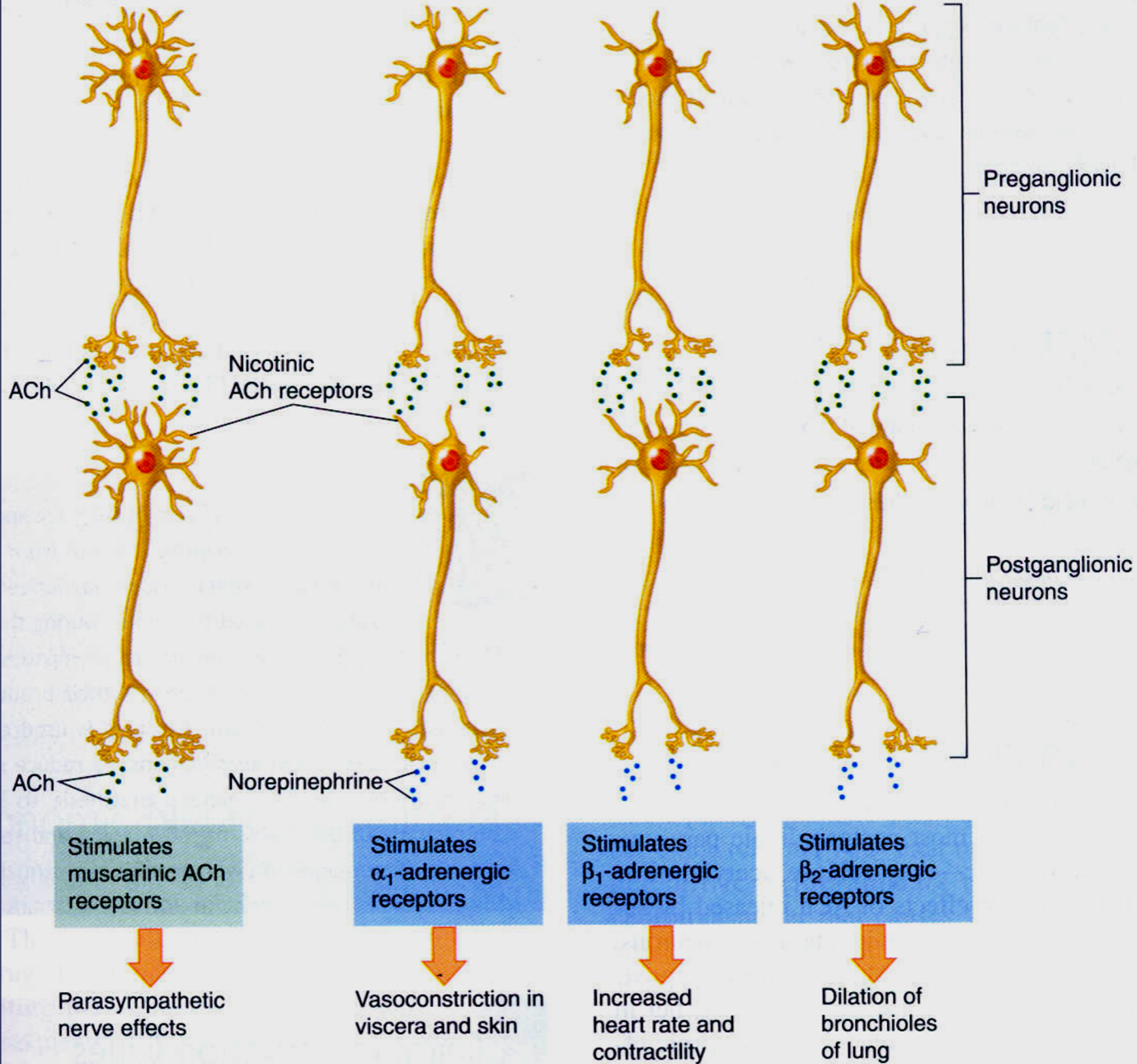
vasoconstricção e consequente redução do aporte sanguíneo aos órgãos viscerais - **efeito α_1**

dilatação dos bronquíolos pulmonares - **efeito β_2**

outros efeitos que no seu conjunto preparam o organismo para realizar um esforço físico violento

Parasympathetic division

Sympathetic division



Resposta à estimulação colinérgica

todos os neurónios motores somáticos, todos os neurónios pré-ganglionares (simpáticos e parassimpáticos) e a maioria dos neurónios pós-ganglionares parassimpáticos são colinérgicos – libertam a acetilcolina como neurotransmissor

o efeito da libertação de acetilcolina pelos neurónios somáticos motores e pelos neurónios autonómicos pré-ganglionares é sempre excitatório

o efeito da libertação de acetilcolina pelos axónios pós-ganglionares parassimpáticos é geralmente excitatório, mas também pode ser inibitório

por exemplo, o efeito colinérgico dos axónios pós-ganglionares parassimpáticos que inervam o coração (uma parte do nervo vago) é o abrandamento da frequência cardíaca

em geral, os efeitos da inervação parassimpática são opostos aos efeitos da inervação simpática.

Efeito da acetilcolina num órgão depende do tipo de receptor colinérgico

existem dois tipos de receptores colinérgicos – nicotínicos e muscarínicos

os receptores nicotínicos, encontram-se localizados na junção neuromuscular das fibras musculares esqueléticas e nos gânglios autonómicos; sendo estimulados pela acetilcolina libertada por **neurónios somáticos motores** e por **neurónios autonómicos pré-ganglionares**

os receptores muscarínicos estão presentes nos órgãos viscerais e são estimulados pela acetilcolina libertada pelos **axónios pós-ganglionares parassimpáticos** de forma a produzir os efeitos parassimpáticos

Controlo do sistema nervoso autónomo por centros nervosos superiores localizados no cérebro

as funções viscerais são em grande parte reguladas apenas por reflexos autonómicos

na maioria destes reflexos o aporte sensorial é transmitido aos centros cerebrais que integram essa informação e respondem através da modificação da actividade dos neurónios autonómicos pré-ganglionares

para além deste aporte sensorial, os centros nervosos que controlam directamente a actividade dos nervos autonómicos são influenciados por áreas cerebrais superiores

Controlo do sistema nervoso autónomo por centros nervosos superiores localizados no cérebro

a **medula oblonga do tronco cerebral** é a área que controla mais directamente a actividade do sistema nervoso autónomo

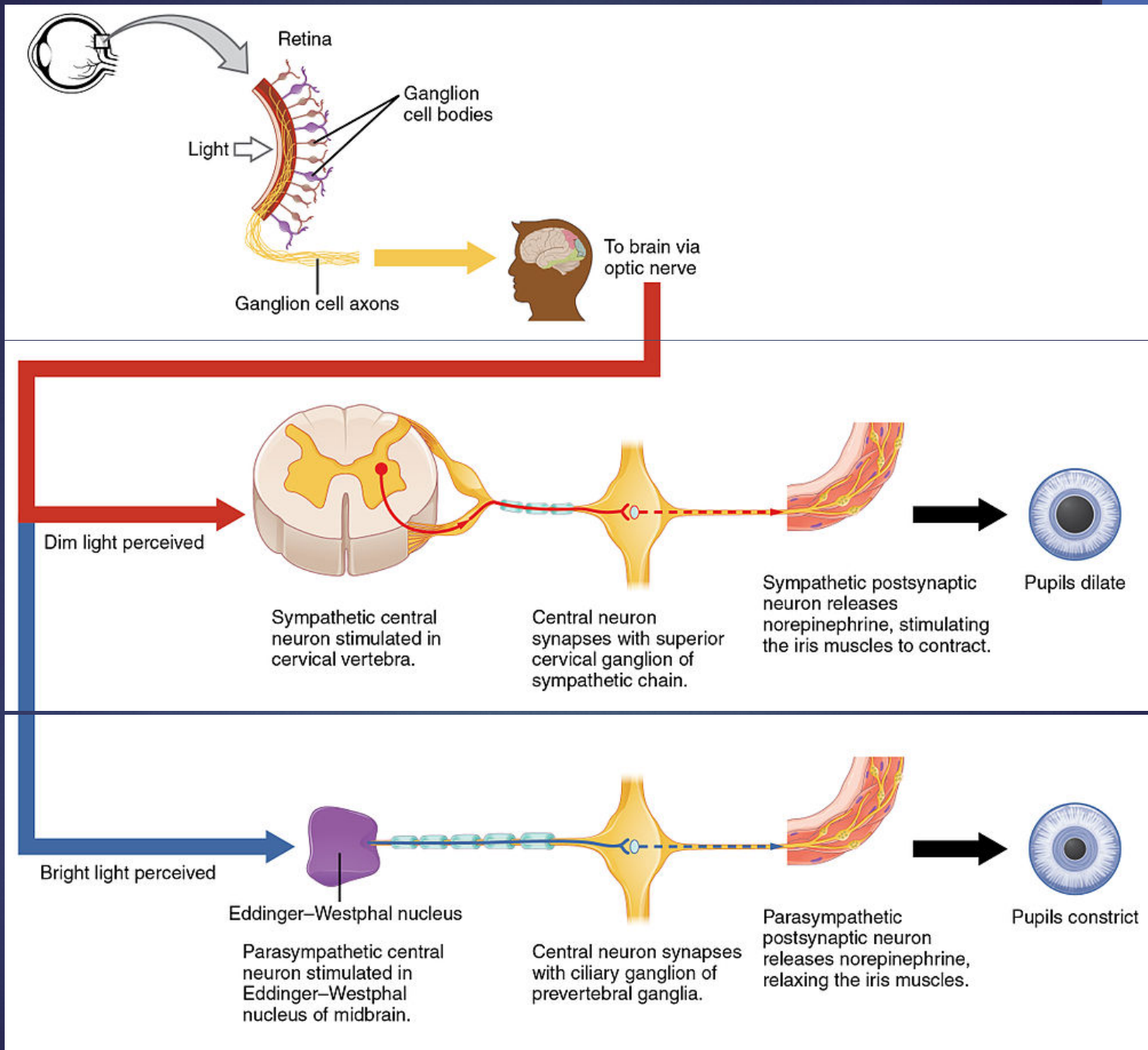
quase todas as respostas autonómicas são susceptíveis de serem desencadeadas por estimulação experimental da medula oblonga, onde se localizam **os centros que controlam os sistemas cardiovascular, pulmonar, urinário, reprodutivo e digestivo**

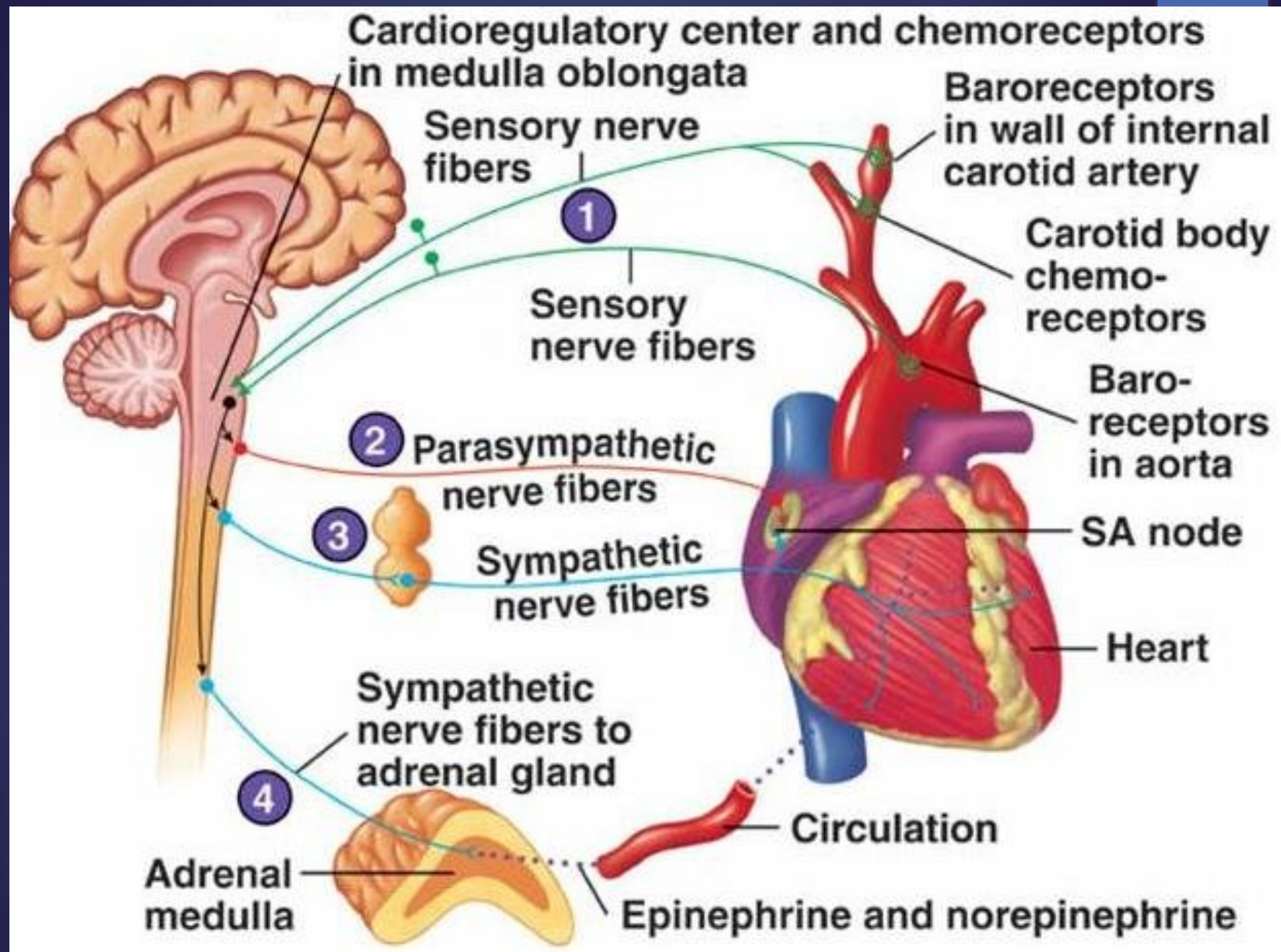
grande parte do aporte sensorial destes centros é transportado pelas fibras do vago, um nervo misto que contém tanto fibras sensoriais como motoras

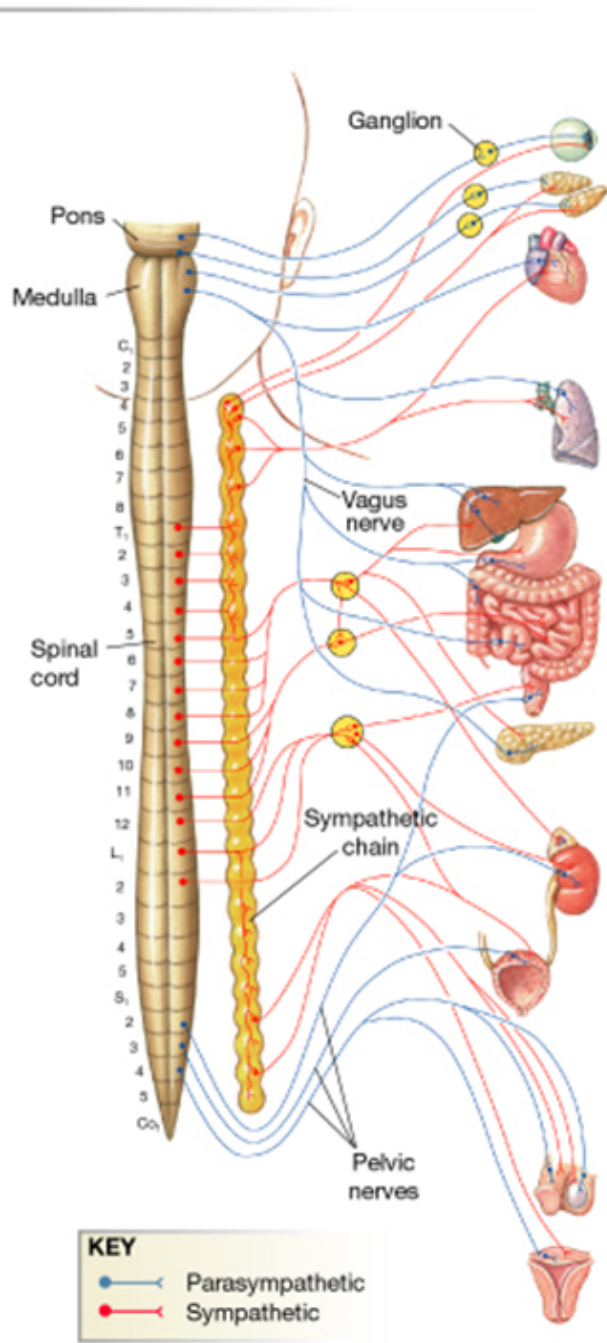
embora seja directamente responsável pela regulação da actividade das fibras autonómicas motoras, a própria medula oblonga responde à regulação de áreas superiores cerebrais

uma dessas áreas é o hipotálamo, a região do cérebro que contém os centros de controlo da temperatura corporal, da fome e da sede, da regulação da hipófise e, em conjunto com o sistema límbico e com o córtex cerebral, de controlo de variados estados emocionais

o sistema límbico está envolvido em estados emocionais básicos como a irritação, o medo, o sexo e a fome; o envolvimento do sistema límbico no controlo do sistema nervoso autónomo é responsável pelas respostas viscerais características desses estados emocionais







<i>Effector Organ</i>	<i>Parasympathetic Response **</i>	<i>Sympathetic Response</i>	<i>Adrenergic Receptor</i>
Pupil of eye	Constricts	Dilates	α
Salivary glands	Watery secretion	Mucus, enzymes	α and β_2
Heart	Slows rate	Increases rate and force of contraction	β_1
Arterioles and veins	—	Constricts Dilates	α β_2
Lungs	Bronchioles constrict	Bronchioles dilate	β_2^*
Digestive tract	Increased motility and secretion	Decreased motility and secretion	α, β_2
Exocrine pancreas	Increases enzyme secretion	Decreases enzyme secretion	α
Endocrine pancreas	Stimulates insulin secretion	Inhibits insulin secretion	α
Adrenal medulla	—	Secretes catecholamines	—
Kidney	—	Increases renin secretion	β_1
Urinary bladder	Release of urine	Urinary retention	α, β_2
Adipose tissue	—	Fat breakdown	β
Sweat glands	—	Localized sweating	α
Male and female sex organs	Erection	Ejaculation (male)	α
Uterus	Depends on stage of cycle	Depends on stage of cycle	α, β_2

***All parasympathetic responses are mediated by muscarinic receptors.*

**Hormonal epinephrine only*