

# Autori

## Andrea Bartolo

Unità Operativa Complessa  
di Neuroradiologia Diagnostica e Terapeutica  
IRCCS Neuromed - Pozzilli (Isernia)

## Marcello Bartolo

Unità Operativa Complessa  
di Neuroradiologia Diagnostica e Terapeutica  
IRCCS Neuromed - Pozzilli (Isernia)

## Arturo Consoli

Service de Neuroradiologie Diagnostique  
et Thérapeutique  
Hôpital Foch - Suresnes (Francia)  
Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines  
Francia

## Enrico Fainardi

Struttura Organizzativa Dipartimentale  
di Neuroradiologia  
Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi  
Università degli Studi - Firenze

## Fulvio Gasparrini

Unità Operativa Semplice Dipartimentale  
di Radiologia Vascolare e Interventistica  
Ospedale Santa Rosa - Viterbo

## Giovanni Grillea

Unità Operativa Complessa  
di Neuroradiologia Diagnostica e Terapeutica  
IRCCS Neuromed - Pozzilli (Isernia)

## Marcello Longo

già professore ordinario di Neuroradiologia  
Università degli Studi - Messina

## Mirta Longo

Neuroradiología intervencionista  
Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz  
Madrid (Spagna)

## Salvatore Mangiafico

Unità Operativa Complessa  
di Neuroradiologia Diagnostica e Terapeutica  
IRCCS Neuromed - Pozzilli (Isernia)

## Nicolò Nicoli Aldini

Dipartimento di Scienze Chirurgiche,  
Odontostomatologiche e Materno-Infantili  
Università degli Studi - Verona

## Benedetta Piccardi

Stroke Unit  
Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi - Firenze

## Andrea Rosi

Service de Neuroradiologie Diagnostique  
et Interventionnelle  
Hôpitaux Universitaires de Genève  
Ginevra (Svizzera)

## Sandro Sanguigni

Unità Operativa di Neurologia e Stroke Unit  
Ospedale Madonna del Soccorso  
San Benedetto del Tronto (Ascoli Piceno)

## Agostino Tessitore

Unità Operativa Complessa di Neuroradiologia  
Azienda Ospedaliera Universitaria Gaetano Martino  
Messina

## Guido Trasimeni

Unità Operativa Complessa di Neuroradiologia  
Azienda Ospedaliero-Universitaria Sant'Andrea - Roma

## Vinicio Valente

Cattedra di Neurochirurgia  
Università degli Studi Magna Græcia - Catanzaro

## Andrea Wlderck

Unità Operativa Dipartimentale  
Radiologia e Neuroradiologia Interventistica  
ASL Frosinone - Regione Lazio

# Présentation

## *Testo originale in francese*

Anatomie...

Me croirez vous si je vous dis que durant mes études de médecine, l'anatomie était une matière redoutée car me paraissant sèche, complexe, aride et qui me faisait peur parce que difficile à apprendre, difficile à comprendre ? Et pourtant...

Il a fallu que j'entre en neuroradiologie interventionnelle pour que l'anatomie fasse partie de ma vie quotidienne avec bonheur. Parce que j'avais eu un mentor en la personne de Pierre Lasjaunias pour qui l'anatomie était un langage quotidien qu'il m'apprit à parler progressivement. Il avait l'habitude de dire que l'anatomie s'apprenait, s'oubliait, se réapprenait, s'oubliait à nouveau, se réapprenait encore jusqu'à ce que ce langage particulier soit gravé en nous de façon indélébile. Au-delà de cette langue particulière mais universelle qui nous permet à tous de communiquer et de nous comprendre, l'anatomie permet aussi de traiter les malades qui nous sont confiés avec des marges de sécurité plus importantes. *Anatomy is the cheapest way to be safe* avait il coutume de nous dire. Tous ceux qui pratiquent cette sécurité le savent et continuent de l'enseigner.

Salvatore Mangiafico est de ces personnalités intègres, profondément attachées à leur spécialité et à leurs patients. Il a « parlé anatomie » toute sa vie professionnelle et il continue de convaincre les jeunes générations de neuroradiologues, neurochirurgiens, neurologues non seulement de la beauté de l'arborisation vasculaire du système nerveux central, mais aussi du « pourquoi » de sa disposition et de ses variations : il leur permet ainsi de faire les corrélations radio-anatomo-cliniques nécessaires non seulement à la compréhension des symptômes que présentent les patients, mais aussi de les prendre en charge de façon adaptée en évitant les pièges qu'une mauvaise compréhension anatomique dressera obligatoirement devant eux. Le livre que vous tenez en main en est la concrétisation. Certes les techniques de neuroradiologie interventionnelle se développent et permettent d'élargir le spectre des indications thérapeutiques. Mais sans l'anatomie, ces techniques deviennent même dangereuses.

Un ancien grand avocat parisien avait dit un jour au jury qu'il avait en face de lui au cours de sa plaidoirie pour défendre son client, « vous aurez jugé, mais vous n'aurez pas rendu la justice ». Cette phrase importante peut s'adapter à notre spécialité de façon majeure : « vous aurez peut être embolisé une lésion, mais vous n'aurez pas traité le malade ». Nous aurons peut être effacé une lésion d'une image angiographique, mais à quel prix pour le malade qui s'est confié à nous, si nous n'avons pas compris la vascularisation qui nourrissait sa lésion ?

Alors avant de prendre un cathéter en main, ou pensé à un embol qui devra être déposé au sein d'un vaisseau, n'oublions pas de revenir aux fondamentaux dont l'Anatomie est un des fers de lance incontournable pour la sécurité de nos procédures interventionnelles.

Vous les jeunes qui lirez ce livre voulu par Salvatore Mangiafico et co-écrit avec certains de ses élèves, vous qui vous imprègnerez de ses connaissances, vous y verrez l'intérêt qu'il vous porte en vous permettant d'apprendre ce langage. Plus même que de l'intérêt, c'est l'amour qu'il porte à sa spécialité qui le motive, l'idée qu'il se fait d'elle avec le besoin de faire en sorte que les malades de l'avenir soient bien pris en charge.

Et quand on parle d'amour, ce livre se veut aussi un hommage à Maria Luisa, son épouse hélas disparue trop tôt et qui l'a soutenu dans ses démarches tout au long de sa vie active de neuroradiologue interventionnel. On dit toujours qu'il n'y a pas de grand homme sans une grande femme à ses côtés. Par le soutien que Maria Luisa a apporté quotidiennement à Salvatore, manifestement ce fut le cas. Qu'ils soient donc tous deux remerciés pour leur dévouement à notre spécialité.

GEORGES RODESCH

*Service de Neuroradiologie Diagnostique et Thérapeutique  
Hôpital Foch - Suresnes (France)*

# Presentazione

*Traduzione italiana*

Anatomia...

Mi credereste se vi dico che durante i miei studi di medicina, l'anatomia era una materia temuta perché mi sembrava secca, complessa, arida e mi faceva paura perché difficile da imparare, difficile da capire?

Eppure...

Ho dovuto entrare in neuroradiologia interventistica perché l'anatomia diventasse parte integrante della mia vita quotidiana. Perché avevo avuto un mentore nella persona di Pierre Lasjaunias per il quale l'anatomia era un linguaggio quotidiano che m'insegnava a parlare gradualmente. Era solito dire che l'anatomia si imparava, si dimenticava, si reimparava, si dimenticava di nuovo, si reimparava ancora fino a quando quel linguaggio particolare non è inciso in noi in modo indelebile. Al di là di questa lingua particolare ma universale che permette a tutti di comunicare e comprendersi, l'anatomia permette anche di trattare i malati che ci sono affidati con margini di sicurezza maggiori. *Anatomy is the cheapest way to be safe* era quello che ci diceva. Tutti coloro che praticano questa sicurezza lo fanno e continuano a insegnarlo.

Salvatore Mangiafico è una di queste personalità integre, profondamente attaccate alla loro specialità e ai loro pazienti. Ha "parlato di anatomia" per tutta la sua vita professionale e continua a convincere le giovani generazioni di neuroradiologi, neurochirurghi e neurologi non solo della bellezza dell'arborizzazione vascolare del sistema nervoso centrale, ma anche del "perché" della sua disposizione e delle sue variazioni: permette loro così di fare le correlazioni radioanatomicocliniche necessarie non solo per comprendere i sintomi che presentano i pazienti, ma anche per prenderli in cura in modo adeguato, evitando le trappole che una cattiva comprensione anatomica inevitabilmente porrà davanti a loro. Il libro che tenete in mano ne è la realizzazione. Certo, le tecniche di neuroradiologia interventistica si sviluppano e permettono di ampliare lo spettro delle indicazioni terapeutiche, ma senza l'anatomia queste tecniche diventano anche pericolose.

Un ex grande avvocato parigino aveva detto una volta alla giuria che aveva di fronte a lui durante la sua arringa per difendere il suo cliente "avrete giudicato, ma non avrete reso giustizia". Questa frase importante può essere adattata alla nostra specialità in modo significativo: "potete aver embolizzato una lesione, ma non avete curato il malato". Potremmo aver cancellato una lesione da un'immagine angiografica, ma a quale prezzo per il malato che si è confidato con noi, se non abbiamo capito la vascolarizzazione che alimentava la sua lesione?

Quindi, prima di prendere un catetere in mano o pensare a un agente embolizzante che dovrà essere depositato all'interno di un'arteria o una vena cerebrale, non dimentichiamo di tornare ai principi fondamentali, di cui l'anatomia è uno dei punti di partenza imprescindibili per la sicurezza delle nostre procedure interventistiche.

Voi giovani che leggete questo libro voluto da Salvatore Mangiafico e coscritto con alcuni dei suoi allievi, voi che vi immergerete nelle sue conoscenze, vedrete l'interesse che vi porta nel farvi imparare questa lingua. Più che l'interesse, è l'amore che porta alla sua specialità che lo motiva, l'idea che si fa di lei con il bisogno di far sì che i malati del futuro siano ben curati.

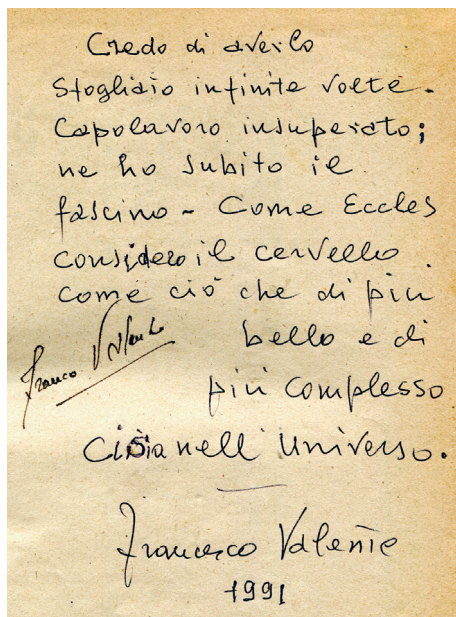
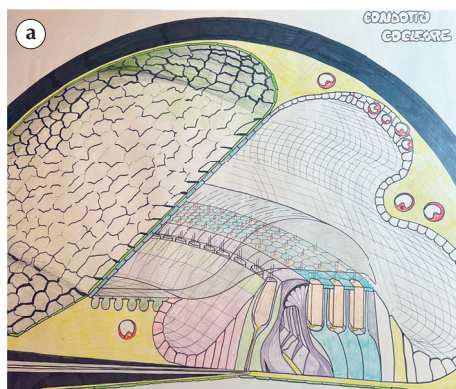
E quando si parla d'amore, questo libro vuole anche essere un omaggio a Maria Luisa, sua moglie purtroppo scomparsa troppo presto e che lo ha sostenuto nei suoi sforzi durante tutta la sua vita attiva di neuroradiologo interventista. Si dice sempre che non c'è grande uomo senza una grande donna al suo fianco. Per il sostegno che Maria Luisa ha dato quotidianamente a Salvatore, evidentemente è stato così. Che siano entrambi ringraziati per la loro dedizione alla nostra specialità.

GEORGES RODESCH

*Service de Neuroradiologie Diagnostique et Thérapeutique  
Hôpital Foch - Suresnes (Francia)*

# Prefazione al lavoro grafico

Il lavoro grafico contenuto in questo volume è stato da me realizzato negli ultimi cinque anni ed è costituito da oltre trecentocinquanta disegni anatomici, scelti tra più di cinquecento e impostato con altrettante bozze a matita. Fanno eccezione i capitoli in cui l'iconografia è stata curata direttamente dagli autori (1, 4, 13, 22 e 23). È dedicato alla memoria di mio padre Francesco Valente e di mia madre Silia D'Ambrosio Valente.



Nota manoscritta di Francesco Valente sulla prima pagina del libro quinto (*Sistema nervoso centrale*) del trattato "Anatomia umana" di L. Testut, ristampa del 1945 della terza edizione italiana del 1921.

È a mio padre, neurologo di antica formazione e allievo di Cesare Ambrosetto, che devo l'entusiasmo necessario a riprodurre la meravigliosa struttura encefalica dell'uomo. Egli mi ha trasmesso il suo amore per le neuroscienze e la sua passione per l'anatomia dell'encefalo.

I disegni anatomici sono stati realizzati con gli strumenti tradizionali (matita, matita colorata e lieve tratto di china), senza alcun ausilio digitale. Essi fanno parte di una collezione di oltre duemila tavole anatomiche iniziata ai tempi dei miei studi universitari, mezzo secolo fa, presso La Sapienza di Roma e tuttora continuata. Il mio primo disegno anatomico (a) risale al 1976 e rappresenta il condotto cocleare.

Ho anche cercato di comunicare al fruitore delle mie immagini emozioni che vanno al di là del mero dato tecnico, tentando di sfociare nel più largo campo delle sensazioni.

I disegni si affiancano alle immagini diagnostiche TC, RM e in massima parte angiografiche. Rappresentano l'esplicazione delle immagini diagnostiche affinché (come io spero) il lettore ne faccia una guida alla loro visione e interpretazione.

Sono rappresentate, nell'illustrazione dei vari capitoli, tutte le arterie e le vene, superficiali e profonde, del circolo encefalico anteriore e posteriore, l'anatomia dei nervi cranici, i loro rapporti con i vasi e la loro vascolarizzazione.

Il lavoro si conclude con una breve raccolta di tavole anatomiche, con relative didascalie, sulla morfologia del cervello, a integrazione delle figure dei capitoli precedenti.

Devo al carissimo Salvatore Mangiafico che ha sempre creduto nelle mie potenzialità artistiche e professionali l'onore di essere illustratore e dopo di lui curatore e autore di questo volume.

È grazie ad Alberto Pasqualin che ho imparato a approfondire l'impegno necessario per riprodurre con il disegno il caso reale quando, alcuni anni fa, ho illustrato in un volume la sua grande esperienza neurochirurgica vascolare.

Ringrazio il comitato scientifico del laboratorio neuroanatomico Giampaolo Cantore di Neuromed e un particolare pensiero rivolgo a Vincenzo Esposito, amico e collega dai tempi della scuola neurochirurgica romana de La Sapienza di Beniamino Guidetti. Dai preparati anatomici di questo laboratorio ho tratto spunto per diversi miei disegni.

Sono grato ad Angelo Lavano che, attraverso la sua cattedra di neurochirurgia dell'Università Magna Græcia di Catanzaro, mi ha consentito e mi consente tuttora di trasmettere, con la mia grafica, le nozioni anatomiche ai giovani medici che vogliono intraprendere il difficile cammino delle neuroscienze.

Ringrazio la casa editrice Poletto per aver promosso e prodotto questo volume.

Infine nulla avrei potuto, ancora oggi alla mia età, senza la spinta emotiva e l'energia vitale che, giorno dopo giorno, mi proviene da sempre da mia moglie Patrizia e dai miei figli Francesco e Silia.

VINICIO VALENTE

# Prefazione

Il presente volume origina dall'attività didattica e formativa che gli autori hanno svolto nell'insegnamento dell'anatomia neurovascolare rivolto ai medici specializzandi in neuroradiologia interventistica e neurochirurgia presso le Scuole di Specializzazione delle *Università di Firenze, La Sapienza, Tor Vergata* di Roma e dell'*Università Magna Græcia* di Catanzaro, nonché nei corsi del *Campo Base di Anatomia Neurovascolare*, tenutisi a Cosenza e presso l'Istituto Neuromed a Pozzilli (Isernia), ai quali hanno contribuito attivamente tutti i coautori. La presente opera, quindi, consolida l'esperienza maturata nel corso di diversi anni di attività didattica, clinica e interventistica. Essa, nelle intenzioni degli autori, vuole essere uno strumento di studio, di consultazione e di approfondimento per il medico specializzando e per il professionista già formato nella convinzione che l'anatomia neurovascolare costituisca il presupposto imprescindibile per comprensione, interpretazione e trattamento delle patologie cerebrovascolari. L'approccio diagnostico e terapeutico è in continua trasformazione a seguito dell'evoluzione tecnologica delle metodiche di imaging e dello sviluppo delle tecniche microchirurgiche ed endovascolari. In tale contesto, la conoscenza anatomica richiesta al clinico e agli operatori non può più limitarsi a una descrizione statica o mnemonica delle strutture vascolari, ma deve divenire conoscenza anatomofunzionale, nella quale l'osservazione angiografica rappresenta uno degli strumenti più raffinati di lettura dell'anatomia encefalica. Secondo questa impostazione, ogni arteria e ciascuna vena visualizzate angiograficamente costituiscono non solo un elemento morfologico, ma un riferimento spaziale capace d'indicare l'anatomia della regione che attraversano. In questa prospettiva, il riconoscimento dei vasi encefalici non dipende esclusivamente dall'identificazione della loro origine o della loro terminazione, bensì dalla capacità di interpretarne il decorso e le relazioni con le strutture anatomiche incontrate lungo il tragitto, in una visione tridimensionale dell'encefalo.

Ai fini didattici, quindi, il presente manuale adotta un'impostazione fondata sulle correlazioni anatomico-angiografiche, considerando il sistema circolatorio cerebrale come una vera e propria mappa dell'encefalo, segnata dai rapporti dei solchi corticali con arterie e vene superficiali e delle strutture profonde con arterie perforanti e vene profonde. Per perseguire questo obiettivo molte immagini angiografiche sono state affiancate a disegni anatomici esplicativi e a immagini di risonanza magnetica della stessa regione e, quando è stato possibile, a preparati anatomici, con lo scopo di creare un dialogo visivo continuo tra morfologia e vascolarizzazione.

In questa chiave di lettura, l'interpretazione angiografica diventa quindi pensiero attento e riflessivo che, più di qualsiasi metodica diagnostica, meglio esprime la complessità dell'anatomia vascolare cerebrale. In tale contesto, le varianti anatomiche rappresentate in molte immagini angiografiche affiancate alla "disposizione classica" non possono essere più considerate semplici eccezioni morfologiche, ma configurazioni possibili dei rapporti tra strutture vascolari ed encefalo, espressione di equilibri emodinamici ed embriogenetici variabili, la cui conoscenza contribuisce a comprensione più completa, realistica e flessibile del circolo cerebrale.

La finalità dell'opera non è, pertanto, la mera descrizione sistematica dell'albero vascolare encefalico, come viene rappresentata negli schemi riassuntivi delle arterie cerebrali, bensì la costruzione di una chiave interpretativa che consenta al lettore di trasformare l'immagine angiografica in una rappresentazione anatomotopografica dell'encefalo. Il cammino didattico viene, infine, completato con 118 test di autovalutazione online attraverso i quali il lettore è invitato a interpretare immagini angiografiche e rispondere a questionari a scelta multipla.

Ringrazio tutti i collaboratori, i miei amici, i miei allievi che hanno creduto in questo progetto, per il contributo e il supporto che hanno assicurato. In particolare, ringrazio Vinicio Valente per le sue conoscenze anatomiche e per le sue tavole, che hanno aggiunto elementi di chiarezza interpretativa al testo e alle immagini angiografiche, arricchendone di valore il contenuto didattico.

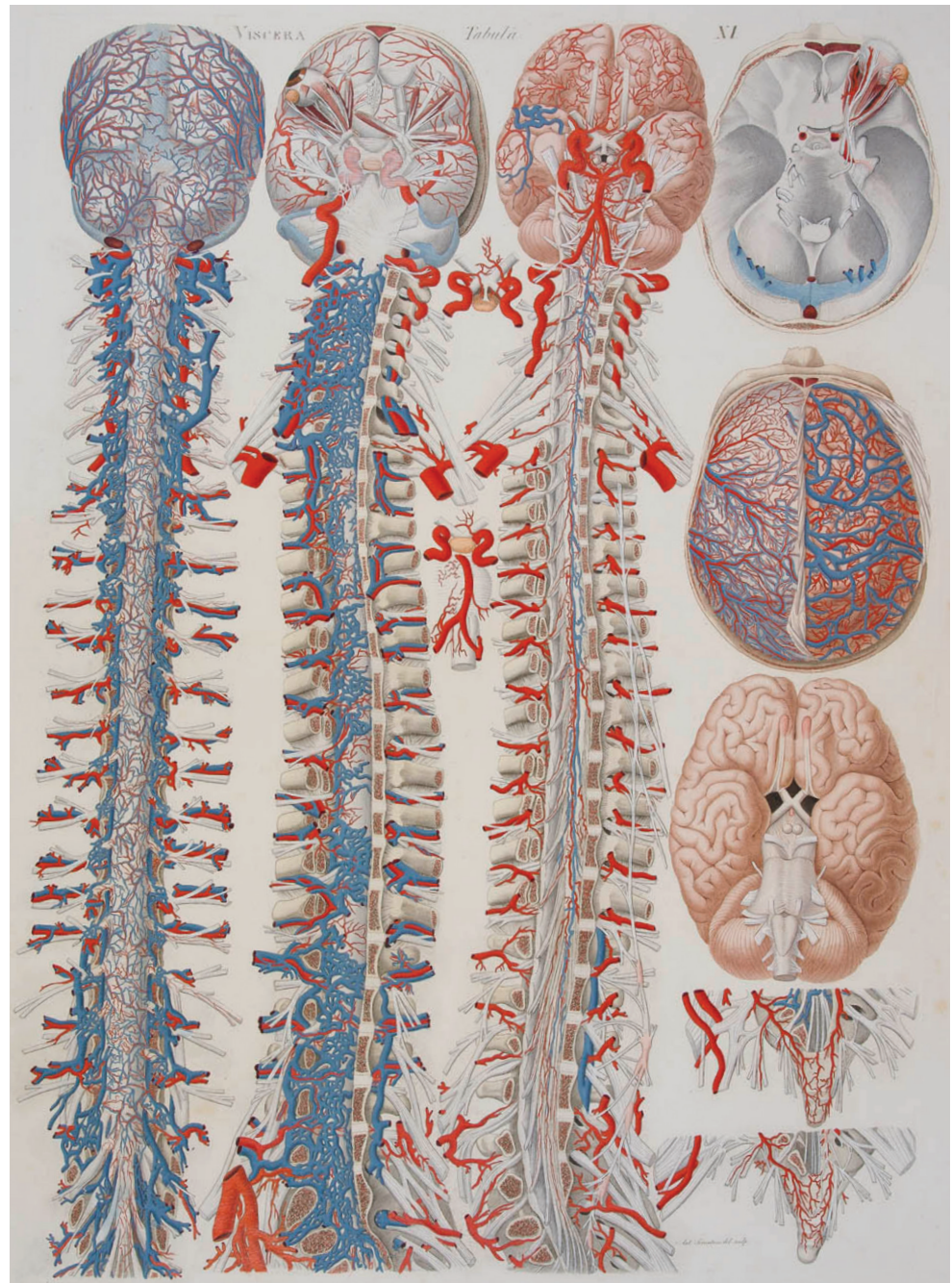
Ringrazio la dottoressa Eliana Maria Poletto che ha reso possibile la realizzazione di quest'opera.

Mi sia concesso, infine, di ringraziare le mie amate figlie Valentina e Arianna che con il loro senso positivo del futuro mi sono state di esempio.

Gli autori auspicano che questo libro contribuisca a migliorare sicurezza ed efficacia delle procedure neurovascolari, lasciando una porta aperta a studi sempre più approfonditi ai quali è rimandato il lettore alla fine di ogni capitolo. Il miglior augurio che si possa rivolgere a quest'opera, nel momento della sua pubblicazione, è che essa invecchi consumandosi sui tavoli di chi referta immagini vascolari o pianifica interventi.

SALVATORE MANGIAFICO

**Figura 3** - La tavola XI dell'*Anatomia universa* di Paolo Mascagni (pubblicata postuma, 1823-1831) dà ampia evidenza alla distribuzione del sistema circolatorio nel nevrasso. L'impiego del colore, applicato a mano sulle tavole dall'artista Antonio Serantoni, migliora la distinzione fra componenti arteriosa e venosa, mentre la realizzazione delle tavole a grandezza naturale rende più agevole il riconoscimento dei dettagli morfologici. (Riproduzione autorizzata da Museo Galileo, Firenze-Biblioteca digitale).



sioni nell'opera sono dedicate alla vascolarizzazione del nevrasso, sia nella parte encefalica sia nel tratto spinale; l'impiego del colore e le dimensioni delle tavole rendono particolarmente efficace il risultato grafico, nonostante un certo "affollamento" di immagini nella stessa pagina (**figura 3**). L'opera di Mascagni vide la luce solo dopo la sua morte, avvenuta nel 1815, dapprima con la pubblicazione del *Prodromo della grande anatomia* (1819) poi, tra 1823 e 1831, a Pisa con l'edizione completa dell'*Anatomia universa*. Non si deve dimenticare che Mascagni collaborò at-

tivamente con Clemente Susini (1754-1814) il ceroplasta formatosi alla scuola fiorentina del Museo della Specola, guidandolo nella realizzazione di modelli in cera dove anche il sistema circolatorio intracranico era efficacemente rappresentato. Intanto, mentre si chiudeva il XVIII secolo, Luigi Galvani (1737-1798), professore di medicina e anatomia e successivamente anche di ostetricia nell'Università di Bologna, con i propri esperimenti sulla "elettricità animale" apriva la strada a quella che sarà la corretta interpretazione della natura dell'impulso nervoso, la

- Sulla superficie laterale degli emisferi la vena cerebrale media si estende verso il seno trasverso primitivo. Con l'aumento della vascolarizzazione delle matrici germinali cresce il numero di vene piali visibili sulla superficie del cervello in formazione.
- I plessi corioidei del prosencefalo sono ora drenati da una vena specifica, nota come vena prosencefalica mediana di Markowski o vena cerebrale interna primitiva, che decorre sulla superficie dorsale del diencefalo. Questa vena è responsabile della formazione del seno retto primitivo all'interno del plesso tentoriale e ciò suggerisce che potrebbe essere coinvolta anche nella formazione della vena di Galeno.

### Stadio Padget 7 (≈ 50 giorni, ≈ 40 mm); stadi Carnegie 22-23

- **Arterie (figura 11)**: il circolo di Willis è ora pienamente riconoscibile anche grazie alla migrazione caudale dell'origine dell'arteria comunicante posteriore dalla carotide interna. Lunghezza, dimensioni e decorso dei rami delle arterie cerebrali e cerebellari sono determinate dal progressivo sviluppo del cervello e del cervelletto.
- **Vene (figura 12)**: in questo stadio il sistema venoso maturo si sta delineando sempre di più. Il seno sagittale superiore si è formato come risultato della fusione del plesso sagittale. La vena prosencefalica mediana di Markowski è ancora prominente, drenando la regione dei plessi corioidei verso il seno sagittale superiore. La vena mascellare primitiva si evolve per formare la vena oftalmica superiore, che viene drenata dal seno prootico, futuro seno cavernoso. Sulla superficie ventrale degli emisferi in formazione, il seno tentoriale si è allungato, diventando parallelo al seno trasverso, verso il quale drena. Inoltre, le vene dei tessuti superficiali, inizialmente drenate dal plesso intracranico e successivamente divenute tributarie del sistema giugulare esterno, rimangono incorporate nell'ossificazione del basicranio e formano le vene condiloidee, mastoidee e occipitali emissarie anteriori, laterali e posteriori.

### Stadio Padget 7a (12 settimane, ≈ 60-80 mm)

Questo stadio (**figura 13**) è stato aggiunto da Padget esclusivamente per quanto riguarda lo sviluppo del sistema venoso cerebrale, dal momento che, come già anticipato, esso prosegue nella fase fetale successivamente rispetto al sistema arterioso. I residui dei canali che formavano il plesso venoso tentoriale si fondono, determinando l'aspetto solitamente irregolare e asimmetrico del torcolare di Ero-

filo. La crescita degli emisferi spinge il complesso vena cerebrale media-seno tentoriale, che è in parte subaracnoideo e in parte durale, verso il bordo della piccola ala dello sfenoide.

L'espansione della vascolarizzazione interna nelle zone germinali attive fa sì che il sistema subependimale venga drenato dalle vene cerebrali interne, che si uniscono posteriormente alle vene basali di Rosenthal, un canale anastomotico di recente formazione che collega vena telencefalica, parte della vena diencefalica ventrale, vena mesencefalica e vena diencefalica dorsale. Dopo la loro congiunzione, le vene cerebrali interne e basali di Rosenthal dei due lati drenano attraverso la vena di Galeno nel seno retto.

La vena prosencefalica mediana di Markowski regredisce progressivamente, salvo nei casi in cui il feto presenta una malformazione arterovenosa dell'ampolla di Galeno. In questi casi l'elevato flusso al suo interno, determinato dagli shunt arterovenosi con le arterie corioidee, non consente la regressione della vena prosencefalica mediana di Markowski, che si ritrova nel nascituro come seno falcino, il quale decorre nella falce cerebrale cranialmente rispetto alla posizione normale del seno retto, che in questi casi spesso non si sviluppa.

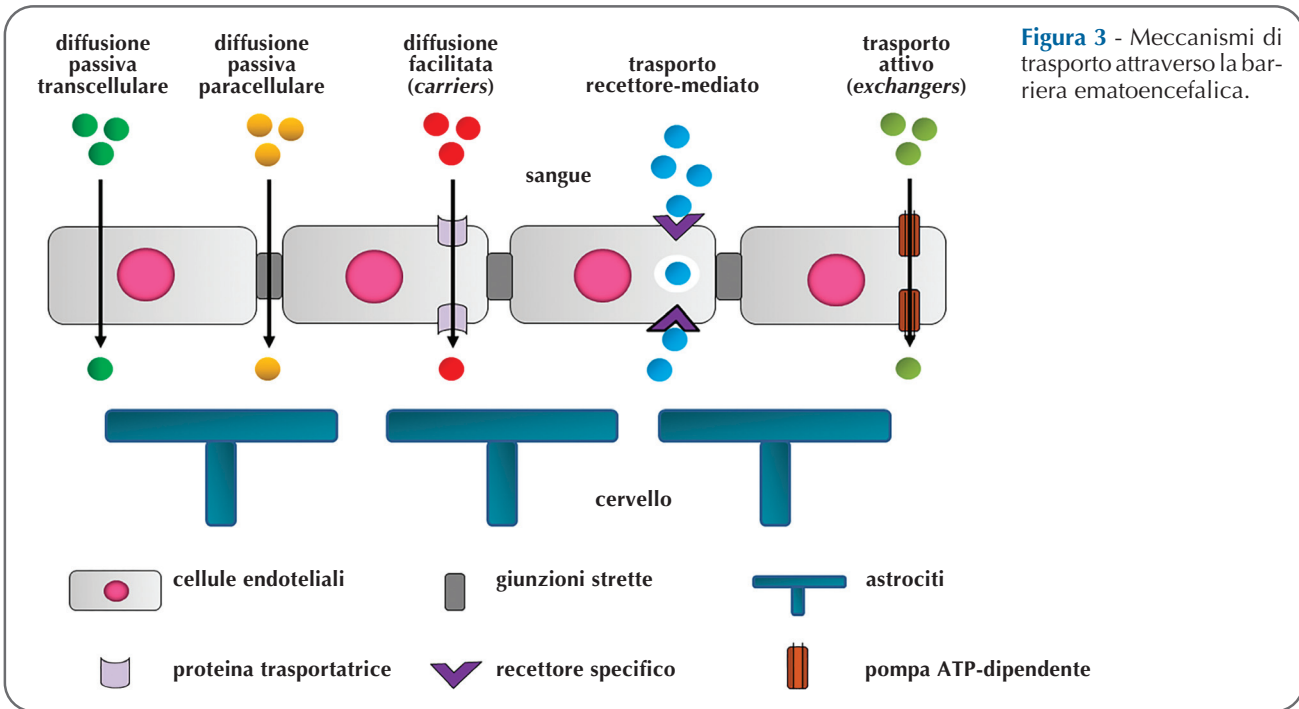
Quest'ultimo esempio fa comprendere come lo sviluppo del sistema cerebrovascolare sia influenzato sia dai geni i quali, attivandosi o disattivandosi, guidano la formazione e il rimodellamento di arterie e vene, sia dalle dinamiche di flusso arterioso e venoso, che variano con lo sviluppo progressivo delle diverse parti del sistema nervoso centrale.

## ● VARIANTI ANATOMICHE DELLO SVILUPPO DELLE ARTERIE CEREBRALI

### Fenestrazioni

Come già descritto precedentemente, molte delle arterie che hanno un solo tronco nell'adulto si formano per un processo di fusione di plessi o reti arteriose nella fase embrionale. La fusione incompleta durante lo sviluppo cerebrovascolare fa in modo che in alcuni punti l'arteria si sdoppi per un breve tratto in due o più rami, che poi si riuniscono nuovamente in un solo asse, formando quelle che vengono definite *fenestrazioni*.

Le fenestrazioni che si incontrano più frequentemente si osservano a livello del tronco basilare e dell'arteria comunicante anteriore; entrambi questi vasi si sviluppano dalla fusione di plessi arteriosi. Più raramente si possono osservare fenestrazioni in altre arterie, come la cerebrale media (**figura 14**). Nella variante *twig-like* dell'arteria cerebrale media questa anomalia



**Figura 3** - Meccanismi di trasporto attraverso la barriera ematoencefalica.

In particolare, il microambiente ionico di SNC viene conservato attraverso l'utilizzo di canali ionici e meccanismi attivi di trasporto, fra cui soprattutto la pompa sodio/potassio ATP-dipendente, disposta a livello della superficie esterna dell'endotelio capillare, che ha il compito di garantire il flusso di  $\text{Na}^+$  dal sangue al cervello e quello di  $\text{K}^+$  dal cervello al sangue, in modo che FIS sia sempre caratterizzato da elevati livelli di  $\text{Na}^+$  e basse concentrazioni di  $\text{K}^+$ . Molecole di trasporto attivo dette scambiatrici (*exchangers*)  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$  sono poi responsabili del passaggio di  $\text{Ca}^{++}$  in FIS, mentre altre proteine trasportatrici si occupano di regolare gli scambi di cloro ( $\text{Cl}^-$ ). Le concentrazioni proteica e lipidica dell'ambiente intratecale vengono invece preservate tramite procedure di diffusione passiva, rispettivamente paracellulare e transcellulare. Il transito delle principali sostanze nutritive, fra cui specialmente glucosio, aminoacidi e vitamine, viene invece garantito e ordinato con l'uso di un processo di diffusione facilitata legato all'azione di molecole trasportatrici. La regolazione della concentrazione di neurotrasmettitori e l'ostacolo all'ingresso nel cervello di neurotossine si avvalgono infine di meccanismi di trasporto attivo.

## ● BARRIERA EMATOENCEFALICA COME FILTRO IMMUNOLOGICO

Oltre alle funzioni legate alla sua azione di filtro biologico, la BEE ha altre competenze:

- regolare il transito intratecale di anticorpi (meccanismo effettore della risposta immunitaria umorale);

- controllare il passaggio intratecale dei macrofagi e dei linfociti T e B (reazioni immunitarie cellulare e umorale);
- limitare l'ingresso di macromolecole e cellule coinvolte nelle risposte immunitarie in sede intratecale.

Pertanto, la BEE opera anche come "filtro immunologico", in quanto in condizioni normali impedisce lo svolgimento di risposte immunitarie all'interno di SNC.

### Sistema nervoso centrale come sito immunologicamente privilegiato

Sino a pochi anni fa si credeva che lo sviluppo di una reazione immunitaria a livello intratecale fosse ostacolato da alcune caratteristiche anatomofunzionali che erano alla base del concetto di privilegio immunologico di SNC:

- assenza di circolazione linfatica;
- assenza di cellule presentanti l'antigene (*Antigen-Presenting Cell, APC*);
- assenza di un'espressione costitutiva di molecole MHC I e II (*Major Histocompatibility Complex, complesso maggiore di istocompatibilità o HLA - Human Leukocyte Antigen - di classe I e di classe II*) indispensabili per la presentazione dell'antigene.

La circolazione linfatica è il requisito essenziale per lo sviluppo delle risposte immunitarie e richiede il trasporto degli antigeni peptidici (proteine) nei linfonodi, dove avviene la presentazione dell'antigene da parte delle cellule dendritiche (APC professionali) e l'attiva-

## Introduzione

# Albero arterioso cerebrale come mappa vascolare del cervello (rapporti tra solchi cerebrali e arterie)

*Salvatore Mangiafico, Vinicio Valente*

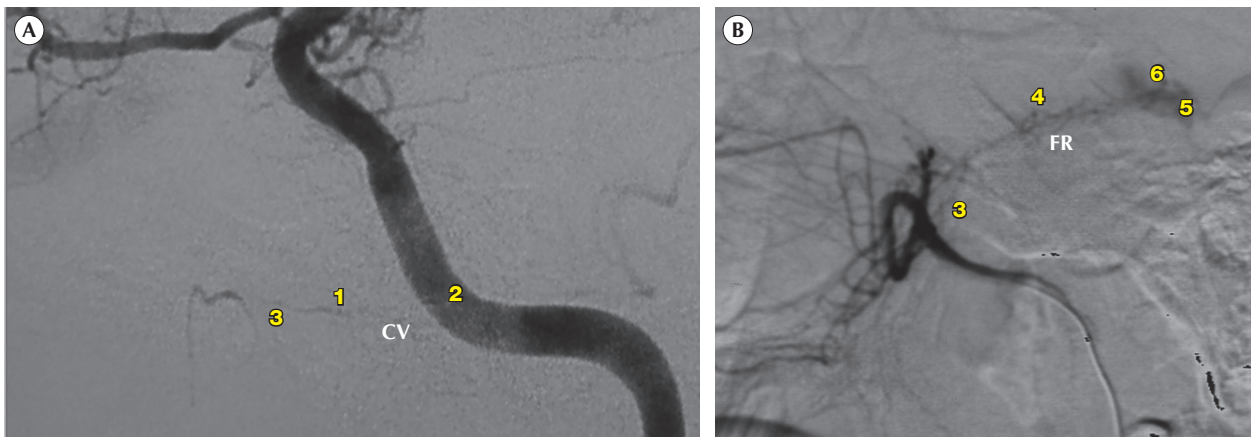
La vascolarizzazione arteriosa della corteccia cerebrale presenta disposizione intimamente correlata alla morfologia della superficie encefalica e riflette le organizzazioni istogenetica e funzionale delle unità corticali. La distribuzione delle arterie corticali non è pertanto né fortuita né riconducibile a un semplice schema geometrico, ma rappresenta l'espressione diretta dei processi di sviluppo del mantello corticale. È lo sviluppo stesso della corteccia cerebrale che determina progressivamente differenziazione e disposizione di arterie e vene corticali, la cui organizzazione dev'essere considerata come il risultato, o più propriamente come l'epifenomeno, di meccanismi complessi e integrati che si realizzano nel corso della vita embrionale.

Secondo tale concezione, la corteccia cerebrale e la sua vascolarizzazione risultano reciprocamente dipendenti, al punto che la topografia vascolare e il disegno corticale possono essere considerate come due manifestazioni di una medesima organizzazione strutturale. Le arterie della convessità costituiscono un vero e proprio calco vascolare della superficie encefalica, suscettibile di essere utilizzato, mediante l'impiego di opportune finestre parenchimografiche, come guida per la mappatura anatomica della corteccia cerebrale.

In tali condizioni, i principali solchi cerebrali - in particolare, solchi precentrale, centrale e post-centrale, solco parietoccipitale interno, solco interparietale, solchi occipitali e scissure laterale e calcarina (*landmark* anatomici di riferimento di aree funzionali critiche) - possono essere riconosciuti come strie ipervascolari, all'interno delle quali decorrono i rami delle arterie corticali. Le circonvoluzioni cerebrali e alcune regioni encefaliche, quali corpo calloso, regione paraspleniale callosa, giri frontali, circonvoluzioni precentrale e post-centrale, giro marginale, giro angolare e lobo parietale superiore, appaiono conseguentemente come nastri relativamente avascolari, delimitati dalle strie iperdense corrispondenti ai solchi cerebrali.

Le deflessioni che le arterie corticali presentano nel loro decorso sulle circonvoluzioni consentono, inoltre, di riconoscere, in modo indiretto, solchi meno profondi, il cui orientamento può essere dedotto dalla congiunzione degli angoli formati dai vasi durante il loro transito. In tal modo risultano identificabili, tra gli altri, i solchi frontali superiore e inferiore, i solchi temporali superiore e inferiore e le rispettive circonvoluzioni.

Il metodo proposto, fondato sulle correlazioni anatomico-angiografiche tra decorso vascolare e morfologia corticale, si propone di fornire al lettore uno strumento di orientamento



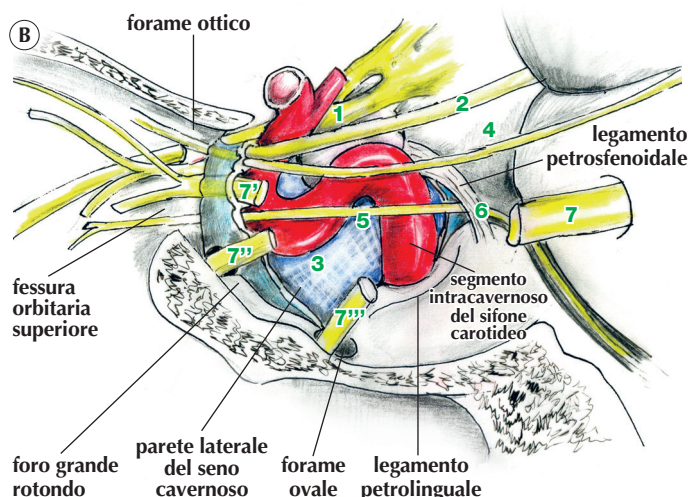
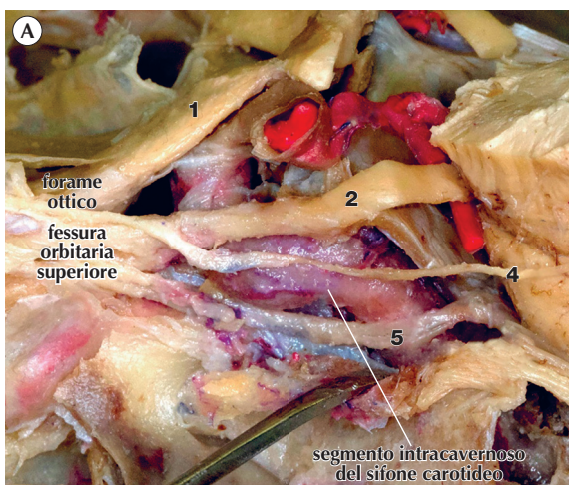
**Figura 9** - **A**) Immagine angiografica, proiezione laterale. L'arteria vidiana (1) nasce dalla carotide nel tratto intrapetroso in vicinanza al ginocchio petroso anteriore (2) e passa attraverso il canale vidiano (CV); ha decorso orizzontale e calibro esile, termina anastomizzandosi con il tratto iniziale dell'arteria mascellare interna (3). **B**) Immagine angiografica, proiezione laterale. L'arteria del forame rotondo (4) nasce dalla carotide intracavernosa (5) e più precisamente dal tronco inferolaterale (6), passa attraverso il forame rotondo (FR) per raggiungere l'arteria mascellare interna distale (3). Ha decorso obliquo verso il basso dato dalla differenza tra emergenza dal sifone (sopra la base cranica) e la parte distale dell'arteria mascellare. Caratteristico è il suo aspetto "a cavaturaccioli" che la distingue dall'arteria vidiana, la quale ha sempre decorso rettilineo.

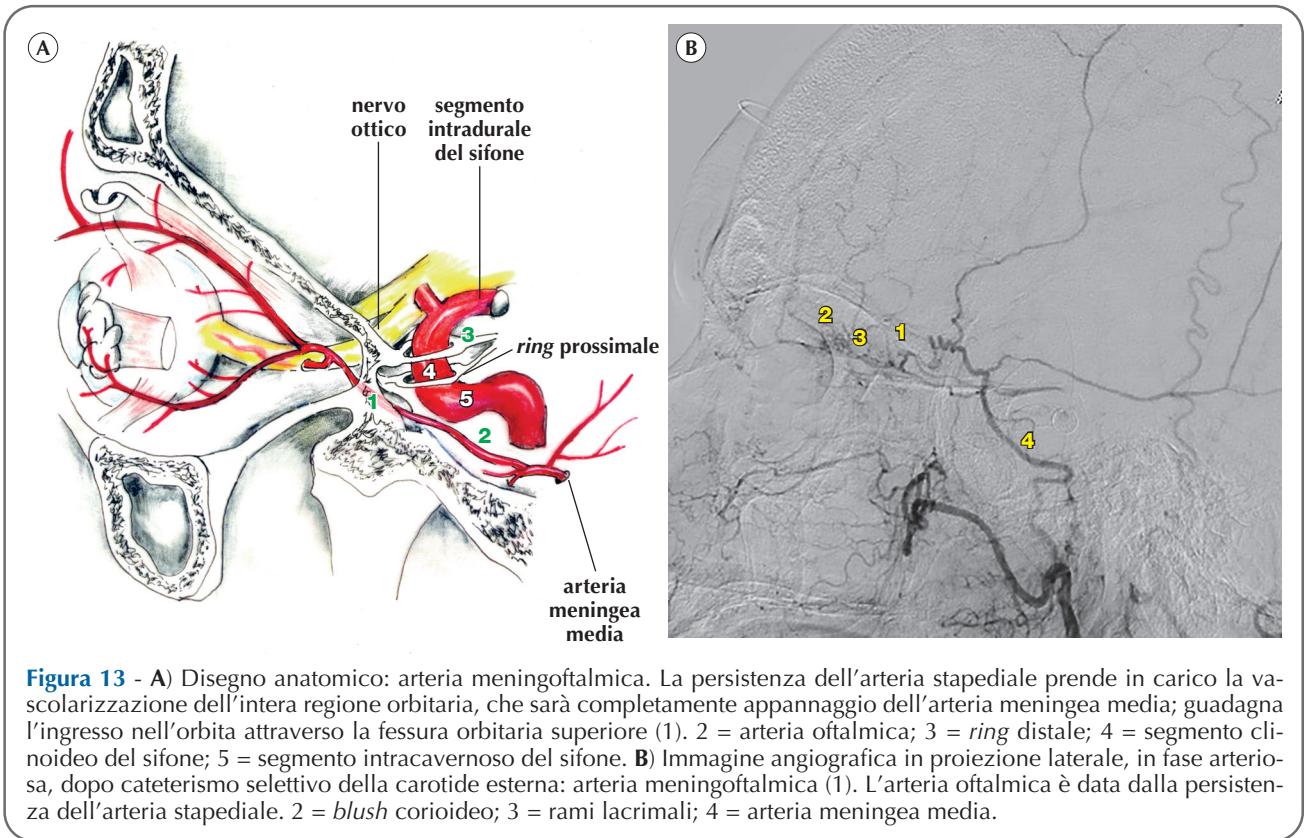
## ● TRATTO INTRACAVERNOSO

È il tratto della carotide intracranica che inizia dal legamento petro-linguale e termina con l'anello durale prossimale. All'interno del seno cavernoso la carotide occupa dapprima la porzione posteriore (ginocchio intracavernoso posteriore), poi la porzione anteroinferiore (ginocchio intracavernoso anteriore) e infine la porzione anterosuperiore (al di sotto della clinoida anteriore), entrando in rapporto con III, IV ner-

vi cranici, branca V1 del V nervo cranico (che decorrono sulla parete laterale del seno) e con il VI nervo cranico (che presenta un decorso propriamente intracavernoso) (figura 10). I nervi cranici oculomotori e la branca oftalmica del V, una volta lasciato il seno cavernoso, penetrano nell'orbita attraverso la fessura orbitaria superiore, compresa tra corpo, piccola e grande ala dello sfenoide. Dalla carotide intracavernosa prendono origine due sottili rami arteriosi: tronco comune inferolaterale (o tronco inferolaterale) e

**Figura 10** - **A**) Rapporto dei nervi cranici con il seno cavernoso: preparato anatomico. La parete laterale del seno cavernoso e il ganglio di Gasser sono stati sezionati per esporre il tratto intracavernoso dell'arteria carotide e i nervi cranici. **B**) Disegno anatomico di riferimento. Il nervo ottico (1) entra nell'orbita attraverso il forame ottico. Il terzo nervo cranico (oculomotore comune, 2) entra nell'orbita attraverso la porzione più mediale della fessura orbitaria superiore e decorre nello spessore della parete laterale del seno cavernoso (3). Il quarto nervo cranico (trocleare o patetico, 4) decorre al di sotto del terzo nervo cranico; anch'esso è contenuto nella parete laterale del seno cavernoso ed entra nell'orbita attraverso la fessura orbitaria superiore (sfenoideale). Il sesto nervo cranico (abducente, 5) entra attraverso il canale di Dorello (6), rimane libero nel seno cavernoso e penetra nell'orbita attraverso la fessura orbitaria superiore. La prima branca (oftalmica, 7') del V nervo cranico (trigemino, 7) decorre nella parete del seno cavernoso ed entra nell'orbita attraverso la fessura orbitaria superiore. 7'' = seconda branca (mascellare) del V nervo cranico; 7''' = terza branca (mandibolare) del V nervo cranico.



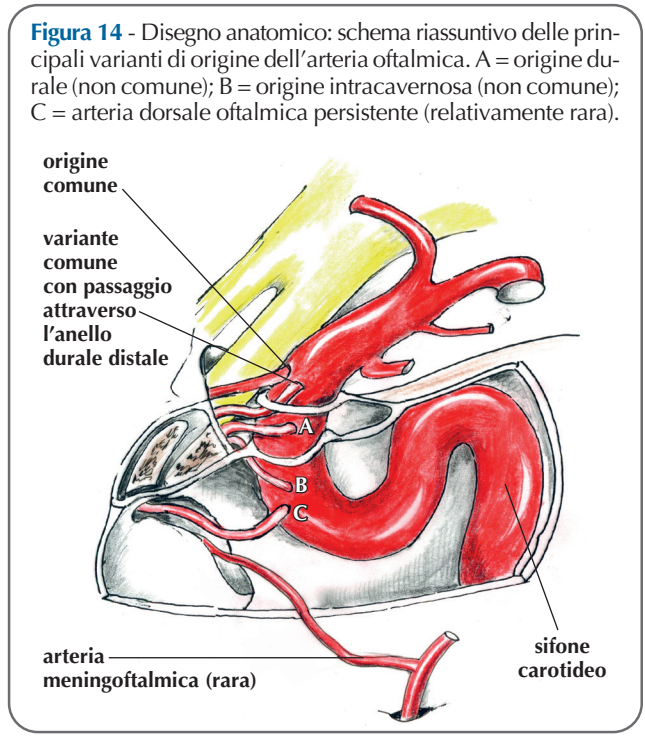


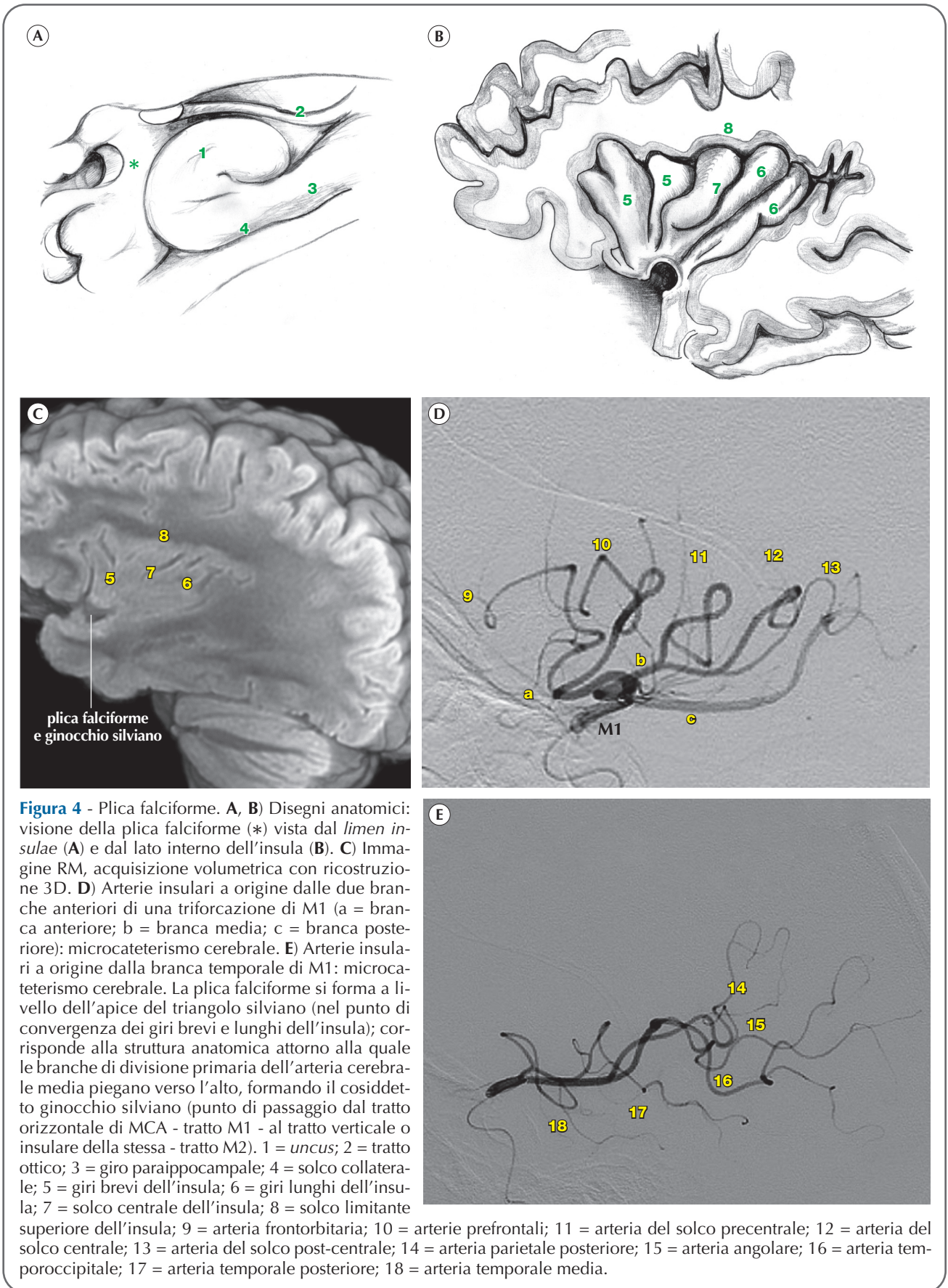
### ● ARTERIA MENINGOLACRIMALE

L'arteria lacrimale origina da un ramo sfenoidale dell'arteria meningea media. In questo caso possono essere presenti anastomosi tra arteria lacrimale, rami etmoidali delle arterie sfenopalatine e quelli provenienti dall'arteria oftalmica (che origina regolarmente dal sifone carotideo).

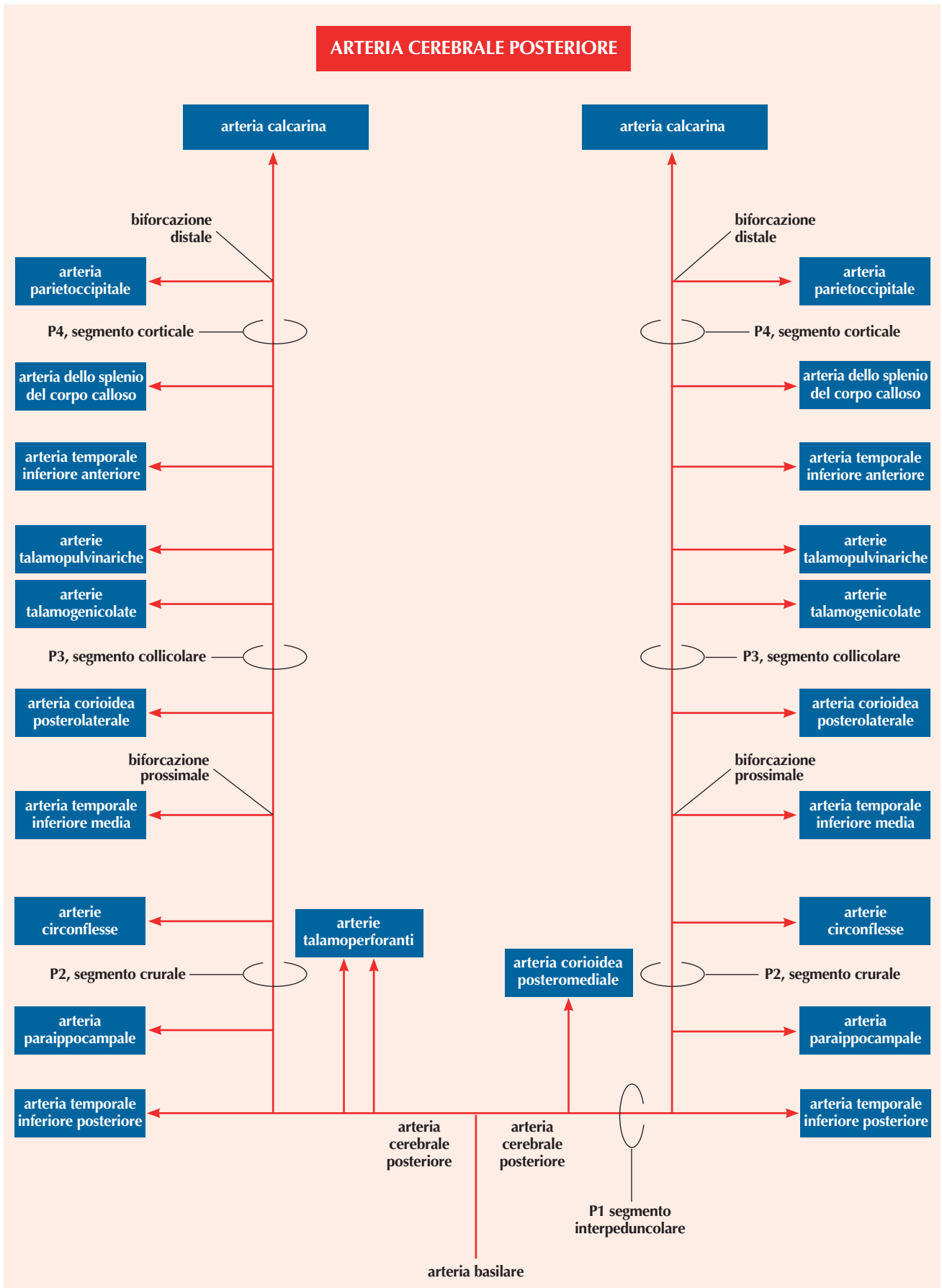
*Nota bene* - Com'è possibile immaginare, esistono numerose forme intermedie tra quelle sopra descritte: per esempio, è possibile osservare la coesistenza delle arterie meningoftalmica e meningolacrimale. Tutta questa variabilità è il frutto dei diversi destini evolutivi dell'anello anastomotico, con persistenze e regressioni di arterie diverse nel corso dello sviluppo embriologico attorno al primitivo nervo ottico.

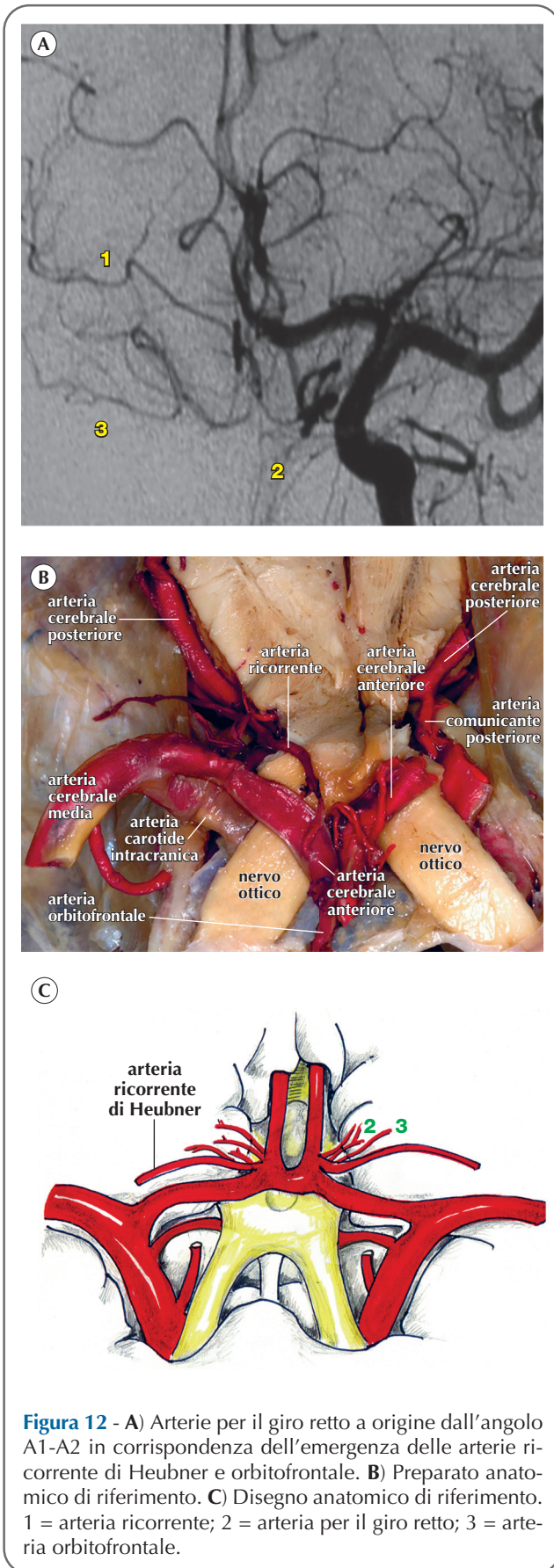
In **figura 14** vengono riassunte le principali varianti di origine.



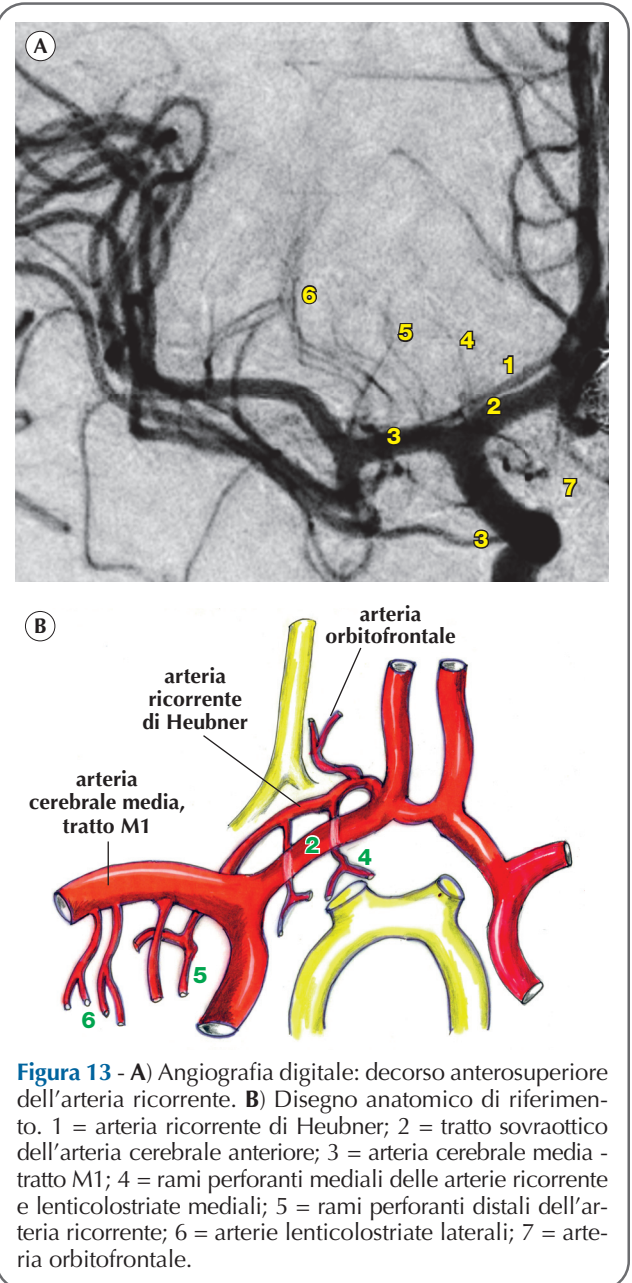


**Figura 4** - Plica falciforme. **A, B)** Disegni anatomici: visione della plica falciforme (\*) vista dal *limen insulae* (A) e dal lato interno dell'insula (B). **C)** Immagine RM, acquisizione volumetrica con ricostruzione 3D. **D)** Arterie insulari a origine dalle due branche anteriori di una triforcazione di M1 (a = branca anteriore; b = branca media; c = branca posteriore): microcateterismo cerebrale. **E)** Arterie insulari a origine dalla branca temporale di M1: microcateterismo cerebrale. La plica falciforme si forma a livello dell'apice del triangolo silviano (nel punto di convergenza dei giri brevi e lunghi dell'insula); corrisponde alla struttura anatomica attorno alla quale le branche di divisione primaria dell'arteria cerebrale media piegano verso l'alto, formando il cosiddetto ginocchio silviano (punto di passaggio dal tratto orizzontale di MCA - tratto M1 - al tratto verticale o insulare della stessa - tratto M2). 1 = *uncus*; 2 = tratto ottico; 3 = giro paraippocampale; 4 = solco collaterale; 5 = giri brevi dell'insula; 6 = giri lunghi dell'insula; 7 = solco centrale dell'insula; 8 = solco limitante superiore dell'insula; 9 = arteria frontorbitaria; 10 = arterie prefrontali; 11 = arteria del solco precentrale; 12 = arteria del solco centrale; 13 = arteria del solco post-centrale; 14 = arteria parietale posteriore; 15 = arteria angolare; 16 = arteria temporooccipitale; 17 = arteria temporale posteriore; 18 = arteria temporale media.





to e zona olfattoria (figura 11 e 12). L'arteria subito dopo la sua origine decorre parallela, ma con direzione opposta, al tratto sovraottico dell'arteria cerebrale anteriore, rispetto al quale può posizionarsi superoanteriormente (figura 13) o posteroinferiormente (figura 14), risultando in quest'ultimo caso di difficile riconoscimento nel campo operatorio e nell'esame angiografico. L'ingresso in profondità nell'area perforata anteriore è sempre al davanti delle arterie dell'apice della carotide e delle arterie lenticolostriate laterali (figura 8). L'arteria ricorrente dà origine a un ramo prossimale, che si distribuisce alle parti basale e interna del nucleo lenticolare, e a un ramo distale, che raggiunge la testa del nucleo caudato (figura 15). Sul piano sagittale le arterie perforan-



# Asse vertebrobasilare

Salvatore Mangiafico, Arturo Consoli

Arterie del tronco encefalico  
 Visione d'insieme  
 Midollo allungato (bulbo midollare)

Ponte  
 Mesencefalo

## ARTERIE DEL TRONCO ENCEFALICO

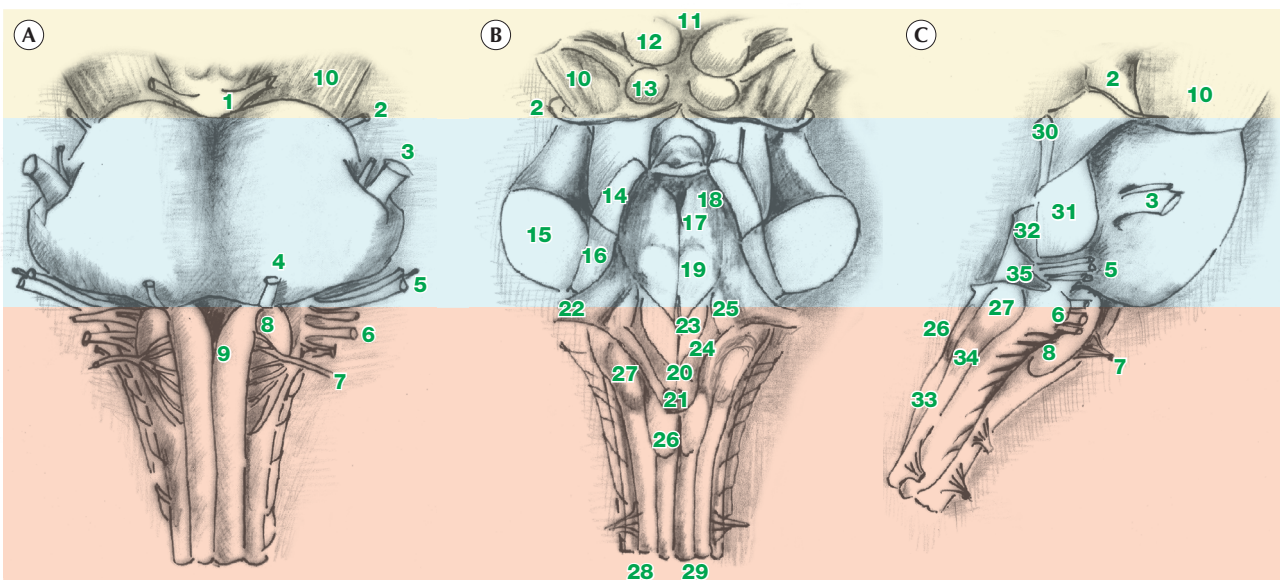
### Visione d'insieme

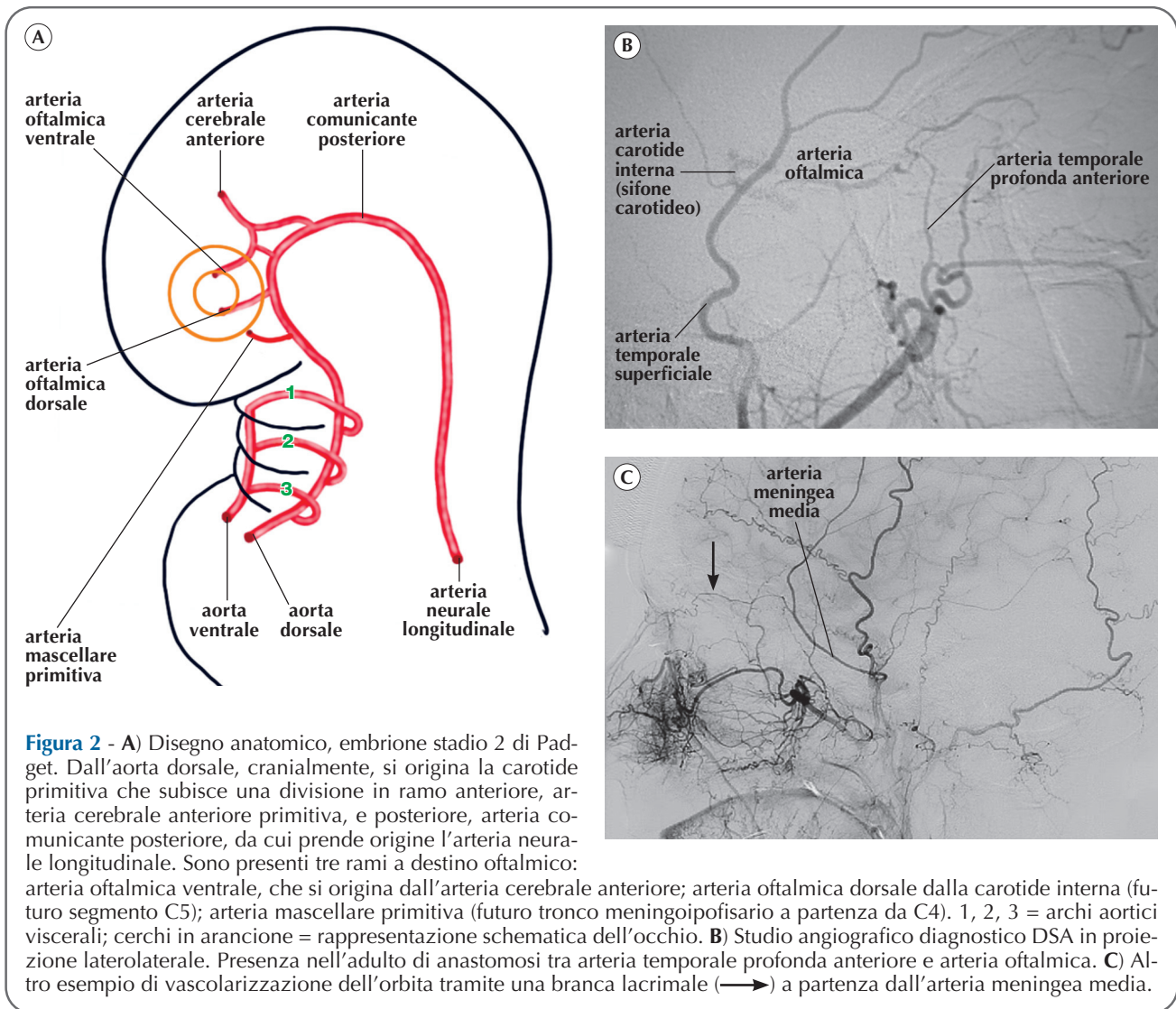
Il tronco encefalico è formato da bulbo midollare o medulla oblungata, ponte e mesencefalo (**figura 1**), se-

parati tra loro da 2 solchi orizzontali (bulbopontino e pontomesencefalico), che sono ben riconoscibili sulla faccia anteriore e laterale del tronco. Sulla superficie laterale il confine con il cervelletto è segnato dalle fessure cerebellomesencefalica, cerebellopontina e cerebellobulbare. Sulla faccia posteriore del tronco la continuità tra mesencefalo, ponte e bulbo è interrot-

**Figura 1** - Disegno anatomico del tronco encefalico: **A)** faccia anteriore; **B)** faccia posteriore; **C)** faccia laterale. 1 = nervo oculomotore comune (III); 2 = nervo trocleare (IV); 3 = nervo trigemino (V); 4 = nervo abducente (VI); 5 = nervi faciale e statoacustico (VII e VIII); 6 = nervi misti (IX glossofaringeo - X vago - XI accessorio); 7 = nervo ipoglosso (XII); 8 = oliva bulbare; 9 = piramide bulbare; 10 = peduncolo cerebrale; 11 = epifisi; 12 = collicolo superiore (lamina quadrigemina); 13 = collicolo inferiore (lamina quadrigemina); 14 = sezione del peduncolo cerebellare superiore; 15 = sezione del peduncolo cerebellare medio; 16 = sezione del peduncolo cerebellare inferiore; 17 = eminenza mediana; 18 = *locus caeruleus*; 19 = collicolo del faciale (corrisponde all'ansa del faciale che gira intorno al nucleo dell'abducente); 20 = calamo scrittore; 21 = foro di Magendie; 22 = foro di Luschka; 23 = ala bianca interna (trigono dell'ipoglosso); 24 = ala cinerea (triangolo del glossofaringeo e del vago); 25 = ala bianca esterna (area acustica); 26 = nucleo e fascicolo gracile (Goll); 27 = nucleo e fascicolo cuneato (Burdach); 28 = colonna posteriore sinistra del midollo spinale; 29 = colonna posteriore destra del midollo spinale; 30 = peduncolo cerebellare superiore; 31 = peduncolo cerebellare medio; 32 = peduncolo cerebellare inferiore; 33 = fascicolo gracile; 34 = fascicolo cuneato; 35 = recesso laterale del quarto ventricolo.

■ mesencefalo   ■ ponte   ■ bulbo





**Figura 2** - A) Disegno anatomico, embrione stadio 2 di Padgett. Dall'aorta dorsale, cranialmente, si origina la carotide primitiva che subisce una divisione in ramo anteriore, arteria cerebrale anteriore primitiva, e posteriore, arteria comunicante posteriore, da cui prende origine l'arteria neurale longitudinale. Sono presenti tre rami a destino oftalmico: arteria oftalmica ventrale, che si origina dall'arteria cerebrale anteriore; arteria oftalmica dorsale dalla carotide interna (futuro segmento C5); arteria mascellare primitiva (futuro tronco meningoipofisario a partenza da C4). 1, 2, 3 = archi aortici viscerali; cerchi in arancione = rappresentazione schematica dell'occhio. B) Studio angiografico diagnostico DSA in proiezione laterolaterale. Presenza nell'adulto di anastomosi tra arteria temporale profonda anteriore e arteria oftalmica. C) Altro esempio di vascolarizzazione dell'orbita tramite una branca lacrimale (→→) a partenza dall'arteria meningea media.

mico (arteria oftalmica dorsale); il secondo a destino meningeo e ipofisario (arteria mascellare primitiva). Tale sistema con l'evoluzione dell'embrione subirà profonde modificazioni.

Mano a mano che gli archi aortici viscerali regrediscono (stadi 3-4 di Padgett), da essi si avrà la formazione di arterie a destino meningeo e ipofisario (primo arco) e timpanico (secondo arco). Dal terzo arco, ma anche dalle vestigia del primo, si origineranno rami a destino faringeo, che successivamente daranno luogo all'arteria carotide esterna; l'arteria carotide interna deriverà dal terzo arco.

In una fase ancora successiva (stadi 5-6 di Padgett) le carotidi sia interna sia esterna assumono un aspetto quasi definitivo (figura 3).

Dalla carotide interna nel segmento che sarà poi quello intracavernoso si originano due tronchi: inferolaterale, derivato dalla regressione dell'arteria oftalmica dorsale; meningoipofisario, già presente negli stadi precedenti, derivato dall'arteria mascellare primitiva

e dalla regressione dell'arteria trigeminale primitiva. Al fine di una migliore comprensione delle anastomosi tra il sistema della carotide interna e quello dell'esterna, oltre alla conoscenza della complessa embriologia esposta, appare utile porre al centro dell'attenzione un segmento cruciale del sistema carotideo interno: il tratto intracavernoso (C4 e C5, secondo la classificazione di Bouthillier) che viene analizzato dapprima anteriormente e successivamente posteriormente.

### ● ANATOMIA DEL SEGMENTO INTRACAVERNOSE DELLA CAROTIDE INTERNA E SUE PRINCIPALI ANASTOMOSI CON LA CAROTIDE ESTERNA

Anteriormente (figura 4 A, B) il segmento intracavernoso della carotide interna (C5) dà origine a un ramo a decorso caudale, il tronco inferolaterale. Esso deriva

fornisce rami mediali che si anastomizzano con rami clivali dell'arteria carotide interna e rami laterali che si connettono posteriormente con rami meningei dell'arteria occipitale attraverso il forame mastoideo. L'osso petroso rappresenta uno dei territori a massimo rischio durante le procedure endovascolari sulla carotide esterna, per l'elevata densità di connessioni con l'arteria carotide interna e con il circolo posteriore, spesso non evidenti all'angiografia convenzionale. Secondo un criterio anatomotopografico, è possibile riconoscere tre principali regioni dell'osso petroso sede di anastomosi vascolari: orecchio medio con *tegmen tympani*, regione petroclivale e forame giugulare. Comprensione e analisi di questi tre distretti ossei consentono una più agevole interpretazione delle principali sedi di comunicazione vascolare intrapetrosa (vedere schema a fine capitolo).

- **Anastomosi dell'arteria vertebrale:** il tronco neuromeningeo dell'arteria faringea ascendente si anastomizza per mezzo di rami muscolari, a livello C3, con l'arteria vertebrale; più distalmente il tronco neuromeningeo si anastomizza con l'arteria vertebrale attraverso il residuo dell'arteria primitiva ipoglossa con l'arco odontoideo.

### Criticità dell'arteria faringea ascendente

L'arteria faringea ascendente origina dalla parete posteriore di ECA (talora dall'occipitale e raramente dalla carotide comune) e si divide in due rami principali: faringeo (extracranico) e tronco neuromeningeo, posteriore, con distribuzione intracranica.

Il tronco neuromeningeo può nascere anche dall'arteria occipitale o dall'arteria auricolare posteriore; ha due rami di divisione maggiori: arteria ipoglossa e arteria giugulare. Da entrambi questi rami originano arterie clivali mediali e laterali, che si anastomizzano con rami clivali provenienti dal tronco meningioipofisario di ICA C4. Il ramo ipoglossa del tronco neuromeningeo si estende alla fossa cranica posteriore fino

al canale dell'ipoglossa e irroro le meningi della fossa cranica posteriore e i *vasa nervorum* del XII nervo cranico. Altri rami del tronco neuromeningeo sono il ramo discendente posteriore, che contribuisce a formare l'arcata odontoidea (l'arcata odontoidea è formata da rami dell'arteria vertebrale con la quale si anastomizza) e fornisce rami per le prime tre radici cervicali. Nello spazio C2-C3 il ramo discendente posteriore si anastomizza con l'arteria vertebrale. Altro ramo del tronco neuromeningeo è l'arteria timpanica inferiore, che nasce dalla porzione prossimale del tronco neuromeningeo e si anastomizza con ICA attraverso il ramo caroticotimpanico di ICA C2. L'arteria timpanica inferiore si anastomizza anche con il ramo petroso dell'arteria meningea media e con il ramo stilomastoideo (proveniente dall'arteria auricolare posteriore).

Rami muscolospinali dell'arteria faringea ascendente si anastomizzano con rami muscolari dell'arteria vertebrale a livello C2-C3.

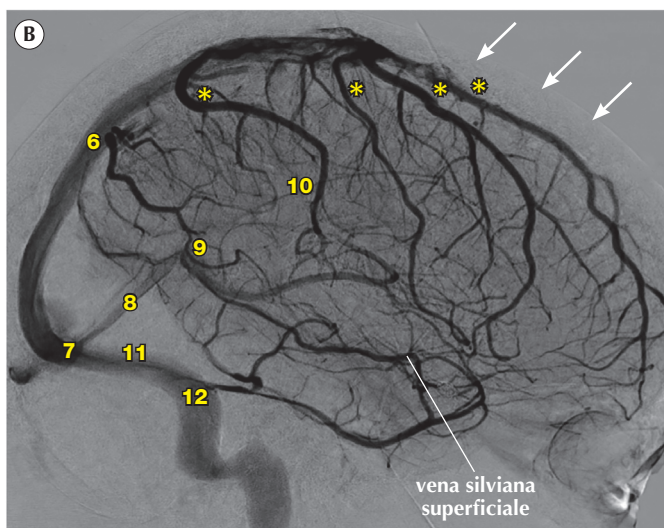
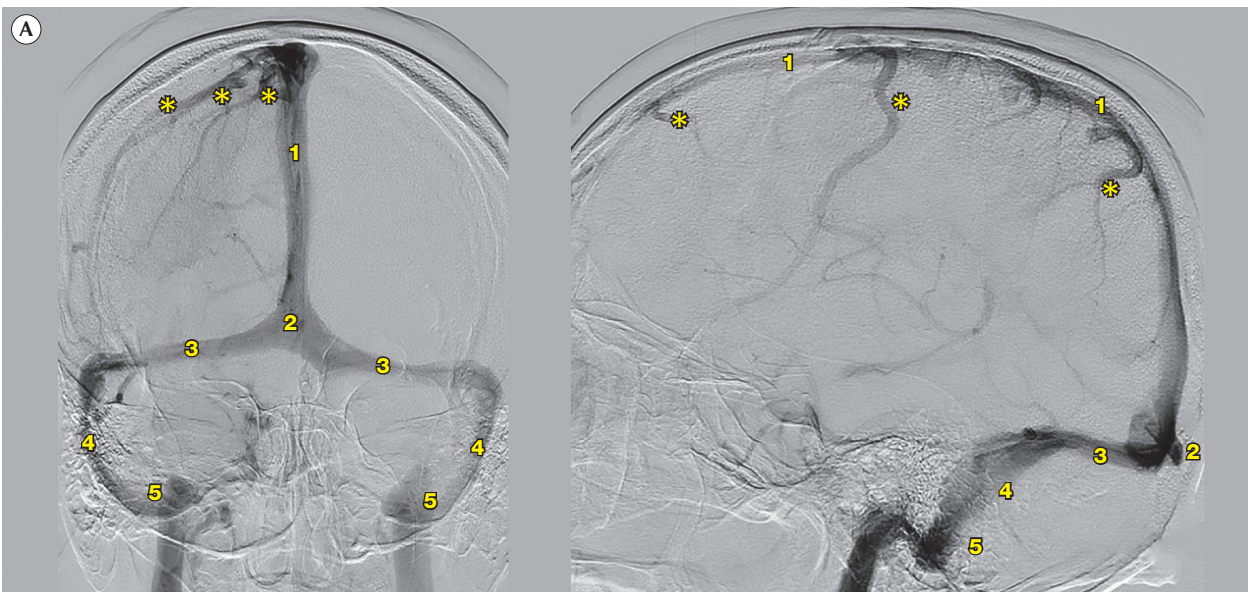
Ci sono anastomosi tra arteria faringea ascendente e arteria vertebrale attraverso ramo ipoglossa del tronco neuromeningeo e rami muscolospinali (**tabella I**). Sono descritti in letteratura rari casi di anastomosi tra ramo ipoglossa del tronco neuromeningeo e arteria cerebellare inferiore posteriore: un esempio è riportato in **figura 13**. Sono possibili 4 tipi di anastomosi tra carotide e arteria cerebellare inferiore posteriore:

- il primo tipo prevede l'origine dell'arteria cerebellare inferiore posteriore da ICA cavernosa e rappresenta una variante dell'arteria trigeminale persistente;
- il secondo tipo prevede l'origine dell'arteria cerebellare inferiore posteriore dal segmento cervicale di ICA e rappresenta una variante di arteria ipoglossa persistente;
- il terzo tipo prevede anastomosi tra arteria faringea ascendente e arteria cerebellare inferiore posteriore attraverso il canale dell'ipoglossa e rappresenta il tipo 2 della variante dell'arteria ipoglossa persistente;
- il tipo 4 è un'anastomosi tra arteria faringea ascen-

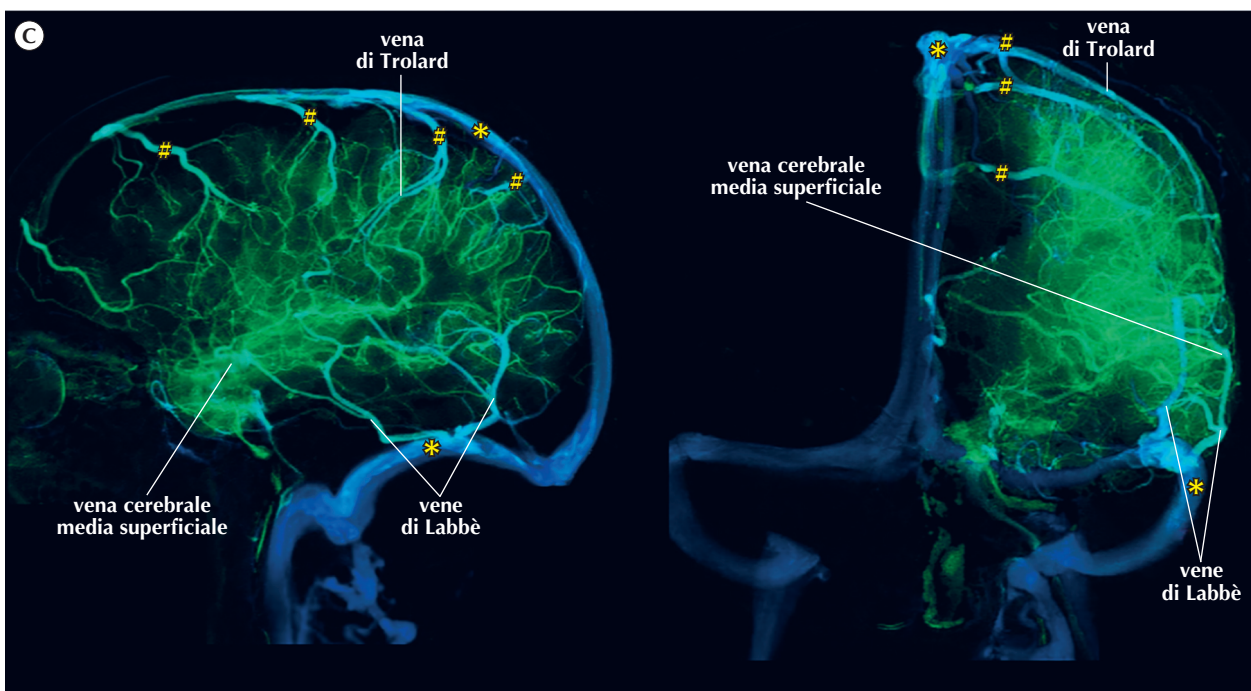
**Tabella I** - Anastomosi di rami del tronco neuromeningeo dell'arteria faringea ascendente.

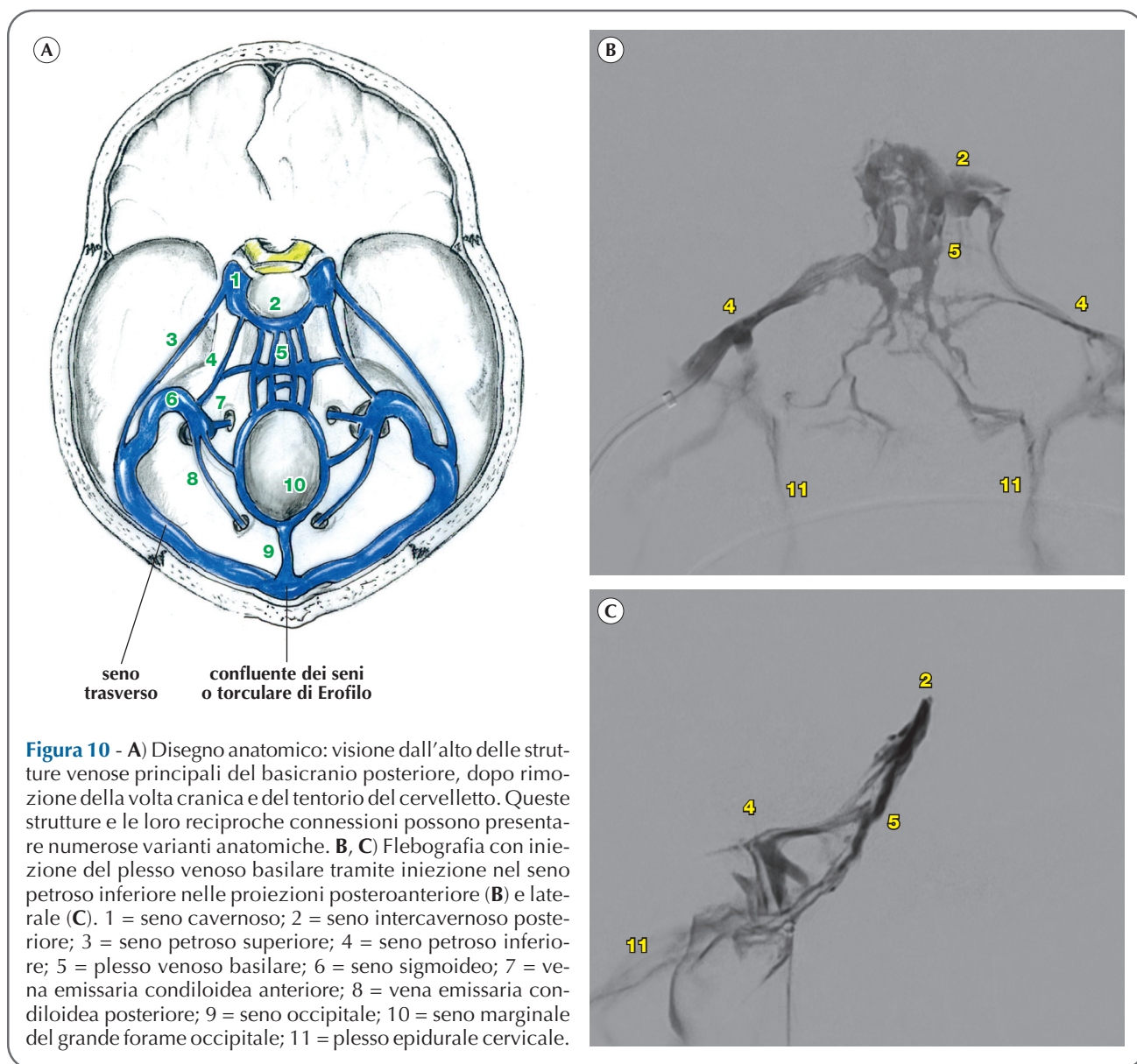
ramo dell'arteria faringea ascendente	sede dell'anastomosi	rami in anastomosi
arteria timpanica inferiore	nervo faciale	ramo petroso dell'arteria meningea media, ramo stilomastoideo dell'arteria auricolare posteriore (od occipitale); ramo caroticotimpanico di ICA C2
arteria ipoglossa	canale ipoglossa	arteria vertebrale
arteria giugulare	forame giugulare	rami clivali di ICA C4
arterie muscolospinali	forame magno	arteria vertebrale
arteria odontoidea	forame magno	arteria occipitale e arteria vertebrale

ICA = arteria carotide interna.



**Figura 3** - Seni della fossa cranica posteriore. **A)** Immagini angiografica, proiezioni frontale e laterale in fase venosa, dopo cateterismo selettivo della carotide interna destra. Sono indicati seno sagittale superiore (1), torcolare di Erofilo (2), seno trasverso (3), seno sigmoideo (4), golfo della giugulare (5) e vene corticali di destra (\*) con drenaggio nel seno sagittale superiore. **B)** Immagine angiografica, proiezione laterale in fase venosa, dopo cateterismo selettivo della carotide interna sinistra. Caso di ipo- aplasia del terzo anteriore del seno sagittale superiore (→), con regolare pervietà dello stesso nel suo terzo medio e posteriore (6): si notino inoltre alcune vene corticali emisferiche ipertrofiche vicarianti il seno ipoplasico (\*). Altri elementi apprezzabili sono torcolare di Erofilo (7), seno retto (8), ampolla di Galeno (9), seno sagittale inferiore (10), seno trasverso (11), seno sigmoideo (12) e vena silvana superficiale. **C)** Immagine volume rendering ricostruita, proiezioni laterale e frontale. \* seno sagittale superiore e seni trasversi; # vene corticali emisferiche di sinistra.





tinuano in un seno che dalla fessura orbitaria superiore decorre sul pavimento della fossa cranica media, lateralmente ai seni cavernoso e petroso superiore, per terminare nella regione in cui il seno trasverso si congiunge al seno petroso superiore.

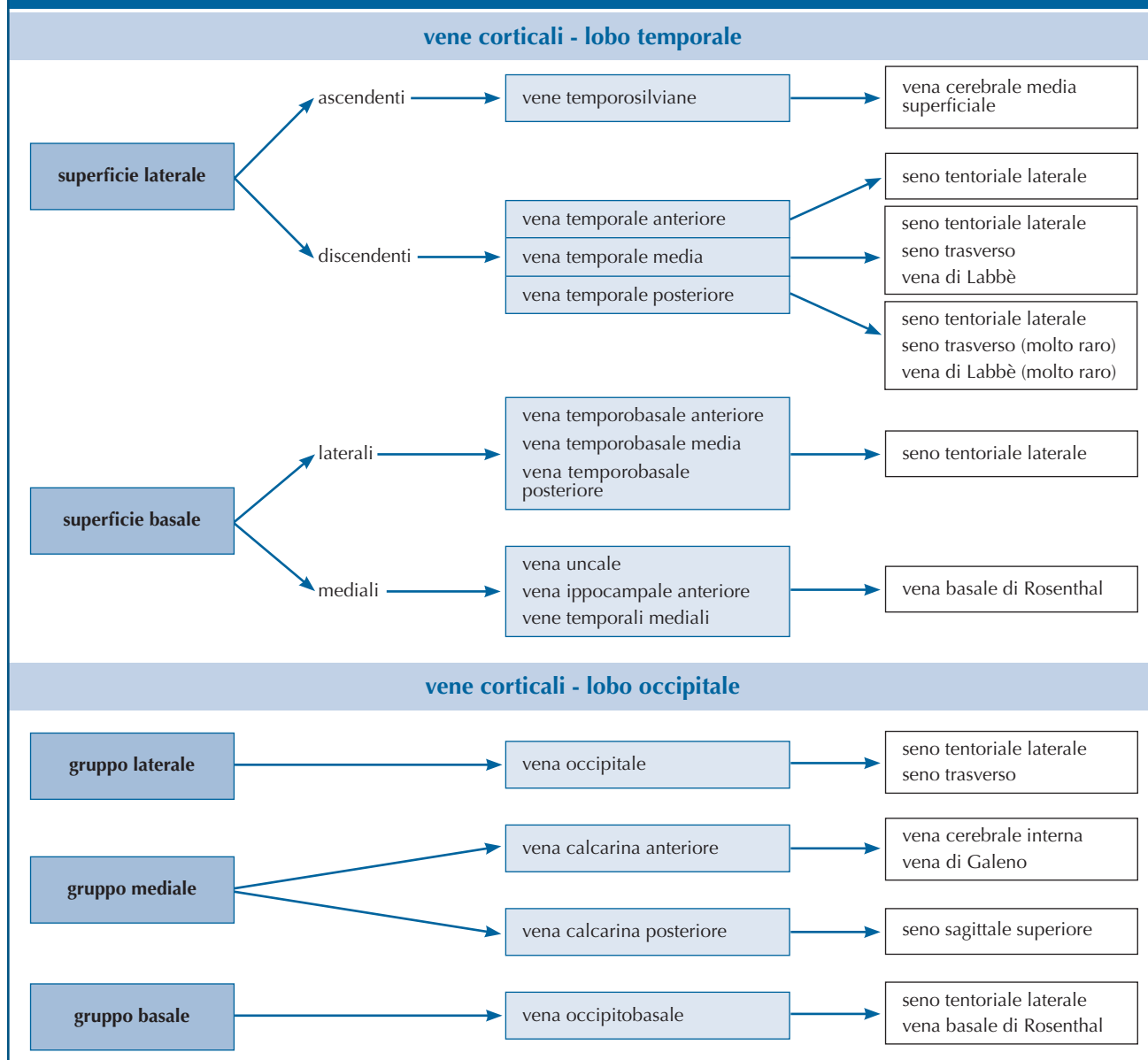
## ● VENE EFFERENTI DAL SENO CAVERNOSO E FORI CRANICI

### Seni intercavernosi

I seni intercavernosi (figure 1, 3 e 10) si estendono lungo la linea mediana con direzione laterolaterale per connettere i seni cavernosi dei due lati tra di loro

e occupano uno spazio compreso tra strato meningeo, che ricopre l'ipofisi, e strato endostale della dura madre, che ricopre il pavimento osseosellare. Sono stati descritti almeno 3 seni intercavernosi: anteriore, posteriore e inferiore, sulla base della loro posizione rispetto alla sella turcica. Il seno intercavernoso anteriore si trova sul bordo anteriore della sella turcica, è presente nella maggior parte dei casi e può ricoprire l'intera parete anteriore della sella turcica. Il seno intercavernoso posteriore si trova sul bordo posteriore della sella e può connettersi, oltre che ai seni cavernosi dei due lati, anche con il plesso venoso basilare, dal quale può essere difficilmente distinguibile. Può essere presente un seno intercavernoso inferiore, che decorre sul pavimento della sella, inferiormente all'ipofisi. Esiste un'ampia variabilità anatomica e il sistema dei

## schema 2



lungo il profilo del lobo occipitale per confluire nel seno laterale tentoriale o nel seno trasverso.

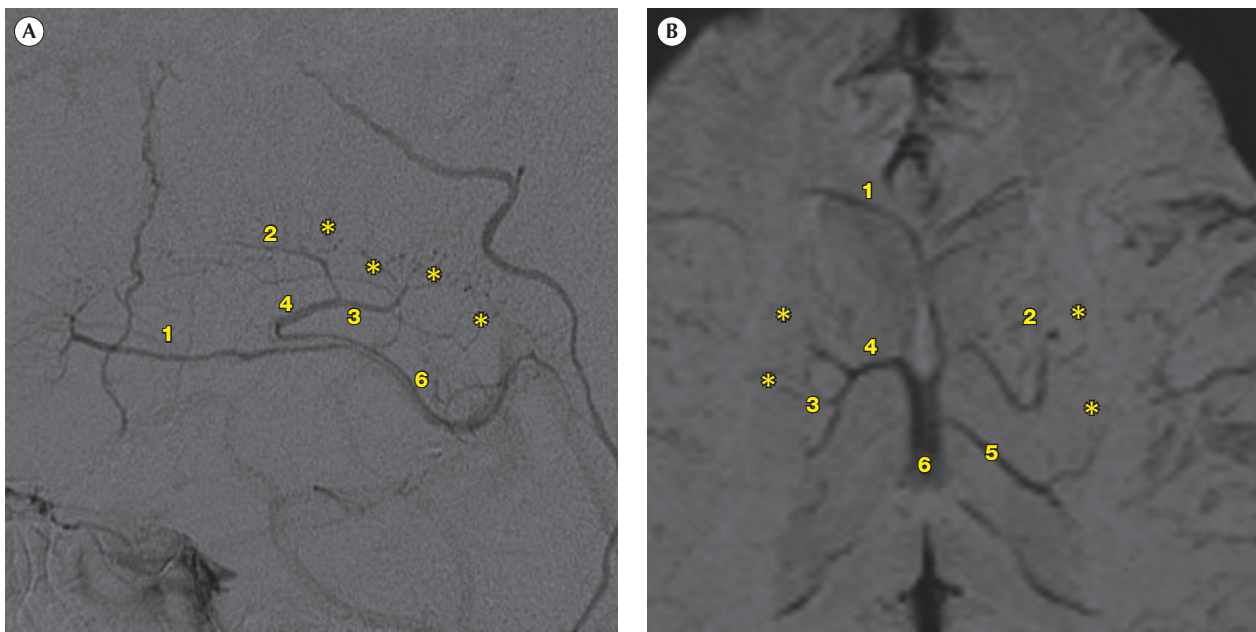
- **Gruppo mediale** (figure 11 e 12). Include quanto segue.
  - *Vena calcarina anteriore*: ramo venoso di drenaggio della porzione anteriore del cuneo e della lingua; decorre anteriormente e, frequentemente, si unisce alla vena pericallosa posteriore, a ridosso dello splenio del corpo calloso, prima di confluire nella vena cerebrale interna o nella vena di Galeno;
  - *vena calcarina posteriore*: origina da rami provenienti dalle superfici corticali lungo il versante posteriore della scissura calcarina; il tratto prossimale decorre posteriormente, lungo la scissura, per poi curvare superiormente verso il cuneo sino alla confluenza del seno sagittale superiore; frequentemente si anastomizza con vene occipitali lungo il margine dell'emisfero, prima di unirsi al seno sagittale superiore.

- **Gruppo basale**. Include:

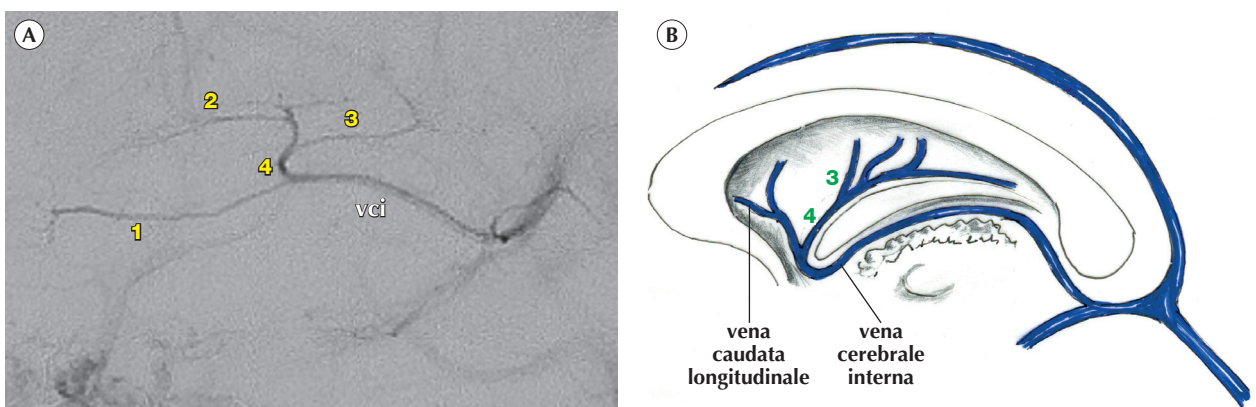
- *vena occipitobasale* - quest'ultima drena la superficie inferiore del lobo occipitale nonché la porzione inferolaterale della lingua e le regioni adiacenti dei giri temporoccipitale e temporale inferiore; decorre anteriormente verso l'incisura preoccipitale e, frequentemente, si unisce alla vena temporobasale posteriore, prima di confluire nel seno tentoriale laterale; talvolta, seppur raramente, presenta decorso anteromediale per drenare nella vena basale di Rosenthal.

## ● SISTEMA DELLE GRANDI VENE ANASTOMOTICHE

Il sistema delle grandi vene anastomotiche assicura il drenaggio venoso da un'area cerebrale all'altra



**Figura 27** - A) Angiografia cerebrale, proiezione laterale: vene cerebrali profonde e vene caudate trasverse. B) RM dell'encefalo, sequenza a suscettibilità magnetica aumentata, taglio assiale: vene cerebrali profonde e vene caudate trasverse. 1 = vena anteriore del setto (variante anatomica); 2 = vena caudata longitudinale; 3 = vena caudata posteriore (vena terminale superiore); 4 = vena talamostriata; 5 = vena diretta laterale; 6 = vena cerebrale interna; \* vene caudate trasverse.



**Figura 28** - A) Angiografia cerebrale, proiezione laterale: vene cerebrali profonde e vena talamostriata. B) Disegno anatomico di riferimento. vci = vena cerebrale interna; 1 = vena anteriore del setto; 2 = vena caudata longitudinale; 3 = vena caudata posteriore (vena terminale superiore); 4 = vena talamostriata.

### Atrio ventricolare

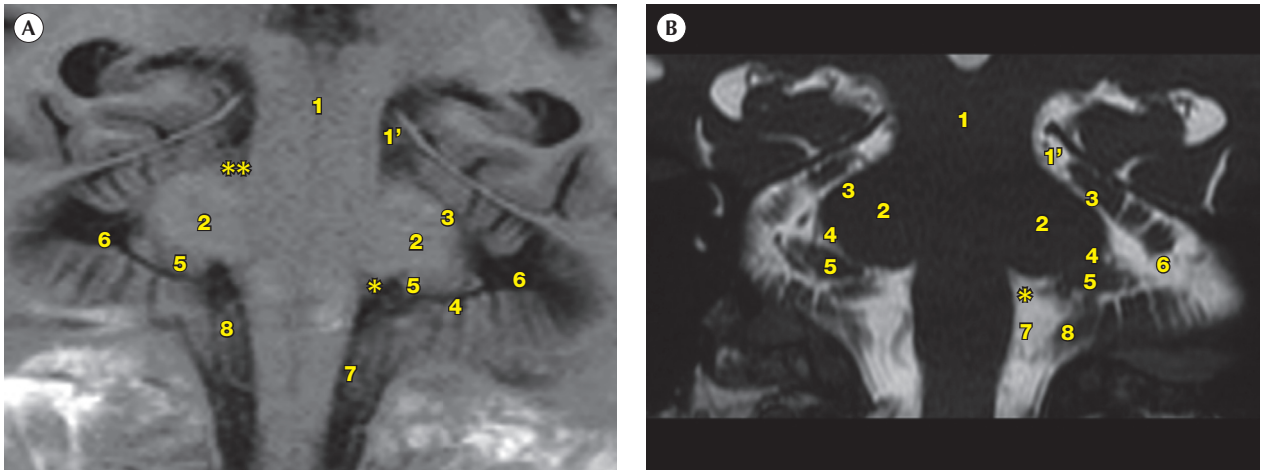
- **Vena diretta laterale** (detta anche vena talamocaudata, vena ventricolare laterale): è una vena incostante, non essendo sempre riconoscibile nelle indagini angiografiche. Quando è presente, origina dal bordo esterno del corpo del ventricolo laterale al confine con il nucleo caudato, scorre con tipico decorso rettilineo sulla superficie ventricolare del talamo (in base al decorso viene pertanto denominata anche vena talamocaudata) per terminare nella vena cerebrale interna. Drena le vene midollari esterne del corpo e dell'atrio ventricolare (**figura 27 B, 30 e 31**)

e varia in rapporto allo sviluppo della vena caudata posteriore. Quando quest'ultima è ipoplasica, la vena diretta laterale termina nel tratto medio della vena cerebrale interna (variante sovratalamica) (**figura 32**). Viceversa, quando la vena caudata posteriore è ben rappresentata, la vena diretta laterale si congiunge alla vena cerebrale interna in prossimità dell'ampolla di Galeno (variante retrotalamica) (**figura 33**). Nella proiezione laterale la vena diretta laterale si distingue dalla vena atriale mediale per il decorso rettilineo quasi ortogonale alla vena cerebrale interna, mentre la vena atriale mediale è orientata anteroinferiormente e presenta la sua

### Fessura cerebellopontina

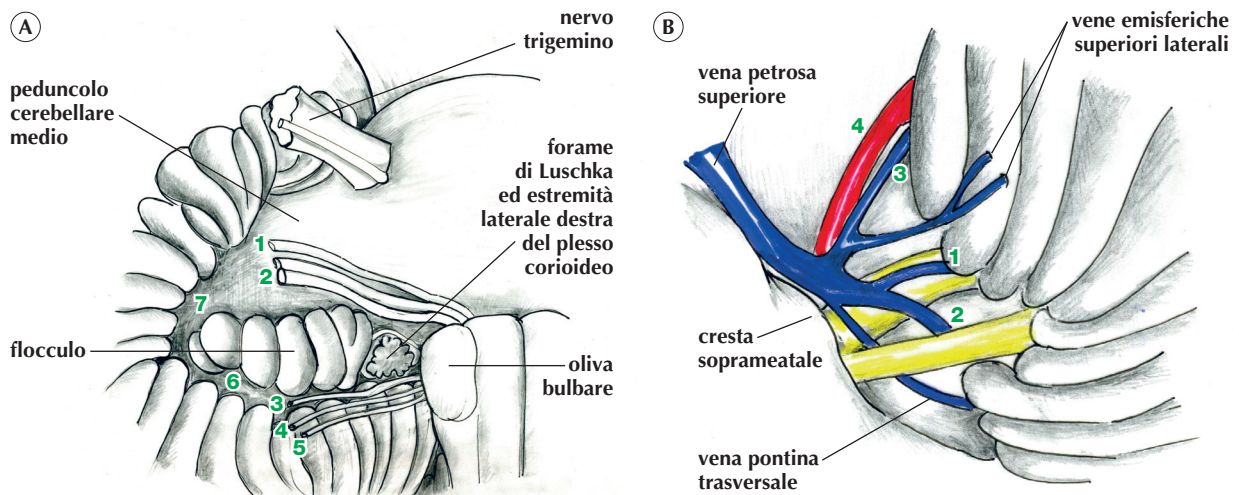
Interposta tra ponte e cervelletto, è delimitata da due bracci (estensioni mediali della grande fessura orizzontale di Vicq d'Azyr), uno superiore e uno inferiore, che seguono le superfici superiore e inferiore del peduncolo cerebellare medio (**figura 29**). Il braccio superiore della fessura comunica cranialmente con la porzione inferolaterale della fessura cerebellomesencefalica, mentre il braccio inferiore è in continuità caudalmente con la fessura cerebellobulbare ed è in

rapporto con recesso laterale del IV ventricolo e forame di Luschka. La fessura è quasi interamente occupata dal flocculo, che si posiziona al di sotto del peduncolo cerebellare medio, giungendo quasi a contatto con il troncoencefalo. Il recesso laterale del IV ventricolo si estende lateralmente sotto il peduncolo cerebellare medio e si apre con il forame di Luschka tra flocculo e troncoencefalo nella parte più craniale della cisterna bulbocerebellare. Il braccio inferiore della fessura cerebellopontina si estende sino al solco bulbopontino, segnando il punto di passaggio tra



**Figura 29** - RM dell'encefalo: **A**) immagine T1w, acquisizione volumetrica; **B**) immagine T2w, piano coronale a livello dei peduncoli cerebellari medi e flocculo. 1 = mesencefalo; 1' = fessura cerebellomesencefalica; 2 = peduncolo cerebellare medio; 3 = braccio superiore della fessura cerebellopontina; 4 = braccio inferiore della fessura cerebellopontina; 5 = flocculo; 6 = solco petroso (porzione mediale del grande solco orizzontale del cervelletto); 7 = fessura cerebellobulbare; 8 = tonsilla cerebellare; \* solco pontobulbare; \*\* doccia interpeduncolare (tra i peduncoli cerebellari superiore e medio).

**Figura 30** - **A**) Fessura cerebellopontina: disegno anatomico. 1 = nervo faciale (VII); 2 = nervo acustico-vestibolare (VIII); 3 = nervo glossofaringeo (IX); 4 = nervo vago (X); 5 = nervo accessorio del vago (XI); 6 = braccio inferiore della fessura cerebellopontina; 7 = braccio superiore della fessura cerebellopontina. **B**) Vena petrosa superiore pontina: disegno anatomico. 1 = vena della fessura cerebellopontina; 2 = vena del peduncolo cerebellare medio; 3 = vena pontotrigeminale; 4 = arteria cerebellare superiore.



mina come arteria del foro rotondo e si anastomizza con l'arteria del foro rotondo, ramo della mascellare, e con rami temporali dell'arteria meningea media;

- il *ramo posteriore* del tronco inferolaterale si biforca e si anastomizza con l'arteria del foro ovale, ramo dell'arteria meningea accessoria, e con il ramo cavernoso dell'arteria meningea media (**figura 20 B**) (vedere anche capitolo 5, figura 11).

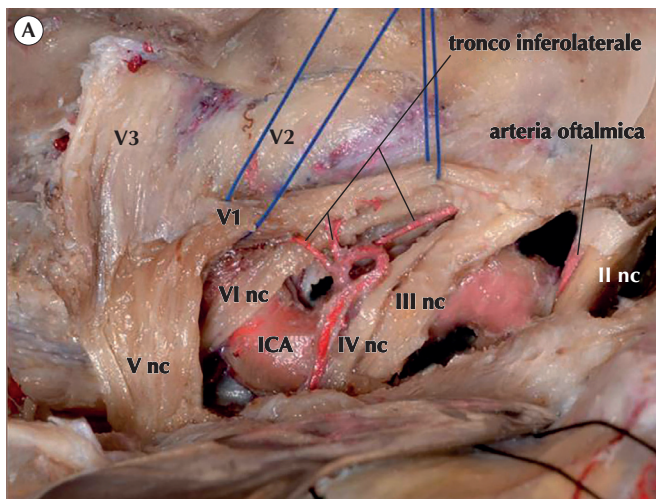
Il terzo mediale del ganglio è vascolarizzato dall'arteria tentoriale del tronco meningoipofisario della carotide interna; la porzione laterale del ganglio è vascolarizzata dall'arteria meningea media (**figura 20 B**). Ci sono poi i tratti V1, V2 e V3 che decorrono, rispettivamente, nella fessura orbitaria superiore, nel foro rotondo e nel foro ovale.

- V1: l'arteria per la fessura orbitaria superiore (dal ramo anteromediale del tronco inferolaterale) e l'arteria ricorrente oftalmica profonda (dal tronco inferolaterale) vascolarizzano V1 nel decorso intraorbitario.
- V2 nella fossa cranica media è vascolarizzato dall'arteria del foro rotondo (ramo del tronco inferolaterale) e si anastomizza con rami provenienti dalle arterie meningea media e meningea accessoria; V2 nella fossa pterigopalatina è vascolarizzato da rami dell'arteria mascellare e dal suo ramo infraorbitario (dove il nervo attraversa il foro infraorbitario).
- V3: a valle del ganglio di Gasser la radice mandibolare del trigemino è vascolarizzata dall'arteria del foro ovale, che proviene dalla branca posteromediale del tronco inferolaterale, e dall'arteria meningea accessoria, che entra nella cavità cranica attraverso il foro ovale e che si anastomizza con il tronco inferolaterale (**figura 20 B**; vedere anche capitolo 5, figura 11). Anche l'arteria meningea media (MMA) contribuisce all'irrorazione del segmento V3 e dei suoi rami sensitivi extracranici: nervi linguale, alveolare inferiore, auricolotemporale e buccale. Il nervo linguale e il ganglio sottomandibolare sono vascolarizzati dalle arterie linguale, sottolinguale e linguale profonda (tutti rami di ECA).

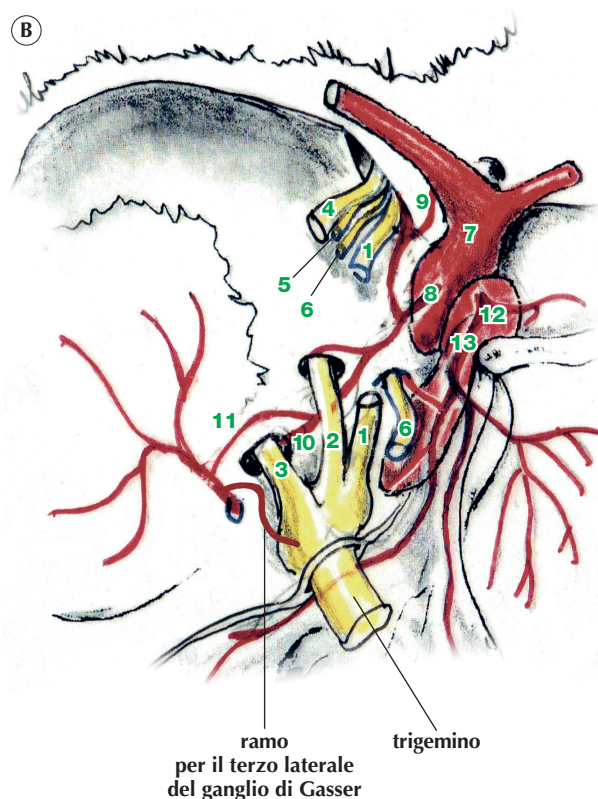
## ● SESTO PAIO (VI ABDUCENTE)

### Anatomia descrittiva e rapporti anatomici

Il sesto nervo cranico, abducente od oculomotore esterno, origina da un nucleo motore pontino, dal quale le fibre esclusivamente motorie si portano in avanti, emergendo dal tronco encefalico a livello del solco bulbo-pontino in prossimità della linea mediana (**figure 1 e 2**). Il nucleo, costituito dai corpi di neuroni motori somatici, è circondato dall'ansa formata dalle fibre intrassiali del nervo faciale. È un nervo sottile che ha il più lungo decorso intracranico e penetra nel seno cavernoso attraverso il canale di Dorello (capitolo 15, figura 4).



**Figura 20** - A) Vascolarizzazione del trigemino, preparato anatomico. II nc = nervo ottico; III nc = oculomotore comune; IV nc = trocleare; V nc = trigemino; V1 = branca oftalmica; V2 = branca mascellare; V3 = branca mandibolare; VI nc = abducente; ICA = sifone carotideo. B) Disegno anatomico di riferimento. 1 = branca oftalmica; 2 = branca mascellare; 3 = branca mandibolare; 4 = oculomotore comune; 5 = trocleare; 6 = abducente; 7 = sifone carotideo; 8 = tronco inferolaterale; 9 = arteria della fessura orbitaria superiore; 10 = arteria del forame ovale; 11 = anastomosi del tronco inferolaterale con la meningea media; 12 = tronco meningoipofisario; 13 = arteria di Bernasconi-Cassinari.



zioni e alterazioni comportamentali può complicare ulteriormente la diagnosi.

Gli ictus lacunari (LACS), infine, sono infarti subcorticali di piccole dimensioni (diametro < 15 mm), legati a processi obliterativi a carico del distretto microvascolare encefalico e localizzati prevalentemente a livello dei gangli basali, del talamo, della capsula interna, del tronco encefalico e della corona radiata (**tabella XIII**). Essi costituiscono circa 25 per cento di tutti gli ictus ischemici e sono generalmente associati a prognosi più favorevole rispetto a quelli non lacunari, in termini sia di mortalità, sia di disabilità resi-

dua, sia di tasso di ricorrenza. In realtà, numerosi studi hanno dimostrato che 20-30 per cento dei pazienti colpiti da ictus lacunare vanno incontro a peggioramento del deficit neurologico nelle prime ore o nei primi giorni dall'insorgenza dei sintomi e che l'insorgenza di questa complicanza ne influenza negativamente l'esito. Indicative del coinvolgimento dei piccoli vasi sono le sindromi lacunari o LACS definite come ictus (o *Transient Ischaemic Attack*, TIA) senza afasia, disturbi visuospatiali o della vigilanza. Le sindromi lacunari incluse nella classificazione sono 4: ictus motorio puro, ictus sensitivo puro,

**Tabella I** - Sindromi cliniche in base alla classificazione Oxfordshire Community Stroke Project.

	definizione	ipotesi anatomica
<i>sindrome completa del circolo anteriore</i> (TACS)	combinazione di: disfunzioni corticali (disfasia, discalculia, disordini visuospatiali) <b>ed</b> emianopsia omonima <b>e</b> deficit motorio e/o sensitivo controlaterale (almeno due aree fra arto superiore, inferiore e volto) possibile alterazione dello stato di coscienza	ischemia nel territorio superficiale e profondo dell'arteria cerebrale media o della carotide interna
<i>sindrome parziale del circolo anteriore</i> (PACS)	due delle tre componenti di TACS <b>e</b> disfunzione corticale sola o associata a deficit motorio/sensitivo più ristretto rispetto a TACS (parte di un arto)	infarto in territorio corticale più ristretto rispetto a TACS (occlusione di rami dell'arteria cerebrale media) o infarto isolato nel territorio dell'arteria cerebrale anteriore o nel territorio striatocapsulare (occlusione dell'arteria cerebrale media all'origine delle arterie lenticolostriate, se i collaterali leptomeningeali mantengono la vascolarizzazione corticale)
<i>sindrome lacunare</i> (LACS)	sindrome sensitiva pura <b>oppure</b> sindrome motoria pura <b>oppure</b> sindrome sensitivo-motoria <b>oppure</b> emiparesi atassica	infarto lacunare nei gangli della base e nel ponte (patologia di singoli rami perforanti nei gangli della base o nel ponte)
<i>sindrome del circolo posteriore</i> (POCS)	paralisi dei nervi cranici ipsilaterale con deficit motorio/sensitivo controlaterale <b>oppure</b> deficit motorio/sensitivo bilaterale <b>oppure</b> disordine dei movimenti coniugati degli occhi <b>oppure</b> disfunzione cerebellare senza deficit dei tratti lunghi (emiparesi atassica) <b>oppure</b> emianopsia omonima isolata	infarto in tronco/cervelletto/lobi occipitali

## ● PATOLOGIA NON OCCLUSIVA (OVVERO DA IPERAFLUSSO)

Nella descrizione delle manifestazioni cliniche dovute alla presenza di anomalie venose, data l'estesa variabilità anatomico-topografica del sistema venoso, non è possibile fare una descrizione che colleghi in maniera univoca topografia venosa della singola vena con manifestazioni cliniche. Alcune considerazioni più estese riguardanti le varie entità anatomiche possibili e quindi le rispettive manifestazioni cliniche puntualizzano nel contempo le principali manifestazioni emodinamiche.

### Malformazioni arterovenose

Si tratta di anomalie congenite (MAV) in cui classicamente sono presenti vasi afferenti, un *nidus* e vasi venosi drenanti. Ciò che caratterizza l'anomalia è essenzialmente la mancanza di un vero sistema, di un vero letto capillare. Queste anomalie interessano in maniera quasi uguale entrambi i sessi. In una percentuale variabile possono dare sintomi durante la vita del paziente, spesso dovuti alla comparsa di emorragia (intraparenchimale o con associata emorragia subaracnoidea o anche intraventricolare), classicamente costituiti da crisi di cefalea e manifestazioni deficitarie neurologiche focali. Il rischio di rottura costituisce il principale elemento che può aggravare in maniera rapida le condizioni del paziente.

In letteratura sono esposti vari *score* di possibile sanguinamento: presenza di una sola vena emissaria, localizzazione anatomica nel sistema venoso profon-

do, localizzazione nella fossa posteriore o ventricolare e periventricolare. È possibile tuttavia ritenere che il ruolo principale, se non unico, nel determinismo del rischio di rottura di queste malformazioni sia costituito dalla comparsa di nuove condizioni di resistenza intranidali e perinidali con variazioni nel deflusso e, quindi, nell'*outflow* nelle vene emissarie, con possibili fenomeni di *reflow* e ipertensione nel compartimento venoso, che determinano un'evidente condizione di "non equilibrio dinamico".

La terapia di queste forme può essere medica o chirurgica. La terapia medica è essenzialmente conservativa e comprende chiaramente il trattamento dei fattori modificabili di rischio, quindi controllo della pressione arteriosa, abolizione del fumo, eccetera, così come si deve curare il corteo sintomatologico associato che, come si è detto, comprende cefalea e crisi epilettiche.

### Shunt durali arterovenosi

Lo shunt durale arterovenoso si presenta generalmente in pazienti adulti o più sovente anziani e molto spesso sono interessati rami della carotide esterna (in modo particolare, arteria meningea) che vengono poi drenati da formazioni venose durali meningee o subaracnoidee.

La sintomatologia clinica dipende molto dalla localizzazione della malformazione. Una localizzazione del basicranio può determinare molto spesso la comparsa di *tinnitus* pulsatile, che forse può essere giustificato quando la malformazione si localizza a livello della parte distale del seno trasverso o, meglio ancora, a livello del seno sigmoideo: in questa sede, infatti, ci sono le aree di scarico, di drenaggio delle principali formazioni labirintiche, che possono essere quindi interessate dalla presenza della malformazione. Diverso sarà invece il quadro clinico nel caso che la malformazione si localizzi all'interno del seno cavernoso (configurando, quindi, la comparsa di una vera e propria fistola carotidocavernosa).

### Considerazioni dinamiche

Una volta ottenute le immagini anatomica e morfologica della malformazione, una possibile chiave di volta, utile per predire l'eventuale evoluzione negativa e quindi una possibile rottura, è caratterizzata dall'esigenza di un completo studio dinamico, che deve coinvolgere i *feeder* afferenti, con ricerca dei valori di resistenza e pulsatilità lungo il loro decorso, di eventuali vasi ad alta o bassa portata a livello intranidale e uno studio ancora più accurato a livello del o dei vasi venosi di drenaggio (**figura 5**). Particolare attenzione dev'essere posta al riscontro di eventuale presenza di un flusso venoso invertito, retrogrado o anche al-

**Figura 5** - Lo studio neurosonologico del *nidus* malformativo arterovenoso (1) permette di studiare il pattern emodinamico dei suoi vasi arteriosi afferenti (2) e dei vasi venosi efferenti (3).

