
IL SISTEMA NERVOSO

Il **sistema nervoso** è uno dei più piccoli e dei più complessi tra gli 11 sistemi dell'organismo. Le strutture che costituiscono il sistema nervoso includono l'encefalo, i nervi cranici con le loro ramificazioni, il midollo spinale, i nervi spinali con le loro ramificazioni, i gangli, i plessi enterici e i recettori sensitivi.

Organizzazione anatomica del sistema nervoso:

Anatomicamente il sistema nervoso consiste di due divisioni interconnesse: il sistema nervoso centrale e il sistema nervoso periferico.

SISTEMA NERVOSO CENTRALE: il sistema nervoso centrale (SNC) è composto dall'encefalo e dal midollo spinale. L'**encefalo** è racchiuso e protetto dal cranio, mentre il **midollo spinale** è circondato e protetto dalle ossa della colonna vertebrale nel canale vertebrale. L'encefalo e il midollo spinale sono in continuità l'uno con l'altro attraverso il forame magno dell'osso occipitale. Il SNC processa molti tipi differenti di informazioni sensitive in arrivo. È la fonte di pensieri, di emozioni e della memoria. La maggior parte degli impulsi nervosi che stimolano la contrazione dei muscoli e la secrezione delle ghiandole originano dal SNC.

SISTEMA NERVOSO PERIFERICO: il sistema nervoso periferico (SNP) è composto da tutte le strutture nervose al di fuori del SNC, come i nervi cranici con le loro ramificazioni, i nervi spinali con i loro rami, i gangli, i plessi enterici e i recettori sensitivi. Dodici paia di **nervi cranici**, numerati da I a XII, emergono dalla base del cranio. Un **nervo** è un fascio costituito da centinaia di migliaia di assoni. Ogni nervo segue un percorso definito e innerva una specifica regione del corpo. Dal midollo spinale emergono 31 paia di **nervi spinali**, ognuno dei quali innerva una regione specifica della parte destra o sinistra del corpo. I **gangli** sono piccole masse di tessuto nervoso contenenti principalmente i corpi cellulari di neuroni strettamente associati ai nervi cranici e spinali. Nelle pareti degli organi del tratto gastrointestinale sono presenti estese reti di neuroni, chiamati **plessi enterici**. I **recettori sensitivi** sono strutture che monitorano i cambiamenti dell'ambiente interno ed esterno.

Organizzazione funzionale:

Il sistema nervoso svolge un complesso insieme di compiti, raggruppati in tre funzioni fondamentali:

- **Funzione sensitiva:** i recettori sensitivi rilevano gli stimoli interni e gli stimoli esterni. Questa informazione sensitiva viene poi portata al midollo spinale e all'encefalo dai **neuroni sensitivi** o **afferenti**.
- **Funzione integrativa:** un'importante funzione integrativa è la **percezione**, ovvero la presa di coscienza degli stimoli sensitivi. La percezione avviene nell'encefalo. Molti dei neuroni che partecipano all'integrazione sono **interneuroni**, che sono i più numerosi del SNC.
- **Funzione motoria:** una volta che l'informazione sensitiva è stata elaborata, il sistema nervoso può mettere in atto una risposta motoria. I neuroni che esplicano questa funzione sono chiamati **neuroni motori** o **efferenti**. I neuroni motori portano l'informazione dall'encefalo al midollo spinale ed esternamente all'encefalo e al midollo spinale agli **effettori** attraverso i nervi cranici e spinali.

Il sistema nervoso periferico è suddiviso in tre componenti funzionali: il sistema nervoso somatico, il sistema nervoso autonomo e il sistema nervoso enterico.

SISTEMA NERVOSO SOMATICO: il sistema nervoso somatico (SNS) del SNP consiste di neuroni sensitivi, chiamati neuroni sensitivi somatici, che trasportano al SNC le informazioni raccolte dai recettori sensitivi somatici, oltre che dai recettori per i sensi speciali. Queste vie sensitive somatiche sono deputate a fornire informazioni al SNC per la loro integrazione. Il SNS consiste di molti neuroni motori, chiamati neuroni somatici motori, che conducono gli impulsi dal SNC soltanto ai muscoli scheletrici. Poiché queste risposte motorie possono essere controllate dalla volontà, le azioni del SNS sono volontarie.

SISTEMA NERVOSO AUTONOMO: il sistema nervoso autonomo (SNA) del SNP comprende componenti sensitive e motorie. I neuroni sensitivi, chiamati neuroni sensitivi autonomi, trasportano al SNC le informazioni raccolte dai recettori sensitivi autonomi, localizzati nei visceri, organi provvisti di muscolatura liscia e accolti nel torace, nell'addome e nella pelvi. I neuroni motori autonomi conducono gli impulsi nervosi dal SNC alla muscolatura liscia, alla muscolatura cardiaca e alle ghiandole e controllano la contrazione muscolare o la secrezione ghiandolare. L'azione del SNA è definita involontaria. La componente motoria del SNA è divisa in due sezioni, la **sezione simpatica** e la **sezione parasimpatica**. Gli effettori ricevono nervi da entrambi i sistemi e generalmente i due sistemi hanno azioni opposte.

SISTEMA NERVOSO ENTERICO: il sistema nervoso enterico (SNE) del SNP è definito il cervello dell'intestino ed è costituito approssimativamente da 100 milioni di neuroni che si estendono per la maggior parte della lunghezza del tratto gastrointestinale. Il SNE possiede anche molte componenti sensitive e motorie e può funzionare indipendentemente dal SNC. Il SNE è involontario.

IL MIDOLLO SPINALE E I NERVI SPINALI

ANATOMIA DEL MIDOLLO SPINALE

Strutture di protezione:

Il primo strato di protezione è costituito dalla scatola cranica per l'encefalo e dalla colonna vertebrale per il midollo spinale. Il secondo strato protettivo è rappresentato dalle meningi, tre membrane interposte tra il rivestimento osseo e il tessuto nervoso, presenti sia a livello encefalico che spinale. Lo spazio presente tra due delle meningi contiene il liquido cerebrospinale.

Colonna vertebrale:

Il midollo spinale è contenuto all'interno al canale vertebrale della colonna vertebrale.

Meningi:

Le **meningi** sono tre involucri protettivi di tessuto connettivo che rivestono il midollo spinale e l'encefalo. Procedendo dalla superficie verso la profondità sono: dura madre, aracnoide e pia madre. L'aracnoide e la pia madre insieme formano la **leptomeninge**. Tra queste due meningi troviamo lo **spazio subaracnoideo**, che contiene il liquido cerebrospinale. Le **meningi spinali** avvolgono il

midollo spinale e sono in continuità con le **meningi encefaliche**, che circondano l'encefalo. Tutte e tre le meningi spinali rivestono le radici dei nervi spinali fino al punto in cui essi emergono dalla colonna vertebrale attraverso i fori intervertebrali. Il midollo spinale viene protetto da un cuscinetto di tessuto adiposo e tessuto connettivo localizzato nello **spazio epidurale**, che si trova tra la dura madre e la parete del canale vertebrale.

1. **Dura madre:**

È la più esterna ed è formata da un robusto strato di tessuto connettivo denso con fibre ad andamento irregolare. Costituisce un sacco che si diparte dal grande forame occipitale a livello dell'osso occipitale, dove si continua con la dura madre encefalica, per giungere fino alla seconda vertebra sacrale. La dura madre è anche in continuità con l'epinevrio.

2. **Aracnoide:**

È un involucro avascolare e ha un'organizzazione a tela di ragno, formata da delicate fibre collagene e da fibre elastiche. È in profondità rispetto alla dura madre e si continua con l'aracnoide encefalica in corrispondenza del grande forame occipitale. Tra la dura madre e l'aracnoide si trova lo **spazio subdurale**.

3. **Pia madre:**

Costituisce la meninge più interna ed è formata da uno strato sottile e trasparente di tessuto connettivo che aderisce alla superficie del midollo spinale e dell'encefalo. È costituita da cellule pavimentose o cubiche comprese in un reticolo formato da fibre collagene e da alcune piccole fibre elastiche. Nel suo spessore sono contenuti numerosi vasi sanguigni che portano ossigeno e sostanze nutritive alle cellule del midollo spinale. Dalla pia madre si dipartono delle espansioni triangolari di natura membranosa che sospendono il midollo spinale al centro della guaina durale. Tali estensione, dette legamenti denticolari, sono inspessimenti della pia madre e contribuiscono a offrire protezione laterale e si fondono con l'aracnoide e lo strato più interno della dura madre in corrispondenza dello spazio compreso tra le radici anteriori e posteriori dei nervi spinali su entrambi i lati.

Conformazione esterna del midollo spinale:

Il **midollo spinale** si presenta leggermente schiacciato in senso antero-posteriore. Nell'adulto si estende dal midollo allungato, la parte più caudale dell'encefalo, fino al margine superiore della seconda vertebra lombare. Nel neonato arriva fino alla terza o quarta vertebra lombare. L'allungamento del midollo spinale cessa intorno ai 4-5 anni, mentre la crescita della colonna vertebrale continua, perciò nell'adulto il midollo spinale non si estende per l'intera lunghezza della colonna vertebrale. La lunghezza nell'adulto varia tra 42 e 45 cm e il suo diametro trasverso medio è di 1,2 cm.

Dall'esterno, si possono notare due voluminose entumescenze. Quella superiore, detta **rigonfiamento cervicale**, si estende dalla quarta vertebra cervicale (C4) alla prima vertebra toracica (T1), mentre quella inferiore, detta **rigonfiamento lombare**, si estende dalla nona alla dodicesima vertebra toracica (T9-T12).

Al di sotto del rigonfiamento lombare il midollo spinale si assottiglia, terminando nel **cono midollare**. Dall'apice del cono midollare origina il **filum terminale**, un prolungamento della pia madre che si estende inferiormente fondendosi con l'aracnoide e la dura madre per ancorare il midollo spinale al coccige.

Poiché il midollo spinale è più corto della colonna vertebrale, i nervi che emergono dalla regione lombare, sacrale e coccigea del midollo spinale non abbandonano la colonna vertebrale allo stesso livello della loro emergenza dal midollo. Le radici di questi nervi spinali si piegano verso il basso all'interno del canale vertebrale decorrendo parallelamente al filum terminale e proseguono oltre

l'estremità inferiore del midollo spinale, andando a costituire nel loro insieme la cosiddetta **cauda equina**.

Conformazione interna del midollo spinale:

La conformazione interna è caratterizzata da un'area centrale grigia, a forma di H o di farfalla, circondata da regioni di sostanza bianca. La sostanza bianca del midollo spinale presenta due docce che la suddividono in una metà destra e in una metà sinistra. La **fessura mediana anteriore** è un'ampia scanalatura posta sul lato anteriore, mentre il **solco mediano posteriore** è un solco profondo situato sul versante posteriore. La sostanza grigia del midollo spinale è formata da corpi cellulari dei neuroni, cellule della nevroglia, assoni amielinici e dendriti degli interneuroni e dei motoneuroni. La sostanza bianca è costituita da fasci di assoni mielinici di neuroni sensitivi, interneuroni e motoneuroni. Il segmento orizzontale dell'H prende il nome di **commessura grigia** e presenta al centro il **canale centrale**, che si estende per tutta la lunghezza del midollo spinale e contiene il liquido cerebrospinale. Alla sua estremità superiore il canale centrale è in continuità con il quarto ventricolo. Al davanti della commessura grigia si trova la **commessura bianca anteriore**, che mette in comunicazione la sostanza bianca di una metà del midollo spinale con quella della metà controlaterale.

Nella sostanza grigia del midollo e dell'encefalo i corpi cellulari dei neuroni formano raggruppamenti funzionali detti **nuclei**. I nuclei sensitivi ricevono afferenze dai recettori periferici attraverso neuroni sensitivi, mentre i nuclei motori danno origine a efferenze dirette agli organi effettori attraverso motoneuroni. La sostanza grigia di ciascun lato del midollo spinale è divisa in **corna**. Il **corno anteriore** contiene i nuclei motori somatici, che sono raggruppamenti di corpi cellulari di neuroni somatomotori responsabili dell'invio di impulsi nervosi per la contrazione dei muscoli scheletrici. Il **corno posteriore** contiene i corpi cellulari e gli assoni amielinici degli interneuroni. Tra il corno posteriore e quello anteriore di ciascun lato c'è il **corno laterale**, che si estende limitatamente ai segmenti toracici, ai primi segmenti lombari e ai segmenti sacrali del midollo spinale. Il corno laterale contiene nuclei visceroeffettori formati da raggruppamenti di corpi cellulari di neuroni visceroeffettori, che regolano l'attività della muscolatura cardiaca, della muscolatura liscia e delle ghiandole.

La sostanza bianca è organizzata in regioni. La sostanza bianca di ciascun lato viene divisa dalle corna della sostanza grigia in **cordone anteriore**, **cordone laterale** e **cordone posteriore**. Ciascun cordone contiene raggruppamenti distinti di assoni che condividono la stessa origine o la stessa destinazione e che trasportano il medesimo tipo di informazione. Questi raggruppamenti sono i **fasci**. I **fasci sensitivi** sono costituiti da assoni che trasportano gli impulsi nervosi dal midollo spinale verso l'encefalo, mentre i **fasci motori** sono costituiti da assoni che trasportano gli impulsi dall'encefalo verso il midollo spinale.

Nei tratti superiori del midollo spinale è presente un maggior numero di fasci ascendenti e discendenti, perciò la quantità di sostanza bianca aumenta spostandosi dal tratto sacrale verso quello cervicale. La quantità di sostanza grigia è maggiore nei tratti cervicale e lombare del midollo spinale, poiché questi due tratti sono responsabili dell'innervazione sensitiva e motoria degli arti.

NERVI SPINALI

I **nervi spinali** originano dal midollo spinale e sono fasci di assoni mielinici ad andamento parallelo e cellule neurogliali associate. I nervi spinali collegano il SNC ai recettori sensoriali periferici, ai muscoli e alle ghiandole di tutto il corpo. Ci sono 31 paia di nervi spinali, che emergono a intervalli regolari dal midollo spinale a livello dei fori intervertebrali. I nervi spinali vengono denominati e numerati in base alla regione della colonna vertebrale dalla quale emergono. Ci sono 8 paia di nervi

cervicali, 12 paia di nervi toracici, 5 paia di nervi lombari, 5 paia di nervi sacrali e 1 paio di nervi coccigei. Il primo paio di nervi cervicali emerge tra l'atlante e l'osso occipitale.

Il midollo spinale termina a livello del margine superiore della seconda vertebra lombare e le radici dei nervi lombari, sacrali e coccigeo si piegano verso il basso all'interno del canale vertebrale decorrendo parallelamente al filum terminale per raggiungere il rispettivo foro intervertebrale prima di fuoriuscire dalla colonna vertebrale. Questa tipo di disposizione da origine alla cauda equina.

Struttura di un nervo spinale:

I nervi spinali originano dal midollo spinale. I neuroni sono le cellule del sistema nervoso in grado di condurre l'impulso nervoso. I nervi sono fasci di assoni mielinici e cellule neurogliali ad essi associate, avvolti da guaine di tessuto connettivo.

I nervi presentano una struttura molto simile ai muscoli. All'interno di un nervo vi sono numerosi assoni neuronali insieme con il loro neurolemma e le guaine mieliniche. L'assone e le sue cellule gliali associate formano la **fibra nervosa**. Ogni singola fibra nervosa è avvolta da un involucro di tessuto connettivo lasso chiamato endonevrio. L'**endonevrio** consiste di una trama di fibre collagene, fibroblasti e macrofagi circondati da un liquido endoneurale, che ha funzioni nutritive nei confronti dei neuroni e partecipa a stabilire il microambiente necessario alla funzione di propagazione dell'impulso come potenziale d'azione.

Gruppo di assoni si organizzano in **fascicoli**, ciascuno dei quali è avvolto da **perinevrio**, che è una guaina connettivale, costituita da 15-20 strati alterni di fibroblasti appiattiti e di fibre collagene e all'interno di ogni strato le cellule sono collegate tra loro da giunzioni serrate. Questo importante involucro funziona come una barriera selettiva di diffusione e insieme con le giunzioni serrate presenti tra le cellule endoteliali dei capillari svolge un ruolo essenziale nel mantenere l'ambiente osmotico e la pressione idrostatica all'interno dell'endonevrio.

La struttura del nervo è completata da una guaina connettivale più esterna, detta **epinevrio**, che raggruppa insieme tutti i singoli fascicoli per formare il nervo. L'epinevrio si continua poi con la dura madre spinale con la quale si fonde. È costituito da fibroblasti e robusti tralci connettivali. L'epinevrio costituisce circa il 50% dell'area di una sezione trasversale di nervo spinale e conferisce al nervo la resistenza tensile necessaria per sostenere sollecitazione. L'epinevrio contiene anche piccoli vasi sanguiferi e vasi linfatici destinati ai nervi.

Organizzazione dei nervi spinali:

Ciascun nervo deriva dalla fusione di due fasci di assoni, chiamati **radici**, tramite le quali il nervo è collegato a un determinato segmento del midollo spinale. Le due radici sono la radice anteriore e la radice posteriore, le quali a loro volta derivano dalla confluenza di radicole anteriori e posteriori. Le radicole anteriori contengono gli assoni dei neuroni multipolari e conducono gli impulsi dal SNC agli organi effettori. Le radicole posteriori contengono i prolungamenti centrali dei neuroni sensitivi, che trasportano verso il SNC gli impulsi provenienti dai recettori sensoriali localizzati a livello di cute, muscoli e visceri.

Ciascuna serie di radicole anteriori converge nel formare la più apia **radice anteriore**, mentre ciascuna serie di radicole posteriori confluisce nel formare una più spessa **radice posteriore**. Ciascuna radice posteriore presenta un rigonfiamento detto **ganglio spinale**. Quando una radice posteriore sensitiva e una radice anteriore motoria si proiettano lateralmente al midollo spinale si uniscono a formare il **nervo spinale** a livello del foro intervertebrale. Un nervo spinale viene classificato come un nervo misto (contiene sia assoni sensitivi che motori). Una volta usciti dal canale

vertebrale, i nervi spinali decorrono per un breve tratto prima di dividersi in due rami più grossi e in una serie di rami minori.

Rami dei nervi spinali:

I due rami più voluminosi in cui si biforca il nervo spinale appena uscito dal canale vertebrale, il ramo anteriore e il ramo posteriore, sono rami che decorrono nella parete muscoloscheletrica del corpo. Il **ramo posteriore** si distribuisce alla muscolatura profonda e alla cute della regione posteriore del tronco. Il **ramo anteriore** innerva la muscolatura e la cute degli arti superiore e inferiore, nonché la muscolatura e la cute delle regioni laterale e anteriore del tronco. Dal nervo spinale originano rami collaterali viscerali, rappresentati dai rami meningei e dai cosiddetti rami comunicanti. Il **ramo meningeo** rientra nel canale vertebrale attraverso il foro intervertebrale e fornisce l'innervazione alle vertebre, ai legamenti vertebrali, al tessuto epidurale, ai vasi sanguigni e alle meningi del midollo spinale.

Plessi:

Gli assoni provenienti dai rami anteriori dei nervi spinali tanto sul lato sinistro quanto sul lato destro della colonna vertebrale formano delle reti anastomotiche, intrecciandosi con gli assoni di altri rami anteriori appartenenti a nervi adiacenti. Queste reti sono i **plessi** e i principali sono il **plesso cervicale**, il **plesso brachiale**, il **plesso lombare** e il **plesso sacrale**, ai quali si aggiunge il piccolo **plesso coccigeo**. Dai plessi emergono nervi che prendono il loro nome dalle regioni che andranno a innervare o dal loro percorso.

- **Plesso cervicale:** è formato dai rami anteriori dei primi quattro nervi cervicali (C1-C4). È presente un plesso cervicale su ciascun lato del collo. Esso innerva la cute e i muscoli della testa, del collo e della parete superiore della spalla e del torace. Il nervo frenico origina dal plesso cervicale e fornisce l'innervazione motoria al diaframma.
- **Plesso brachiale:** è formato dai rami anteriori dei nervi spinali C5-C8 e T1. Le **radici** di questo plesso sono costituite dai rami anteriori dei nervi spinali. Nella regione inferiore del collo le radici di alcuni nervi spinali si uniscono a formare tre **tronchi** (superiore, medio e inferiore). Posteriormente alla clavicola, i tronchi si dividono ciascuno in due **rami di divisione** (anteriore e posteriore). A livello del cavo ascellare i rami si riuniscono a formare tre **corde** (laterale, mediale e posteriore, in riferimento alla loro posizione rispetto all'arteria ascellare). I **nervi** principali del plesso brachiali si diramano dalle corde. Questo plesso fornisce l'innervazione sensitiva e motoria di gran parte della spalla e di tutto l'arto superiore e da esso originano 5 importanti nervi: il **nervo ascellare**, il **nervo muscolocutaneo**, il **nervo radiale**, il **nervo mediano** e il **nervo ulnare**.
- **Plesso lombare:** è formato dai rami anteriori dei nervi spinali L1-L4 e in questo plesso c'è un minore scambio di fibre. Si trova al davanti dei processi trasversi delle prime quattro vertebre lombari ed è accolto nello spessore del muscolo grande psoas. I rami periferici del plesso emergono in parte dalla faccia anteriore e in parte dalla faccia laterale del muscolo grande psoas. Il plesso lombare innerva la parete addominale antero-laterale, i genitali esterni e parte dell'arto inferiore.
- **Plesso sacrale:** è formato dai rami anteriori dei nervi spinali L4-L5 e S1-S4. Fornisce l'innervazione per la natica, il perineo e l'arto inferiore. Dal plesso sacrale origina il nervo ischiatico, il più voluminoso del corpo.
- **Plesso coccigeo:** è formato dai rami anteriori dei nervi spinali S4-S5 e dei nervi coccigei.

Nervi intercostali:

I rami anteriori dei nervi spinali da T2 a T12 non partecipano alla formazione dei plessi e prendono il nome di **nervi intercostali** o **toracici** e vengono definiti come nervi segmentali. I rami posteriori dei nervi intercostali innervano la muscolatura profonda del dorso e la cute della parete posteriore del tronco.

Dermatomeri e regioni di distribuzione cutanea:

La cute che riveste l'intero corpo è innervata da neuroni sensitivi somatici. Allo stesso modo neuroni motori somatici innervano la corrispondente muscolatura che si estende al di sotto della cute. L'area della cute che fornisce afferenze sensitive al SNC attraverso un paio di nervi spinali o attraverso il nervo trigemino (V) è definita **dermatomero**. Le **regioni di distribuzione cutanea** sono per definizione regioni della cute innervate da uno specifico nervo facente capo a un plesso nervoso.

FISIOLOGIA DEL MIDOLLO SPINALE

Il midollo spinale partecipa al mantenimento dell'omeostasi in due modi: attraverso la propagazione dell'impulso nervoso e attraverso l'integrazione delle diverse informazioni. Le afferenze sensitive viaggiano lungo i fasci di sostanza bianca dai recettori periferici verso l'encefalo, mentre le efferenze motorie viaggiano dall'encefalo verso i muscoli scheletrici e gli altri organi effettori. La sostanza grigia del midollo spinale riceve e integra le informazioni in entrata e quelle in uscita.

Fasci sensitivi e fasci motori:

La principale attività del midollo spinale che contribuisce al mantenimento dell'omeostasi è la conduzione dell'impulso attraverso i fasci nervosi.

Gli impulsi nervosi si propagano dai recettori sensoriali risalendo il midollo spinale fino all'encefalo, utilizzando due vie sensitive principali su ciascun lato: i fasci spinotalamici e i fasci del cordone posteriore. I **fasci spinotalamici laterale e anteriore** trasportano gli impulsi nervosi relativi alla sensibilità dolorifica, termica, pressoria e tattile grossolana. I **fasci del cordone posteriore** destro e sinistro trasportano gli impulsi nervosi relativi a diversi tipi di sensibilità. Tra i vari tipi vi sono: propriocettività, sensibilità tattile epicritica, sensibilità epicritica puntiforme, sensibilità pressoria e sensibilità vibratoria.

I sistemi sensoriali informano costantemente il SNC circa i cambiamenti dell'ambiente esterno e interno all'organismo. Le risposte a queste informazioni sono realizzate attraverso le attività effettrici dei sistemi somatomotori e visceromotori e sono quelle che consentono all'individuo di cambiare continuamente la relazione fisica con il mondo che lo circonda. Quando l'informazione sensitiva è veicolata al SNC, diviene parte di un ampio insieme di afferenze sensitive.

Grazie all'attività degli interneuroni, le informazioni sensitive vengono elaborate a livello di numerose regioni del midollo spinale e dell'encefalo. Le risposte derivanti dai processi integrativi sono realizzate attraverso le attività effettrici. Un importante ruolo nell'integrare e coordinare la regolazione delle attività automatiche involontarie della muscolatura liscia, del muscolo cardiaco e delle ghiandole è svolto dal SNA a livello del tronco cerebrale e dell'ipotalamo.

La corteccia cerebrale svolge un ruolo fondamentale nel regolare la motilità volontaria più fine della muscolatura scheletrica. Le efferenze motorie dirette ai muscoli scheletrici viaggiano discendendo lungo il midollo spinale attraverso due tipi di vie discendenti: dirette e indirette. Le **vie dirette** includono il **fascio corticospinale laterale**, il **fascio corticospinale anteriore** e il **fascio**

corticobulbare. Ciascuno di questi fasci trasporta gli impulsi nervosi destinati a indurre movimenti precisi e volontari della muscolatura. Le **vie indirette** includono il **fascio rubrospinale**, il **fascio tettospinale**, il **fascio vestibolospinale**, il **fascio reticolospinale laterale** e il **fascio reticolospinale mediale**. Questi fasci trasportano dal tronco encefalico e da altre porzioni dell'encefalo gli impulsi nervosi che determinano movimenti automatici e partecipano alla coordinazione tra movimenti del corpo e stimoli visivi. Le vie indirette regolano il tono muscolare, la postura, l'equilibrio e l'orientamento della testa e del corpo nello spazio.

Riflessi e archi riflessi:

Il midollo spinale promuove l'omeostasi anche tramite il suo funzionamento come centro di integrazione di alcuni riflessi. Un **riflesso** è una sequenza di azioni veloce, automatica e non pianificata, che si verifica in risposta a un particolare stimolo. Quando l'integrazione si verifica a livello della sostanza grigia del midollo spinale, si parla di **riflesso spinale**. Se l'integrazione si verifica a livello del tronco encefalico, si parla di **riflesso cranico**. Gli individui sono più coscienti dei **riflessi somatici**, che sono quei riflessi che coinvolgono la contrazione dei muscoli scheletrici. Sono egualmente importanti anche i **riflessi autonomi**, che in genere non vengono percepiti in modo cosciente e che implicano la risposta di muscolatura liscia, muscolatura cardiaca e ghiandole.

Gli impulsi nervosi che entrano nel SNC, che lo attraversano o che ne fuoriescono, seguono delle vie specifiche. Il percorso seguito dagli impulsi nervosi responsabili di un riflesso prende il nome di **arco riflesso**. Ricorrendo al riflesso patellare come esempio, le componenti funzionali di un arco riflesso possono essere schematizzate così:

1. **Recettore sensoriale:** il recettore risponde a uno specifico tipo di stimolo, generando un gradiente di potenziale di membrana che si trasdurrà in uno o più impulsi nervosi del neurone sensitivo.
2. **Neurone sensitivo:** gli impulsi nervosi si propagano dal recettore sensoriale lungo l'assone del neurone sensitivo fino ai terminali assonici di quest'ultimo. Da qui i neuroni inviano impulsi alle aree dell'encefalo che permettono la presa di coscienza del riflesso.
3. **Centro di integrazione:** è costituito da una o più regioni di sostanza grigia situate nel SNC. Una via riflessa che possiede una sola sinapsi a livello del SNC prende il nome di arco riflesso monosinaptico. Più spesso il centro di integrazione è formato da uno o più interneuroni, che possono trasferire gli impulsi ad altri interneuroni o a un neurone motore: si parla in questo caso di arco riflesso polisynaptico.
4. **Neurone motore:** gli impulsi generati a livello del centro di integrazione si propagano lungo un neurone motore, uscendo dal midollo spinale e dirigendosi verso la regione del corpo che fornirà la risposta allo stimolo.
5. **Effettore:** la regione del corpo che risponde all'impulso nervoso motorio prende il nome di effettore. Il riflesso patellare è un riflesso somatico perché l'effettore di tale riflesso è un muscolo scheletrico. Quando l'effettore è costituito da muscolatura liscia, dal muscolo cardiaco o da una ghiandola, si parla di riflesso autonomo.

L'ENCEFALO E I NERVI CRANICI

SVILUPPO E ORGANIZZAZIONE DELL'ENCEFALO

Sviluppo dell'encefalo:

L'encefalo e il midollo spinale originano dal **tubo neurale**, di derivazione ectodermica. Verso la fine della quarta settimana, in corrispondenza dell'estremità cefalica del tubo neurale si formano tre distinte dilatazioni, le **vescicole encefaliche primarie**: il proencefalo, il mesencefalo e il romboencefalo. Durante la quinta settimana sia il proencefalo che il romboencefalo si dividono ulteriormente formando le **vescicole encefaliche secondarie**: il proencefalo si divide in telencefalo e diencefalo e il romboencefalo in metencefalo e mielencefalo.

Dal **telencefalo** originano il cervello e i ventricoli laterali, mentre dal **diencefalo** si formano il talamo, l'ipotalamo, l'epitalamo e il terzo ventricolo. Il **metencefalo** da origine al ponte, al cervelletto e alla parte superiore del quarto ventricolo, mentre il **mielencefalo** forma il midollo allungato e la parte inferiore del quarto ventricolo. Il **mesencefalo** diventa il mesencefalo nell'adulto, non dividendosi.

Le pareti delle vescicole encefaliche danno origine a tutti i neuroni e alle cellule della nevroglia del sistema nervoso centrale, mentre le loro cavità si trasformano nei ventricoli dell'encefalo.

Parti principali dell'encefalo:

L'encefalo adulto è formato da 4 parti:

- Il **tronco encefalico**, che fa seguito al midollo spinale ed è costituito dal midollo allungato, dal ponte e dal mesencefalo;
- Il **cervelletto** situato posteriormente rispetto al midollo allungato e al ponte;
- Il **diencefalo**, localizzato sopra il tronco encefalico, è formato da talamo, ipotalamo ed epitalamo;
- Il **cervello**, che è la porzione più voluminosa dell'encefalo.

PROTEZIONE E VASCOLARIZZAZIONE

Strutture di protezione:

Il cranio e le meningi encefaliche circondano e proteggono l'encefalo. Le meningi encefaliche sono in continuità con quelle spinali e sono la **dura madre**, l'**aracnoide** e la **pia madre**. La dura madre encefalica, a differenza di quella spinale, è formata da uno strato periostale esterno e da uno strato meningeo interno. I due strati sono intimamente fusi tra loro tranne che nelle sedi in cui si distanziano per delimitare i seni venosi durali. Questi seni drenano il sangue venoso dell'encefalo e lo riversano nelle vene giugulari interne. Lo spazio epidurale è uno spazio potenziale, si forma uno spazio reale solo in condizioni patologiche. I vasi sanguigni destinati all'encefalo inizialmente decorrono sulla sua superficie e penetrano nel tessuto nervoso accompagnati da una sottile guaina derivante dalla invaginazione della pia madre, che aderisce in modo lasso alle pareti dei vasi, lasciando uno spazio perivascolare. Lo strato meningeo interno della dura madre emette dei sepimenti che separano tra loro alcune parti dell'encefalo e forniscono sostegno ad altre. I principali sepimenti sono: la **falce cerebrale**, la **falce cerebellare** e il **tentorio del cervelletto**.

Liquido cerebrospinale:

Il **liquido cerebrospinale (LCS)** è limpido e incolore, costituito in prevalenza da acqua, che protegge l'encefalo e il midollo spinale da danni chimici e fisici; esso trasporta ossigeno, glucosio e altre sostanze chimiche utili dal sangue alle cellule nervose e alla nevroglia. Il LCS circola all'interno del sistema ventricolare e dello spazio subaracnoideo che circonda l'encefalo e il midollo spinale. Il LCS contiene proteine, acido lattico, urea, cationi, anioni e alcuni leucociti.

Produzione del LCS nei ventricoli:

Il sistema ventricolare dell'encefalo è formato da 4 **ventricoli**, connessi tra di loro e in comunicazione con gli spazi subaracnoidei. I **ventricoli laterali** sono le cavità più ampie del sistema ventricolare e sono contenute negli emisferi cerebrali. Anteriormente sono separati dal **setto pellucido**. Il **terzo ventricolo** è una stretta cavità situata lungo la linea mediana dell'encefalo e costituisce la cavità propria del diencefalo. Il **quarto ventricolo** è compreso tra il midollo allungato e il ponte anteriormente e il cervelletto posteriormente.

Il LCS viene prodotto dai **pleSSI corioidei**, reti di capillari sanguigni fenestrati che fanno sporgenza all'interno dei ventricoli. I capillari dei plessi corioidei sono rivestiti da un singolo strato di cellule ependimali modificate, unite tra loro da giunzioni occludenti. Tutte queste giunzioni occludenti formano la **barriera ematoliquorale**, che permette ad alcune sostanze di entrare nel LCS e impedisce l'ingresso di altre, proteggendo l'encefalo e il midollo spinale da sostanze potenzialmente pericolose trasportate nel sangue.

Funzioni del LCS:

Il LCS contribuisce all'omeostasi fisica e biologica in tre modi:

1. **Protezione meccanica:** il LCS assorbe e attenua gli urti e le trazioni derivanti dai normali movimenti della testa o da traumi;
2. **Protezione chimica:** il LCS fornisce e mantiene un ambiente chimico ottimale per l'efficiente trasmissione degli impulsi nervosi;
3. **Funzione trofica ed escretoria:** il LCS permette lo scambio di nutrienti e fattori di crescita tra il sangue e il tessuto nervoso e la rimozione di prodotti derivanti dal catabolismo neuronale. Lo spazio subaracnoideo, in cui circola il liquor, si continua con gli spazi perivascolari.

Circolazione del LCS:

Il LCS viene secreto dai plessi corioidei dei quattro ventricoli e in particolare dei due ventricoli laterali. Abbandona i ventricoli laterali per mezzo dei **fori interventricolari (di Monro)** ed entra nel terzo ventricolo, da cui, mediante l'**acquedotto cerebrale (di Silvio)**, il LCS si porta nel quarto ventricolo. Una minima quantità di LCS passa dal quarto ventricolo nel canale centrale del midollo spinale, ma la maggior parte del liquido defluisce nello spazio subaracnoideo attraverso tre piccole aperture situate nella volta del quarto ventricolo: il **foro mediano (di Magendie)** e i **due fori laterali (di Luschka)**.

Il LCS viene gradualmente riassorbito nel sistema venoso attraverso i **villi aracnoidei**, che si proiettano nel lume dei seni venosi durali, in particolare nel **seno sagittale superiore**. I seni venosi durali sono spazi rivestiti da endotelio situati tra gli strati periostale e meningeo della dura madre.

Flusso ematico e barriera ematoencefalica:

L'encefalo è vascolarizzato in prevalenza dalle arterie carotidi interne e dalle arterie vertebrali; il sangue refluo dall'encefalo e dalle meningi viene raccolto dai seni venosi durali e confluisce nelle vene giugulari interne.

I neuroni sintetizzano ATP a partire dal glucosio, attraverso reazioni che richiedono ossigeno. Quando l'attività dei neuroni e della nevroglia in una qualche regione dell'encefalo aumenta, il flusso sanguigno diretto verso quella zona aumenta a sua volta. Dal momento che l'encefalo non possiede riserve di glucosio, l'apporto di questo zucchero attraverso il sangue deve essere continuo.

La **barriera ematoencefalica (BEE)** risulta costituita dalle giunzioni occludenti, che connettono le cellule endoteliali dei capillari cerebrali, e da una spessa membrana basale, sulla quale poggiano le cellule endoteliali. Poche sostanze idrosolubili, come il glucosio, attraversano la BEE mediante trasporto attivo; altre sostanze, come la creatinina, l'urea e gran parte degli ioni, attraversano la BEE molto lentamente; altre sostanze ancora, come le proteine plasmatiche e la maggior parte degli antibiotici, non passano affatto dal sangue al tessuto nervoso cerebrale. Le sostanze liposolubili attraversano invece liberamente la barriera ematoencefalica.

TRONCO ENCEFALICO E FORMAZIONE RETICOLARE

Il tronco encefalico è la parte dell'encefalo compresa tra il midollo spinale e il diencefalo; consta di tre porzioni: il midollo allungato, il ponte e il mesencefalo. La formazione reticolare si estende per tutta la lunghezza del tronco encefalico.

Midollo allungato:

Il **midollo allungato** o **bulbo** è la parte più caudale del tronco encefalico e si continua con l'estremità superiore del midollo spinale. Il bulbo ha una lunghezza di circa 3 cm e si estende dal grande foro occipitale fino al margine inferiore del ponte; da origine a coppie di nervi rappresentati dai nervi cranici. Sei delle 12 paia di nervi cranici emergono da questa porzione del tronco encefalico.

La sostanza bianca del bulbo contiene tutti i fasci sensitivi e motori che si estendono tra il midollo spinale e le altre porzioni dell'encefalo. Sulla faccia anteriore la sostanza bianca forma due **piramidi**, costituite dai voluminosi fasci corticospinali. Al confine tra bulbo e midollo spinale, il 90% delle fibre costituenti ciascun fascio corticospinale si incrocia sulla linea mediana formando la **decussazione delle piramidi**.

Il bulbo contiene numerosi **nuclei**, tra cui il centro cardiovascolare e l'area bulbare della ritmicità. Il **centro cardiovascolare** regola la frequenza e la forza di contrazione cardiaca, nonché il calibro dei vasi sanguigni, mentre l'**area bulbare della ritmicità** nel centro respiratorio genera il ritmo basale della respirazione.

Lateralmente a ciascuna piramide è presente un rilievo detto **oliva bulbare** e all'interno di ognuna è contenuto il **nucleo olivare inferiore**, che provvede a trasmettere al cervelletto gli impulsi provenienti dai propriocettori.

Nella parte posteriore del midollo allungato sono localizzati il **nucleo del fascicolo gracile** e il **nucleo del fascicolo cuneato**. In corrispondenza di questi nuclei terminano il fascicolo gracile e il fascicolo cuneato. Dai nuclei dei fascicoli gracile e cuneato origina un voluminoso fascio appiattito chiamato **lemnisco mediale**, che piega verso l'alto e ascende lungo il bulbo, il ponte e il mesencefalo per portarsi al talamo.

Il bulbo contiene i nuclei associati ai seguenti cinque nervi cranici:

- **Nervo vestibolococleare (VIII);**
- **Nervo glossofaringeo (IX);**
- **Nervo vago (X);**
- **Nervo accessorio craniale (XI);**
- **Nervo ipoglosso (XII).**

Ponte:

Il **ponte** si trova subito al di sopra del bulbo ed è lungo circa 2.5 cm. Anche il ponte è costituito da nuclei e da fasci di fibre. Il ponte funge da collegamento e connette tra loro parti diverse dell'encefalo mediante fasci di fibre.

Nel ponte si possono distinguere una parte ventrale e una parte dorsale. La parte ventrale del ponte, detta piede, contiene i **nuclei basilari**, che ricevono fibre dalla corteccia di un emisfero cerebrale e inviano fibre alla corteccia dell'emisfero cerebellare controlaterale. Questo complesso circuito gioca un ruolo fondamentale nella coordinazione e nella stabilizzazione dei movimenti volontari. La regione dorsale del ponte, il tegmento, contiene fasci ascendenti e discendenti e nuclei associati ai nervi cranici.

Il ponte contiene l'**area pneumotassica** e l'**area apneustica**, che insieme all'area bulbare della ritmicità partecipano al controllo della respirazione.

Il ponte contiene i nuclei associati ai seguenti quattro nervi cranici:

- **Nervo trigemino (V);**
- **Nervo abducente (VI);**
- **Nervo faciale (VII);**
- **Nervo vestibolococleare (VIII).**

Mesencefalo:

Il **mesencefalo** è la parte più craniale del tronco encefalico. È lungo 2.5 cm, si estende dal ponte al diencefalo ed è percorso dall'acquedotto cerebrale, che mette in comunicazione il terzo ventricolo con il quarto. Contiene sia nuclei di sostanza grigia sia fasci di sostanza bianca.

La parte anteriore del mesencefalo è formata dai **peduncoli cerebrali**, due formazioni cilindriche che si dirigono verso l'alto e in fuori fino a penetrare nel corrispondente emisfero cerebrale. Questi peduncoli contengono fasci di fibre a decorso discendente, che trasportano gli impulsi dalle aree motorie della corteccia cerebrale rispettivamente al midollo spinale, al bulbo e al ponte, e fasci a decorso ascendente, che dal bulbo risalgono verso il talamo.

La parte posteriore è chiamata **tetto** e contiene quattro rilievi semisferici. I due rilievi superiori sono detti **collicoli superiori** e funzionano da centri riflessi per alcune attività dell'occhio.

I collicoli superiori controllano inoltre il riflesso di accomodazione, che modifica la curvatura del cristallino per la messa a fuoco di oggetti posti a distanze differenti, e i movimenti riflessi degli occhi, della testa e del collo in risposta a stimoli visivi. I due rilievi inferiori sono chiamati **collicoli inferiori** e sono intercalati lungo la via acustica, infatti trasmettono gli impulsi provenienti dai recettori dell'udito nel talamo. Questi due nuclei sono responsabili del riflesso di trasalimento o allarme.

Ciascun peduncolo cerebrale è percorso trasversalmente dalla **sostanza nera**. Neuroni dopaminergici della sostanza nera proiettano ai nuclei della base e partecipano al controllo delle attività muscolari incoscienti. Il mesencefalo contiene il **nucleo rosso**, un voluminoso nucleo pari che deve il suo colore rossiccio alla ricca vascolarizzazione e alla presenza di un pigmento ferrico nei corpi cellulari dei suoi neuroni. Il nucleo rosso riceve afferenze dal cervelletto e dalla corteccia cerebrale e insieme al cervelletto partecipa alla coordinazione dei movimenti volontari.

Nella sostanza grigia periacqueduttale che circonda l'acquedotto cerebrale è presente il **nucleo mesencefalico del nervo trigemino**, che non rappresenta una stazione sinaptica intercalata tra neuroni. Questo nucleo risulta costituito da pironofori di neuroni sensitivi che trasportano gli impulsi propriocettivi provenienti dai muscoli masticatori. Con la sola eccezione di questi neuroni, tutti gli altri neuroni sensitivi sono localizzati all'interno di gangli encefalici o spinali situati al di fuori del sistema nervoso centrale. I neuroni sensitivi del nucleo mesencefalico trasmettono i segnali propriocettivi ai vari nuclei motori del tronco encefalico, permettendo il controllo motorio dei muscoli masticatori.

Il mesencefalo contiene i nuclei associati a due nervi cranici:

- **Nervo oculomotore (III);**
- **Nervo trocleare (IV).**

Formazione reticolare:

Una parte cospicua del tronco encefalico consiste di piccoli nuclei di sostanza grigia inframezzati da fascetti di fibre mieliniche. Questa estesa regione viene definita **formazione reticolare** e si estende dalla porzione cervicale del midollo spinale, attraverso tutto il tronco encefalico, fino alla porzione inferiore del diencefalo. Dalla formazione reticolare originano sia fibre ascendenti con funzione sensitiva sia fibre discendenti coinvolte nel controllo motorio.

Il **sistema reticolare ascendente attivante (SRAA)** è una parte della formazione reticolare formata da fibre ascendenti che si proiettano diffusamente alla corteccia cerebrale attraverso il talamo. Il SRAA può essere attivato da una molteplicità di stimoli sensitivi. Al SRAA si riconosce un ruolo importante nel mantenimento dello **stato di coscienza**. Il SRAA è inoltre responsabile della reazione di **risveglio** dal sonno e contribuisce al mantenimento dell'**attenzione** e della **vigilanza** attraverso la continua stimolazione della corteccia cerebrale. Il SRAA protegge le strutture cerebrali dal **sovraccarico di stimolazione** filtrando selettivamente gli impulsi sensitivi in entrata e inibendo la trasmissione delle informazioni irrilevanti alla corteccia cerebrale. L'inibizione del SRAA induce il **sonno**. D'altra parte, una lesione a carico del SRAA provoca il coma. Dalla formazione reticolare originano anche fibre discendenti, destinate al cervelletto e al midollo spinale, che provvedono alla regolazione del **tono muscolare**. Altre fibre discendenti partecipano alla regolazione della frequenza cardiaca, della pressione arteriosa e della frequenza respiratoria. Il SRAA riceve stimoli dalla retina, dall'orecchio e da altre modalità sensoriali, tuttavia non riceve afferenze olfattive.

CERVELLETTO

Il **cervelletto** è la seconda struttura più voluminosa dell'encefalo dopo il cervello ed è accolto nella fossa cranica posteriore della base cranica. Il cervelletto contiene più della metà del numero totale di neuroni presenti nell'encefalo. Il cervelletto è situato posteriormente al midollo allungato e al ponte, e inferiormente ai lobi occipitali dei due emisferi cerebrali. La **fessura trasversa** è una profonda fessura interposta tra cervello e cervelletto, all'interno della quale si insinua il **tentorio**

del cervelletto, che offre sostegno ai lobi occipitali degli emisferi cerebrali e li separa dal sottostante cervello.

Nel cervelletto si possono distinguere una parte centrale e allungata, detta **verme**, e due parti laterali molto più sviluppate, chiamate **emisferi cerebellari**. La superficie del cervelletto è percorsa trasversalmente da una serie di scissure più o meno profonde che suddividono il cervelletto in una serie di lobi e lobuli. Nel piano orizzontale è possibile distinguere tre lobi: il **lobo anteriore** e il **lobo posteriore**, che controllano gli aspetti incoscienti dei movimenti dei muscoli scheletrici, e il **lobo flocculonodulare**, che interviene nel controllo dell'equilibrio.

Il cervelletto è costituito da uno strato superficiale di sostanza grigia, la **corteccia cerebellare**, che è suddivisa in lamine o **folia**, ciascuna delle quali è provvista di un asse centrale di sostanza bianca. La sostanza bianca cerebellare è chiamata **arbor vitae**. Nella profondità della sostanza bianca cerebellare sono accolti i **nuclei cerebellari**, masse di sostanza grigia da cui originano i sistemi efferenti del cervelletto.

Tre paia di **peduncoli cerebellari** collegano il cervelletto alle tre parti del tronco encefalico. I **peduncoli cerebellari inferiori** contengono le fibre vestibolocerebellari, che trasportano al cervelletto gli impulsi sensitivi provenienti dall'apparato vestibolare dell'orecchio interno, il fascicolo spinocerebellare, che trasporta al cervelletto gli impulsi della sensibilità propriocettiva incosciente dal tronco e dagli arti. I **peduncoli cerebellari medi** sono i più voluminosi e contengono un ampio contingente di assoni che dai nuclei basilari del ponte trasportano al cervelletto impulsi relativi ai movimenti volontari. I **peduncoli cerebellari superiori** contengono assoni che si proiettano dal cervelletto al nucleo rosso del mesencefalo e a svariati altri nuclei del talamo.

La principale funzione del cervelletto è quella di comparare l'intenzione con il movimento in via di attuazione. La presenza di connessioni reciproche tra il cervelletto e le aree associative della corteccia cerebrale suggerisce che il cervelletto possa essere coinvolto anche in funzioni non motorie, come ad esempio nei processi cognitivi e nella produzione del linguaggio.

DIENCEFALO

Il **diencefalo** è situato superiormente al mesencefalo e la sola parte di esso che risulta visibile è la superficie ventrale. Contiene numerosi nuclei che rappresentano stazioni intercalate lungo le vie sensitive ascendenti e motorie discendenti. Si estende dal tronco encefalico al cervello e circonda la cavità del terzo ventricolo. Comprende il talamo, l'ipotalamo e l'epitalamo. All'ipotalamo è connessa l'ipofisi o ghiandola pituitaria. I tratti ottici mettono capo al diencefalo.

Talamo:

Il talamo è una formazione pari e simmetrica, lunga circa 3 cm, che rappresenta l'80% della massa diencefalica. Ciascun talamo è costituito da una massa ovale di sostanza grigia, organizzata in nuclei inframezzati da fasci di sostanza bianca. Nel 70% degli encefali umani la **massa intermedia** o **adesione intertalamica** collega tra loro le due formazioni talamiche. Il talamo è la principale stazione di ritrasmissione (relais) per gli impulsi sensitivi che dal midollo spinale, dal tronco encefalico e dal mesencefalo si portano alle aree sensitive primarie della corteccia cerebrale. A livello del talamo avviene una prima percezione grossolana e approssimativa degli stimoli dolorifici, termici e pressori.

Il talamo interviene nel controllo dell'attività motoria, trasmettendo le informazioni che riceve dal cervelletto e dai nuclei della base all'area motoria primaria della corteccia cerebrale; provvede a ritrasmettere gli impulsi nervosi tra aree differenti del cervello e gioca un ruolo nella regolazione delle

attività viscerali e nel mantenimento dello stato di coscienza. Le fibre che collegano il talamo alla corteccia cerebrale passano attraverso la **capsula interna**.

La **lamina midollare interna** suddivide la massa di sostanza grigia di ciascuna formazione talamica in masserelle minori o nuclei.

In base alla loro posizione e alle loro funzioni, in ciascun talamo si possono individuare sette principali gruppi di nuclei:

1. **Nuclei anteriori**: modulano le risposte emozionali e intervengono nel mantenimento dello stato di veglia e nei processi della memoria.
2. **Nuclei mediali**: modulano le risposte emozionali e viscerali, contribuiscono al mantenimento dello stato di coscienza, intervengono nei processi cognitivi, nell'apprendimento e nella memoria.
3. **Nuclei laterali**: il **nucleo laterale dorsale (LD)** controlla l'espressione delle emozioni; il **nucleo laterale posteriore (LP)** e il **pulvinar** partecipano all'integrazione delle informazioni sensitive.
4. **Nuclei ventrali**: questo gruppo comprende cinque nuclei. Il **nucleo ventrale anteriore (VA)** interviene nel controllo motorio e in particolare nella pianificazione del movimento. I neuroni del **nucleo ventrale laterale (VL)** si attivano durante i movimenti della metà controlaterale del corpo. Il **nucleo ventrale posteriore (VP)** ritrasmette gli impulsi della sensibilità somatica. Il **nucleo genicolato laterale (GL)** ritrasmette gli impulsi visivi. Il **nucleo genicolato mediale (GM)** ritrasmette gli impulsi uditivi.
5. **Nuclei intralaminari**: sono coinvolti nella percezione degli stimoli dolorifici e nell'integrazione delle informazioni sensitive e motorie, promuovono lo stato di veglia e il risveglio dal sonno.
6. **Nuclei della linea mediana**: la loro attività è legata alla memoria e alle percezioni olfattive.
7. **Nucleo reticolare**: provvede a integrare e filtrare le informazioni scambiate tra i nuclei talamici e tra questi e la corteccia cerebrale.

Ipotalamo:

L'ipotalamo è una piccola parte del diencefalo, situata inferiormente al talamo. È costituito da circa 12 nuclei raggruppati in 4 regioni principali; procedendo dalla porzione caudale a quella rostrale sono:

1. La **regione posteriore** o **mammillare**, che comprende i corpi mammillari e i nuclei ipotalamici posteriori. I **corpi mammillari** sono due piccoli rilievi emisferici che agiscono come stazioni di ritrasmissione per i riflessi legati al senso dell'olfatto.
2. La **regione intermedia** o **tuberale** rappresenta la porzione più ampia dell'ipotalamo e comprende il nucleo dorsomediale, il nucleo ventromediale e il nucleo arcuato; a questi si aggiunge l'**infundibolo**, al quale è congiunta l'ipofisi. L'infundibolo è circondato dall'**eminenza mediana**.
3. La **regione anteriore** o **sopraottica** è situata al di sopra del chiasma ottico e comprende il nucleo paraventricolare, il nucleo sopraottico, il nucleo ipotalamico anteriore e il nucleo soprachiasmatico. Le fibre che originano dai nuclei sopraottico e paraventricolare formano il fascio ipotalamoipofisario.
4. La **regione preottica** è localizzata anteriormente alla regione sopraottica e viene solitamente considerata come appartenente all'ipotalamo. Contiene il nucleo preottico laterale e il nucleo preottico mediale.

L'ipotalamo controlla molte attività dell'organismo ed è uno dei principali regolatori dell'omeostasi. Esso riceve impulsi sensitivi somatici e viscerali, come anche stimoli provenienti dai recettori visivi,

gustativi e olfattivi. L'ipotalamo è dotato di svariate importanti connessioni con l'ipofisi e produce diversi ormoni.

Tra le funzioni più importanti:

- **Controllo del SNA:** l'ipotalamo controlla e integra le attività del SNA, che a sua volta regola la contrazione della muscolatura liscia e di quella cardiaca e l'attività secretoria di numerose ghiandole. Attraverso la sua influenza sul SNA, l'ipotalamo rappresenta il principale sistema di regolazione delle attività viscerali.
- **Produzione di ormoni:** l'ipotalamo produce svariati ormoni e regola l'attività secretoria dell'ipofisi. L'ipotalamo libera una serie di ormoni di rilascio e di inibizione nelle reti capillari poste a livello dell'eminenza mediana. Il flusso sanguigno trasporta questi ormoni direttamente al lobo anteriore dell'ipofisi, dove essi stimolano o inibiscono la secrezione degli ormoni da parte dell'ipofisi anteriore. I corpi cellulari dei neuroni contenuti in questi nuclei ipotalamici elaborano due ormoni, l'ossitocina e l'ormone antidiuretico.
- **Regolazione degli schemi emozionali e comportamentali:** l'ipotalamo è implicato nell'espressione delle emozioni quali rabbia, aggressività, dolore e piacere. Regola inoltre le reazioni comportamentali legate all'eccitazione sessuale.
- **Regolazione della fame e della sete:** l'ipotalamo regola l'assunzione di cibo attraverso i nuclei arcuato e paraventricolare. In esso è presente anche un centro della sete.
- **Controllo della temperatura corporea:** l'ipotalamo funge da termostato per il corpo.
- **Regolazione dei ritmi circadiani e dello stato di coscienza:** il nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo costituisce l'orologio biologico interno all'organismo, in quanto stabilisce i ritmi circadiani.

Epitalamo:

L'**epitalamo** è costituito dalla ghiandola pineale e dai nuclei dell'abenula. La **ghiandola pineale** protrude dalla linea mediana posteriore del terzo ventricolo. È considerata una parte del sistema endocrino, in quanto è responsabile della secrezione dell'ormone **melatonina**, che contribuisce a regolare l'orologio biologico dell'organismo e i ritmi sonno-veglia. I **nuclei dell'abenula** ricevono afferenze olfattive e mediano le risposte emozionali agli odori.

Organi circumventricolari:

Alcune parti del diencefalo, note come **organi circumventricolari (OCV)** perché situate nella parete del terzo ventricolo, possono costantemente monitorare le modificazioni chimiche del sangue dal momento che risultano prive di barriera ematoencefalica. Gli OCV coordinano le attività omeostatiche del sistema endocrino e del sistema nervoso e sono coinvolte nella regolazione della pressione arteriosa, del bilancio idrico, della fame e della sete.

CERVELLO

Struttura del cervello:

Il cervello, la più ampia porzione dell'encefalo, risulta costituito dai due emisferi cerebrali, destro e sinistro, e dai nuclei della base. I due **emisferi cerebrali** sono separati da una profonda fessura sagittale, chiamata fessura longitudinale, entro cui si insinua la falce cerebrale. Gli emisferi cerebrali sono costituiti da un mantello esterno di sostanza grigia e da una voluminosa massa interna di sostanza bianca. Lo strato esterno di sostanza grigia è la **corteccia cerebrale**, al di sotto della quale si trova la sostanza bianca cerebrale.

La corteccia cerebrale si avvolge e si ripiega su se stessa; le pieghe sono definite **giri** o **circonvoluzioni** e sono separate tra loro da solchi di diversa profondità. Le solcature più profonde vengono chiamate **solchi interlobari** (o **scissure**), quelle meno profonde **solchi intralobari**. I solchi interlobari assolvono alla funzione anatomica di suddividere gli emisferi cerebrali in lobi, i solchi intralobari separano le diverse circonvoluzioni all'interno di ciascun lobo. La **fessura longitudinale** separa i due emisferi cerebrali; nella profondità di questa fessura si trova il **corpo calloso**, una spessa lamina di sostanza bianca che unisce i due emisferi cerebrali, costituita da fibre che si portano da un emisfero all'altro.

Ogni emisfero cerebrale risulta suddiviso in 4 lobi: lobo frontale, lobo parietale, lobo temporale e lobo occipitale. Il **solco centrale** separa il **lobo frontale** dal **lobo parietale**. Subito davanti al solco centrale si trova il **giro precentrale** che accoglie l'area motoria primaria; immediatamente dietro al solco centrale vi è il **giro postcentrale**, sede dell'area somatosensitiva primaria. Il **solco laterale** separa i **lobi frontali** e **parietali** dal sottostante **lobo temporale**. Il **solco parietooccipitale** separa il **lobo parietale** dal **lobo occipitale**. Nella profondità del solco laterale si trova l'**insula** o **lobo dell'insula**.

Sostanza bianca cerebrale:

La sostanza bianca cerebrale è costituita in prevalenza da fibre mieliniche organizzate in tre tipi di fasci:

- **Fasci di associazione;**
- **Fasci commessurali:** vi sono tre importanti gruppi di fasci commessurali: il **corpo calloso**, la **commessura anteriore** e la **commessura posteriore;**
- **Fasci di proiezione:** sono costituiti da fibre che collegano la corteccia cerebrale con i nuclei della base, il talamo, il tronco encefalico e il midollo spinale. Un esempio è la **capsula interna**, una spessa banda di sostanza bianca che contiene sia fibre ascendenti che fibre discendenti.

Nuclei della base:

Nella profondità di ciascuno dei due emisferi cerebrali sono situati tre nuclei, che nel loro insieme sono definiti **nuclei della base**.

Due dei nuclei della base sono disposti l'uno accanto all'altro: il **globus pallidus**, che si trova in prossimità del talamo, e il **putamen**, che si trova più vicina alla corteccia cerebrale. Nel loro complesso costituiscono il **nucleo lenticolare**. Il terzo nucleo della base è il **nucleo caudato**. Insieme, il nucleo caudato e il nucleo lenticolare costituiscono il **corpo striato**. Per gli stretti rapporti funzionali che contraggono con i nuclei della base, vengono inclusi in questo gruppo anche il nucleo subtalamico e la sostanza nera.

Il **claustrum** è una sottile lamina di sostanza grigia, interposta tra il putamen, posto medialmente, e la corteccia del lobo dell'insula, situata lateralmente.

I nuclei della base ricevono afferenze dalla corteccia cerebrale e inviano efferenze alle aree motorie attraverso i nuclei mediali e i nuclei ventrali anteriore e laterale del talamo. Una delle funzioni principali dei nuclei della base è quella di coadiuvare l'avvio e la conclusione dei movimenti. I nuclei della base controllano i movimenti automatici e semiautomatici associati a movimenti volontari e i movimenti connessi alla mimica e all'espressione.

I nuclei della base, oltre al controllo motorio, espletano altre funzioni: sono coinvolti in una varietà di processi cognitivi, quali l'attenzione, la memoria, la pianificazione e possono agire di concerto con il sistema limbico per regolare i comportamenti emotivi.

Sistema limbico:

Il sistema limbico è un insieme di strutture che forma un anello disposto lungo il margine mediale del cervello e il pavimento del diencefalo. Le principali componenti del sistema limbico sono:

- Il **lobo limbico**, costituito dal **giro del cingolo** e dal **giro paraippocampico**. Il giro paraippocampico si continua con l'**ippocampo**, un voluminoso rilievo che protrude nel pavimento del ventricolo laterale.
- Il **giro dentato** occupa lo spazio tra l'ippocampo e il giro paraippocampico.
- L'**amigdala**.
- I **nuclei del setto** sono situati all'interno dell'area del setto, una porzione di corteccia cerebrale che si trova al di sotto del corpo calloso e del giro paraterminale o subcalloso.
- I **corpi mammillari dell'ipotalamo** sono situati fra i due peduncoli cerebrali.
- Il **nucleo anteriore** e il **nucleo mediale**.
- I **bulbi olfattivi**.
- Il **fornice**, la **stria terminale**, la **stria midollare**, il **fascio mediale del proencefalo** e il **fascio mammillotalamico**.

Il sistema limbico è chiamato "cervello emotivo", poiché gioca un ruolo fondamentale nel controllo e nella modulazione delle reazioni emotive e comportamentali. È coinvolto anche nella percezione degli odori e nei processi di memorizzazione. Il sistema limbico è coinvolto nei processi di memorizzazione. In particolare l'ippocampo sarebbe implicato nel consolidamento e nella conservazione di memorie recenti.

ORGANIZZAZIONE FUNZIONALE DELLA CORTECCIA CEREBRALE

Tipi specifici di segnali sensitivi, motori e integrativi vengono elaborati in specifiche regione della corteccia cerebrale. Le **aree sensitive** ricevono gli impulsi sensitivi e permettono il riconoscimento cosciente e la localizzazione degli stimoli; le **aree motorie** sono coinvolte nella programmazione e nell'esecuzione dei movimenti volontari; le **aree associative** sono deputate alle funzioni integrative più complesse ed elevate.

Aree sensitive:

Gli impulsi sensitivi giungono principalmente nella metà posteriore di ciascuno dei due emisferi cerebrali. Nella corteccia cerebrale, le aree sensitive primarie ricevono le informazioni sensitive che sono state trasportate attraverso le regioni encefaliche sottostanti a partire dai recettori sensoriali periferici.

Le aree sensitive secondarie e le aree sensitive di associazione sono spesso adiacenti alle aree sensitive primarie e ricevono informazioni sia da queste ultime che da altre regioni dell'encefalo; esse integrano informazioni da più di una modalità sensoriale al fine di permettere la corretta interpretazione e percezione degli stimoli pervenuti.

Alcune importanti aree sensitive:

- **Area somatosensitiva primaria:** riceve gli impulsi della sensibilità tattile discriminata, tattile grossolana, propriocettiva, dolorifica e termica. L'area somatosensitiva primaria permette di definire con estrema precisione la localizzazione delle sensazioni somatiche.
- **Area visiva primaria:** riceve le informazioni visive provenienti dalla retina ed è coinvolta nella percezione visiva.
- **Area acustica (o uditiva) primaria:** riceve le informazioni acustiche provenienti dall'organo spirale di Corti ed è coinvolta nella percezione uditiva.

- **Area gustativa primaria:** riceve gli impulsi gustativi provenienti dai calici gustativi ed è coinvolta nella percezione e nella discriminazione dei sapori.
- **Area olfattiva primaria:** riceve gli impulsi olfattivi ed è coinvolta nella percezione olfattiva.

Aree motorie:

Gli impulsi motori in uscita dalla corteccia cerebrale derivano prevalentemente dalla parte anteriore di ciascun emisfero cerebrale.

- **Area motoria primaria:** controlla la contrazione volontaria di specifici muscoli o gruppi muscolari.
- **Area del linguaggio di Broca:** è coinvolta nell'articolazione del linguaggio. L'articolazione e la comprensione del linguaggio sono attività complesse che coinvolgono numerose aree corticali con diversa specializzazione funzionale, sensitiva, motoria e di associazione. Nel 97% della popolazione le aree del linguaggio risiedono nell'emisfero cerebrale sinistro. Nella maggior parte degli individui la pianificazione e l'elaborazione degli schemi motori per la produzione del linguaggio hanno luogo nel lobo frontale sinistro. L'area di Broca invia impulsi alle regioni dell'area premotoria che controllano i muscoli laringei, faringei e buccali. L'area di Broca attiva l'area motoria primaria, che genera gli impulsi motori per la contrazione dei muscoli coinvolti nella vocalizzazione e controlla anche i muscoli respiratori. Le contrazioni coordinate di tutti questi muscoli permettono l'articolazione del linguaggio e l'espressione verbale del pensiero.

Aree associative:

Le aree associative sono ampiamente connesse tra loro mediante fasci di associazione.

- **Area somatosensitiva associativa:** permette di determinare la forma e la consistenza di un oggetto tenuto in mano senza il supporto visivo, l'orientamento di un oggetto rispetto a un altro e di percepire la posizione delle diverse parti del corpo. In quest'area vengono anche immagazzinati i ricordi delle sensazioni pregresse.
- **Corteccia prefrontale o area associativa anteriore:** la corteccia prefrontale influenza la personalità e il comportamento dell'individuo e controlla le facoltà mentali superiori.
- **Area visiva associativa:** mette in relazione esperienze visive presenti e passate ed è essenziale per riconoscere e giudicare ciò che si è visto.
- **Area acustica associativa:** permette di riconoscere un particolare suono.
- **Area del linguaggio di Wernicke:** permette di comprendere il significato del linguaggio attraverso il riconoscimento delle parole ascoltate ed è attiva durante il processo di traduzione delle parole in pensieri.
- **Area integrativa comune o area associativa posteriore:** mette in relazione le informazioni che provengono da diverse modalità sensoriali e le integra con gli impulsi provenienti dalle altre regioni dell'encefalo, permettendo così la formazione di pensieri sulla base dei diversi stimoli sensoriali ricevuti.
- **Area premotoria o area motoria secondaria:** presiede alle attività motorie complesse e sequenziali che sono già state apprese.
- **Area del campo oculare frontale:** controlla i movimenti volontari di scansione degli occhi.

Lateralizzazione emisferica:

Tra i due emisferi esistono delle differenze di tipo fisiologico: ciascuno di essi è specializzato nello svolgimento di determinate funzioni esclusive. Questa asimmetria di tipo funzionale prende il nome di **lateralizzazione emisferica**.

Nella maggior parte degli individui l'emisfero sinistro è coinvolto in maggior misura in ciò che riguarda il ragionamento, le abilità numeriche e scientifiche, il linguaggio scritto e parlato, la capacità di utilizzare e comprendere il linguaggio dei segni. L'emisfero destro controlla le capacità muscolari e artistiche, la percezione di spazi e modelli, il riconoscimento dei volti e del contenuto emozionale del linguaggio ed è coinvolto nella discriminazione degli odori e nella creazione di immagini mentali.

Memoria:

La **memoria** è il processo attraverso il quale le informazioni acquisite attraverso l'apprendimento vengono conservate e possono essere successivamente recuperate e rievocate. Affinché un dato evento venga acquisito nella memoria, esso deve indurre delle modificazioni strutturali e funzionali permanenti nelle sinapsi dei circuiti coinvolti. Diverse regioni del cervello sono coinvolte nei processi di memorizzazione: le aree associative dei lobi frontale, parietale, occipitale e temporale e alcune strutture appartenenti al sistema limbico, in particolare l'ippocampo. Le memorie relative a sequenze motorie complesse vengono immagazzinate nei nuclei della base e nel cervelletto.

Onde cerebrali:

In ogni singolo istante i neuroni encefalici generano milioni di potenziali d'azione, che nel loro insieme vengono definiti **onde cerebrali**.

NERVI CRANICI

Le 12 paia di **nervi cranici** sono così denominate perché emergono dall'encefalo all'interno della cavità cranica e fuoriescono da essa attraverso fori scavati nelle ossa craniche. Essi fanno parte del sistema nervoso periferico.

Tre nervi cranici (I, II e VIII) contengono assoni di neuroni sensitivi e sono quindi **nervi sensitivi**. I pirenofori della maggior parte dei neuroni sensitivi sono localizzati in gangli posti al di fuori dell'encefalo.

Cinque nervi cranici (III, IV, VI, XI e XII) quando lasciano il tronco encefalico contengono solo assoni di neuroni motori e sono quindi **nervi motori**. I corpi cellulari dei neuroni motori si trovano all'interno di nuclei encefalici e gli assoni motori che innervano i muscoli scheletrici si possono suddividere in assoni motori brachiali e assoni motori somatici. Gli assoni motori che innervano la muscolatura liscia, la muscolatura cardiaca e le ghiandole sono definiti assoni visceroeffettori e sono parte della divisione parasimpatica del SNA.

I rimanenti quattro nervi (V, VII, IX e X) sono detti **nervi misti**.

- **Nervo olfattivo (I):** è un nervo esclusivamente sensitivo e contiene fibre che trasportano gli impulsi nervosi per l'olfatto.
- **Nervo ottico (II):** è un nervo esclusivamente sensitivo e contiene fibre che trasportano gli impulsi nervosi per la vista. Gli assoni di tutte le cellule gangliari situate nella retina si uniscono a formare il nervo ottico, che entra nella cavità cranica attraverso il foro ottico. Dopo circa 10 mm il nervo ottico di un lato si unisce con il controlaterale per formare il **chiasma ottico**, che

costituisce la sede del parziale incrocio tra le fibre nervose costituenti i nervi ottici. Posteriormente al chiasma gli assoni si riuniscono a formare i **tratti ottici**.

- **Nervi oculomotore (III), trocleare (IV) e abducente (VI)**: sono i nervi cranici che controllano i muscoli estrinseci dell'occhio e sono tutti nervi motori. Il **nervo oculomotore** origina da un complesso di nuclei motori situati nella sostanza grigia periacqueduttale del mesencefalo. Il nervo si divide in un ramo superiore e in un ramo inferiore, che penetrano nell'orbita attraverso la fessura orbitaria superiore. Il ramo superiore innerva il muscolo retto superiore e il muscolo elevatore della palpebra superiore, mentre il ramo inferiore si distribuisce ai muscoli retto mediale, retto inferiore e obliquo inferiore. Il ramo inferiore fornisce anche l'innervazione parasimpatica ai muscoli intrinseci dell'occhio. Gli impulsi parasimpatici si propagano dal nucleo accessorio dell'oculomotore al **ganglio ciliare**, da cui originano fibre parasimpatiche postgangliari che si distribuiscono al muscolo ciliare e al muscolo sfintere della pupilla. Il **nervo trocleare** è il più piccolo dei nervi cranici ed è l'unico che emerge dalla faccia posteriore del tronco cerebrale. Il **nervo abducente** induce l'abduzione del globo oculare.
- **Nervo trigemino (V)**: è un nervo misto ed è il più voluminoso fra i nervi cranici. Emerge dalla superficie ventrolaterale del ponte con due radici, una sensitiva e una motrice. La radice sensitiva presenta il **ganglio trigeminale**. Il nervo trigemino è formato da tre rami periferici: il nervo oftalmico, il nervo mascellare e il nervo mandibolare.
- **Nervo faciale (VII)**: è un nervo misto. I prolungamenti periferici dei neuroni sensitivi originano dalle papille gustative dei due terzi anteriori della lingua, attraversano il meato acustico interno ed entrano nella piramide dell'osso temporale dove giungono al **ganglio genicolato**. Gli assoni di tali neuroni fuoriescono dal canale faciale attraverso il foro stilomastoideo e si portano al ponte per terminare nel nucleo del tratto solitario. La porzione sensitiva del nervo faciale contiene fibre sensitive che raccolgono sensibilità tattile, dolorifica e termica della cute del meato acustico esterno. Gli assoni dei neuroni motori brachiale originano dal nucleo motorie del faciale, situato nel ponte, fuoriescono dalla cavità cranica attraverso il foro stilomastoideo e si distribuiscono ai muscoli dell'orecchio medio, della faccia, dello scalpo e del collo. Tra tutti i nervi del corpo, il faciale è quello che innerva più muscoli. Gli assoni dei neuroni visceroeffettori appartenenti al nervo faciale terminano nel **ganglio pterigopalatino** e nel **ganglio sottomandibolare**.
- **Nervo vestibolococleare (VIII)**: è un nervo esclusivamente sensitivo. È costituito dal **ramo vestibolare**, che trasporta gli stimoli relativi all'equilibrio statico e dinamico, e dal **ramo cocleare**, che trasporta gli stimoli acustici. Nel caso del ramo vestibolare, i prolungamenti periferici dei neuroni sensitivi originano dai canali semicircolari, dal sacculo e dall'utricolo a livello dell'orecchio interno per dirigersi al **ganglio vestibolare**. Nel caso del ramo cocleare, i prolungamenti periferici dei neuroni sensitivi originano dall'organo di Corti nella coclea dell'orecchio interno per dirigersi al **ganglio spinale (di Corti)**.
- **Nervo glossofaringeo (IX)**: è un nervo misto. I prolungamenti periferici dei neuroni sensitivi del nervo originano dalle papille gustative, dai propriocettori contenuti nei muscoli coinvolti nella deglutizione e innervati dalla componente motoria del glossofaringeo, dai barocettori del seno carotideo, dai chemiocettori dei corpi carotidei e dai recettori somatici che raccolgono la sensibilità tattile, dolorifica e termica della mucosa dell'orofaringe e della cute dell'orecchio esterno. I corpi cellulari di questi neuroni sensitivi sono situati nel **ganglio superiore** e nel **ganglio inferiore**. Gli assoni dei neuroni visceroeffettori si portano al **ganglio otico**.
- **Nervo vago (X)**: è un nervo misto. Si distribuisce dalla testa e dal collo a svariati organi delle cavità toracica e addominale. Le fibre sensitive somatiche raccolgono la sensibilità tattile, dolorifica e termica della cute dell'orecchio esterno; altre fibre sensitive raccolgono la sensibilità gustativa. La maggior parte delle fibre sensitive origina da recettori viscerali situati nei visceri della cavità toracica e addominale. I corpi cellulari dei neuroni sensitivi sono situati nel **ganglio inferiore del vago**, per quanto riguarda la componente viscerale, e nel **ganglio superiore del vago**, per quanto riguarda la componente somatica. Gli assoni che originano da questi due gangli attraversano il foro giugulare e terminano nel bulbo e nel ponte. Gli assoni dei neuroni

motori branchiali originano nel bulbo a livello del nucleo ambiguo e innervano i muscoli della faringe, laringe e palato molle. Gli assoni dei neuroni visceroeffettori originano dal bulbo a livello del nucleo motore dorsale del vago e si portano ai gangli parasimpatici situati in prossimità o nello spessore degli organi innervati. Le fibre visceroeffettrici portano gli impulsi motori alla muscolatura liscia del tratto gastrointestinale e aumentano l'attività secretoria delle ghiandole gastrointestinali; inducono inoltre costrizione delle vie respiratorie e riduzione della frequenza cardiaca.

- **Nervo accessorio (XI):** è un nervo motore branchiale. Le fibre motrici originano nel corno anteriore della sostanza grigia dei primi cinque segmenti cervicali del midollo spinale.
- **Nervo ipoglosso (XII):** è un nervo esclusivamente motore. Le fibre motrici somatiche originano nel midollo allungato dal nucleo dell'ipoglosso, emergono dalla parte ventrale del midollo allungato e abbandonano il cranio attraverso il canale dell'ipoglosso per innervare i muscoli della lingua.

IL SISTEMA NERVOSO AUTONOMO

CONFRONTO TRA IL SISTEMA NERVOSO SOMATICO E IL SISTEMA NERVOSO AUTONOMO

Sistema nervoso somatico:

Il sistema nervoso somatico comprende sia neuroni sensitivi sia neuroni motori. I neuroni sensitivi trasportano gli impulsi dai recettori della sensibilità somatica e dai recettori degli organi di senso specifico. I neuroni motori somatici innervano i muscoli scheletrici e inducono sia i movimenti riflessi che quelli volontari. Quando un motoneurone somatico stimola un muscolo, questo si contrae; l'effetto è sempre eccitatorio.

Sistema nervoso autonomo:

I centri di integrazione del SNC che controllano lo stato dell'ambiente interno ricevono impulsi afferenti dai **neuroni sensitivi autonomi (viscerali)**, la maggior parte dei quali è collegata con gli **enterocettori**, recettori sensitivi localizzati nei vasi sanguigni, nei visceri e nei muscoli. Il SNA riceve afferenze sensitive anche dai recettori della sensibilità somatica e specifica; il dolore somatico può modificare drasticamente alcune funzioni viscerali controllate dal SNA.

I **neuroni motori viscerali** regolano le funzioni viscerali eccitando o inibendo le attività in atto nei loro organi effettori, che sono rappresentati dal muscolo cardiaco, dal muscolo liscio e dalle ghiandole. Diversamente dai muscoli scheletrici, i tessuti innervati dal SNA continuano per certi versi a funzionare anche se la loro innervazione risulta danneggiata.

La maggior parte delle risposte autonome non può essere modificata costantemente in gran misura. Gli impulsi veicolati dai recettori della sensibilità somatica e del senso specifico, attraverso il sistema limbico, influenzano le risposte dei neuroni motori viscerali.

Confronto tra i neuroni motori somatici e autonomi:

La maggior parte delle vie efferenti (motorie) del SNA sono formate da due neuroni motori posti in serie. Il primo neurone (**neurone pregangliare**) ha il suo pirenoforo nel SNC; il suo assone mielinico conduce impulsi dal SNC a un **ganglio autonomo**. Il pirenoforo del secondo neurone (**neurone postgangliare**) è localizzato nel ganglio autonomo e il suo assone amielinico conduce impulsi dal ganglio agli organi effettori. In alcuni circuiti autonomi il primo motoneurone si pone in contatto sinaptico anziché con un ganglio, con cellule specializzate della regione midollare delle ghiandole surrenali, denominate cellule cromaffini.

Il compartimento efferenti del SNA comprende due suddivisioni: la **divisione simpatica** e la **divisione parasimpatica**. La maggior parte degli organi effettori riceve una **doppia innervazione**, ossia da entrambe le divisioni. Solitamente le due divisioni esercitano effetti antagonisti: una di esse stimola l'attività degli effettori, l'altra la riduce. La divisione simpatica è anche conosciuta come sistema "lotta e fuggi", perché aumenta lo stato di allerta, stimola il metabolismo tissutale e prepara l'individuo a fronteggiare eventuali situazioni di emergenza.

La divisione parasimpatica è indicata come sistema "riposa e digerisci", perché la sua attività favorisce la conservazione delle energie corporee e i processi anabolici durante i periodi di riposo o nel corso della digestione degli alimenti. La maggior parte delle efferenze parasimpatiche sono dirette al tessuto muscolare liscio e al tessuto ghiandolare nei tratti gastrointestinale e respiratorio.

ANATOMIA DELLE VIE MOTORIE AUTONOME

Comprendere le vie autonome:

Lo sviluppo del sistema nervoso inizia nella terza settimana di gestazione a partire da un inspessimento dell'ectoderma detto **placca neurale**. Durante il processo di neurulazione la placca si invagina lungo il suo asse centrale, formando un solco longitudinale, detto **doccia neurale**. I bordi della placca neurale si sollevano per formare le **pieghe neurali**; con l'avanzare dello sviluppo esse continuano a sollevarsi, si avvicinano l'un l'altra lungo la linea mediana e si fondono per formare il **tubo neurale**, che darà origine al SNC. Durante il processo di chiusura del tubo neurale, alcune cellule dell'neuroectoderma non vengono incluse nel tubo neurale, ma rimangono tra questo e l'ectoderma di rivestimento a costruire la **cresta neurale**.

Migrazione delle cellule della cresta neurale:

Le cellule costituenti la cresta neurale sono elementi pluripotenti, capaci cioè di differenziazione multidirezionale: nervosa, gliale o neuroendocrina.

La conoscenza dello sviluppo embrionale ci permette di comprendere le ragioni per cui il sistema nervoso autonomo è organizzato nelle divisioni simpatica e parasimpatica. Queste due divisioni si sviluppano per controllare rispettivamente il tessuto muscolare liscio del tratto gastrointestinale e quello del sistema cardiovascolare. La divisione simpatica ha una distribuzione più ampia rispetto a quella parasimpatica, perché controlla i vasi sanguigni presenti in tutto il corpo, mentre la distribuzione parasimpatica è limitata al tratto gastrointestinale e alle strutture che da esso derivano. L'assenza di efferenze autonome dalle regioni cervicali, lombari inferiori e sacrali superiori è legata al massimo sviluppo, in queste regioni, delle efferenze somatiche destinate alla muscolatura scheletrica degli abbozzi degli arti. Mano a mano che gli arti si sviluppano, i neuroni motori somatici si impongono e finiscono con il prevalere sui neuroni motori viscerali.

Componenti anatomici comuni alle divisioni simpatica e parasimpatica:

Neuroni motori e gangli autonomi:

Le vie efferenti autonome sono costituite da due neuroni motori disposti in serie. Il pironoforo del neurone pregangliare è localizzato nell'encefalo o nel midollo spinale e il suo assone abbandona il SNC attraverso un nervo encefalico o spinale. Il neurite di un neurone pregangliare è una fibra mielinica di tipo B, di piccolo diametro che si porta a un ganglio autonomo. I gangli autonomi si possono suddividere in tre gruppi generali, due dei quali sono pertinenti alla divisione simpatica (**gangli simpatici**) e il terzo alla divisione parasimpatica (**ganglio parasimpatico**). Il neurone pregangliare prende contatto sinaptico con il neurone postgangliare all'interno del ganglio autonomo. Il neurone postgangliare è localizzato internamente al di fuori del SNC; il suo pironoforo e i dendriti si trovano all'interno di un ganglio autonomo. Il neurite di un neurone postgangliare è una fibra amielinica di tipo C, che si porta a un effettore viscerale. Le fibre postgangliari autonome non terminano con un unico rigonfiamento, ma si ramificano ripetutamente e ogni ramificazione presenta lungo il suo decorso numerose espansioni, definite **varicosità**, infarcite di vescicole contenenti i neurotrasmettitori. Le varicosità rilasciano simultaneamente i neurotrasmettitori lungo tutta la superficie dell'organo innervato.

Plessi autonomi:

Nel torace e nella cavità addominopelvica le fibre pregangliari simpatiche si intrecciano con quelle parasimpatiche per formare delle reti nervose, chiamati **plessi autonomi**. Alla formazione dei plessi autonomi partecipano anche i gangli autonomi e fibre sensitive viscerali. I principali plessi toracici sono il **plesso cardiaco** e il **plesso polmonare**.

Anche la cavità addominale e pelvica contengono importanti plessi. Il **plesso celiaco** circonda l'origine del tronco celiaco. Esso è formato dai due grandi gangli celiaci, dai due gangli aorticorenali e da un fitto intreccio di fibre simpatiche e parasimpatiche. Il **plesso mesenterico superiore** contiene il ganglio mesenterico superiore e si distribuisce all'intestino tenue, al cieco, al colon ascendente e alla metà destra del colon trasverso. Il **plesso mesenterico inferiore** contiene il ganglio mesenterico inferiore e innerva la metà sinistra del colon trasverso, il colon discendente, il colon sigmoideo e il retto. Gli assoni di alcuni neuroni postgangliari provenienti dal ganglio mesenterico inferiore partecipano anche alla formazione del **plesso ipogastrico**, che innerva gli organi della cavità pelvica. Il **plesso renale** contiene il ganglio renale e si distribuisce alle diramazioni dell'arteria renale, ai calici renali, alla pelvi e all'uretere.

ORGANIZZAZIONE DELLA DIVISIONE SIMPATICA

Neuroni pregangliari simpatici:

I pironofori dei neuroni pregangliari del simpatico sono localizzati nella sostanza grigia delle corna laterali dei 12 segmenti toracici e dei primi due o tre segmenti lombari del midollo spinale; per questa ragione la divisione simpatica è anche definita **divisione toracolombare**.

Gli assoni dei neuroni pregangliari abbandonano il midollo spinale tramite le radici anteriori dei corrispondenti nervi spinali. Le fibre pregangliari si separano poi dal nervo spinale e si portano a uno dei vicini gangli del tronco del simpatico attraverso delle brevi branche, denominate **rami comunicanti bianchi**, così definiti perché sono formati da fibre pregangliari mieliniche. Questi rami collegano i nervi spinali con i gangli del tronco e del simpatico e sono propri dei soli nervi spinali toracici e dei primi due o tre nervi lombari, perché soltanto i corrispondenti segmenti midollari (T1-L2) contengono neuroni pregangliari simpatici.

Quando raggiungono il tronco del simpatico, le fibre gangliari emettono numerosi rami collaterali che si comportano in modi diversi:

1. Alcuni fanno sinapsi con i neuroni postgangliari localizzati nel ganglio simpatico più vicino;
2. Gli assoni dei neuroni pregangliari che ascendono o discendono lungo il tronco del simpatico formano i **cordoni intermedi**;
3. Alcuni assoni pregangliari attraversano il tronco del simpatico senza fare sinapsi ed emergono come **nervi splancnici**.

Una singola fibra pregangliare ortosimpatica emette numerosi rami collaterali e può contrarre sinapsi con venti o più neuroni postgangliari.

Gangli e neuroni postgangliari simpatici:

I gangli simpatici accolgono i pirenofori dei neuroni postgangliari e al loro interno si stabiliscono le sinapsi tra i neuroni pre- e post- gangliari simpatici. Vi sono due tipi di gangli simpatici: i gangli del tronco del simpatico e i gangli paravertebrali.

Gangli del tronco del simpatico:

I **gangli del tronco del simpatico** formano due catene ai lati della colonna vertebrale che si estendono dalla base del cranio fino al coccige. La posizione dei gangli del tronco del simpatico viene stabilita durante lo sviluppo embrionale.

I gangli del tronco del simpatico sono disposti lateralmente alla colonna vertebrale e sono così distribuiti: 3 cervicali, 11 o 12 toracici, 4 o 5 lombari, 4 o 5 sacrali e 2 coccigei. I gangli coccigei sono in realtà fusi in un unico ganglio impari. Il tronco del simpatico si estende dal collo fino al coccige, tuttavia esso riceve fibre pregangliari solo dai segmenti toracolombari del midollo spinale.

Le fibre postgangliari che originano dai gangli del tronco del simpatico possono comportarsi in uno dei seguenti modi:

1. Le fibre che controllano effettori viscerali della parete del corpo, della testa, del collo o degli arti rientrano attraverso i vasi comunicanti grigi nella compagine del nervo spinale e con esso raggiungono la periferia. Queste fibre postgangliari innervano la muscolatura liscia dei vasi superficiali, le ghiandole sudoripare della cute e i muscoli erettori dei peli.
2. Le fibre postgangliari che originano dai gangli cervicali del tronco del simpatico si riuniscono in nervi che si distribuiscono a visceri della cavità toracica o che seguendo il decorso dei vasi sanguigni si portano alla testa, al collo o alla spalla.
3. Le fibre postgangliari che originano dai gangli toracici superiori, lombari inferiori e sacrali abbandonano il tronco del simpatico attraverso nervi che prendono parte alla formazione di plessi che circondano e accompagnano i vasi sanguigni presenti in queste regioni.

La parte cervicale di ognuno dei tronchi del simpatico è localizzata nel collo e comprende tre gangli, distinti in superiore, medio e inferiore. Le fibre postgangliari che emergono dal **ganglio cervicale superiore** si distribuiscono alla testa e al cuore. Le fibre postgangliari provenienti dai **gangli cervicali medio** e **inferiore** si distribuiscono al cuore e ai vasi sanguigni del collo e della spalla.

La parte toracica del tronco del simpatico è situata anteriormente alle articolazioni, tra le teste delle coste e i corpi vertebrali. Questa porzione riceve la maggior parte delle fibre pregangliari simpatiche e da esse originano le fibre postgangliari destinate all'innervazione dei vasi sanguigni toracici, del cuore, dei polmoni e dell'albero bronchiale.

La parte lombare del tronco del simpatico è situata lateralmente alle corrispondenti vertebre lombari; i gangli della parte sacrale sono accolti nella cavità pelvica e giacciono sulla faccia anteriore dell'osso sacro, medialmente ai fori sacrali anteriori. Gli assoni di alcuni neuroni postgangliari abbandonano il tronco del simpatico tramite il **ramo comunicante grigio**, attraverso la quale si riportano nei nervi spinali. I rami comunicanti grigi sono fasci di fibre postgangliari simpatiche che collegano i gangli delle differenti porzioni del tronco del simpatico con i nervi spinali. Questi rami sono detti grigi perché formati da fibre postgangliari amieliniche e si trovano a tutti i livelli del midollo spinale; infatti vi è un ramo comunicante grigio per ognuno dei 31 nervi spinali.

Gangli prevertebrali:

Alcune fibre pregangliari simpatiche attraversano il tronco del simpatico senza contrarre sinapsi e si riuniscono a costituire i nervi splanchnici. Questi nervi si interrompono in **gangli prevertebrali** posti presso l'origine delle grandi arterie addominali. Le fibre postgangliari che originano da questi gangli si distribuiscono ai visceri della cavità addominopelvica.

Ci sono 4 gangli prevertebrali principali: il **ganglio celiaco**, il **ganglio mesenterico superiore**, il **ganglio mesenterico inferiore** e il **ganglio aorticorenale**.

I nervi splanchnici provenienti dalla parte toracica del tronco del simpatico stabiliscono sinapsi con neuroni postgangliari localizzati nel ganglio celiaco. Le fibre pregangliari provenienti dal 5°-9° ganglio toracico formano il **nervo grande splanchnico**, che si porta nella cavità addominale per terminare nel ganglio celiaco del plesso omonimo. Le fibre postgangliari che originano dal ganglio celiaco si distribuiscono a stomaco, milza, fegato e intestino tenue. Le fibre pregangliari che emergono dal 10° e dall'11° ganglio toracico costituiscono il **nervo piccolo splanchnico** per terminare nei gangli aorticorenaali del plesso celiaco e nel ganglio mesenterico superiore del plesso omonimo. Il **nervo splanchnico inferiore** o **minimo** origina come ramo del nervo piccolo splanchnico oppure dalle fibre pregangliari provenienti dal 12° ganglio toracico e raggiunge il plesso renale.

Le fibre pregangliari provenienti dai primi quattro gangli lombari formano i 4 **nervi splanchnici lombari** che si portano ai plessi renali, celiaco e mesenterico inferiore terminando nei gangli prevertebrali omonimi.

Alcune fibre pregangliari simpatiche contraggono sinapsi direttamente con le cellule cromaffini della regione **midollare delle ghiandole surrenali**. Le cellule cromaffini si comportano funzionalmente come neuroni postgangliari simpatici, ma sono prive di dendriti e assoni. Queste cellule, in risposta alla stimolazione simpatica, rilasciano nel sangue una miscela di ormoni catecolaminici, costituita per l'80% da **adrenalina**, per il 20% da **noradrenalina** e da piccole quantità di **dopamina**.

ORGANIZZAZIONE DELLA DIVISIONE PARASIMPATICA

Neuroni pregangliari parasimpatici:

I pironofori dei neuroni pregangliari parasimpatici sono localizzati nel tronco encefalico, all'interno dei nuclei visceroeffettori pertinenti a 4 nervi cranici (III, VII, IX e X) e nella sostanza grigia delle colonne laterali dei segmenti sacrali (S2-S4) del midollo spinale. In ragione della localizzazione dei neuroni pregangliari, la divisione parasimpatica è anche nota come **divisione craniosacrale**. Il **parasimpatico craniale** è costituito dalle fibre pregangliari che raggiungono la periferia attraverso i 4 suddetti nervi cranici; il **parasimpatico sacrale** comprende le fibre pregangliari che emergono dal midollo spinale attraverso le radici anteriori dei nervi spinali sacrali da S2 a S4.

Il parasimpatico craniale comprende 4 paia di gangli e i plessi associati al nervo vago (X). Le fibre pregangliari che abbandonano l'encefalo come parte dei nervi vaghi (X) rappresentano l'80% di tutte le efferenze parasimpatiche. Le fibre vagali fanno sinapsi in numerosi piccoli gangli terminali posti nella cavità toracica e addominale.

Il parasimpatico sacrale comprende le fibre pregangliari che emergono dal midollo spinale seguendo le radici anteriori dei nervi spinali sacrali da S2 a S4. Queste fibre abbandonano poi i nervi spinali per formare i **nervi splancnici pelvici**. Le fibre postgangliari abbandonano quindi i gangli per distribuirsi alla muscolatura liscia e alle ghiandole poste nella parete di numerosi visceri pelvici.

Gangli e neuroni postgangliari parasimpatici:

I gangli parasimpatici accolgono i pirenofori dei neuroni postgangliari e al loro interno si stabiliscono le sinapsi tra i neuroni pre- e postgangliari parasimpatici. I gangli parasimpatici sono definiti **gangli terminali**. Solo quelli presenti nella testa hanno nomi specifici:

1. I **gangli ciliari** si trovano lateralmente a ciascun nervo ottico (II). Le fibre pregangliari raggiungono i gangli ciliari attraverso il nervo oculomotore (III).
2. I **gangli pterigopalatini** sono localizzati lateralmente ai fori sfenopalatini, situati tra lo sfenoide e le ossa palatina. Ricevono le fibre pregangliari attraverso il nervo faciale (VII).
3. I **gangli sottomandibolari**, posti vicini ai dotti escretori delle ghiandole salivari omonime, ricevono le fibre pregangliari attraverso il nervo faciale (VII).
4. I **gangli otici**, posti subito al di sotto del foro ovale dello sfenoide, ricevono le fibre pregangliari attraverso il nervo glossofaringeo (IX).

Il neurone pregangliare parasimpatico, una volta raggiunto il ganglio, solitamente contrae sinapsi solo con quattro o cinque neuroni postgangliari, i quali controllano un singolo effettore viscerale; pertanto le risposte del parasimpatico tendono a essere più specifiche e localizzate ai singoli effettori.

ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA NERVOSO ENTERICO

Il tratto gastrointestinale costituisce un'ampia superficie di contatto con l'ambiente. La superficie del tratto gastrointestinale deve poter rispondere a stimoli locali per produrre i corretti arrangiamenti omeostatici. Tali risposte e meccanismi di controllo sono così importanti da giustificare la presenza nel tratto gastrointestinale di un sistema nervoso intrinseco ed è noto come **sistema nervoso enterico** o **divisione enterica** del sistema nervoso autonomo.

Il sistema nervoso enterico è costituito da una complessa rete neuronale di integrazione accolta nella parete del tratto gastrointestinale, nel pancreas e nella colecisti. Questa rete neuronale contiene approssimativamente 100 milioni di neuroni ed è in grado di funzionare anche in assenza di impulsi da parte del sistema nervoso centrale. La rete enterica contiene neuroni sensitivi, che trasmettono i loro impulsi a interneuroni situati all'interno dei gangli enterici; gli interneuroni creano una rete di integrazione che analizza gli impulsi afferenti e genera impulsi efferenti destinati ai neuroni motori dei plessi situati nella parete dei visceri del sistema digerente. I neuroni motori trasmettono gli impulsi efferenti alle ghiandole e alla muscolatura liscia dei visceri e dei vasi sanguigni.

La maggior parte delle fibre nervose che si distribuiscono agli organi del sistema digerente origina da due plessi intramurali situati nella parete del tubo digerente. Il **plesso mienterico** è situato tra lo strato longitudinale esterno e lo strato circolare interno della tonaca muscolare e si estende dall'esofago all'ano. Questo plesso comunica ampiamente con il **plesso sottomucoso**, che è situato nella tonaca sottomucosa, tra lo strato circolare interno della tonaca muscolare e la muscolaris mucosae e si estende dallo stomaco all'ano.

NEUROTRASMETTITORI E RECETTORI DEL SNA

I neuroni autonomi vengono classificati in colinergici e adrenergici in base al neurotrasmettitore da essi prodotto e rilasciato.

Neuroni e recettori colinergici:

I **neuroni colinergici** rilasciano il neurotrasmettitore **acetilcolina (ACh)**. Nel SNA sono neuroni colinergici tutti i neuroni pregangliari sia del simpatico che del parasimpatico, i neuroni postgangliari simpatici che innervano la maggior parte delle ghiandole sudoripare e tutti i neuroni postgangliari parasimpatici.

L'ACh viene immagazzinata in vescicole sinaptiche e rilasciata per esocitosi; il neurotrasmettitore così rilasciato diffonde attraverso la fessura sinaptica e si lega a specifici **recettori colinergici**, proteine integrali di membrana presenti nella membrana plasmatica postsinaptica. Vi sono due tipi di recettori colinergici: i **recettori nicotinici**, così chiamati perché la nicotina è in grado di legarsi e di mimare gli effetti del ligando endogeno (ACh), e i **recettori muscarinici**, così definiti perché la muscarina legandosi ad essi mima gli effetti dell'acetilcolina.

L'attivazione dei recettori nicotinici da parte dell'ACh induce la depolarizzazione e quindi l'eccitazione della cellula postsinaptica, che può essere rappresentata da un neurone postgangliare, un effettore viscerale o una fibra muscolare scheletrica. L'attivazione dei recettori muscarinici da parte dell'ACh può determinare eccitazione o inibizione.

Neuroni e recettori adrenergici:

I **neuroni adrenergici** rilasciano **noradrenalina (NA)**, anche nota come **norepinefrina**; nel SNA tutti i neuroni postgangliari del simpatico sono adrenergici, ad eccezione di quelli che innervano le ghiandole sudoripare. Le molecole di NA diffondono attraverso la fessura sinaptica e si legano a specifici recettori adrenergici posti nella membrana postsinaptica, inducendo eccitazione o inibizione della cellula effettrice.

I **recettori adrenergici** legano sia la noradrenalina che l'adrenalina. I recettori adrenergici sono di due tipi: i **recettori alfa** e i **recettori beta**, presenti nelle membrane degli effettori viscerali innervati dagli assoni dei neuroni postgangliari del simpatico. La noradrenalina ha un effetto più intenso sui recettori alfa, mentre l'adrenalina è in grado di stimolare con pari intensità i recettori alfa e beta.

L'azione della noradrenalina termina con due modalità: ricapitolazione del neurotrasmettitore da parte del neurone presinaptico e inattivazione enzimatica operata dagli enzimi catecol-O-metiltransferasi e monoaminoossidasi.

FUNZIONI DEL SNA

La maggior parte degli effettori viscerali è innervata da entrambe le divisioni del SNA e questi sistemi tipicamente esercitano azioni antagoniste. L'equilibrio tra attività simpatica e parasimpatica, definito tono autonomo, è controllato dall'ipotalamo. Le due divisioni producono effetti diversi sugli organi effettori, perché rilasciano differenti neurotrasmettitori e perché gli effettori stessi esprimono differenti tipi di recettori adrenergici e colinergici. Solo poche strutture ricevono un'innervazione esclusivamente simpatica; esse sono le ghiandole sudoripare, i muscoli erettori dei peli, i reni, la milza, la maggior parte dei vasi sanguigni e la zona midollare delle ghiandole surrenali.

Effetti della stimolazione simpatica:

In situazioni di stress fisico o psicologico la divisione simpatica prevale su quella parasimpatica.

Gli effetti della stimolazione simpatica sono più duraturi e diffusi rispetto a quelli derivanti dalla stimolazione parasimpatica, per tre ragioni:

1. Gli assoni dei neuroni postgangliari del simpatico presentano un elevato grado di divergenza;
2. L'acetilcolinesterasi inattiva rapidamente l'acetilcolina, mentre la noradrenalina permane attiva nella fessura sinaptica per un periodo di tempo maggiore;
3. L'adrenalina e la noradrenalina secrete nel sangue della midollare delle ghiandole surrenali intensificano e prolungano gli effetti indotti dalla noradrenalina rilasciata dalle fibre postgangliari del simpatico. Questi ormoni circolano nel sangue, agiscono su tutti i tessuti che esprimono recettori alfa e beta adrenergici e vengono inattivati mediante degradazione enzimatica del fegato.

Effetti della stimolazione parasimpatica:

Le risposte del parasimpatico promuovono la conservazione e il ripristino delle energie durante i periodi di riposo e di recupero. In condizioni di rilassamento e in assenza di stress fisici, gli impulsi del parasimpatico sugli effettori viscerali prevalgono nettamente sugli impulsi del simpatico. Nello stesso tempo le azioni del parasimpatico tendono a inibire e rallentare tutte quelle attività corporee che comportano un dispendio di energie.

INTEGRAZIONE E CONTROLLO DELLE FUNZIONI AUTONOME

Riflessi autonomi:

I **riflessi autonomi** sono le risposte evocate da impulsi nervosi che percorrono un arco riflesso autonomo. I riflessi autonomi giocano un ruolo di primaria importanza negli aggiustamenti omeostatici.

Controllo del SNA da parte di centri superiori:

L'ipotalamo è il principale centro di controllo e di integrazione del SNA. Riceve afferenze sensitive inerenti le funzioni viscerali, l'olfatto ed il gusto ed è inoltre in grado di rilevare le modificazioni della temperatura corporea, dell'osmolarità dei liquidi extracellulari e della concentrazione ematica di diversi metaboliti. L'ipotalamo è inoltre collegato con il sistema limbico, dal quale riceve informazioni relative all'umore e allo stato d'animo dell'individuo. Le efferenze ipotalamiche controllano sia i centri vegetativi situati nel tronco encefalico sia quelli localizzati nel midollo spinale.

L'ipotalamo è collegato con le divisioni simpatica e parasimpatica del SNA mediante fasci di fibre che dai nuclei ipotalamici raggiungono i centri pregangliari del simpatico e del parasimpatico nel tronco encefalico e nel midollo spinale. Le porzioni posteriori e laterali dell'ipotalamo controllano la divisione simpatica. Le porzioni anteriori e mediali controllano invece la divisione parasimpatica.

I SENSI SOMATICI E IL CONTROLLO MOTORIO

VISIONE D'INSIEME DELLE SENSAZIONI

Definizione delle sensazioni:

Una **sensazione** è la conoscenza cosciente o subcosciente dei cambiamenti interni o esterni delle condizioni del corpo. Per percepire una sensazione devono essere soddisfatte 4 condizioni:

1. Deve esserci uno stimolo;
2. Un recettore sensitivo deve convertire lo stimolo in impulsi nervosi;
3. Gli impulsi nervosi devono essere condotti lungo vie di segnalazione sensitiva;
4. Una regione dell'encefalo deve ricevere e integrare gli impulsi.

Un recettore sensitivo risponde a uno stimolo modificando la permeabilità della sua membrana cellulare agli ioni. Gli impulsi sono poi portati dai neuroni sensitivi al SNC.

Caratteristiche delle sensazioni:

La **percezione** consiste nella consapevolezza e nel riconoscimento di una sensazione. Le percezioni sono integrate nella corteccia cerebrale, che interpreta gli impulsi che derivano dai recettori sensitivi stimolati.

Ciascun tipo di sensazione, così come il tatto, il dolore, la vista o l'udito è chiamato **modalità sensoriale**. A seconda del recettore stimolato, un neurone sensitivo porta un'informazione soltanto per una modalità sensoriale.

Una caratteristica comune alla maggior parte dei recettori sensitivi è l'**adattamento**, per cui si ha una diminuzione della sensazione durante uno stimolo prolungato. L'adattamento è causato in parte da una diminuzione nella risposta dei recettori sensitivi. Come risultato dell'adattamento, la percezione di una sensazione può diminuire o scomparire anche se lo stimolo persiste.

Classificazione delle sensazioni:

Le sensazioni sono divise in due classi:

1. La **sensibilità generale** si riferisce a due tipi di sensibilità: sensibilità somatica e sensibilità viscerale. La **sensibilità somatica** include le sensazioni tattili, termiche, di dolore o propriocettive. La **sensibilità viscerale** fornisce informazioni sulle condizioni degli organi interni;
2. I **senso speciali** comprendono le modalità sensoriali della vista, dell'udito, dell'olfatto, del gusto e del senso dell'equilibrio.

Tipi di recettori sensitivi:

I recettori sono dispositivi che si organizzano in corrispondenza delle terminazioni dendritiche dei neuroni sensitivi e possono essere raggruppati in diverse classi a seconda delle loro diverse caratteristiche strutturali e funzionali.

In base alla struttura:

- **Terminazioni nervose libere;**

- **Terminazioni nervose capsulate;**
- **Cellule specializzate** che fanno sinapsi con i neuroni sensitivi.

In base al tipo di stimolo che rilevano:

- **Fotorecettori;**
- **Meccanocettori;**
- **Termocettori;**
- **Osmocettori;**
- **Chemiocettori;**
- **Nocicettori.**

In base alla loro localizzazione e all'origine degli stimoli che li attivano:

- **Esterocettori;**
- **Enterocettori;**
- **Propriocettori.**

SENSAZIONI SOMATICHE

Le sensazioni somatiche nascono dalla stimolazione dei recettori sensitivi, che per le sensazioni somatiche sono distribuiti in modo non omogeneo. Le aree con la più alta densità di recettori somatici sono la punta della lingua, le labbra e i polpastrelli. Le sensazioni somatiche che nascono dalla stimolazione della superficie della pelle sono **sensazioni cutanee**. Ci sono 4 modalità di sensazioni somatiche: tattile, termica, dolorifica e propriocettiva.

Sensazioni tattili:

Le **sensazioni tattili** includono il tatto, la pressione, la vibrazione, il prurito e il solletico.

Tatto:

Le sensazioni **tattili** generalmente derivano da stimolazione di recettori posti nella cute o nel tessuto sottocutaneo. Il **tatto fine** fornisce informazioni specifiche relative a una sensazione tattile. Il **tatto grossolano** è la capacità di percepire il contatto con un oggetto.

Ci sono due tipi di recettori tattili ad adattamento rapido, uno per il tatto fine ed uno per il tatto grossolano. I **corpuscoli del tatto**, o **corpuscoli di Meissner**, sono localizzati nelle papille dermiche o nella cute glabra. I corpuscoli di Meissner generano impulsi nervosi all'inizio dello stimolo. I **pleSSI delle radici pilifere** sono recettori del tatto grossolano ad adattamento rapido che si trovano sulla superficie della pelle che muovono i peli.

Ci sono due tipi di recettori tattili ad adattamento lento:

- I **meccanocettori cutanei di tipo I**, noti come dischi di Merkel, funzionano nel tatto fine. Sono terminazioni nervose appiattite che prendono contatto con le cellule di Merkel dello strato basale dell'epidermide.
- I **meccanocettori cutanei di tipo II**, o corpuscoli di Ruffini, sono recettori per il tatto grossolano di forma allungata, capsulati e localizzati nel derma, nei legamenti e nei tendini. Sono

sensibili principalmente allo stiramento della cute e delle capsule articolari durante il movimento.

Pressione e vibrazione:

La sensazione di **pressione** è una sensazione continuativa che viene percepita su un'area maggiore di quella direttamente stimolata e viene segnalata in organi profondi. I recettori che rilevano gli stimoli pressori includono i corpuscoli del tatto, i meccanocettori di tipo I e i **corpuscoli lamellari**, o corpuscoli di Pacini, che sono adattamento rapido e hanno un'ampia distribuzione.

Le sensazioni di **vibrazione** originano da stimoli sensitivi ripetitivi rapidi di recettori tattili. I recettori per le vibrazioni sono i corpuscoli del tatto e i corpuscoli di Pacini. I primi possono rilevare vibrazioni a bassa frequenza, i secondi vibrazioni ad alta frequenza.

Prurito e solletico:

La sensazione di **prurito** risulta dalla stimolazione di terminazioni nervose libere da parte di alcune sostanze chimiche. Spesso è causata da una risposta infiammatoria locale. La sensazione di **solletico** sembra essere mediata da terminazioni nervose libere.

Sensazioni termiche:

I **termocettori** sono terminazioni nervose libere. Le due distinte **sensazioni termiche** del caldo e del freddo sono rilevate da recettori diversi. I **recettori del freddo** sono situati nello strato basale dell'epidermide. I **recettori del caldo** sono localizzati nel derma. Sia i recettori del caldo che quelli del freddo hanno adattamento rapido all'inizio dello stimolo, ma continuano a generare impulsi di frequenza minore per tutta la durata dello stimolo.

Sensazioni dolorifiche:

Il dolore svolge una funzione protettiva, segnalando la presenza di condizioni nocive di danno tissutale.

I **nocicettori** sono terminazioni nervose libere che si trovano in ogni tessuto del corpo, ad eccezione dell'encefalo. Il dolore può persistere persino dopo che lo stimolo che lo produce viene rimosso sia a causa del persistere delle sostanze che lo causano sia perché i nocicettori sono poco adattabili.

Tipi di dolore:

Ci sono due tipi di dolore: veloce e lento. La percezione del **dolore veloce** avviene molto rapidamente, solitamente entro 0,1 secondi dopo che lo stimolo è stato applicato ed è noto come dolore acuto, intenso e ben localizzato. La percezione di un **dolore lento** inizia un secondo o più dopo che lo stimolo è stato applicato. Aumenta poi gradualmente in intensità nei secondi e minuti successivi ed è definito cronico, ardente, persistente, urente, lancinante e diffuso.

Il dolore che origina dalla stimolazione dei recettori posti nella pelle è detto **dolore somatico superficiale**. La stimolazione dei recettori in muscoli scheletrici, articolazioni, tendini e fasce causa il **dolore somatico profondo**. Il **dolore viscerale** deriva dalla stimolazione dei nocicettori nei visceri.

Localizzazione del dolore:

Il dolore veloce è localizzato molto precisamente rispetto all'area stimolata. Il dolore somatico lento è anch'esso ben localizzato, ma più diffuso, sembra normalmente provenire da un'area più vasta della pelle.

In molti casi di dolore viscerale il dolore è percepito a livello cutaneo o al di sotto della cute in corrispondenza dell'organo stimolato o su un'area lontana dalla zona stimolata. Questo fenomeno è chiamato **dolore riferito**. L'organo viscerale coinvolto e l'area a cui il dolore è riferito sono innervati dallo stesso segmento del midollo spinale.

Sensazioni propriocettive:

Le **sensazioni propriocettive**, chiamate anche propriocezione, ci permettono di conoscere dove la nostra testa e i nostri arti sono collocati e come si stanno muovendo anche se non li stiamo guardando. La **cinestesia** è la percezione dei movimenti del corpo. Le sensazioni propriocettive originano in recettori denominati **propriocettori**, che si trovano nei muscoli e nei tendini e segnalano il grado di contrazione dei muscoli, il grado di tensione dei tendini e la posizione del corpo nello spazio. Poiché i propriocettori si adattano lentamente e solo in parte, l'encefalo riceve continuamente impulsi nervosi relativi alla posizione delle diverse parti del corpo per assicurarne la coordinazione.

I propriocettori consentono anche la **discriminazione del peso**, ovvero la valutazione del peso di un oggetto.

Tre tipi di propriocettori: i fusi neuromuscolari all'interno dei muscoli scheletrici, gli organi tendinei all'interno dei tendini e i recettori cinestesici delle capsule articolari.

Fusi neuromuscolari:

I **fusi neuromuscolari** sono i propriocettori, accolti nei muscoli scheletrici, che valutano i cambiamenti di lunghezza dei muscoli scheletrici e partecipano ai riflessi da stiramento. Regolando l'intensità con la quale un fuso neuromuscolare risponde allo stiramento di un muscolo scheletrico, l'encefalo regola il **tono muscolare** generale.

Ogni fuso neuromuscolare consiste di parecchie terminazioni nervose sensitive ad adattamento lento che si avvolgono attorno a 3-10 fibre muscolari specializzate chiamate **fibre muscolari intrafusali**. I fusi neuromuscolari si trovano tra le fibre muscolari striate di un muscolo e sono allineati in modo parallelo ad esse. Nei muscoli che producono movimenti fini sono presenti numerosi fusi. Muscoli più potenti, implicati in movimenti grossolani, hanno meno fusi neuromuscolari.

La funzione principale dei fusi neuromuscolari è quella di valutare la lunghezza del muscolo. Sia allungamenti improvvisi che prolungati della porzione centrale delle fibre muscolari intrafusali stimolano le terminazioni nervose periferiche. Gli impulsi nervosi che ne derivano si propagano al SNC. Le informazioni dai fusi neuromuscolari arrivano rapidamente alle aree sensitive della corteccia cerebrale. Allo stesso tempo gli impulsi provenienti dai fusi neuromuscolari raggiungono il cervelletto.

I fusi neuromuscolari sono innervati da terminazioni motorie rappresentate dagli assoni di neuroni motori, detti **motoneuroni gamma**. I neuroni motori terminano vicino a entrambe le estremità delle fibre intrafusali e regolano la tensione del fuso neuromuscolare in funzione delle variazioni di lunghezza del muscolo.

Intorno ai fusi neuromuscolari si trovano fibre muscolari scheletriche, le **fibre muscolari extrafusali**, che sono innervate da **motoneuroni alfa**. I corpi cellulari dei motoneuroni alfa e gamma sono localizzati nelle corna anteriori della sostanza grigia del midollo spinale.

Organi muscolo-tendinei:

Quando un muscolo si contrae, esercita una forza con tira l'uno verso l'altro i punti di attacco delle due estremità; questa forza è la tensione muscolare. Gli **organi muscolo-tendinei** sono localizzati alla giunzione del tendine con il muscolo e proteggono i tendini e i muscoli ad essi associati da danni dovuti a eccessiva tensione. Ciascun organo tendineo è costituito da una sottile capsula di tessuto connettivo che racchiude piccoli fascicoli tendinei, nella quale penetrano una o più terminazioni sensitive.

Quando la tensione è applicata al muscolo, gli organi tendinei generano impulsi nervosi che si propagano al SNC. I riflessi tendinei diminuiscono la tensione muscolare causando il rilasciamento del muscolo.

Recettori cinestetici delle articolazioni:

All'interno e intorno alle capsule articolari delle articolazioni sinoviali sono presenti parecchi tipi di **recettori cinestetici delle articolazioni**. Terminazioni nervose libere e meccanocettori di tipo II nelle capsule articolari rispondono alla pressione. I legamenti contengono recettori simili agli organi muscolo-tendinei che causano l'inibizione riflessa dei muscoli adiacenti quando è applicata una tensione eccessiva alle articolazioni.

VIE SENSITIVE SOMATICHE

Una volta raggiunto il midollo spinale, l'informazione sensitiva può divenire parte di un arco riflesso, inducendo un'appropriata risposta effettrice, o può essere condotta all'encefalo attraverso vie ascendenti per un ulteriore processamento e una possibile acquisizione di consapevolezza. Le **vie sensitive somatiche** trasportano informazioni dai recettori sensitivi somatici all'area somatosensitiva primaria della corteccia cerebrale e al cervelletto. Le vie che raggiungono la corteccia cerebrale sono costituite da migliaia di sequenze di tre neuroni:

- I **neuroni di primo ordine** conducono impulsi al tronco encefalico o al midollo spinale. Gli impulsi si propagano, lungo i nervi cranici, al tronco encefalico, mentre lungo i nervi spinali, al midollo spinale.
- I **neuroni di secondo ordine** conducono impulsi dal tronco encefalico e dal midollo spinale al talamo o al cervelletto. Tutte le informazioni sensitive somatiche provenienti da un lato del corpo raggiungono il talamo del lato opposto.
- I **neuroni di terzo ordine** conducono impulsi dal talamo alle aree somatosensitive dell'emisfero cerebrale omolaterale.

Le regioni nel SNC dove i neuroni fanno sinapsi con altri neuroni che sono parte di particolari vie sensitive o motorie sono le **stazioni di relè**.

Gli impulsi sensitivi somatici entrano nel midollo spinale e ascendono alla corteccia cerebrale attraverso la via della colonna dorsale-lemnisco mediale e la via del sistema antero-laterale. Gli impulsi sensitivi somatici che entrano nel midollo spinale raggiungono il cervelletto attraverso il fascio spinocerebellare.

Vie della colonna dorsale-lemnisco mediale:

Gli impulsi nervosi relativi alla propriocezione cosciente e alla maggior parte delle sensazioni tattili raggiungono la corteccia cerebrale mediante la via della **colonna dorsale-lemnisco mediale**.

I neuroni di primo ordine della via si estendono dai recettori sensitivi del tronco e degli arti al midollo spinale e ascendono al midollo allungato omolaterale. I corpi cellulari di questi neuroni di primo ordine si trovano nei gangli delle radici dorsali dei nervi spinali. Nel midollo spinale i loro assoni formano le **colonne dorsali**, composte da due tratti: il **fascicolo gracile** e il **fascicolo cuneato**. Gli assoni fanno sinapsi con i dendriti dei neuroni di secondo ordine. Gli impulsi nervosi provenienti dalla parte posteriore della testa, del collo, dagli arti superiori e dalla parte superiore del tronco si propagano lungo assoni che decorrono nel fascicolo cuneato e arrivano al nucleo cuneato. Gli impulsi nervosi provenienti dalla parte inferiore del tronco si propagano lungo assoni che decorrono nel fascicolo gracile e arrivano al nucleo gracile.

Gli assoni dei neuroni di secondo ordine si portano nel lato opposto del midollo allungato e formano il **lemnisco mediale**, un sottile tratto di proiezione nastriforme che si estende al midollo allungato al nucleo ventrale posteriore del talamo. Nel talamo i terminali assonici dei neuroni di secondo ordine formano sinapsi con i neuroni di terzo ordine, che proiettano i loro assoni alle aree somatosensitive della corteccia cerebrale.

Via del sistema antero-laterale:

La via del sistema antero-laterale è formato da fasci di sostanza bianca che trasportano gli impulsi: i due **tratti spinotalamici** nei cordoni laterali e anteriori del midollo spinale e nel tronco encefalico. Sono composti da una sequenza di tre neuroni. I neuroni di primo ordine si estendono dai recettori sensitivi del tronco e degli arti al midollo spinale e i loro terminali assonici fanno sinapsi con i neuroni di secondo ordine. Gli assoni dei neuroni di secondo ordine si incrociano a livello della commessura bianca del midollo spinale, diventando controlaterali e formano il tratto **spinotalamico laterale** e il tratto **spinotalamico anteriore**. Quindi ascendono nel tronco encefalico fino a raggiungere il talamo.

Vie sensitive somatiche al cervelletto:

I **tratti spinocerebellari anteriori (ventrali)** e i **tratti spinocerebellari posteriori (dorsali)** sono le due principali vie che trasmettono gli impulsi propriocettivi al cervelletto.

VIE MOTORIE SOMATICHE

I circuiti nervosi nell'encefalo e nel midollo spinale controllano tutti i movimenti volontari e involontari. Tutti i segnali eccitatori e inibitori che controllano il movimento convergono su motoneuroni le cui fibre innervano i muscoli scheletrici del corpo. I **motoneuroni inferiori (MNI)** hanno i loro corpi cellulari nel tronco encefalico e nel midollo spinale. Solo gli assoni dei MNI forniscono le efferenze dal SNC alle fibre muscolari scheletriche.

Quattro gruppi di neuroni partecipano al controllo del movimento, fornendo impulsi ai MNI:

1. **Neuroni dei circuiti locali:** le afferenze ai MNI arrivano dagli interneuroni circostanti, chiamati neuroni dei circuiti locali. Coordinano l'attività ritmica in specifici gruppi muscolari.
2. **Motoneuroni superiori:** sia i neuroni dei circuiti locali, sia i MNI ricevono afferenze dai motoneuroni superiori. I MNS situati nella corteccia cerebrale sono essenziali per pianificare,

iniziare e dirigere sequenze di movimenti volontari del corpo. I MNS del tronco encefalico regolano il tono muscolare, controllano i muscoli posturali e aiutano a mantenere l'equilibrio e l'orientamento della testa e del corpo.

3. **Neuroni dei nuclei della base:** partecipano ai movimenti fornendo afferenze ai MNS attraverso il talamo. I circuiti neuronali iniziano e terminano i movimenti, sopprimono movimenti indesiderati e stabiliscono il giusto livello di tono muscolare.
4. **Neuroni cerebellari.**

Gli assoni dei MNS si estendono dall'encefalo ai MNI attraverso due tipi di vie motorie somatiche:

- Le **vie motorie dirette** forniscono afferenze ai MNI attraverso assoni che provengono direttamente dalla corteccia cerebrale.
- Le **vie motorie indirette** forniscono afferenze ai MNI provenienti dai centri motori del tronco encefalico.

Entrambe le vie controllano la generazione degli impulsi nervosi nei MNI, che a loro volta regolano la contrazione dei muscoli scheletrici.

Mappa delle aree motorie:

L'**area motoria primaria** è una regione fondamentale per il controllo e l'esecuzione dei movimenti volontari. Nell'area motoria primaria è possibile identificare zone ben definite che presiedono all'attività di muscoli diversi della metà eterolaterale del corpo.

Vie motorie dirette:

Gli impulsi nervosi per i movimenti volontari si propagano dalla corteccia cerebrale ai MNI attraverso le vie motorie dirette, anche note come **vie piramidali**. Gli assoni dei MNS discendono attraverso la capsula interna e si portano al tronco encefalico, dove i fasci degli assoni formano dei rigonfiamenti ventrali, noti come **piramidi**.

A livello del bulbo, gli assoni si incrociano formando la decussazione delle piramidi e portandosi alla metà controlaterale del midollo allungato. L'area motoria dell'emisfero destro controlla i muscoli della parte sinistra e viceversa. Tre tratti contengono assoni di MNS che appartengono alle vie motorie dirette:

1. **Tratto corticospinale laterale:** gli assoni dei MNS che decussano nel midollo allungato formano il **tratto corticospinale laterale**. Questi motoneuroni controllano i muscoli localizzati nelle parti distali degli arti, che sono responsabili dei movimenti fini e complessi delle mani e dei piedi.
2. **Tratto corticospinale anteriore:** gli assoni dei MNS che non decussano nel midollo formano il **tratto corticospinale anteriore**. Gli assoni di questi MNI fuoriescono dal midollo spinale attraverso le radici anteriori dei nervi spinali. Terminano sui muscoli scheletrici e coordinano i movimenti dello scheletro assile e delle porzioni prossimali degli arti.
3. **Tratti corticobulbari:** alcuni degli assoni del **tratto corticobulbare** decussano, mentre altri non lo fanno. Questi tratti sono definiti corticobulbari o corticonucleari, perché mettono capo ai nuclei motori delle nove paia di nervi cranici del ponte e del midollo allungato. I MNI dei nervi cranici conducono impulsi che controllano sia i movimenti precisi e volontari degli occhi, della lingua e del collo, sia i muscoli masticatori, i muscoli mimici, i muscoli coinvolti nella fonazione e nella respirazione.

Vie motorie indirette:

Le **vie motorie indirette** o vie extrapiramidali comprendono tratti motori somatici diversi dai tratti corticospinali e corticobulbari. Gli assoni dei MNS discendono dai vari nuclei del tronco encefalico in cinque tratti principali del midollo spinale e terminano sui neuroni dei circuiti locali o sui MNI. Questi tratti sono il **tratto rubrospinale**, il **tratto tettospinale**, il **tratto vestibolospinale**, il **tratto reticolospinale laterale** e il **tratto reticolo spinale anteriore**.

Ruoli dei nuclei della base:

Le funzioni dei nuclei della base sono le seguenti:

1. **Inizio e arresto dei movimenti:** il nucleo caudato e il putamen ricevono afferenze associative, sensitive e motorie della corteccia cerebrale e dalla sostanza nera. Le efferenze dai nuclei della base inviano segnali di feedback alla corteccia cerebrale soprastante attraverso il talamo. Questo circuito sembra essere coinvolto nell'inizio e nell'arresto dei movimenti.
2. **Soppressione dei movimenti indesiderati:** attraverso le efferenze inibitorie dei nuclei della base sul talamo e sul collicolo superiore.
3. **Controllo del tono muscolare:** il globus pallidus invia alla formazione reticolare impulsi che riducono il tono muscolare.
4. **Influenza sulle funzioni corticali:** i nuclei della base influenzano le funzioni sensitive, limbiche, cognitive e del linguaggio della corteccia cerebrale.

Ruoli del cervelletto:

Il cervelletto è attivo sia nell'apprendimento che nell'esecuzione dei movimenti rapidi, coordinati e di elevata destrezza. Nell'esecuzione dei movimenti volontari il cervelletto svolge le seguenti funzioni:

1. **Controllo dell'intenzionalità del movimento;**
2. **Controllo dell'attuazione motoria o dei movimenti in via di attuazione;**
3. **Confronto degli impulsi motori con le informazioni sensitive;**
4. **Invio di feedback correttivi.**

INTEGRAZIONE DELLE AFFERENZE SENSITIVE E MOTORIE

Non necessariamente il SNC risponde a ciascun impulso nervoso. Piuttosto l'informazione in arrivo è **integrata**, ovvero viene elaborata, interpretata e viene stabilita una risposta adeguata.

Il processo di integrazione non avviene una sola volta, ma in più sezioni lungo le vie afferenti al SNC e a livelli sia coscienti che subcoscienti.

I SENSI SPECIALI

SENSO DELL'OLFATTO

Sia l'olfatto che il gusto sono sensi chimici; le sensazioni derivano dall'interazione di particolari molecole con i recettori olfattivi e gustativi.

Anatomia dei recettori olfattivi:

Il naso contiene 10-100 milioni di recettori per il senso dell'odorato o **olfatto**, contenuti in un'area chiamata **epitelio olfattivo**, che occupa la parte superiore della cavità nasale, rivestendo la superficie inferiore della lamina cribrosa ed estendendosi lungo la conca nasale superiore. Questo epitelio ha 3 tipi di cellule: i recettori olfattivi, le cellule di sostegno e le cellule basali.

I **recettori olfattivi** sono i neuroni di primo ordine delle vie olfattive. Ogni recettore olfattivo è un neurone bipolare. Le strutture dei recettori olfattivi che rispondono alle sostanze chimiche inalate sono i **peli olfattivi**. Le sostanze chimiche che hanno un odore e possono stimolare le ciglia olfattive sono chiamate **odoranti**.

Le **cellule di sostegno** sono cellule epiteliali colonnari della membrana mucosa che riveste il naso. Esse forniscono sostegno fisico, nutrimento e isolamento elettrico ai recettori olfattivi, e aiutano a detossificare le sostanze chimiche che entrano in contatto con l'epitelio olfattivo.

Le **cellule basali** sono cellule staminali localizzati nella profondità dell'epitelio olfattivo.

All'interno del tessuto connettivo che sostiene l'epitelio olfattivo che si trovano le **ghiandole olfattive (di Bowman)** che producono muco che viene portato sulla superficie dell'epitelio olfattivo attraverso i dotti. La secrezione inumidisce la superficie dell'epitelio olfattivo e discioglie le molecole odoranti in modo che lo stimolo chimico possa essere trasdotto in impulso nervoso.

Vie olfattive:

Nella porzione superiore di ciascuna cavità nasale gli assoni amielinici dei recettori olfattivi si uniscono a formare circa 40 sottili fasci che attraversano i forami della lamina cribrosa dell'osso etmoide. Questi fasci di assoni nel loro insieme formano i **nervi olfattivi (I nervo cranico)** destro e sinistro, che terminano nell'encefalo in due strutture pari di sostanza grigia chiamate **bulbi olfattivi**. All'interno dei bulbi olfattivi le terminazioni assoniche dei recettori olfattivi formano sinapsi con i dendriti e con i corpi cellulari dei neuroni delle vie olfattive.

Gli assoni dei neuroni del bulbo olfattivo si estendono posteriormente a formare il **tratto olfattivo**. Alcuni assoni del tratto olfattivo proiettano all'**area olfattiva primaria** della corteccia cerebrale, che è l'area responsabile della percezione consapevole degli odori.

Dall'area olfattiva primaria le vie si estendono al **lobo frontale**. Una regione importante per l'identificazione e la discriminazione degli odori è l'**area orbitofrontale**.

SENSO DEL GUSTO

Il **gusto** è un senso chimico. Si distinguono solo 5 gusti primari: aspro, dolce, amaro, salato e umami.

Anatomia dei recettori gustativi:

I recettori per il gusto sono localizzati nei calici gustativi. Ogni **calice gustativo** è un corpo ovale costituito da tre tipi di cellule epiteliali: le cellule di sostegno, le cellule gustative e le cellule basali. Le **cellule di sostegno** circondano un gruppo di circa 50 **cellule gustative**. Un singolo, lungo microvillo chiamato **ciglio o pelo gustativo** si proietta da ogni cellula gustativa verso la superficie esterna attraverso il **poro gustativo**. Le **cellule basali** sono delle cellule staminali localizzate nella parte più periferica del calice gustativo e danno origine alle cellule di sostegno. Le cellule di sostegno si differenziano in cellule gustative (vita media 10 giorni). Alla loro base le cellule gustative fanno sinapsi con i dendriti dei neuroni di primo ordine, che costituiscono la prima parte delle vie gustative.

I calici gustativi sono accolti nell'epitelio della mucosa linguale sollevata in rilievi chiamati **papille**. Tre tipi di papille contengono calici gustativi:

1. Le **papille vallate (circumvallate)** sono all'incirca 12 e contengono circa 100-300 calici gustativi.
2. Le **papille fungiformi** contengono circa 5 calici gustativi.
3. Le **papille foliate** contengono numerosi calici gustativi.

Inoltre l'intera superficie del dorso della lingua è disseminata di **papille filiformi** e contengono recettori tattili, ma non calici gustativi.

Le molecole chimiche stimolano le cellule gustative sono chiamate anche **sostanze gustative**.

Vie gustative:

Sono tre i nervi cranici che contengono gli assoni dei neuroni sensitivi che innervano i **calici gustativi**. Il **nervo faciale (VII)**, il **nervo glossofaringeo (IX)**, il **nervo vago (X)**. Dai calici gustativi, gli impulsi nervosi si propagano lungo questi nervi cranici fino al **nucleo gustativo** nel midollo allungato, da cui alcuni assoni che trasportano impulsi gustativi si proiettano al **sistema limbico** e all'**ipotalamo**; altri si proiettano al **talamo**. Gli impulsi gustativi, che sono proiettati dal talamo all'**area gustativa primaria** nel lobo parietale della corteccia cerebrale, sono responsabili della percezione cosciente dei sapori.

SENSO DELLA VISTA

La **vista** è estremamente importante per la sopravvivenza umana.

Strutture accessorie dell'occhio:

Le **strutture accessorie** dell'occhio comprendono le palpebre, le ciglia, le sopracciglia, l'apparato lacrimale e i muscoli estrinseci dell'occhio.

Palpebre:

Le **palpebre**, superiore e inferiore, proteggono l'occhio durante il sonno, difendono l'occhio dalla luce eccessiva e da corpi estranei, oltre a distribuire secrezioni lubrificanti su tutto il bulbo oculare. La palpebra superiore è più mobile rispetto a quella inferiore e nella sua regione superiore contiene il **muscolo elevatore della palpebra superiore**. Lo spazio tra le palpebre superiore e inferiore che espone il bulbo oculare è detto **fessura o rima palpebrale**. I suoi angoli conosciuti come

commessura laterale e **commessura mediale**. Nella commessura mediale c'è un piccolo rilievo di colore rossastro, la **caruncola lacrimale**, che contiene ghiandole sebacee e presenta una fine peluria.

Partendo dalla superficie e andando verso l'interno, ogni palpebra è costituita da epidermide, derma, tessuto sottocutaneo, fibra del muscolo orbicolare dell'occhio, tarso, ghiandole tarsali e congiuntiva. Il tarso dà forma e sostegno alle palpebre. Nello spessore di ogni tarso c'è una fila di **ghiandole tarsali**, o **Meibomio**, le quali secernono un fluido che aiuta le palpebre a non aderire tra loro. La **congiuntiva** è una sottile membrana mucosa protettiva composta da un epitelio cilindrico stratificato non cheratinizzato con numerose cellule caliciformi. La **congiuntiva palpebrale** riveste la superficie interna delle palpebre e si riflette nella **congiuntiva bulbare** che riveste anteriormente la superficie del bulbo oculare, dove ricopre la sclera.

Ciglia e sopracciglia:

Le **ciglia** e le **sopracciglia** aiutano a proteggere i bulbi oculari dai corpi estranei, dal sudore e dai raggi solari diretti. Le **ghiandole ciliari sebacee** rilasciano un fluido lubrificante all'interno dei follicoli.

Apparato lacrimale:

L'**apparato lacrimale** è un insieme di strutture che produce e drena il **liquido lacrimale (lacrime)**. Le **ghiandole lacrimali** sono innervate dalle fibre parasimpatiche del nervo faciale e secernono il fluido lacrimale che, attraverso 6-12 **dotti lacrimali**, viene riversato sulla superficie della congiuntiva della palpebra superiore. Da qui le lacrime passano medialmente sopra la superficie anteriore del bulbo oculare per entrare in **punti lacrimali**, che immettono nei **canali lacrimali**; i due sottili canalicoli, riunendosi, sboccano nel **sacco lacrimale**, un piccolo serbatoio che si continua nel **condotto nasolacrimale**. Attraverso questo dotto il liquido lacrimale defluisce nel meato nasale inferiore della rispettiva cavità nasale.

Il liquido lacrimale è una soluzione acquosa contenente sali, muco e **lisozima**, un enzima battericida protettivo. Il liquido protegge, deterge, lubrifica e inumidisce il bulbo oculare. Dopo essere stato secreto, il liquido lacrimale si sparge sulla superficie del bulbo grazie all'ammiccamento delle palpebre.

Se una sostanza irritante viene in contatto con la congiuntiva, le ghiandole lacrimali sono stimolate a una ipersecrezione e le lacrime si accumulano. Questo è un meccanismo protettivo, poiché le lacrime diluiscono e lavano via le sostanze irritanti.

Muscoli estrinseci dell'occhio:

Gli occhi sono contenuti in cavità ossee del cranio chiamate orbite, che aiutano a proteggere gli occhi, li fissano alle loro pareti e li ancorano ai muscoli che sono responsabili dei loro movimenti. I muscoli estrinseci dell'occhio si estendono dalle pareti dell'orbita ossea fino alla sclera dell'occhio e sono circondati nell'orbita da una quantità rilevante di **grasso periorbitale**. Per ogni occhio ci sono sei muscoli estrinseci che ne permettono il movimento: il **retto superiore**, il **retto inferiore**, il **retto laterale**, il **retto mediale**, l'**obliquo superiore** e l'**obliquo inferiore**, che sono innervati dal III, IV e VI nervo cranico. Le unità motorie di questi muscoli sono piccole e permettono movimenti fluidi, precisi e rapidi degli occhi. I muscoli estrinseci dell'occhio muovono il bulbo oculare lateralmente, medialmente, superiormente e inferiormente. I muscoli obliqui preservano la stabilità

rotazionale del bulbo oculare. Circuiti nervosi nel tronco encefalico e nel cervelletto coordinano e sincronizzano il movimento degli occhi.

Anatomia del bulbo oculare:

Il **bulbo oculare** adulto ha un diametro di circa 2.5 cm. È esposto solo un sesto nella sua parte anteriore; mentre la rimanente è contenuta e protetta dall'orbita. La parete del bulbo oculare è formata da tre strati: tonaca fibrosa, tonaca vascolare e retina.

Tonaca fibrosa:

La **tonaca fibrosa** è una lamina connettivale ricca di fibre collagene, suddivisa in sclera e cornea. La **sclera** è una spessa capsula bianca, opaca e inestensibile, che fornisce protezione alle strutture interne più delicate dell'occhio e mantiene la forma del bulbo oculare, contrastando la pressione intraoculare. Funziona come importante sito di attacco per i muscoli estrinseci dell'occhio. Nella sua superficie anteriore la tonaca fibrosa diventa trasparente e presenta una curvatura più accentuata. Questa regione è detta **cornea** ed è situata davanti all'iride pigmentata e permette alla luce di entrare all'interno dell'occhio. Sia la sclera che la cornea sono formate da tessuto connettivo denso, ma mentre la prima è opaca, la seconda è trasparente, in quanto il tessuto corneale è avascolare e presenta fibre collagene, regolarmente distribuite. Alla giunzione sclerocorneale si forma un canale cavo all'interno del tessuto, il **seno venoso della sclera**, che è la via di deflusso dell'umor acqueo dalla camera anteriore dell'occhio nelle vene all'interno della sclera.

Tonaca vascolare:

La **tonaca vascolare** o **uvea** è lo strato intermedio del bulbo oculare ed è composta da tre porzioni: la coroide, il corpo ciliare e l'iride. La porzione posteriore è la **coroide**, riccamente vascolarizzata, che riveste la maggior parte della superficie interna della sclera. La coroide contiene anche melanociti che producono il pigmento melanina, conferendo a questo strato un colore marrone scuro. La melanina nella coroide assorbe i raggi luminosi, prevenendone così la riflessione e la diffusione all'interno del bulbo oculare. L'immagine costruita sulla retina dalla cornea e dal cristallino rimane chiara e definita.

Nella porzione anteriore della tonaca vascolare, la coroide diventa **corpo ciliare**, che si estende dall'**ora serrata** fino a un punto situato dietro la giunzione tra sclera e cornea. Il corpo ciliare appare di colore marrone scuro, poiché contiene melanociti che producono melanina. In aggiunta il corpo ciliare comprende i processi ciliari e il muscolo ciliare. I **processi ciliari** sono sporgenze o pieghe della superficie interna del corpo ciliare, contenenti i capillari sanguigni che secernono umore acqueo. Dai processi ciliari si dipartono le **fibre zonulari**, composte da sottilissime fibrille cave. Il muscolo liscio del corpo ciliare si chiama **muscolo ciliare**, che agisce come uno sfintere restringendo il corpo ciliare. La contrazione o il rilasciamento del muscolo ciliare adattano la forma del cristallino alla visione da vicino o da lontano.

L'**iride** è una lamina circolare perforata, il cui foro centrale è chiamato **pupilla**. L'iride è sospesa tra la cornea e il cristallino. È costituita da melanociti e da fibre muscolari lisce circolari e radiali. La quantità di melanina nell'iride determina il colore degli occhi.

Due distinti gruppi di fibre muscolari lisce formano il **muscolo sfintere della pupilla** e il **muscolo dilatatore della pupilla**. La funzione principale dell'iride è quella di regolare la quantità di luce che entra all'interno del bulbo oculare attraverso la pupilla. La pupilla appare nera perché la parte posteriore dell'occhio è molto ricca di pigmento. Riflessi autonomici regolano il diametro della

pupilla in risposta alla quantità di luce. Quando una luce intensa colpisce l'occhio, le fibre parasimpatiche del nervo oculomotore stimolano la contrazione del muscolo sfintere della pupilla dell'iride, provocando costrizione pupillare. In caso di luce fioca, le fibre simpatiche stimolano la contrazione del muscolo dilatatore della pupilla dell'iride, provocando dilatazione pupillare.

Retina:

Il terzo strato del bulbo oculare, quello più interno, è la **retina**, che rappresenta l'inizio delle vie ottiche. La superficie della retina è l'unico punto dell'organismo in cui i vasi sanguigni possono essere osservati direttamente. Il **disco ottico** è il punto in cui il nervo ottico esce dal bulbo oculare. Associate al nervo ottico ci sono l'**arteria centrale della retina** e la **vena centrale della retina**. La vena centrale della retina drena il sangue dalla retina attraverso il disco ottico.

La retina comprende uno strato pigmentato e uno strato nervoso. Lo **strato pigmentato** è una lamina di cellule epiteliali contenenti melanina localizzata tra la coroide e la parte nervosa della retina. Lo **strato neurale (sensoriale)** della retina è un'estroflessione del diencefalo, che elabora dettagliatamente le informazioni visive prima di mandare impulsi nervosi alle fibre che formano il nervo ottico. Tra distinti strati di neuroni retinici – lo **strato dei fotorecettori**, lo **strato delle cellule bipolari** e lo **strato delle cellule gangliari** – sono separati da due zone, gli strati plessiformi interno ed esterno, dove avvengono i contatti sinaptici. Nei singoli strati esistono anche collegamenti orizzontali dovuti a cellule di associazione: le **cellule orizzontali** e le **cellule amacrine**, che formano dei complessi sinaptici che modificano i segnali che vengono trasmessi lungo la via dei fotorecettori alle cellule bipolari fino alle cellule gangliari. I fotorecettori sono cellule specializzate che danno origine al processo mediante il quale i raggi luminosi vengono convertiti in impulsi nervosi. Ci sono due tipi di fotorecettori: coni e bastoncelli. I **bastoncelli** sono specializzati per la ricezione della luce debole. La luce più intensa stimola i **coni**, che sono sensibili ai colori. I coni e i bastoncelli consistono di tre parti: un segmento esterno, un segmento interno e un terminale assonico. Il segmento esterno è composto da dischi membranosi impilati e appiattiti contenenti una grande quantità di molecole di **fotopigmento**: la rodopsina nei primi, le iodopsine nei secondi.

Al centro della porzione posteriore della retina si trova la **macula lutea**. La **fovea centrale** contiene solo coni. Nella fovea centrale la luce raggiunge direttamente i recettori e rappresenta l'area di maggiore **acuità o risoluzione visiva**. I bastoncelli sono assenti nella fovea centrale e sono più numerosi nella periferia della retina. Poiché la visione mediata dai bastoncelli è più sensibile rispetto a quella dei coni, è possibile vedere meglio un oggetto appena visibile guardandolo un po' di lato invece che direttamente.

Dai fotorecettori l'informazione converge nello strato plessiforme esterno sulle cellule bipolari e successivamente dalle cellule bipolari nello strato plessiforme interno, fino alle cellule gangliari. Gli assoni delle cellule gangliari si raccolgono a formare il nervo ottico, che esce dall'occhio nella **papilla ottica** (o **disco ottico**), che è chiamato anche **punto cieco**: non contiene coni o bastoncelli ed è quindi insensibile alla luce.

Cristallino:

Dietro alla pupilla e all'iride c'è il **cristallino**, una lente biconvessa, formato da **fibre del cristallino** e disposte in strati concentrici. Le cellule del cristallino si riempiono di alcune proteine, chiamate **cristalline**, che costituiscono il mezzo di rifrazione del cristallino; è perfettamente trasparente e privo di vasi sanguigni. Il cristallino aiuta a mettere a fuoco l'immagine sulla retina per ottenere una visione più definita.

Costituzione interna del bulbo oculare:

All'interno dell'occhio si distinguono due cavità riempite di liquido e separate fra loro dal cristallino. Ognuna di queste cavità è trasparente e permette alla luce di passare attraverso l'occhio dalla cornea alla retina. La **cavità anteriore**, posta fra la cornea e il cristallino, contiene l'**umore acqueo**. Questa consta di due camere comunicanti attraverso la pupilla. La **camera anteriore** è delimitata da cornea, iride e cristallino; la **camera posteriore** è una sottile fessura posta tra l'iride e le fibre zonulari e il cristallino.

La più ampia cavità posteriore del bulbo oculare è la **camera vitrea**, che è posta tra il cristallino e la retina. All'interno della camera vitrea c'è il **corpo vitreo**: una sostanza gelatinosa che contribuisce alla pressione intraoculare. Il corpo vitreo ha una forma sferoidale con una depressione anteriore, la **fossa jaloidea**, che alloggia il cristallino. La pressione del corpo vitreo mantiene la retina adesa alla coroida, in modo che la retina sia distesa su una superficie piana per la ricezione di immagini nitide. Il corpo vitreo contiene anche cellule fagocitarie, chiamate jalociti, che rimuovono i detriti. Questi **corpi mobili** sono il risultato di cambiamenti del corpo vitreo dovuti all'invecchiamento e sono generalmente innocui e non necessitano di terapie. Il **canale ialoideo** è uno stretto canale che attraversa il corpo vitreo dal disco ottico alla parte posteriore del cristallino.

La pressione all'interno dell'occhio, chiamata **pressione intraoculare**, è prodotta prevalentemente dall'umore acqueo e in parte anche dal corpo vitreo. La pressione intraoculare mantiene la forma del bulbo oculare e ne previene il collasso.

Vie ottiche:

Gli stimoli luminosi vengono captati, elaborati e integrati a livello delle sinapsi fra i diversi tipi di neuroni dello strato nervoso della retina e gli assoni delle cellule gangliari della retina trasmettono gli impulsi in uscita dalla retina verso l'encefalo attraverso il nervo ottico.

Elaborazione dei segnali visivi nella retina:

All'interno dello **strato nervoso della retina** alcune caratteristiche dei segnali visivi sono potenziate, mentre altre vengono scaricate.

I segnali chimici rilasciati dai bastoncelli e dai coni generano impulsi nervosi sia nelle **cellule bipolari** sia nelle **cellule orizzontali**. Le **cellule amacrine** fanno sinapsi con le cellule bipolari e con le cellule gangliari e integrano le informazioni.

Vie centrali:

Il **nervo ottico** penetra nella cavità cranica e si incrocia con il nervo ottico controlaterale nel **chiasma ottico**. Dopo essere passati attraverso il chiasma ottico, gli assoni, che ora fanno parte del **tratto ottico**, entrano nell'encefalo e la maggior parte di essi termina nel **corpo genicolato laterale** del talamo. Qui fanno sinapsi con neuroni i cui assoni formano la **radiazione ottica**, che proietta alle **aree visive primarie**. Alcune delle fibre del tratto ottico afferiscono al **collicolo superiore** e al **nucleo pretettale**.

SENSO DELL'UDITO E DELL'EQUILIBRIO

L'**udito** è la capacità di percepire i suoni. L'orecchio contiene anche i recettori per l'**equilibrio**.

Anatomia dell'orecchio:

L'**orecchio** consta di tre parti principali: l'orecchio esterno, che raccoglie le onde sonore e le convoglia all'interno, l'orecchio medio, che trasferisce le vibrazioni sonore alla finestra ovale, e l'orecchio interno, che contiene i recettori per l'udito e per l'equilibrio.

Orecchio esterno:

Comprende il padiglione auricolare, il meato uditivo esterno e il timpano. Il **padiglione auricolare**, o **pinna**, il cui margine è l'**elice**, mentre la porzione inferiore è il **lobo**. Legamenti e muscoli attaccano il padiglione auricolare al cranio. Il **meato acustico esterno** (o **condotto uditivo esterno**) è interposto fra il padiglione auricolare e la membrana timpanica. La **membrana timpanica** o **timpano** è una sottile membrana semitrasparente che separa il meato uditivo esterno dall'orecchio medio. Essa è disposta obliquamente e si inserisce nel solco timpanico dell'osso temporale. La membrana timpanica è un po' convessa verso la cavità dell'orecchio medio e il punto di maggior convessità viene definito **ombelico**. Alla superficie interna della membrana timpanica è fissato il martello.

In prossimità della parte finale, il meato acustico esterno contiene dei peli e ghiandole sebacee specializzate, dette **ghiandole ceruminose**, che secernono **cerume**.

Orecchio medio:

L'**orecchio medio** è una piccola cavità contenente aria posta all'interno della porzione petrosa dell'osso temporale. È separato dall'orecchio esterno attraverso la membrana timpanica e dall'orecchio interno attraverso una sottile parete ossea contenente due piccole aperture che portano all'orecchio interno e che sono rivestite da membrane: la finestra ovale e la finestra rotonda. Nell'orecchio medio si trovano gli **ossicini dell'udito**, uniti tra loro da articolazioni sinoviali, che sono il martello, l'incudine e la staffa. Il manico del **martello** si attacca alla superficie interna della membrana timpanica, mentre la testa si articola con il corpo dell'incudine. L'**incudine** si articola con la testa della staffa, la cui base corrisponde alla **finestra ovale**, subito al di sotto della quale si trova la **finestra rotonda**, rivestita dalla membrana timpanica secondaria.

Due piccoli muscoli scheletrici si attaccano agli ossicini: il **muscolo tensore del timpano** e il **muscolo stapedio**, che è il più piccolo muscolo scheletrico dell'organismo.

La parete anteriore dell'orecchio medio presenta un'apertura che immette nella **tuba uditiva**, o tuba di Eustachio, che collega l'orecchio medio con il rinofaringe, dove sbocca con l'ostio faringeo, che è generalmente chiuso, ma si apre durante la deglutizione e mentre si sbadiglia, permettendo il ricambio e l'equilibrio della pressione dell'aria nell'orecchio medio.

Orecchio interno:

L'**orecchio interno** è una struttura complessa costituita da un labirinto osseo esterno che racchiude un labirinto membranoso interno. Il **labirinto osseo** consta di cavità intercomunicanti scavate nella porzione petrosa dell'osso temporale: il vestibolo, i canali semicircolari e la coclea. Il

labirinto osseo è rivestito da periostio e contiene la **perilinf**a, che circonda il **labirinto membranoso**, accolto all'interno del labirinto osseo e che contiene l'**endolinf**a.

Il **vestibolo** è la porzione centrale ovale del labirinto osseo. Il labirinto membranoso del vestibolo è costituito da due sacchetti pieni di endolinf: l'**utr**icolo e il **sacculo**. Dal vestibolo si proiettano tre **canali ossei semicircolari**, anteriore, posteriore e laterale. A un'estremità di ciascun canale c'è un rigonfiamento chiamato **ampolla**. Le parti del labirinto membranoso accolte nei canali semicircolari del labirinto osseo sono i **condotti semicircolari del vestibolo**. Queste strutture sono connesse all'utricolo del vestibolo.

La branca vestibolare del nervo vestibolococleare comprende i nervi ampollare, utricolare e sacculare. Questi nervi contengono sia neuroni sensitivi sia motoneuroni che fanno sinapsi con i recettori per l'equilibrio. I corpi cellulari dei neuroni sensitivi sono localizzati nei **gangli vestibolari**.

Anteriormente rispetto al vestibolo c'è la **coclea**, un canale osseo avvolto a spirale intorno a un nucleo osseo centrale, chiamato **modiolo**. La coclea presenta 3 porzioni: il dotto cocleare membranoso, la scala vestibolare e la scala timpanica. Il **dotto cocleare** è una continuazione del labirinto membranoso nella coclea ed è riempito da endolinf. Sopra al dotto cocleare è situata la **scala vestibolare**, che termina nella finestra ovale, sotto è situata la **scala timpanica**, che termina nella finestra rotonda. La scala vestibolare e la scala timpanica sono completamente separate dal dotto cocleare, ad eccezione di un'apertura all'apice della coclea, l'**elicotrema**.

Il dotto cocleare presenta una parete superiore, formata dalla **membrana vestibolare** (o **membrana de Reissner**), che separa il dotto cocleare della scala vestibolare, e una parete inferiore, formata dalla **membrana basilare**, che separa il dotto cocleare dalla scala timpanica. La membrana basilare sorregge l'**organo spinale** od **organo del Corti**, composto da circa 16000 cellule capellute neuroepiteliali, che sono i recettori per l'udito. Ci sono due gruppi di cellule capellute: le cellule capellute interne e le cellule capellute esterne. Sulla superficie apicale di ogni cellula capelluta ci sono raggruppamenti di 50-100 **stereociglia** e un singolo **chinociglio** che sporgono nell'endolinf.

I corpi cellulari dei neuroni sensitivi sono localizzati nel **ganglio spirale**. La **membrana tectoria** ricopre le cellule capellute dell'organo spirale.

Meccanismi dell'udito:

Le **onde sonore** sono oscillazioni compiute da particelle che trasmettono grazie alle proprietà meccaniche del mezzo.

Nella percezione dei suoni sono coinvolti i seguenti eventi:

1. Il padiglione auricolare dirige le onde sonore nel meato uditivo esterno.
2. Quando le onde sonore colpiscono la membrana timpanica, l'alternarsi di alta e bassa pressione nell'aria ne determina una vibrazione.
3. La superficie della membrana timpanica è connessa al martello, che inizia a muoversi insieme con la membrana timpanica. Questa vibrazione è poi trasmessa dal martello all'incudine e in seguito alla staffa.
4. La base della staffa si muove avanti e indietro di contro alla finestra ovale, trasmettendo vibrazioni e l'orecchio medio amplifica i suoni.
5. I movimenti della staffa sulla finestra ovale producono una compressione della perilinf della coclea, mettendola in movimento.
6. Le oscillazioni della perilinf si trasmettono dalla scala vestibolare alla scala timpanica e infine alla finestra rotonda, causandone la sua spinta esterna verso l'orecchio medio.

7. Le onde di pressione, viaggiando attraverso la perilinfa, si trasmettono alle pareti del dotto cocleare.
8. Le onde di pressione nell'endolinfa determinano una vibrazione della membrana basilare, che fa muovere le cellule capellute dell'organo spirale contro la membrana tectoria. Questo causa una deflessione delle stereociglia che depolarizza la cellula capelluta e la generazione di un impulso nervoso nelle fibre periferiche dei neuroni sensitivi.
9. Le onde sonore di frequenze diverse fanno vibrare più intensamente alcune regioni della membrana basilare rispetto ad altre.

La coclea ha anche l'abilità di produrre suoni, generalmente non udibili, chiamati emissioni otoacustiche, che sono causati da vibrazioni delle cellule capellute esterne che si verificano in risposta alle onde sonore e ai segnali derivanti dai motoneuroni.

Vie acustiche:

Le flessioni delle stereociglia delle cellule capellute dell'organo spirale causano il rilascio di un neurotrasmettitore, che genera impulsi nervosi nei neuroni sensitivi che innervano le cellule capellute. I corpi cellulari dei neuroni sensitivi sono localizzati nel **ganglio spirale**. Gli impulsi nervosi viaggiano lungo gli assoni di questi neuroni che formano la branca cocleare del nervo vestibolococleare. Questo nervo entra nella cavità cranica e raggiunge il tronco cerebrale. Questi assoni formano sinapsi con i neuroni dei **nuclei cocleari, ventrale e dorsale**. Alcuni assoni dai nuclei cocleari decussano nel midollo allungato, formano un tratto chiamato **lemnisco laterale** e terminano nel **collicolo inferiore** del mesencefalo. Altri assoni dai nuclei cocleari terminano nel **nucleo olivare superiore** del ponte di ogni lato. La maggior parte delle fibre che formano il lemnisco laterale convogliano gli impulsi nervosi al **corpo genicolato mediale** del talamo; dai neuroni del corpo genicolato mediale origina la **radiazione acustica** che mette capo all'**area uditiva primaria** della corteccia cerebrale nel lobo temporale del telencefalo.

Meccanismi dell'equilibrio:

Ci sono due tipi di equilibri. L'**equilibrio statico** si riferisce al mantenimento di una posizione del corpo rispetto alla forza di gravità. L'**equilibrio dinamico** è il mantenimento di una posizione del corpo in risposta a movimenti improvvisi come un'accelerazione o una decelerazione rotatoria. Gli organi recettori per l'equilibrio includono il sacco, l'utricolo e i canali semicircolari, e nel complesso sono definiti come **apparato vestibolare**.

Organi otolitici: sacco e utricolo:

Il sacco e l'utricolo sono definiti come organi otolitici. Le pareti di entrambi gli organi contengono una piccola regione rilevata, chiamata **macula**. Le macule dell'utricolo e del sacco sono gli organi di senso dell'equilibrio statico. Le due macule contribuiscono in alcuni aspetti anche all'equilibrio dinamico. Il loro ruolo nell'equilibrio statico è di fornire informazioni sensoriali sul posizionamento della testa nello spazio. Le macule rilevano le accelerazioni e decelerazioni lineari.

L'epitelio diventa più alto in corrispondenza delle macule e presenta due tipi di cellule: le **cellule capellute** e le **cellule di sostegno**. Le cellule capellute presentano 40-80 stereociglia e un chinociglio, che insieme sono chiamati **ciuffi di ciglia**. Le cellule capellute sono sorrette e circondate da cellule cilindriche di sostegno che secernono lo spesso strato gelatinoso glicoproteico che si posa sulle cellule capellute, ovvero la **membrana otolitica**. Uno strato denso di cristalli di carbonato di calcio, chiamati **otoliti**, si estende sull'intera superficie della membrana otolitica.

Condotti semicircolari:

I tre condotti semicircolari svolgono una funzione nell'equilibrio dinamico. Nell'**ampolla**, la porzione dilatata di ogni condotto, c'è un piccolo rilievo chiamato **cresta**. Ogni cresta contiene un gruppo di cellule capellute e cellule di sostegno ed è ricoperta da una massa di materiale gelatinoso chiamato **cupola**.

Vie vestibolari:

La deflessione dei **ciuffi delle ciglia delle cellule capellute** nei condotti semicircolari, nell'utricolo o nel sacculo determina il rilascio di un neurotrasmettitore, che genera impulsi nei neuroni sensitivi che innervano le cellule capellute. I corpi cellulari dei neuroni sensitivi sono localizzati nei **gangli vestibolari**. Gli impulsi nervosi passano lungo gli assoni di questi neuroni, che formano la branca vestibolare nel **nervo vestibolococleare (VIII)**. La maggior parte di questi assoni forma sinapsi con i neuroni dei **nuclei vestibolari** del midollo allungato e del ponte, considerati i principali centri di integrazione per l'equilibrio. Altri assoni entrano nel cervelletto attraverso i **peduncoli cerebrali inferiori**. Vie bidirezionali connettono il cervelletto ai nuclei vestibolari.

I nuclei vestibolari integrano le informazioni dei recettori vestibolari, visivi e propriocettivi e successivamente inviano impulsi alle seguenti aree:

1. **Nuclei di nervi cranici III, IV e VI.**
2. **Nucleo del nervo accessorio (XI).**
3. **Tratto vestibolospinale.**
4. **Nucleo ventrale posteriore del talamo e area vestibolare del lobo parietale della corteccia cerebrale.**

Il cervelletto, in conseguenza degli input provenienti dall'utricolo, dal sacculo e dai dotti semicircolari, invia costantemente impulsi nervosi alle aree motrici del cervello.

SVILUPPO DELL'OCCHIO E DELL'ORECCHIO

Sviluppo dell'occhio:

L'occhio inizia a svilupparsi circa 22 giorni dopo la fecondazione, quando l'**ectoderma** della parete laterale del proencefalo si invagina a formare due **fossette ottiche**. Non appena si chiude il tubo neurale, le fossette ottiche si allargano e crescono formando le **vescicole ottiche**. Quando le vescicole ottiche raggiungono la superficie dell'ectoderma, questo si inspessisce e va a formare il **placode del cristallino**. Inoltre la porzione distale delle vescicole ottiche si invagina a formare un **calice o coppa ottica**, che rimane connessa al proencefalo attraverso il **peduncolo ottico**.

Anche il placode del cristallino si invagina e si trasforma nella vescicola del cristallino. La vescicola del cristallino da origine alla lente dell'occhio o cristallino.

Nella parete del calice ottico lo strato interno forma lo strato nervoso della retina, mentre lo strato esterno forma lo strato pigmentato della retina. Gli assoni dallo strato nervoso crescono attraverso il peduncolo ottico fino al diencefalo, trasformando il peduncolo ottico nel nervo ottico.

La porzione anteriore del calice ottico forma l'epitelio del corpo ciliare, l'iride e i muscoli sfintere e dilatatore della pupilla. Il tessuto connettivo del corpo ciliare, il muscolo ciliare e le fibre zonulari del cristallino originano dal **mesenchima**.

Il **mesenchima** che circonda il calice ottico e il peduncolo ottico si differenzia in uno strato interno, da cui origina la corioide, e in uno strato esterno a partire dal quale si formano la sclera e parte inferiore della cornea. La parte rimanente della cornea deriva dalla superficie **ectodermica**.

La camera anteriore e la camera posteriore originano dal **mesenchima**.

Le palpebre si formano a partire dalla superficie ectodermica e dal mesenchima.

Sviluppo dell'orecchio:

La prima porzione dell'orecchio a svilupparsi è l'orecchio interno, che inizia a formarsi dopo 22 giorni dopo la fecondazione come un inspessimento della superficie ectodermica chiamato **placode otico**, che sono due e si invaginano rapidamente a formare le **fossette otiche**. Successivamente queste vanno a formare le **vescicole otiche** all'interno del mesenchima della testa. Più avanti nello sviluppo le vescicole otiche formeranno strutture associate con il labirinto membranoso dell'orecchio interno. Il **mesenchima** che circonda le vescicole otiche produce cartilagine, che successivamente va incontro a ossificazione e forma le strutture ossee del labirinto osseo.

L'orecchio medio deriva dalla prima **tasca faringea (branchiale)**, un'evaginazione della primitiva faringe rivestita da **endoderma**. Gli ossicini dell'udito si sviluppano a partire dal primo e dal secondo arco faringeo.

L'orecchio esterno deriva dal primo **solco faringeo (branchiale)**, una fessura rivestita da **endoderma**.