

Werner Kahle Michael Frotscher
aggiornato da Frank Schmitz

ATLANTE TASCABILE

Anatomia umana ③

Sistema nervoso e organi di senso

Sesta edizione italiana



cea casa editrice
ambrosiana

Werner Kahle Michael Frotscher
aggiornato da Frank Schmitz

ATLANTE TASCABILE
Anatomia
umana ③

Sistema nervoso e organi di senso

Sesta edizione italiana

Se vuoi accedere alle risorse online riservate

1. Vai su **my.zanichelli.it**
2. Clicca su *Registrati*.
3. Scegli *Studente*.
4. Segui i passaggi richiesti per la registrazione.
5. Riceverai un'email: clicca sul link per completare la registrazione.
6. Cerca il tuo codice di attivazione stampato in verticale sul bollino argentato in questa pagina.
7. Inseriscilo nella tua area personale su **my.zanichelli.it**

Se hai già effettuato la registrazione, per accedere ai contenuti riservati ti serve solo il codice di attivazione.

Indice sintetico

Introduzione



Elementi costitutivi del sistema nervoso



Midollo spinale e nervi spinali



Tronco encefalico e nervi encefalici



Cervelletto



Diencefalo



Telencefalo



Vasi e sistema liquorale



Sistema nervoso vegetativo



Sistemi funzionali



Occhio



Organo dell'udito e dell'equilibrio



Indice generale

Prefazione	XI	Prefazione alla prima edizione dell'Atlante tascabile	XV
Prefazione alla prima edizione del terzo volume	XIII		

Capitolo 1

Introduzione	1		
1.1 Generalità del sistema nervoso	2	1.2 Sviluppo e organizzazione dell'encefalo ..	6
Sviluppo e organizzazione	2	Sviluppo dell'encefalo	6
Circuiti funzionali	2	Organizzazione dell'encefalo	8
Topografia del sistema nervoso	4	Evoluzione dell'encefalo	14

Capitolo 2

Elementi costitutivi del sistema nervoso	17		
2.1 Cellula nervosa	18	Collegamenti neuronali	34
Metodi neuroanatomici	20	2.4 Fibra nervosa	36
Ultrastruttura della cellula nervosa	22	Ultrastruttura della guaina mielinica	36
2.2 Sinapsi	24	Sviluppo della guaina mielinica nel SNP	38
Localizzazione	24	Sviluppo delle fibre nervose amieliniche	38
Struttura	24	Struttura della guaina mielinica nel SNC	38
Funzione	24	Nervi periferici	40
Tipi di sinapsi	26	2.5 Neuroglia	42
Neurotrasmettitori	26	2.6 Vasi	44
Trasmissione sinaptica dell'eccitazione nel bottone terminale	28		
Trasporto assonico	28		
Recettori per i neurotrasmettitori	30		
Trasmissione sinaptica	30		
2.3 Sistemi neuronali	32		

Capitolo 3

Midollo spinale e nervi spinali	47		
3.1 Generalità	48	Innervazione segmentale	66
3.2 Midollo spinale	50	Sindromi midollari	68
Organizzazione	50	3.3 Nervi periferici	70
Arco riflesso	50	Plessi	70
Sostanza grigia e sistema proprio	52	Plesso cervicale (C1-C4)	72
Midollo spinale in sezione trasversale	54	Rami dorsali (C1-C8)	72
Sistemi ascendenti	56	Plesso brachiale (C5-T1)	74
Sistemi discendenti	58	Nervi toracici	84
Identificazioni dei tratti	58	Plesso lombo-sacrale	86
Vasi del midollo spinale	60	Plesso lombare	86
Gangli spinali e radici posteriori	62	Plesso sacrale	90
Meningi	64		

Capitolo 4		
Tronco encefalico e nervi encefalici		99
4.1 Generalità	100	
Organizzazione delle zone longitudinali	102	
Nervi encefalici	102	
Base cranica	104	
4.2 Nuclei dei nervi encefalici	106	
4.3 Midollo allungato	108	
Sezione a livello del nervo ipoglosso	108	
Sezione a livello del nervo vago	108	
4.4 Ponte	110	
Sezione a livello del ginocchio del nervo facciale	110	
Sezione a livello del nervo trigemino	110	
4.5 Nervi encefalici (V, VII-XII)	112	
Nervo ipoglosso	112	
Nervo accessorio	112	
Nervo vago	114	
Nervo glossofaringeo	118	
Nervo vestibolocleare	120	
Nervo facciale	122	
Nervo trigemino	124	
4.6 Gangli parasimpatici	128	
Ganglio ciliare	128	
Ganglio pterigopalatino	128	
Ganglio otico	130	
Ganglio sottomandibolare	130	
4.7 Mesencefalo	132	
Organizzazione	132	
Sezione del mesencefalo attraverso i collicoli inferiori	132	
Sezione del mesencefalo attraverso i collicoli superiori	134	
Sezione del mesencefalo attraverso la regione pretettale	134	
Nucleo rosso e sostanza nera	136	
4.8 Nervi per i muscoli oculari (nervi encefalici III, IV, VI)	138	
Nervo abducente	138	
Nervo trocleare	138	
Nervo oculomotore	138	
4.9 Lunghe vie nervose	140	
Tratto corticospinale e fibre corticonucleari	140	
Lemnisco mediale	140	
Fascicolo longitudinale mediale	142	
Collegamenti internucleari del ncl. del n. trigemino	142	
Tratto tegmentale centrale	144	
Fascicolo longitudinale dorsale	144	
4.10 Formazione reticolare	146	
4.11 Istochimica del tronco encefalico	148	
Capitolo 5		
Cervelletto		151
5.1 Morfologia	152	
Struttura	152	
Nuclei e peduncoli cerebellari	154	
Corteccia cerebellare	156	
Collegamenti neuronali	160	
5.2 Organizzazione funzionale	162	
Proiezione delle fibre	162	
Effetti della stimolazione	162	
5.3 Vie di collegamento	164	
Peduncolo cerebellare inferiore (corpo restiforme)	164	
Peduncolo cerebellare medio (braccio del ponte)	166	
Peduncolo cerebellare superiore (braccio congiuntivo)	166	
Capitolo 6		
Diencefalo		169
6.1 Sviluppo del proencefalo	170	
Limite telediencefalico	170	
6.2 Morfologia	172	
Organizzazione	172	
Sezione frontale a livello del chiasma ottico	172	
Sezione frontale a livello del cinereum	174	
Sezione frontale a livello dei corpi mammillari	174	

6.3 Epitalamo	176	Organizzazione	192
Abenula	176	Effetti della stimolazione del subtalamo	192
Epifisi	176	6.6 Ipotalamo	194
6.4 Talamo dorsale	178	Ipotalamo a fibre oligomieliniche	194
Palliotalamo	178	Ipotalamo a fibre mieliniche	194
Troncotalamo	180	Vascolarizzazione	196
Gruppo anteriore dei nuclei	182	Collegamenti dell'ipotalamo a fibre oli- gomieliniche	196
Gruppo mediale dei nuclei	182	Collegamenti dell'ipotalamo a fibre mieliniche	196
Nucleo centromediano	182	Localizzazioni funzionali nell'ipotalamo	198
Gruppo laterale dei nuclei	184	6.7 Ipotalamo e ipofisi	200
Gruppo ventrale dei nuclei	184	Sviluppo e organizzazione dell'ipofisi	200
Corpo genicolato laterale	186	Infundibolo	200
Corpo genicolato mediale	186	Vascolarizzazione dell'ipofisi	200
Pulvinar	186	Sistema neuroendocrino	202
Sezione frontale a livello del talamo orale	188	Capitolo 7 Telencefalo	207
Sezione frontale a livello del talamo caudale	190	7.1 Generalità	208
6.5 Subtalamo	192	Organizzazione degli emisferi	208
		Rotazione degli emisferi	208
		Evoluzione	210
		Formazione degli strati della corteccia cerebrale	212
		Lobi cerebrali	214
		7.2 Sezioni del telencefalo	216
		Sezioni frontali	216
		Sezioni orizzontali	222
		7.3 Paleocorteccia e amigdala	226
		Paleocorteccia	226
		Amigdala	228
		Collegamenti	230
		7.4 Archicorteccia	232
		Organizzazione e significato funzionale	232
		Corno di Ammone	234
		Collegamenti	234
		Corteccia dell'ippocampo	236
		7.5 Corpo striato	238
		Vie afferenti	238
		Vie efferenti	238
		Significato funzionale	238
		7.6 Insula	240
		7.7 Neocorteccia	242
		Strati della corteccia	242
		Colonne verticali	242
		Tipi cellulari della neocorteccia	244
		Concetto di modulo	244
		Aree corticali	246
		Lobo frontale	248
		Lobo parietale	252
		Lobo temporale	254
		Lobo occipitale	256
		Sistemi di fibre	260
		Asimmetria degli emisferi	264
		7.8 Metodi d'indagine	266
		Radiografia con mezzo di contrasto	266
		Tomografia computerizzata	266
		Risonanza magnetica nucleare (RMN) ..	268
		SPECT e PET	268
		Capitolo 8 Vasi e sistema liquorale	271
8.1 Vasi	272	8.2 Sistema liquorale	282
Arterie	272	Generalità	282
Vene	278	Plessi corioidei	284

Ependima	286	Dura madre	290
Organi circumventricolari	288	Aracnoide	290
8.3 Meningi	290	Pia madre	290

Capitolo 9

Sistema nervoso vegetativo 293

9.1 Generalità e tronco simpatico	294	Fibre efferenti	302
Generalità	294	Fibre afferenti	302
Tronco simpatico	298	Plessi intramurali	302
9.2 Periferia vegetativa	302	Neuroni vegetativi	304

Capitolo 10

Sistemi funzionali 307

10.1 Sistemi motori	308	Terminazioni sensoriali cutanee	320
Via piramidale	308	Via della sensibilità epicritica	324
Sistema motorio extrapiramidale	310	Via della sensibilità protopatica	326
Collegamenti funzionali nel sistema motorio extrapiramidale	312	Organo del gusto	328
Placca motoria	314	Organo dell'olfatto	332
Organo tendineo	314	10.3 Sistema limbico	334
Fuso muscolare	316	Generalità	334
Tratto motorio terminale comune	318	Giro del cingolo	336
10.2 Sistemi sensoriali	320	Setto	336

Capitolo 11

Occhio 339

11.1 Costituzione	340	Retina	350
Palpebre, apparato lacrimale e orbita	340	Fotorecettori, morfologia e funzione	354
Muscoli dell'occhio	342	11.2 Via ottica e riflessi visivi	356
Bulbo oculare	344	Via ottica	356
Segmento anteriore dell'occhio	346	Organizzazione topica della via ottica ...	358
Vascolarizzazione	348	Riflessi visivi	362
Fondo dell'occhio	348		

Capitolo 12

Organo dell'udito e dell'equilibrio 365

12.1 Costituzione	366	12.2 Via acustica e vie vestibolari	382
Generalità	366	Via acustica	382
Orecchio esterno	366	Vie vestibolari	386
Orecchio medio	368		
Orecchio interno	372		

Appendice 389

Bibliografia	390	Indice analitico	399
---------------------------	------------	-------------------------------	------------

Prefazione

«...Il "Kahle" ha dato prova di sé. Cosa si può fare quando ci si è assunti l'onere di continuare questo libro? Lasciare il più possibile le cose come stanno. Tuttavia, il rapido sviluppo delle neuroscienze non lo permette. Soprattutto negli ultimi anni sono state fatte molte nuove scoperte che hanno plasmato le nostre idee su struttura e funzione del sistema nervoso. Era quindi necessario aggiornare e integrare». Questa affermazione contenuta nella prefazione di Michael Frotscher alla precedente edizione tedesca, l'undicesima, è più che mai attuale. Il livello di conoscenza della neuroanatomia sta aumentando rapidamente e ha reso necessario un nuovo aggiornamento di questo volume. Frotscher, curatore delle precedenti edizioni, non era purtroppo in grado di svolgere questo compito in prima persona. L'editore Thieme Verlag mi ha contattato per continuare l'opera di Frotscher e sono stato felice di soddisfare questa richiesta nonostante la breve scadenza per la nuova edizione. È stata mantenuta la struttura di base, ormai collaudata, dell'atlante tascabile, sono stati aggiornati

diversi capitoli e sono state aggiunte rubriche di *Indicazioni cliniche*, per collegare ancora più strettamente i contenuti al contesto clinico. L'obiettivo rimane quello di fornire a chi studia non solo una solida conoscenza della neuroanatomia, ma anche importanti nozioni interdisciplinari di base delle neuroscienze, introducendo agli aspetti clinici delle specialità in cui la neuroanatomia svolge un ruolo fondamentale.

Le relazioni funzionali sono state spiegate ove sono importanti per la comprensione della neuroanatomia e della sua integrazione nel contesto clinico. Sono stati aggiunti anche nuovi metodi diagnostici clinici come l'imaging con tensore di diffusione (DTI).

Desidero ringraziare Marianne Mauch e Tamara Werner di Thieme Verlag per il loro impegno, la loro competenza e il loro paziente supporto durante il lavoro sulla nuova edizione.

Frank Schmitz

Prefazione alla prima edizione del terzo volume

Questo volume offre ai neofiti dell'anatomia un'introduzione alla struttura di base del sistema nervoso, insieme ad approfondimenti sullo stato più recente della ricerca, presentati in modo semplice e conciso. Le scoperte della microscopia elettronica, dell'istochimica e dell'elettrofisiologia hanno ampliato notevolmente questa base di conoscenze negli ultimi decenni. Un morfologo rigoroso potrebbe obiettare all'inclusione dei risultati dell'elettrofisiologia. Tuttavia, considerando che questa disciplina mette in evidenza la rilevanza funzionale delle strutture del sistema nervoso e permette di classificare le strutture morfologiche come unità anatomiche, l'elettrofisiologia è diventata imprescindibile.

Gli studi che producono tali risultati sono ampiamente considerati parte della neuroanatomia sotto l'etichetta di "elettroanatomia". Lo studio dei contenuti di questo volume sarà certamente di supporto a studenti e studentesse di medicina nella preparazione degli esami; anzi, alcuni potranno sviluppare un profondo interesse per questa affascinante materia.

Spero che i profani interessati non si lascino scorgere dalla nomenclatura latina e cerchino di capire struttura e funzione del sistema nervoso. Per quanto riguarda gli specialisti, sono sicuro che si divertiranno a individuare gli errori che inevitabilmente si insinuano quando si produce la prima edizione di un libro.

Ci sono diverse persone che vorrei ringraziare. In primo luogo, vorrei ringraziare Gerhard Spitzer, i cui disegni sono stati fondamentali per il successo di questo libro. Vorrei anche ringraziare tutti i miei colleghi che mi hanno aiutato con i loro consigli, suggerimenti e critiche.

Sono anche grato a E. Klasmeier, che ha fornito il suo aiuto e la sua assistenza in ogni momento. Ringrazio mia moglie per aver preparato l'indice del libro. Sono grato ai collaboratori della Thieme Verlag, senza la cui perseveranza e pazienza questo libro non sarebbe mai stato completato.

Werner Kahle

Prefazione alla prima edizione dell'Atlante tascabile

Questo atlante tascabile si rivolge a studenti e studentesse di medicina, con l'obiettivo di fornire loro una panoramica illustrata dei più importanti aspetti dell'anatomia umana; inoltre, risulterà utile anche per offrire informazioni su questa disciplina a persone interessate a vario titolo a conoscere l'anatomia umana.

Per chi studia medicina, la preparazione agli esami dovrebbe comportare innanzitutto la memorizzazione di esperienze visive. L'interazione tra testo e immagini di questo libro contribuisce a rendere i vari aspetti anatomici più facilmente visualizzabili.

L'*Atlante tascabile - Anatomia umana* è strutturato in tre volumi e per sistemi: Il volume 1 copre l'apparato locomotore, il volume 2 si occupa degli organi interni, mentre il volume 3 analizza il sistema nervoso e gli organi sensoriali.

Le relazioni topografiche di vie periferiche, nervi e vasi sanguigni, sono trattate nel volume 1, in quanto sono strettamente collegate al sistema locomotore. Il volume 2 tratta la classificazione sistematica dei vasi. Il pavimento pelvico, che è strettamente legato agli organi della pelvi inferiore, è stato incluso nel volume 2, insieme alla topografia a essa associata.

La storia dello sviluppo dei denti è stata brevemente accennata nel volume 2, perché facilita la comprensione della dentizione. Inoltre, i precursori embrionali comuni dei genitali maschili e

femminili sono stati approfonditi perché facilitano la comprensione della struttura degli organi genitali stessi e delle non rare variazioni e deformità. Nel capitolo sui genitali femminili vengono affrontate alcune questioni relative alla gravidanza e al parto. Tuttavia, va sottolineato che il volume non copre in alcun modo la conoscenza dell'anamnesi dello sviluppo richiesta a chi deve praticare la medicina! Le osservazioni sulla fisiologia e la biochimica sono relative agli aspetti di base e servono unicamente a migliorare la comprensione delle caratteristiche strutturali. Per informazioni più approfondite, è necessario consultare i libri di fisiologia e biochimica.

Infine, vorremmo sottolineare che l'*Atlante tascabile - Anatomia umana* ovviamente non sostituisce un libro di testo approfondito per i corsi di medicina. La bibliografia a fondo volume comprende riferimenti alla letteratura più approfondita, compresi i libri con taglio clinico, nella misura in cui hanno una forte relazione con l'anatomia.

Le persone non esperte che sono interessate a conoscere il corpo umano, troveranno delle illustrazioni facili da comprendere che descrivono comuni metodi di analisi medica. Includendo queste informazioni, abbiamo risposto alla richiesta dell'Editore di ampliare il contenuto del libro per introdurre questi aspetti.

Gli autori

Capitolo 7

Telencefalo

7.1	Generalità	208
7.2	Sezioni del telencefalo	216
7.3	Paleocorteccia e amigdala	226
7.4	Archicorteccia	232
7.5	Corpo striato	238
7.6	Insula	240
7.7	Neocorteccia	242
7.8	Metodi d'indagine	266



L'evoluzione delle tecniche per immagini ha portato nell'ultimo ventennio a uno sviluppo notevolissimo nella diagnostica clinica. Le principali tecniche per la dimostrazione del sistema nervoso centrale sono rappresentate da:

- *radiografia con mezzo di contrasto* per la dimostrazione dei vasi e dei ventricoli;
- *tomografia computerizzata* (TC);
- *risonanza magnetica* (RM) (pag. 268).

Le radiografie tradizionali servono essenzialmente alla dimostrazione delle strutture ossee; l'uso dell'ecografia a livello del SNC adulto è alquanto limitato dal fatto che le onde sonore non possono attraversare le ossa craniche. Tuttavia, nella prima infanzia, le indagini ecografiche hanno un notevole significato diagnostico. Oltre alla pura indagine morfologica, l'iniezione di appropriati isotopi radioattivi consente anche la dimostrazione di parametri funzionali: le tecniche di medicina nucleare quali la *tomografia computerizzata a emissione di singolo fotone* (SPECT, *Single Photon Emission Computed Tomography*) e la *tomografia a emissione di positroni* (PET, *Positron Emission Tomography*) (pag. 268) possono essere impiegate per la dimostrazione delle attività di perfusione e di ricambio e anche per la mappatura di specifici sistemi recettoriali. Qui di seguito saranno brevemente ricordate alcune applicazioni dei principali metodi di indagine.

Radiografia con mezzo di contrasto (A)

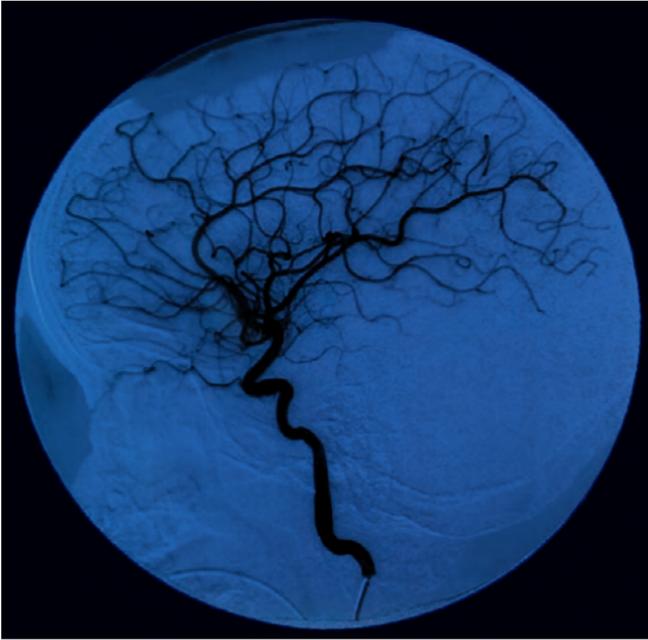
A partire da una sorgente di raggi Röntgen (raggi X), le radiazioni raggiungono il corpo e lo attraversano. Le strutture che assorbono i raggi (prime fra tutte le ossa) appaiono quindi sotto forma di silhouette sullo schermo rivelatore. Quest'ultimo può essere rappresentato o da uno strato fotosensibile, o anche da un ricevitore periferico digitale. Per la *dimostrazione dei vasi sanguigni* il paziente viene posto tra due rivelatori e gli viene iniettato un mezzo di contrasto. Per sottrazione

delle immagini ottenute prima e dopo l'iniezione del mezzo di contrasto si possono eliminare le strutture ossee immoificate. L'immagine sottratta così ottenuta mostra selettivamente i vasi sanguigni iniettati con mezzo di contrasto. L'applicazione di un mezzo di contrasto può essere effettuata selettivamente per un determinato vaso, inserendovi un catetere vascolare. Le immagini così ottenute (A) mostrano un quadro ad alta risoluzione del distretto vascolare desiderato. Questa **angiografia digitale per sottrazione** (DSA) risulta però particolarmente gravosa per i pazienti. La DSA venosa, nella quale il mezzo di contrasto viene iniettato in una vena dell'arto superiore, ha come conseguenza la diluizione del mezzo di contrasto nel volume di sangue circolante producendo immagini meno contrastate e con una colorazione aspecifica di tutti i vasi. Pertanto, non viene utilizzata nella pratica medica.

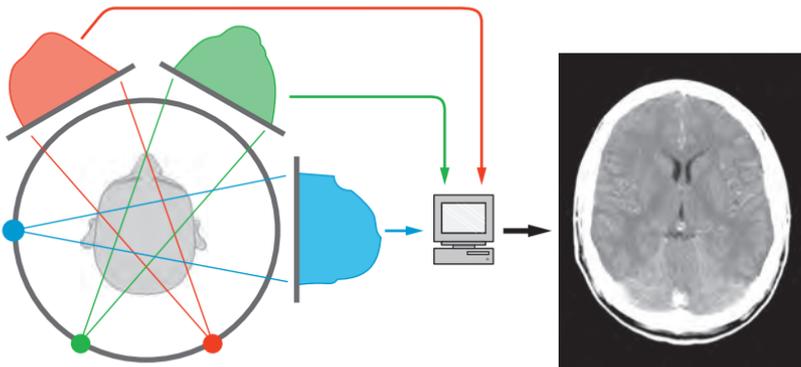
Nella **mielografia** il mezzo di contrasto viene iniettato mediante rachicentesi direttamente nel liquor spinale.

Tomografia computerizzata (B)

Anche nel caso della **tomografia computerizzata** (TC) le immagini si formano con l'ausilio di raggi X. Il principio della formazione dell'immagine non consiste in questo caso, come era invece nel caso della tecnica proiettiva, nella formazione di una sovrapposizione di proiezioni. In questo caso vengono ottenute invece proiezioni singole di uno strato sottile, definito mediante la geometria del fascio di raggi X. Dopo aver misurato il profilo di assorbimento a vari angoli di proiezione (rappresentati nella figura B come superfici rosse, verdi e blu), si può calcolare, per mezzo di **proiezioni retrograde** (*back-projection*) filtrate, un'immagine bidimensionale dello strato sottile attraversato dai raggi X. Come rivelatori vengono usati in questo caso soltanto delle fotocellule digitali ad alta sensibilità. Queste permettono di documentare con precisione, oltre alle strutture ossee, anche le strutture molli.



A Angiografia digitale per sottrazione, rappresentazione selettiva dell'arteria carotide interna, proiezione laterale (M. Orszagh, Dip. Diagnostica radiologica, Università di Friburgo)



B Principio della tomografia computerizzata mediante la misura dei profili di assorbimento (superfici rosse, verdi e blu) di raggi X a ventaglio e ricostruzione dell'immagine al calcolatore (TC di J. Laubenberger, Dip. Diagnostica radiologica, Università di Friburgo)

Figura 7.30 Angiografia digitale per sottrazione, tomografia computerizzata

Tomografia computerizzata (continuazione)

Il campo di applicazione principale della TC nel SNC è soprattutto l'esame di pazienti affetti da traumi *cranio-encefalici*, poiché la TC, oltre a fornire una rappresentazione di alta precisione degli spostamenti ossei, è anche molto sensibile per la rappresentazione di emorragie. Inoltre possono essere studiati tutti i tipi di processi espansivi grazie alla grande precisione nei dettagli della rappresentazione anatomica offerta da questa metodica. In realtà tali applicazioni si stanno spostando dalla TC alla risonanza magnetica a causa della più alta sensibilità di quest'ultima.

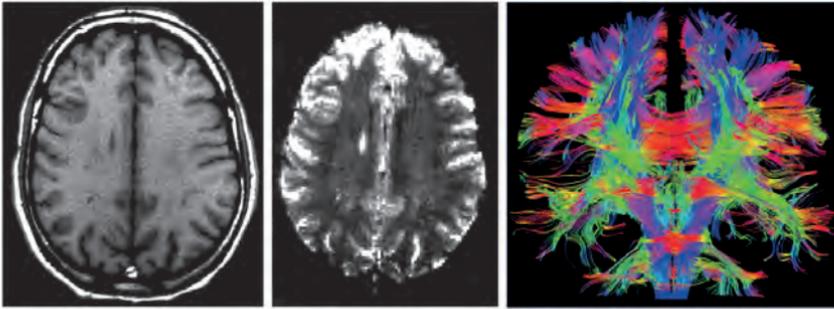
Risonanza magnetica nucleare (RMN) (A-C)

Il principio della formazione dell'immagine nella risonanza magnetica, o più comunemente risonanza magnetica nucleare (RMN), si fonda sulle proprietà magnetiche dei nuclei atomici dell'organismo (soprattutto dei nuclei di idrogeno nell'acqua libera e legata). Le variazioni imposte al campo magnetico permettono una visualizzazione spaziale dei tempi di rilassamento longitudinale (T1) e trasversale (T2), che dipendono dalla forma chimica degli atomi di idrogeno nei tessuti. La RMN consente così non soltanto una rappresentazione spaziale di strutture anatomiche, ma, mediante la dipendenza dell'intensità del segnale in presenza di sequenze di misura diverse, anche un contrasto molto flessibile di diversi tipi tissutali tra di loro. Le immagini delle figure **A** e **B** originano dallo stesso strato anatomico e dimostrano la grande flessibilità della rappresentazione mediante contrasto della RMN. Sulla base della dipendenza molto flessibile dell'intensità del segnale dalle proprietà tissutali, la RMN costituisce un metodo ad alta sensibilità per la *rappresentazione di alterazioni patologiche tissutali*. Per la misura del segnale di risonanza magnetica vengono utilizzate radiazioni elettromagnetiche nell'intervallo di frequenza 10-100 MHz, le quali secondo le conoscenze attuali sono prive di effetti secondari nocivi per l'organismo. Rispetto alla tomografia computerizzata, la RMN possiede inoltre il vantaggio che la geometria dell'immagine non è ristretta alla geometria del sistema emittente-ricevente, e pertanto può essere ricostruita in qualsiasi piano. La risoluzio-

ne spaziale della RMN è situata, per uno spessore dello strato di circa 5 mm, nell'intervallo 0,7-1 mm. La registrazione di 16-20 strati paralleli della testa richiede, a seconda della sequenza di misura usata, da pochi secondi a qualche minuto. Immagini di un singolo strato possono essere riprese in 60-100 ms. Una variante della RMN con tensore di diffusione (DTI, *Diffusion Tension Imaging*) permette la visualizzazione selettiva dei tratti di fibre nel loro decorso (C).

SPECT e PET (D, E)

Entrambe queste tecniche di medicina nucleare si basano sulla rivelazione della radiazione di nucleidi radioattivi, che vengono somministrati prima dell'esame. Nel caso della SPECT (tomografia computerizzata a emissione di singolo fotone) vengono utilizzati raggi γ ; la rivelazione dei raggi prodotti avviene in maniera analoga alla TC per mezzo di fotocellule. La geometria dei raggi rivelati non è predeterminata dalla disposizione del sistema emittente-ricevente, ma in questo caso devono essere determinate sia l'intensità sia la direzione dei raggi ricevuti. Questo fatto ha per conseguenza una risoluzione spaziale chiaramente peggiore rispetto alla tomografia computerizzata, che si situa nell'ambito di circa 1 cm. Pertanto non si riescono a ottenere immagini anatomiche ad alta risoluzione; ciononostante la SPECT è adeguata per la *determinazione del flusso sanguigno cerebrale*. Nella PET (tomografia a emissione di positroni) vengono utilizzati raggi β (positroni). I positroni che si formano nel decadimento spontaneo si combinano con gli elettroni presenti nell'organismo quasi istantaneamente; in questa combinazione danno origine a due quanti (raggi γ) che vengono emessi in direzioni opposte (D). La geometria di questi raggi può essere ricostruita mediante la misura della coincidenza dei due fotoni γ osservati nell'anello di rivelatori, e ciò permette una risoluzione molto migliore rispetto a quella della SPECT, intorno a 2-4 mm, che è pertanto sempre peggiore rispetto a quella della TC e della RMN. Mediante l'inserimento di isotopi radioattivi adeguati in molecole biologicamente attive, possono essere effettuate con la PET oltre a *misure di perfusione anche misure del metabolismo (E)*, oppure varie *rappresentazioni di sistemi recettoriali selettivi* (per esempio i recettori della dopamina).

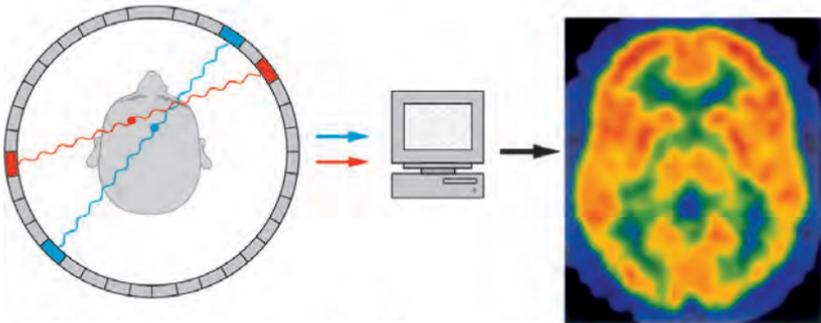


A Immagine pesata in T1

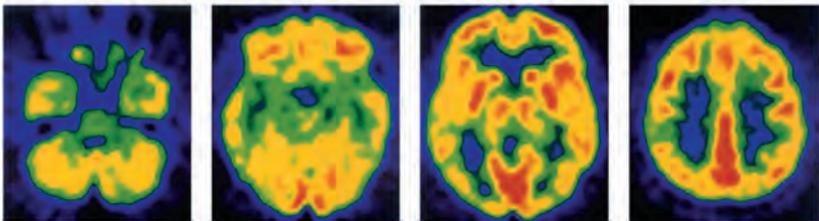
B Immagine pesata in T2

C Visualizzazione delle fibre tramite DTI
(www.siemens.com/presse)

A, B, C Immagini della testa sopra ai ventricoli ottenute mediante la risonanza magnetica nucleare



D Principio della tomografia a emissione di positroni: rivelazione di raggi γ emessi simultaneamente in direzioni opposte al momento del decadimento di un isotopo radioattivo (PET di F. Jüngling, Dip. Medicina Nucleare, Università di Friburgo)



E Immagini della PET da quattro sezioni parallele (intensità del metabolismo del glucosio nell'encefalo)

Figura 7.31 RMN, PET, DTI

Capitolo 10

Sistemi funzionali

10.1	Sistemi motori	308
10.2	Sistemi sensoriali	320
10.3	Sistema limbico	334

10

Placca motoria (A-C)

Le fibre nervose motorie (A1) si diramano nel muscolo, cosicché ogni fibra muscolare (AB2) è innervata da un ramo dell'assone (A3). Il numero di fibre muscolari innervate da un assone è molto variabile. Nei muscoli dell'occhio e delle dita un assone può innervare 2-3 fibre muscolari, in altri muscoli invece anche 50-60 fibre. L'insieme delle fibre muscolari innervate dall'assone di una cellula radicolare motoria (motoneurone α) costituisce l'*unità motoria*, che si contrae tutta insieme con la stimolazione della corrispondente cellula nervosa. I rami terminali dell'assone perdono, prima della loro terminazione, l'involucro mielinico e si dividono in vari rametti. A livello della zona di contatto con le ramificazioni assoniche la superficie della fibra muscolare forma un rilievo appiattito (*placca motoria*, A4).

Nella placca motoria si possono distinguere numerosi nuclei localizzati nei pressi delle diramazioni terminali dell'assone (A5). I nuclei posti sopra le diramazioni dell'assone appartengono alle cellule di Schwann che avvolgono le terminazioni nervose (*telogia*) (B6). Quelli situati al di sotto (B7) sono i nuclei della fibra muscolare concentrati nella regione della *suola della placca*. L'assoplasma e il sarcoplasma sono delimitati da una struttura a palizzata (B8), che, a livello ultrastrutturale, appare costituita da pieghe del sarcolemma.

Gli assoni terminano con rigonfiamenti bottoniformi (B9), che si infossano nella fibra muscolare. Si formano così delle fossette rivestite dal sarcolemma e dalla membrana basale in modo tale che le terminazioni assoniche sono sempre extrasarcolemmali. Nelle fossette si nota una notevole pieghettatura del sarcolemma (**apparato subneurale**) (C10), per cui la superficie della membrana della fibra muscolare risulta molto aumentata.

La placca motoria è una forma speciale di sinapsi, la cui membrana presinaptica è la membrana

dell'assone (C11) e la membrana postsinaptica è il sarcolemma pieghettato (C12). La sostanza che trasmette l'eccitazione nervosa sulla fibra muscolare è l'**acetilcolina**. È contenuta nelle vescicole chiare (BC13), che si aprono durante l'eccitazione dell'assone nello spazio sinaptico e provocano una depolarizzazione della membrana della fibra muscolare, legandosi a specifici recettori (recettori nicotinici per l'acetilcolina).

Organo tendineo (D-F)

L'**organo tendineo di Golgi** è situato nella zona di passaggio fra tendine e muscolo. È formato da un gruppo di fibre collagene (D14), circondate da una sottile capsula connettivale e provviste di una fibra nervosa mielinica (D15), la quale perde – dopo il suo passaggio attraverso la capsula – la guaina mielinica e si divide in tanti rami che avvolgono le fibre collagene. Si ritiene che le fibre collagene, non molto stipate (E), siano tese durante la contrazione muscolare (F), provocando una pressione sulle fibre nervose. Si evoca così un impulso che è trasportato dalla fibra nervosa, attraverso la radice posteriore, al midollo spinale e influenza il motoneurone inibendolo, in modo da regolare la contrazione muscolare.

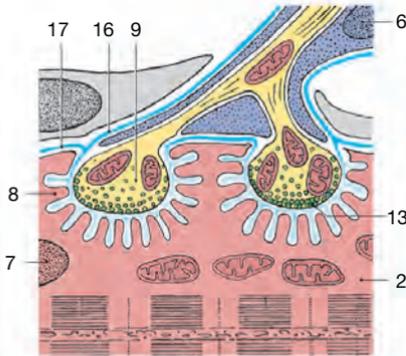
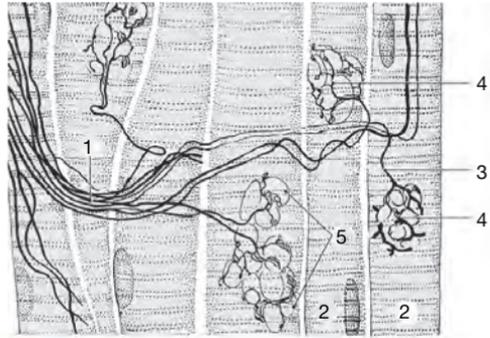
Indicazioni cliniche Nella miastenia grave si riscontra un disturbo a livello della trasmissione neuromuscolare, che si manifesta con un affaticamento anomalo della muscolatura striata. Vengono colpiti precocemente i muscoli oculari esterni (ptosi). L'origine è da ricercare in una malattia autoimmune con formazione di anticorpi contro recettori nicotinici per l'acetilcolina. In seguito all'azione degli anticorpi il numero di recettori per l'acetilcolina non è sufficiente per garantire la trasmissione dell'eccitazione.

B16 Membrana basale del terminale assonico

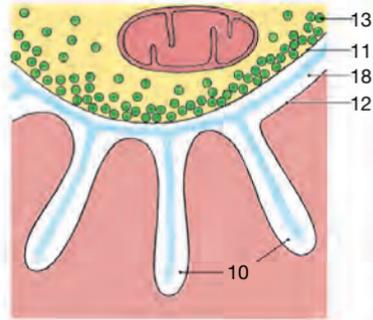
B17 Membrana basale della fibra muscolare

C18 Fessura sinaptica con membrana basale comune del terminale assonico e della fibra muscolare

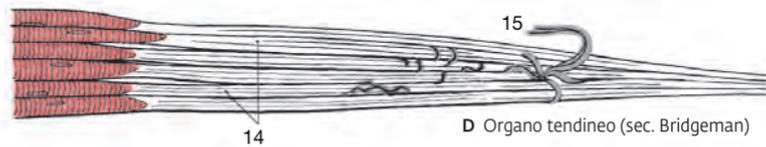
A Placca motoria, visione generale



B Placca motoria, schema ultrastrutturale (sec. Couteaux)



C Particolare di B (sec. Robertson)



D Organo tendineo (sec. Bridgeman)



E Organo tendineo nel muscolo rilassato (sec. Bridgeman)



F Organo tendineo nel muscolo contratto (sec. Bridgeman)

Figura 10.4 Placca motoria, organo tendineo

Organo del gusto (A-E)

Calici gustativi

Le diverse sensazioni del gusto sono registrate dai calici gustativi che insieme all'epitelio olfattivo appartengono ai *chemiocettori*. I **calici gustativi (B-D1, E)** si trovano in grande numero sulle pareti laterali delle *papille vallate (AB2)*, in minor numero sulle pareti delle *papille fungiformi* e delle *papille foliate*. Raramente si trovano anche sul palato molle, sulla faccia posteriore della faringe e sull'epiglottide.

Un calice gustativo è formato da circa 20-50 cellule fusiformi chiare, che sono disposte a mo' di guscio e delimitano con la loro superficie libera un piccolo canale, il *poro gustativo (C3)*. A questo livello sporgono piccoli prolungamenti apicali delle cellule. Oltre alle cellule gustative i calici contengono cellule di sostegno e cellule staminali (cellule basali; vedi di seguito). Le cellule gustative sono cellule sensoriali secondarie. Hanno una vita di circa 5-20 giorni e vengono continuamente rigenerate dalle cellule staminali. Il legame della sostanza gustativa porta all'attivazione delle cellule gustative e al rilascio di trasmettitori al polo basale. I trasmettitori rilasciati dalle cellule gustative includono serotonina, noradrenalina, GABA, acetilcolina, neuropeptidi e ATP.

I trasmettitori rilasciati vengono rilevati dalle terminazioni nervose. La base dei calici gustativi è innervata da sottili fibre nervose mieliniche (**D4**). Entrando nel calice gustativo, le fibre nervose intragemmali (di solito 2-3) perdono la loro guaina di cellule di Schwann e formano una rete che circonda strettamente le cellule epiteliali.

L'osservazione al microscopio elettronico mostra il lungo collo (**E5**) delle cellule sensoriali, che sporge nel poro gustativo e termina con una superficie ricca di microvilli (**E6**): è questa la vera porzione recettiva della cellula. Per la presenza dei microvilli la superficie delle cellule

che viene in contatto con le sostanze gustative risulta notevolmente aumentata. Anche le cellule di sostegno hanno microvilli che si estendono nel poro gustativo. Si possono distinguere diversi tipi di cellule nei calici gustativi: le *cellule di sostegno scure (E7)* contengono numerosi granuli di secreto, mentre le *cellule gustative chiare (E8)* ne sono prive. Un terzo tipo cellulare (**E9**) è più corto ed è rappresentato da elementi che non raggiungono con i microvilli il poro. Probabilmente sono stadi diversi di sviluppo delle cellule sensoriali che si rinnovano continuamente. La base del poro e gli spazi compresi fra le porzioni recettive delle cellule contengono una sostanza mucosa, che è secreta dalle cellule sensoriali stesse.

Le papille gustative, in particolare le papille vallate, hanno ghiandole salivari sierose (ghiandole di von Ebner, **B10**). I recettori per la sostanza gustativa sono proteine di membrana che provocano l'eccitazione delle cellule recettoriali per mezzo di diversi meccanismi. Alcuni recettori gustativi sono canali ionici (per i gusti salato e acido), la cui permeabilità cambia dopo il legame della sostanza specifica (recettori ionotropici). Altri recettori gustativi (per i gusti dolce, amaro, umami) sono proteine di membrana associate a proteine G che dopo il legame delle sostanze gustative innescano cascate di segnalazione intracellulare (recettori metabotropici) (papilla gustativa singola, **C1**; papille gustative gemelle, **C11**).

Cellule isolate, denominate cellule a spazzola (*brush cell*), sono distribuite in tutta la mucosa del tratto gastrointestinale, del tratto respiratorio e del tratto urogenitale, dove svolgono funzioni chemiorecettoriale (cellule sentinella). Le cellule a spazzola, come le cellule sensoriali delle papille gustative, hanno lunghi microvilli specializzati arricchiti di recettori di membrana. I meccanismi di trasduzione del segnale intracellulare delle cellule a spazzola sono simili a quelli delle cellule gustative.

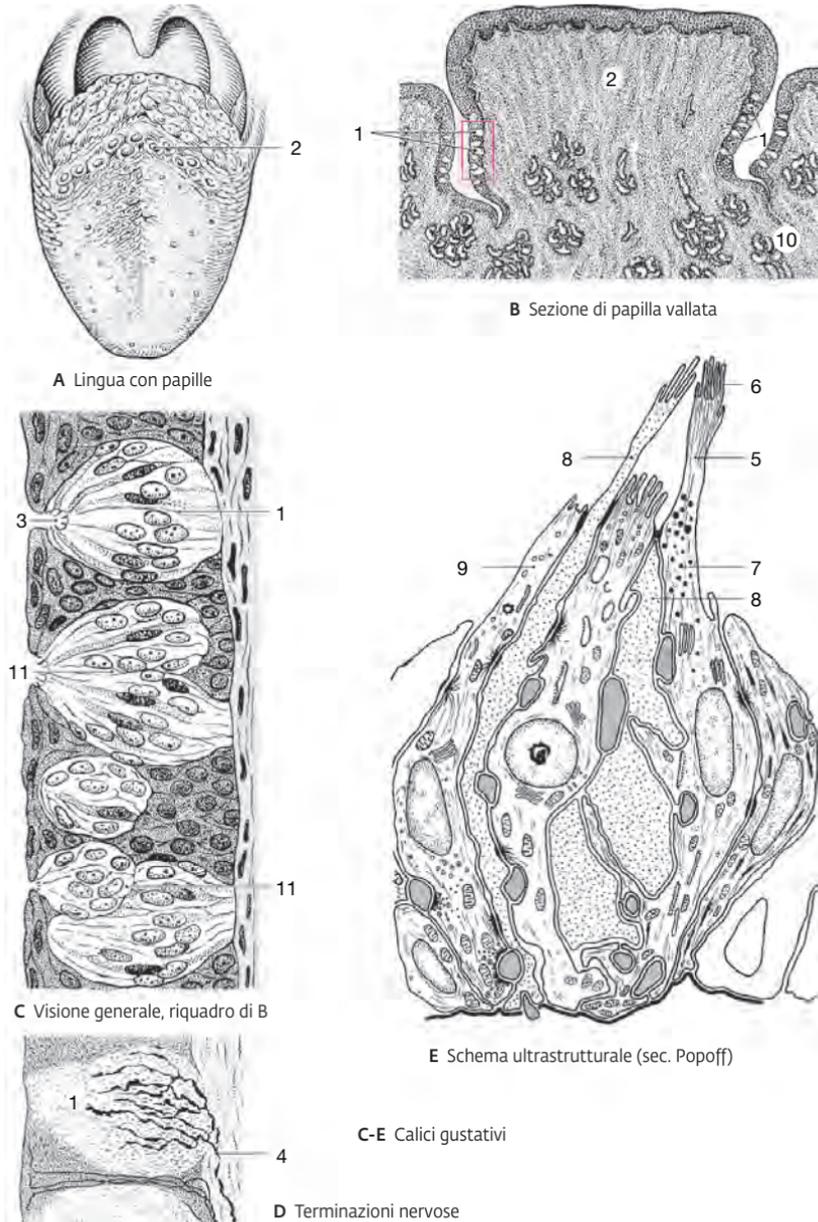


Figura 10.11 Calici gustativi

Werner Kahle
Michael Frotscher
aggiornato da Frank Schmitz

ATLANTE TASCABILE **Anatomia umana** ③

Sistema nervoso e organi di senso

Sesta edizione italiana

**Inquadra
e scopri
i contenuti**



Le risorse digitali
universita.zanichelli.it/kahle

A questo indirizzo sono disponibili
le risorse digitali di complemento al libro.

Libro con Ebook

Chi acquista il libro nuovo può accedere
gratuitamente all'Ebook,
seguendo le istruzioni presenti nel sito.

L'accesso all'Ebook e alle risorse digitali
protette è personale, non condivisibile
e non cedibile, né autonomamente
né con la cessione del libro cartaceo.

L'opera *Atlante tascabile - Anatomia umana* raccoglie in tre volumi, e in modo compatto, le conoscenze anatomiche del corpo umano e delle sue strutture, ed è da quasi cinquant'anni un punto di riferimento per prepararsi agli esami e per la consultazione.

Il *Volume 3* è dedicato a struttura e topografia del sistema nervoso e degli organi sensoriali, e alle loro complesse interazioni funzionali. Vengono inoltre spiegati i principi di base e le applicazioni dei metodi di imaging (CT, RMN, PET e SPECT), oggi fondamentali nella ricerca neuroanatomica.

La struttura è quella di un atlante, dove la componente visiva ha un ruolo centrale, con 190 tavole anatomiche a colori. L'applicazione dell'anatomia alla pratica medica è messa in rilievo dalle frequenti rubriche con le *Indicazioni cliniche*.

Nel sito del libro sono disponibili
numerosi flashcard per il ripasso.

Werner Kahle[†] è stato professore emerito presso l'Istituto di Neurologia dell'Università di Frankfurt am Main, in Germania.

Michael Frotscher[†] è stato un importante neuroanatomista e neuroscienziato tedesco.

Frank Schmitz è professore di Anatomia presso l'Università del Saarland, a Saarbrücken, in Germania.

KAHLE*ANATOMIA UMANA 3 6ED (CEA LUMKQ
ISBN 978-88-08-69973-2



9 788808 699732

5 6 7 8 9 0 1 2 3 (64A)