

# 5. Autonomiczny układ nerwowy

Elżbieta Jankowska

Układ autonomiczny (wegetatywny) kieruje ważnymi dla życia procesami fizjologicznymi, takimi jak krążenie krwi, oddychanie, trawienie, metabolizm, wydzielanie gruczołowe, rozmnażanie itp. Jest to część układu nerwowego, której czynności najczęściej nie są uświadamiane i przebiegają bez udziału woli.

Narządami wykonawczymi (**efektorami**) unerwianymi przez autonomiczny układ nerwowy (AUN) są mięśnie gładkie narządów wewnętrznych i krwionośnych, mięsień sercowy oraz gruczoły wydzielania zewnętrznego i wewnętrznego.

Podstawowym mechanizmem działania układu autonomicznego, podobnie jak somatycznego, jest **odruch** (np. wydzielanie śliny). Reakcją odruchową AUN może być skurcz lub rozluźnienie mięśni gładkich, przyspieszenie lub zwolnienie czynności serca oraz zwiększenie lub zmniejszenie wydzielniczej funkcji gruczołu. Dzięki odruchowym czynnościom AUN możliwa jest regulacja funkcjonowania poszczególnych narządów wewnętrznych stosownie do aktualnych potrzeb organizmu (snu, wysiłku fizycznego, pobierania pokarmu, przebywania w wysokiej lub niskiej temperaturze otoczenia). AUN wobec tego jest niezbędny do utrzymania stałości środowiska wewnętrznego organizmu, tj. **homeostazy**.

## Budowa układu autonomicznego

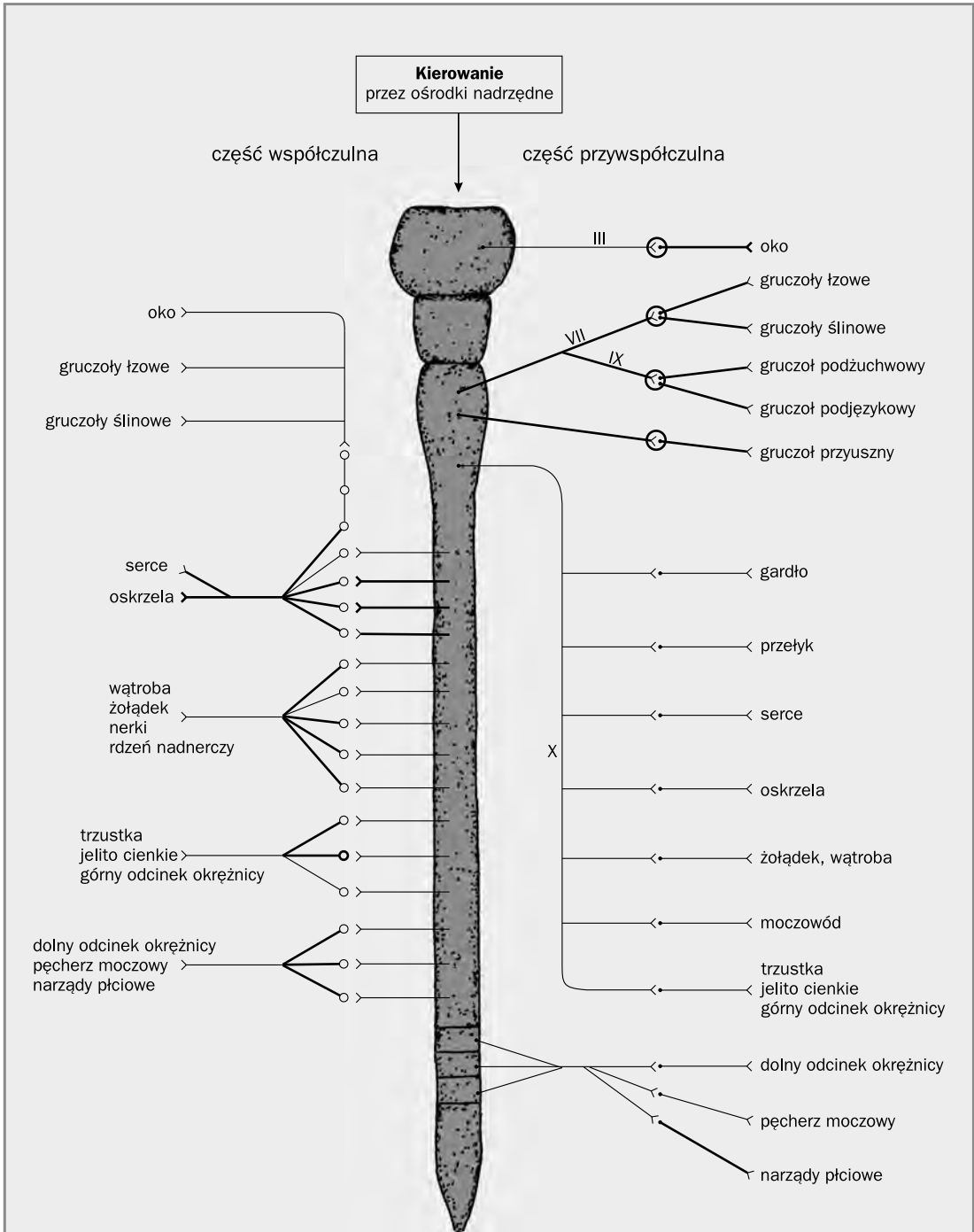
AUN tworzą **ośrodki autonomiczne**, **drogi aferentne** (neurony dośrodkowe) i **drogi eferentne** (neurony odśrodkowe). Ośrodki układu autonomicznego znajdują się w ośro-

dkowym układzie nerwowym (OUN) – w pniu mózgu i rdzeniu kręgowym. Niektóre odruchy autonomiczne mają ośrodki w zwojach autonomicznych. **Drogi aferentne** przewodzą impulsy z receptorów narządów wewnętrznych i naczyń krwionośnych do ośrodków autonomicznych. Ciały komórkowe neuronów aferentnych znajdują się wraz z neuronami czucia somatycznego w zwojach rdzeniowych lub w odpowiednich zwojach nerwów czaszkowych. **Drogi eferentne** stanowią obwodową, efektorową część układu nerwowego, są to włókna autonomiczne, przewodzące impulsy od ośrodków autonomicznych do efektorów. Drogi te są dwuneuronowe: jeden neuron doprowadza pobudzenie do komórek zwojowych, drugi – do narządu wykonawczego. Ciały komórkowe neuronów eferentnych znajdują się w ośrodkach autonomicznych śródmózgowia, mostu, rdzenia przedłużonego i kręgowego. Ich aksony, tzw. **włókna przedzwojowe**, po wyjściu z ośrodków autonomicznych dochodzą do obwodowych zwojów autonomicznych (leżą zawsze poza OUN). W obrębie tych zwojów włókna przedzwojowe tworzą synapsy z następnymi neuronami, czyli neuronami zazwojowymi. Aksony tych neuronów, tzw. **włókna zazwojowe**, dochodzą do efektorów.

AUN dzieli się na następujące części: **przywspółczulną (parasympatyczną)**, **współczulną (sympatyczną)**, **jelitową**, **trzewno-czuciową**. Część przywspółczulna różni się od części współczulnej zarówno budową (ryc. 5.1), jak i czynnością.

## Część przywspółczulna

Jej ośrodki znajdują się w pniu mózgu (śródmózgowiu, moście i rdzeniu przedłużonym) i w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Ro-



Ryc. 5.1. Schemat autonomicznego układu nerwowego

zróżnia się w niej odcinek głowowy i odcinek krzyżowy. Neurony ośrodkowe, czyli przedzwojowe odcinka głowowego, znajdują się w jądrach nerwów czaszkowych: okoruchowe-

go (III), twarzowego (VII), językowo-gardłowego (IX) i błędnego (X). Największym nerwem jest **nerw błędny**. Unerwia on wszystkie narządy klatki piersiowej (m.in. oskrzela i serce)

i większość organów jamy brzusznej (m.in. przewód pokarmowy, z wyjątkiem niektórych części okrężnicy). Neurony przedzwojowe odcinka krzyżowego znajdują się w segmentach krzyżowych kręgosłupa od S 2 do S 4. Tworzą one wspólny nerw miedniczny, który zaopatruje końcową część układu pokarmowego, pęcherz moczowy i narządy płciowe.

## Część współczulna

Jej ośrodki znajdują się w słupach bocznych rdzenia kręgowego w segmentach piersiowych od Th 1 do Th 12 oraz w segmentach lędźwiowych od L 1 do L 3. Aksony współczulnych neuronów eferentnych wychodzą z rdzenia przez korzenie przednie i jako włókna przedzwojowe dochodzą do zwojów współczulnych po obu stronach kręgosłupa, zwanych **zwojami kręgowymi**. Są one ze sobą połączone gałązkami międzyzwojowymi, tworząc parzysty pień współczulny. Niektóre **włókna przedzwojowe** tworzą z neuronami synapsy w zwojach kręgowych, inne biegną dalej jako nerwy współczulne i kończą się w bardziej obwodowo położonych zwojach (przedkręgowych), leżących w obrębie jamy brzusznej i miednicy małej. **Włókna zazwojowe** mogą wchodzić do mieszanych nerwów somatycznych lub też wraz z nerwami współczulnymi docierać do efektorów. Przedłużeniem **pnia współczulnego** są następujące **zwoje**: szyjny górny, szyjny środkowy oraz gwiaździsty (szyjno-piersiowy). Od zwojów tych odchodzą zazwojowe włókna współczulne unerwiające narządy głowy, szyi i klatki piersiowej. Najważniejszym nerwem współczulnym jest **nerw trzewny**. W odróżnieniu od zwojów przywspółczulnych, leżących w pobliżu, a nawet w ścianach narządów wykonawczych, zwoje współczulne leżą dość daleko od narządów. Z tego powodu współczulne włókna przedzwojowe są krótsze, a zazwojowe dłuższe (wyjątek stanowią nerwy trzewne), podczas gdy przywspółczulne włókna przedzwojowe są długie, zaś zazwojowe – krótkie.

Włókna nerwowe części współczulnej i przywspółczulnej mogą mieszać się, tworząc **sploty autonomiczne** (sercowy, słoneczny, trzewny i nerkowy). Znajdują się one w jamach ciała (splot słoneczny) lub w ścianach narządów wewnętrznych. W ich skład wchodzi zwoje nerwowe, które charakteryzuje duża samodzielność w koordynowaniu funkcji narządów, tj. mogą one wysyłać impulsy do wielu efektorów (np. do serca przez zwój gwiaździsty) z pominięciem OUN.

## Część jelitowa

Odpowiada za koordynację ruchów jelita (**splot błony mięśniowej jelita**) oraz za wydzielanie jelitowe (**splot warstwy podśluzowej**). Regulacja jej czynności dokonuje się bez udziału OUN, zamykając się na poziomie zwojów śródściennych jelit (krótkie odruchy miejscowe). Aktywność części jelitowej jest modyfikowana przez część współczulną i przywspółczulną AUN.

## Część trzewno-czuciowa

Odpowiada za **czucie trzewne**. Tworzą ją włókna aferentne oraz ich neurony czuciowe w zwojach grzbietowych rdzenia kręgowego, przesyłające informacje o stanie czynnościowym narządów wewnętrznych do OUN w trzewnych odruchach autonomicznych: **trzewno-trzewnych** (np. odruchy z mechanoreceptorów płuc, odruchy naczyniowe z baroreceptorów, odruchy oddawania kału i wydalania moczu), **trzewno-somatycznych** (np. wzmożone napięcie mięśni szkieletowych brzucha i przeczulica skóry w zapaleniu otrzewnej lub wyrostka robaczkowego) i **somatyczno-trzewnych** (np. presyjna reakcja bólowa w odpowiedzi na podrażnienie receptorów bólowych skóry, presyjne odruchy z ergoreceptorów mięśni szkieletowych pobudzanych podczas ich pracy, łagodzenie bólów trzewnych w odpowiedzi na podrażnienie receptorów ciepła skóry).

## Mechanizm przekazywania impulsów w układzie autonomicznym

Przekazywanie pobudzenia w układzie autonomicznym odbywa się za pośrednictwem **transmiterów** (mediatorów), czyli przekaźników chemicznych, wydzielanych na zakończeniach włókien nerwowych autonomicznych.

Zależnie od rodzaju przekaźnika uwalnianego na zakończeniach włókien zazwojowych AUN dzieli się na **układ cholinergiczny** i **układ adrenergiczny**, które tylko częściowo odpowiadają pojęciu części współczulnej i przywspółczulnej.

Głównymi transmiterami AUN są **acetylocholina** (ACh) i **noradrenalina** (NA). Ważnym mediatorem jest też adrenalina (A) – hormon rdzenia nadnerczy. **Acetylocholina** jest transmiterem wydzielanym w układzie cholinergicznym. Jest uwalniana na zakończeniach wszystkich włókien przedzwojowych (współczulnych i przywspółczulnych), włókien zazwojowych przywspółczulnych, a także w zwojach współczulnych i przywspółczulnych. Obie aminy katecholowe – noradrenalina i adrenalina – są przekaźnikami wydzielanymi w układzie adrenergicznym. **Noradrenalina** jest uwalniana na zakończeniach współczulnych włókien zazwojowych. Wyjątkiem są włókna współczulne unerwiające gruczoły potowe i naczynia krwionośne mięśni szkieletowych. Na ich zakończeniach jest wydzielana acetylocholina. **Adrenalina** oddziałuje na narządy wewnętrzne za pośrednictwem krwi. Jest wydzielana do krwioobiegu z komórek rdzenia nadnerczy w wyniku pobudzenia unerwiających je przedzwojowych włókien współczulnych, dlatego rdzeń nadnerczy jest zaliczany do części współczulnej układu autonomicznego.

Autonomiczne zakończenia nerwowe uwalniają, oprócz NA albo ACh, także ATP oraz tzw. **kotransmitery peptydowe** (np. neuropeptyd Y, wazoaktywny peptyd jelitowy VIP), które wobec głównych przekaźników pełnią funkcję pobudzającą lub hamującą.

## Receptory transmiterów układu autonomicznego

Transmitery uwalniane w obrębie synaps autonomicznych wiążą się z chemicznymi strukturami błony (postsynaptycznej) komórek efektorowych – receptorami („chwytnikami chemicznymi”). Rozróżnia się **receptory cholinergiczne**, pobudzane przez ACh, i **receptory adrenergiczne**, pobudzane przez NA i A. Istnieją dwa rodzaje receptorów cholinergicznym – **receptor muskarynowy** (M) i **receptor nikotynowy** (N). Receptor M występuje w mięśniach gładkich, w mięśniu sercowym i gruczołach. Receptor ten jest pobudzany, oprócz ACh, także przez muskarynę (jad muchomorów). Jego antagonistą (blokerem) jest atropina, stosowana w okulistyce do rozszerzania źrenic. Receptor N znajduje się w zwojach autonomicznych i jest pobudzany, oprócz ACh, przez nikotynę, a blokowany przez heksametonium.

Wśród **receptorów adrenergicznych** rozróżnia się dwa główne typy – **receptory  $\alpha$**  i  **$\beta$** , w których obrębie występują podtypy. Receptory  $\alpha$  znajdują się głównie w mięśniach gładkich, a receptory  $\beta$  – w mózgu, sercu, mięśniach gładkich narządów, w których adrenalina jest regulatorem metabolizmu. Receptory  $\alpha$  i  $\beta$  różnią się wrażliwością na NA i A. Receptory  $\alpha$  są bardziej wrażliwe na NA, a receptory  $\beta$  – na A. Powoduje to, że pobudzenie tych receptorów wywołuje różne efekty fizjologiczne i farmakologiczne. W większości narządów aktywacja receptorów  $\alpha$  prowadzi do pobudzenia narządów wykonawczych (np. skurczu mięśni gładkich), zaś aktywacja receptorów  $\beta$  hamuje na ogół aktywność efektorów. Wyjątkiem są receptory  $\alpha$  mięśni gładkich przewodu pokarmowego i receptory  $\beta$  serca. Antagonistą receptorów  $\alpha$  jest fenoksybenzamina, a receptorów  $\beta$  – propranolol, stosowany m.in. w leczeniu arytmii serca.

## Działanie układu autonomicznego na narządy

Większość narządów wewnętrznych jest unerwiana przez włókna pochodzące zarówno z części współczulnej, jak i przywspółczulnej AUN. W narządach wykazujących automatyzm włókna autonomiczne nie inicjują ich czynności, tylko je modyfikują (nasilają, osłabiają lub hamują).

Narządy unerwione podwójnie wykazują w stosunku do siebie **antagonizm czynnościowy**, tzn., gdy jedna część z nich pobudza czynność organu, druga ją hamuje. Np. część współczulna rozszerza źrenice, przyspiesza akcję serca, zwalnia perystaltykę jelit, przywspółczulna natomiast zwęża źrenice, zwalnia akcję serca, przyspiesza perystaltykę jelit. W niektórych przypadkach obie części AUN współdziałają ze sobą. Taki **czynnościowy synergizm** występuje

np. w czasie aktu płciowego: część przywspółczulna powoduje erekcję, a współczulna ejakulację, obie zaś pobudzają wydzielanie śliny.

W większości organów zwykle panuje równowaga między obiema częściami, chociaż w niektórych narządach występuje fizjologiczna przewaga jednej części nad drugą. W sercu przeważa wpływ układu przywspółczulnego, a w naczyniach krwionośnych – współczulnego. Stan wzmożonego napięcia układu współczulnego w całym organizmie nosi nazwę **sympatykotonii**, a układu przywspółczulnego – **wagotonii**.

Ogólnie rzecz biorąc, część współczulna zostaje pobudzona w sytuacjach nagłego zagrożenia organizmu lub stresu. Układ współczulny uwalnia wówczas zapasy energetyczne, umożliwiające wykonanie zwiększonego wysiłku koniecznego do obrony przed nimi (reakcje typu „walczyć lub uciekać”). Podczas gdy układ współczulny

### AUTONOMICZNY UKŁAD NERWOWY

	Część współczulna (sympatyczna)	Część przywspółczulna (parasympatyczna)
<b>Działanie ogólne</b>	kataboliczne – przygotowuje organizm do „walki lub ucieczki“	anaboliczne – pomaga organizmowi odpoczywać, trawić pokarmy
<b>Oko</b>	rozszerza źrenice	zwęża źrenice
<b>Serce</b>	przyspiesza czynność, zwiększa siłę skurczu	zwalnia czynność
<b>Oskrzela</b>	rozszerza	zwęża
<b>Naczynia krwionośne:</b>		rozszerza
– skóry	zwęża	
– mięśni szkieletowych	zwęża i rozszerza	
– narządów miednicy mniejszej	zwęża	
<b>Żołądek</b>	zmniejsza czynność ruchową	zwiększa czynność ruchową
<b>Jelito</b>	zwalnia perystaltykę	przyspiesza perystaltykę
<b>Gruzoły potowe</b>	pobudza wydzielanie potu	hamuje wydzielanie potu
<b>Gruzoły ślinowe</b>	pobudza wydzielanie śliny (skąpej, gęstej)	pobudza wydzielanie śliny (obfitej, wodnistej)
<b>Wątroba</b>	powoduje rozpad glikogenu i uwolnienie glukozy do krwi	
<b>Nadnercza</b>	pobudza wydzielanie adrenaliny (epinefryny) i noradrenaliny (norepinefryny)	

**Tab. 5.1.** Działanie części współczulnej i przywspółczulnej na ważniejsze narządy wewnętrzne

nasila procesy dysymilacyjne, układ przywspółczulny sprzyja procesom asymilacyjnym, umożliwiającym gromadzenie albo odnawianie rezerw energetycznych organizmu. Do aktywacji przywspółczulnego układu nerwowego dochodzi w sytuacjach, gdy organizm odpoczywa i trawi. W warunkach fizjologicznych w ciągu dnia przeważają wpływy układu współczulnego, nocą – przywspółczulnego.

## Ośrodkowa kontrola czynności autonomicznych

Kontrola czynności autonomicznych narządów wewnętrznych odbywa się na różnych piętrach OUN. Strukturą koordynującą większość funkcji AUN (za pośrednictwem dróg schodzących do odpowiednich ośrodków pnia mózgu i rdzenia kręgowego) jest **podwzgórze**. Uczestniczy ono w regulacji pobierania pokarmu, temperatury ciała, gospodarki wodno-elektrolitowej i energetycznej, czynności układu krążenia, uwalniania hormonów, snu i funkcji płciowych. Podwzgórze znajduje się pod kontrolą **układu limbicznego** (steruje mechanizmami popędu i emocji) i bierze również udział w uruchamianiu reakcji emocjonalnych o charakterze obronnym, takich jak wściekłość, agresja, strach i ucieczka. Układ limbiczny produkuje impulsy nadające tym reakcjom silne

zabarwienie emocjonalne (ekspresję). Objawami reakcji autonomicznej są np.: zwężenie źrenic, zwężenie naczyń krwionośnych skóry pod wpływem strachu (zblednięcie), pocenie się, wzrost ciśnienia tętniczego krwi, przyspieszenie rytmu serca i perystaltyki jelit itp. W kontrolę AUN jest zaangażowana również **kora mózgu**. Jej wpływ na czynność AUN przejawia się wzmożoną aktywnością części współczulnej w czasie intensywnej pracy umysłowej. Ponadto reakcje autonomiczne są wywołane często przez słowne bodźce psychiczne działające przez korę, która pobudza układ limbiczny. Kora mózgu jest strukturą odpowiedzialną za scalanie czynności układu somatycznego z układem nerwowym autonomicznym. Z jej okolic ruchowych biegają impulsy nerwowe modyfikujące czynność nadrzędnych ośrodków autonomicznych (ośrodki jąder podkorowych, podwzgórza i układu siatkowatego pnia mózgu), którym podlegają neurony w rdzeniu kręgowym i zwojach obwodowych. Przez to do czynności ruchowych mięśni szkieletowych dostosowują się różne funkcje autonomiczne, jak np. trawienie, przemiana materii, oddychanie i termoregulacja.

**Zaburzenia ośrodkowej regulacji autonomicznej** mogą się wyrażać poprzez wzrost ciśnienia tętniczego, przyspieszone tętno, gorączkę, otyłość, zaburzenia czynności seksualnych, nadmierne pocenie się, hiperglikemię, częste oddawanie moczu i wiele innych zaburzeń.