

Vegetatives Nervensystem

Aufbau des peripheren vegetativen Nervensystems

Das periphere vegetative Nervensystem besteht aus Sympathikus, Parasympathikus und Darmnervensystem. Der Sympathikus (früher auch Orthosympatikus) entspringt dem Brustmark und den oberen 2 bis 3 Segmenten des Lendenmarks und wird deshalb auch thorakolumbales System genannt. Der Parasympathikus entspringt verschiedenen Kerngebieten des Hirnstamms und aus dem Sakralmark und wird deshalb auch kraniosakrales System genannt. Die Begriffe sympathisch und parasympathisch beschränken sich auf die **efferenten** prä- und postganglionären Neurone. Afferenzen von inneren Organen werden als **viszerale Afferenzen** bezeichnet. Prä- und postganglionäre Neurone, die in den vegetativen Ganglien synaptisch miteinander verschaltet sind, bilden die vegetativen motorischen Endstrecken, die nach den Zellen der Erfolgsorgane, bezeichnet sind.

Transmitter und ihre Rezeptoren in Sympathikus und Parasympathikus

Die Überträgerstoffe im peripheren Sympathikus und Parasympathikus sind Azetylcholin bzw. Noradrenalin. - Azetylcholin wirkt über nikotinsche (ionotrope) Rezeptoren (nur in den Ganglien) und muskarinsche (metabotrope/G-Protein-gekoppelte) Rezeptoren an den Erfolgsorganen. Noradrenalin wirkt über alpha und β -Adreno(re)zeptoren. - Neben Azetylcholin und Noradrenalin werden auch andere Substanzen als Co-Transmitter im peripheren vegetativen Nervensystem verwendet, wie z.B. ATP, Stickoxid und Neuropeptide (z.B. VIP). Bei den Adreno(re)zeptoren unterscheidet man die Familien der alpha und beta-Adreno(re)zeptoren, die wiederum nach verschiedenen Kriterien unterteilt sind. Zusätzlich wirkt das aus dem Nebennierenmark freigesetzte Adrenalin als Stoffwechselformon.

Signalübertragung im peripheren Sympathikus und Parasympathikus

An postganglionären Neurone werden die Überträgerstoffe/Transmitter aus Varikositäten freigesetzt. Die Überträgerstoffe/Transmitter wirken primär über die Rezeptoren auf der den Varikositäten gegenüberliegenden Membran des Erfolgsorgans. Exogen applizierte Überträgerstoffe und z.T. auch Pharmaka wirken jedoch vorwiegend über „extrasynaptische“ Rezeptoren. Bei vielen Erfolgsorganen sind beide Rezeptoren entweder verschieden und/oder sie vermitteln ihre Wirkungen über verschiedene intrazelluläre Signalwege. Die Funktion der extrasynaptischen Rezeptoren zum Teil noch unklar.

Kontrolle der Signalübertragung

Die Kalzium-abhängige Freisetzung von Transmittern wird auch im vegetativen Nervensystem durch Rückwirkung der Transmitter auf die präsynaptischen Endigungen bzw. Varikositäten meist hemmend, aber z.T. auch fördernd beeinflusst. Nach Denervierung entwickeln einige Erfolgsorgane eine Oberempfindlichkeit (Supersensibilität) auf ihre Transmitter und diesen verwandten Pharmaka. Die meisten vegetativen Ganglien übertragen und verteilen die Aktivität der präganglionären Neurone. Prävertebrale Ganglien haben auch integrative Funktionen.

Organisation des vegetativen Nervensystems im Rückenmark

Zentral erzeugte Aktivitäten des Sympathikus und Parasympathikus werden über vegetativen motorischen Endstrecken auf die Organe übertragen. Die präganglionären sympathischen und parasympathischen Neurone liegen in der intermediären Zone des thorakolumbalen und sakralen Rückenmarks. Viele vegetative Neurone zeigen eine Spontanaktivität, deren Modulation die Aktivität der Organe beeinflusst. Die synaptische Verschaltung zwischen Afferenzen und vegetativen Efferenzen auf spinaler Ebene wird vegetativer Reflex(bogen) genannt. Die spinale vegetative Reflexmotorik ist in die Regulationen durch supraspinale vegetativen Zentren integriert, funktioniert jedoch auch nach chronischer Durchtrennung des Rückenmarks.

Organisation des vegetativen Nervensystems im unteren Hirnstamm

In der Medulla oblongata befinden sich Neuronenpopulationen, die für die Regulation des arteriellen Blutdrucks, Regulation des Magen-Darm-Trakts, Regulation der Atmung und für eine Koordination diese Neuronengruppen verantwortlich sind. Die wesentliche um Schaltstation von Afferenzen aus den Organsystemen ist der viszerotopisch organisierte Nucleus tractus solitarii. Aus dem Hirnstamm projizieren efferente Neurone als präganglionäre Neurone durch den N. vagus zu den inneren Organen und als sympathische Prämotoneurone zu den präganglionären Neuronen im Rückenmark. Über die Pressorezeptorreflexe wird der arterielle Blutdruck phasisch reguliert. Gastrointestinale Funktionen werden über medulläre Reflexe moduliert.

Hypothalamische Kontrolle des vegetatives Nervensystem

Der Hypothalamus ist der ventrale Teil des Zwischenhirns. Er ist sowohl afferent und als auch efferent mit fast allen Hirnteilen verbunden. Er integriert vegetative, endokrine und somatomotorische Systeme mit dem Ziel der homöostatischen Regulation sowie Verhaltensweisen, die das Überleben der Individuen und der Art gewährleisten. Der Hypothalamus ist eine wesentliche Schnittstelle zwischen neuroendokrinen Regulationen und Gehirn. Die im caudalen Hirnstamm repräsentierten homöostatischen Regulationsfunktionen sind in die hypothalamischen Regelkreise integriert. Die neuronalen Programme, welche die hypothalamischen integrativen Funktionen repräsentieren, werden aus dem Vorderhirn sowie von neuronalen Afferenzen und humoralen Signalen aus der Körperperipherie aktiviert.

Zentralnervöse Steuerung des Vegetativen Nervensystems

Die zentrale Kontrolle des z.B. des Kreislaufs wird primär über kreislaufsteuernde Neurone in der Medulla oblongata ausgeübt. Die prä-ganglionären sympathischen Neurone im Seitenhorn des Rückenmarks erhalten von sympatho-exzitatorischen Neuronen in der rostralen ventrolateralen Medulla oblongata (RVLM) einen kontinuierlichen erregenden Input. Gleichzeitig wirken die Afferenzen von den Pressorezeptoren hemmend auf die sympatho-exzitatorischen Neurone der RVLM. Dagegen aktivieren Pressorezeptorafferenzen über den Nucleus tractus solitarii die präganglionären parasympathischen Neurone im/am Nucleus ambiguus, die das Herz innervieren. Alarmzustände und Abwehrsituationen werden über den Hypothalamus und über durch den Hypothalamus ziehende Bahnen in kardiovaskuläre Reaktionen (verstärkte Muskeldurchblutung, Anstieg des Herzzeitvolumens und des Blutdrucks) umgewandelt. Durch »zentrale Mitinnervation« der kreislaufsteuernden Neurone werden von der Hirnrinde Erwartungs- und Startreaktionen initiiert, die der Umstellung des Kreislaufs auf die zu erwartende Leistung dienen.

Emotionen

Emotionen sind kurzzeitige vom Gehirn organisierte Reaktionen, die Verhaltensweisen mitbestimmen; sie bestehen aus subjektiv benennbaren Gefühlen und **vegetativen** und neuroendokrinen aber auch somatomotorischen Reaktionen. Die Emotionen Angst, Furcht (aber auch Trauer, Abscheu, Freude und Überraschung) sind durch parallel ablaufenden subjektiven Gefühle, motorischen Reaktionen und vegetativen Reaktionen charakterisiert. Die Emotionen gehen mit Verhaltensänderungen einher, z.B. bei wechselnden Umweltkonstellationen, Annäherungs- und Vermeidungsverhalten und können damit auch Entscheidungen (auch im sozialen Kontext) lenken. Emotionen (Gefühle, motorische, vegetative und neuroendokrine Reaktionen) sind in bestimmten Großhirnarealen (Cingulum anterior et posterior, Insula, präfrontalen Kortexarealen), Amygdala, Hypothalamus und Hirnstamm repräsentiert. Für jede Emotion ist diese Repräsentation spezifisch. Die zentralen Repräsentationen erhalten kontinuierliche afferente Rückmeldungen aus den Körpergeweben. Bestimmte Kerngebiete der Amygdala steuern über afferente Verbindungen

von Thalamus und Kortexarealen und efferente Verbindungen zu Hypothalamus und oberem Hirnstamm die Emotion Furcht.

Zentrale Kontrolle der Atmung

Atemrhythmus

Der nervöse Atemrhythmus besteht aus drei Phasen: Inspiration, Postinspiration, Expiration.

Während der Inspiration kommt es zu einer sich laufend verstärkenden Kontraktion des Zwerchfells.

Mit der Postinspiration (PI) beginnt die (passive) Ausatmung. Diese Phase stabilisiert den Atemrhythmus, die Inspiration wird unwiderruflich beendet. Die aktive Ausatmung während des

zweiten, daher als E2 bezeichneten Abschnitts der Expiration erfolgt durch Kontraktion expiratorischer Muskeln (z.B. Bauchmuskeln).

Aufbau des Atemzentrums

Der neuronale Atemrhythmus entsteht in einem bilateral angelegten Netzwerk respiratorischer

Neurone. Es ist in der **Formatio reticularis des medulla oblongata** lokalisiert und wird als

ventrale respiratorische Gruppe (VRG) bezeichnet. In der VRG kann man prinzipiell drei Neuronenklassen unterscheiden, die untereinander synaptisch gekoppelt sind. (1)

Inspiratorische

Neurone, die während der Einatmung aktiv sind, (2) postinspiratorische Neurone, die während der

passiven Ausatmung entladen, und (3) expiratorische Neurone, die während der aktiven Ausatmung erregt sind. Diese Neurone produzieren eine rhythmische Aktivität, die über

retikulospinale Bahnen auf respiratorische Motoneurone im Rückenmark übertragen werden (N.

Phrenicus, Thorakale Spinalnerven).

Neuronale Rhythmogenese

Der respiratorische Rhythmus stellt primär einen **oszillierenden Wechsel der Aktivitäten** von

inspiratorischen und postinspiratorischen (evtl. auch expiratorischen)

Neuronenklassen dar.

Dies funktioniert über das Prinzip der Enthemmung (**Disinhibition**), So beginnt die Inspiration,

wenn die inspiratorischen Neurone nicht mehr durch die synaptischen Zuflüsse von den postinspiratorischen (oder expiratorischen) Neuronen gehemmt werden. Fehlfunktionen dieser

Prozesse führen zu Atemrhythmusstörungen.

Reflektorische Kontrolle der Atmung

Der zentrale Atemrhythmus wird durch reflektorische Einflüsse moduliert. Von besonderer Bedeutung sind Reflexe, die die Lunge zu schützen und den Gasaustausch an die

Stoffwechselbedürfnisse des Organismus anzupassen. z. Beim **Hustenreflex** wird die Strömungsgeschwindigkeit des expiratorischen Luftstroms extrem erhöht und so die

Trachea und

der Larynx gereinigt.

Lungendehnungsreflex: Durch diesen, auch als **Hering-Breuer-Reflex** bekannten Reflex wird

die Amplitude der Atemexkursionen begrenzt (N. vagus). Beim **Deflationsreflex**

(Headreflex,

N. vagus) kommt es zu einer Aktivierung der Inspiration sowie zu einer Hemmung der Expiration.

Der **J(uxtakapillärer)-Reflex** bewirkt bei einer Erhöhung des Extrazellulärvolumens um die Lungenkapillaren (z.B. beim Lungenödem) eine Hemmung der Inspiration und begleitet von einer

Hemmung von Motoneuronen der Skelettmuskulatur. Der J-Reflex wird über nicht myelinisierte

Fasern im N. vagus vermittelt.

Chemische Kontrolle der Atmung

Informationen über Veränderungen der Blutgaskonzentrationen werden auf zwei Arten in die Medulla oblongata verarbeitet. Signale von peripheren (arteriellen) Chemorezeptoren in den Glomera carotica und aortica gelangen über die Karotissinusnerven (Äste des N. glossopharyngeus) oder die Aortennerven (Ast des N. laryngeus superior) polysynaptisch zum

Atemzentrum (Umschaltung im Nucleus tractus solitarii). Die O₂-Konzentrationsänderungen werden überwiegend durch die peripheren Chemorezeptoren erfasst. Zusätzlich existieren chemosensible Areale in der Medulla oblongata. Eine Änderung der CO₂- bzw. der H⁺-Konzentration in der extrazellulären Flüssigkeit der Medulla oblongata beeinflusst dabei die Entladungseigenschaften verschiedener Neurone in der VRG (Zentrale Chemorezeptoren).

Diese

reflektorische Ventilationsanpassung gewährleistet, dass die Atemgase im arteriellen Blut normalerweise konstant gehalten werden.

Kardio-respiratorische Koordination

Es besteht eine enge Kopplung des Atemzentrums mit dem kardiovaskulären Netzwerk der Medulla oblongata (RVLM). Diese zentralnervösen Vernetzungen des Atemzentrums mit dem vegetativen Nervensystem sichern eine adäquate Anpassung der Atmung an das physische und

psychische Verhalten