CIRCOLAZIONE SANGUIGNA E LINFATICA CEREBRALE

Giuseppe C. Budetta

Key words: Blood brain pressures, cerebral blood flow.

Premessa.

Solo nell'Uomo l'arteria carotide comune di sinistra si origina direttamente dall'arco aortico. La difformità emodinamica dei due lobi cerebrali potrebbe correlarsi all'asimmetria interemisferica ed alla diversa concentrazione neuronale, molto accentuata nella specie umana.

Il cervello umano non è una struttura compatta, un tipo di tessuto omogeneo, ma un sistema in costante dinamismo ed oscillante in un equilibrio instabile. L'esempio di uno dei fondatori della cibernetica, W. Ross Ashby, può aiutarci nella comprensione di alcuni aspetti fisiologici del cervello umano: un funambolo può restare in equilibrio solo compiendo dei continui movimenti irregolari con l'asta nelle mani. Lo stesso vale per un ciclista che per non cadere fa piccoli aggiustamenti col manubrio. Impedendo al funambolo i continui e disordinati aggiustamenti se ne ostacolerebbe l'equilibrio e se ne provocherebbe la caduta.

Chamberlain S.R. et all. (2011), dimostrano che negl'individui affetti da schizofrenia in modo inspiegabile, il tasso di sincronizzazione delle reti neuronali cerebrali è più accentuato rispetto ai soggetti sani. L'accentuata sincronizzazione non sarebbe dovuta alla densità della rete d'interconnessione cerebrale, ma alla sua diffusa riduzione. In un cervello normale, la rete d'interconnessione tra i neuroni ha HUB (nodi di connessione), attraversati da collegamenti intra ed inter-emisferici. Tali reti sono state indicate anche come *small world* ed il loro funzionamento ha il cardine negli HUB. Le reti *small worlds* darebbero una rapida elaborazione delle informazioni e gli HUB ne accentuerebbero la funzionalità.

Tra gli emisferi cerebrali umani, esistono differenze a cominciare dal rispettivo volume, fino ai parametri della velocità del flusso sanguigno, come nel presente saggio sarà esposto. La geometria vascolare di alcune arterie cerebrali regola nell'immediato la corretta emodinamica locale e preserva, invece di eliminarle, le differenze di velocità e di pressione sistolica tra i due emisferi encefalici. Tuttavia, come il ciclista e il funambolo necessitano rispettivamente di una strada scorrevole e di una corda robusta e sicura, così, l'emodinamica cerebrale deve avere parametri generali costanti, sia pur con minime variazioni nelle specifiche aree neuronali, a seconda del loro grado di attivazione, della loro vastità e complessità. E' probabile che per questi motivi, la connettività interemisferica è più accentuata nell'Uomo che negli altri primati. Nell'Uomo, le asimmetrie del cervello sono più marcate rispetto agli altri mammiferi, compreso i primati e la connettività interemisferica, quella tramite il corpo calloso è più rilevante. Nella sindrome schizofrenica, c'è una ridotta connessione tra i due emisferi cerebrali in riferimento alle fibre trasversali del corpo calloso.

Finalità della ricerca. Questo mio studio di anatomia comparata e di fisiologia sottolinea alcuni fattori fisici di regolazione della pressione sanguigna intracranica, fondamentali per la prevenzione di numerose patologie neuro degenerative. La geometria vascolare cerebrale contrasta i bruschi cambiamenti di pressione idrostatica del flusso sanguigno, in particolare nei rapidi movimenti di flesso-estensione del busto e nelle rotazioni in alto ed in basso della testa. Questi movimenti aggiungono energia cinetica al flusso sanguigno cerebrale. Non solo da svegli, ma anche nel sonno, speciali dispositivi anatomici regolano localmente il flusso sanguigno cerebrale e concorrono a mantenere costanti i seguenti quattro parametri: fluido cerebro – spinale, flusso e volume sanguigno cerebrale, pressione intracranica e pressione di perfusione cerebrale. Pertanto ho voluto approfondire i dispositivi vascolari, implicati nell'emodinamica cerebrale e finalizzati al mantenimento delle relative costanti fisiche. Nel cervello e cervelletto, la pressione idrostatica sanguigna è il principale fattore che dalle arteriole capillari, pre-capillari e capillari fa fuoriuscire

elettroliti, acqua e sostanze nutritizie verso i tessuti circostanti. Alterazioni anche minime, ma frequenti degl'indici di pressione idrostatica si ripercuotono sul corretto funzionamento pre-capillare e capillare, nonostante la funzione protettrice della barriera emato-encefalica.

Nei mammiferi in molti distretti corporei come in quello cerebrale, arterie e vene sono affiancate. Nel collo, negli arti anteriori e posteriori, grossi fasci vascolo nervosi sono avvolti tutti insieme da una comune guaina. Spesso il percorso di un'arteria (succlavia, ascellare, femorale, poplitea) è compreso tra due vene satelliti con specifica ubicazione spaziale, una interna ed una esterna all'arteria di accompagnamento. Anatomici come Barone R.(1983), Testut L, Latarjet A. (1966), collegano i numerosi fasci artero – venosi del corpo umano ed animale alla tendenza dei rami vascolari e nervosi ad occupare il minor spazio possibile e con la minore percorrenza al flusso sanguigno al loro interno. I fisiologi Rindi G, Manni E. (1987), accennano ad eventuali scambi termici tra arterie e vene affiancate, dove il sangue ha senso centrifugo nelle prime e centripeto nelle seconde. Altri Autori come Randall, Burgren e French (1999), sostengono l'importanza di meccanismi vasomotori nel controllo delle variazioni di pressione sanguigna, per esempio nelle arterie del collo e della testa di Giraffa. Il presente lavoro chiarirebbe alcuni punti controversi in riguardo ai fattori fisici che regolano in particolare l'emodinamica cerebrale. Il comune percorso delle arterie e vene cerebrali sarebbe un importante fattore fisico di regolazione della circolazione sanguigna, contenendo la pressione idrostatica eccessiva, proteggendo il tessuto nervoso ed assicurando un costante apporto di ossigeno ai neuroni. Il passaggio dell'ossigeno verso i tessuti avviene per differenza di tensione parziale, sensibile ai cambiamenti della pressione idrostatica del sangue. La barriera ematoencefalica non contrasta l'eccessiva pressione idrostatica del sangue arterioso per un periodo prolungato, Gillian L. A., (1974) e Gillian L. A.D., (1976).

La fisiologia del cervello si basa sulla stretta correlazione tra flusso sanguigno regolare e l'intrinseca attività metabolica, consequenziale all'attivazione neuronale: coppia flusso-metabolismo. Infatti nell'intero cervello, il trasporto di acqua e soluti dal sangue ai neuroni e viceversa attraverso la parete endoteliale dei capillari avviene in minima parte per micro pinocitosi ed in misura preponderante che in altri distretti, tramite gradienti ottimali di pressione idrostatica.

La pressione idrostatica all'estremità arteriosa dei capillari cerebrali determina il passaggio dell'acqua e dei soluti organici ed inorganici dal sangue ai tessuti. Il passaggio inverso in corrispondenza dell'estremità venosa dei capillari è dovuto alla maggiore pressione osmotica sanguigna, rispetto ai liquidi tessutali. In questo caso, le proteine ematiche disciolte nel plasma hanno un ruolo fondamentale, mantenendo una pressione osmotica un poco più elevata rispetto a quella dei liquidi interstiziali. Ci sarebbe una diretta correlazione tra i principali parametri della pressione sanguigna cerebrale ed alcune patologie neurodegenerative dell'invecchiamento come il disturbo cognitivo, l'Alzheimer ed il morbo di Parkinson.

Il presente saggio di anatomia e di fisiologia comparata riassume alcuni miei precedenti studi, avendovi aggiunto nuovi argomenti ed approfondito altri. L'anatomia, la fisiologia comparata e l'anatomia topografica si basano sulla descrizione e comparazione strutturale e funzionale di organi ed apparati del corpo umano ed animale. Ho intercalato numerose figure da me effettuate. Ho diviso l'elaborato in cinque parti, ognuna delle quali comprende vari paragrafi:

PRIMA PARTE. L'emodinamica alla base cranica tra i vari mammiferi, compreso l'Uomo.

SECONDA PARTE. L'emodinamica del poligono di Willis e delle reti mirabili encefaliche.

TERZA PARTE. Le tre similitudini della fisica, applicate ad alcune strutture vascolari cerebrali.

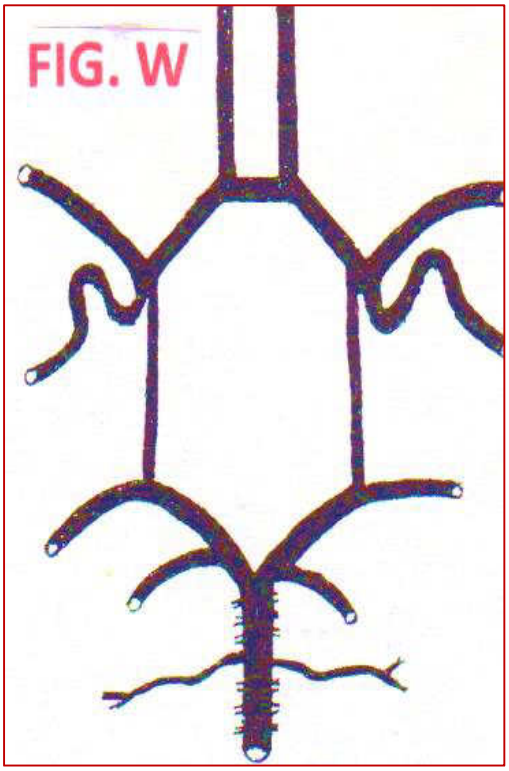
QUARTA PARTE. Le differenze emisferiche nell'Uomo e l'omeostasi di Monro – Kellie.

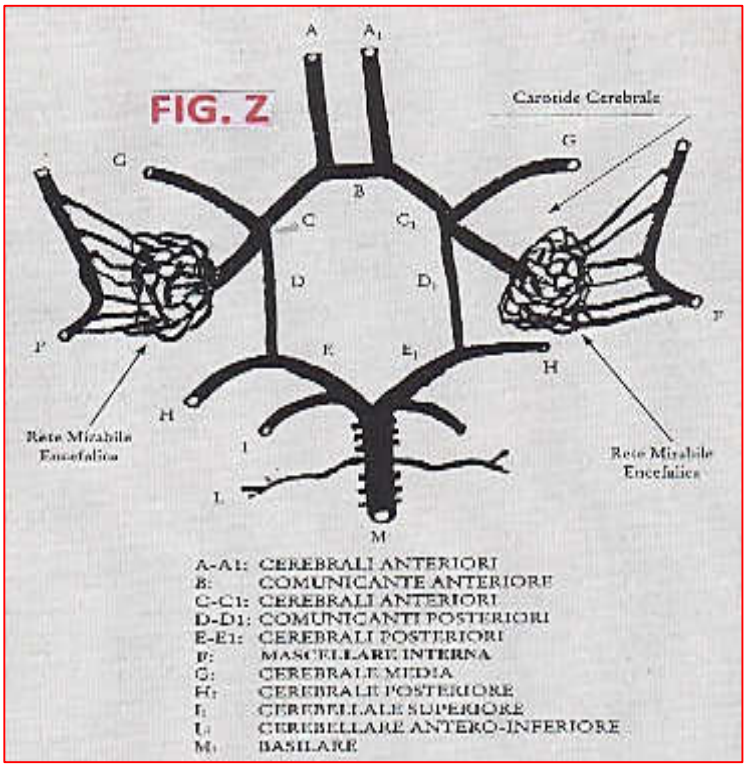
QUINTA PARTE. Il nuovo sistema linfatico di Nedergaard & Goldman: i punti controversi.

PARTE PRIMA

Mammiferi col solo poligono di Willis alla base cranica e mammiferi con poligono di Willis e reti mirabili encefaliche.

Nei mammiferi, alla base cranica c'è il poligono di Willis, presente anche in specie molto antiche come i rettili e gli anfibi. Nei ruminanti e nei cetacei, alla base cranica oltre il poligono di Willis, tra cuore e cervello c'è una estesa rete mirabile che previene gli eccessi di pressione idrostatica del sangue. L'Elefante e la Giraffa pur essendo ruminanti e pur avendo estere reti mirabili encefaliche, si discostavano dallo schema generale che andavo delineando. Sia l'Elefante che la Giraffa di rado portano la testa al di sotto della base cranica. L'Elefante usa la proboscide per bere. La Giraffa è impossibilitata a flettere molto in basso il collo ed evita spesso di tenere la testa al di sotto della base cardiaca. In effetti, le reti mirabili encefaliche contrastano non solo la pressione sistolica elevata a livello cerebrale, uniformando l'emodinamica tra splancno-cranio e neuro-cranio, ma sono correlate anche alle modificazioni vascolari per l'incremento volumetrico del rumine dopo lo svezzamento, quando si sviluppano le arterie ruminali. Nei ruminanti, Elefante e Giraffa compresi, nei primi tempi di vita extra-uterina, il rumine ha un volume inferiore a quello dello stomaco ghiandolare (abomaso) e solo in questo periodo, le reti mirabili encefaliche sono quasi del tutto assenti. La pressione sanguigna sistemica ha influenza immediata sulla velocità sanguigna intracranica, come aveva rilevato Grubhofer G. et all., (1999).





Nella figura W, è disegnato il solo poligono di Willis che poggia sulla base cranica. Nella successiva (fig. Z), c'è il poligono di Willis affiancato da reti mirabili encefaliche. Nell'Uomo, Cavallo (equini) e Coniglio (lagomorfi) è presente solo il poligono di Willis, come anche in specie antiche come i rettili e gli anfibi. Nel Cavallo, il poligono di Willis è servito da un'arteria carotide interna esile, quasi una collaterale della carotide esterna. In altre specie, come i ruminanti, i carnivori ed i cetacei, il poligono di Willis è affiancato da estese reti mirabili. Nel Delfino come

negli altri cetacei, frapposte tra cuore e sistema nervoso centrale, esistono sette reti mirabili originate da oltre 800 arterie afferenti. Per Vogl A.W. et all. (1981 e 2005), le reti mirabili dei delfini sarebbero delle strutture polifunzionali collegate tra l'altro, all'abilità del tuffo.

Nei ruminanti, l'arteria oftalmica interna attraversa la peri-orbita, passa tra i muscoli oculo-estrinseci retto laterale e retto dorsale, originando una piccola rete mirabile oftalmica, oltre la quale si riforma come arteria unica. Nelle vicinanze del foro etmoidale, questo ramo formatosi dalla rete mirabile oftalmica si divide subito dopo in due branche: l'arteria etmoidale che si comporta come negli equini e l'arteria frontale che si distribuisce alla mucosa del seno frontale ed alla pelle della stessa regione. La rete mirabile oftalmica è presente oltre che nei ruminanti, anche nel suino. Da essa, provengono i rami per il bulbo oculare e la retina: *arteria centrale della retina*. Nel Bovino, la rete mirabile encefalica si ricollega ad una seconda rete arteriosa, alimentata sia dall'arteria condilare, sia dal ramo spinale dell'arteria vertebrale. Questa rete è allogata nella doccia basilare dell'atlante ed è indicata come *rete mirabile epidurale caudale*. Nel Bovino, sono dunque presenti quattro reti mirabili encefaliche:

1. **Rete mirabile encefalica epidurale rostrale.**
2. **Rete mirabile encefalica chiasmatica.**
3. **Rete mirabile oftalmica.**
4. **Rete mirabile encefalica caudale.**

Dalla rete mirabile encefalica epidurale rostrale, si originano due o tre vasi che confluendo tra loro formano un unico tronco: l'arteria carotide cerebrale. Dopo un breve percorso, questo grosso vaso si divide nelle due comunicanti, anteriore e posteriore del circolo di Willis. Posteriormente, il circolo di Willis riceve un altro grosso vaso che è l'arteria basilare.

E' da notare che nelle specie dove l'arteria mascellare interna sostituisce la carotide interna, c'è più diversificazione in riguardo ad alcuni annessi facciali o frontali, come corna e proboscide.

In prossimità del corpo dello sfenoide, l'arteria mascellare interna dà origine alle arterie generatrici la rete mirabile, una delle quali è caudale ed attraversa il foro ovale. Le altre formano il gruppo rostrale ed entrano nella cavità cranica dal foro orbito-rotondo. Alcuni di questi rami si originano dall'arteria buccale e perfino dall'oftalmica esterna. Dalle arterie generatrici la rete mirabile, si organizza una vasta trama vascolare di medio e piccolo calibro, ai lati dell'ipofisi. Diramazioni trasversali di tale rete passano accanto al chiasma dei nervi ottici, collegando le reti mirabili dei due versanti e formando la rete mirabile epidurale chiasmatica. L'arteria oftalmica interna si origina dalla rete epidurale chiasmatica, ma nelle specie col solo poligono di Willis lo stesso vaso proviene dalla cerebrale rostrale.

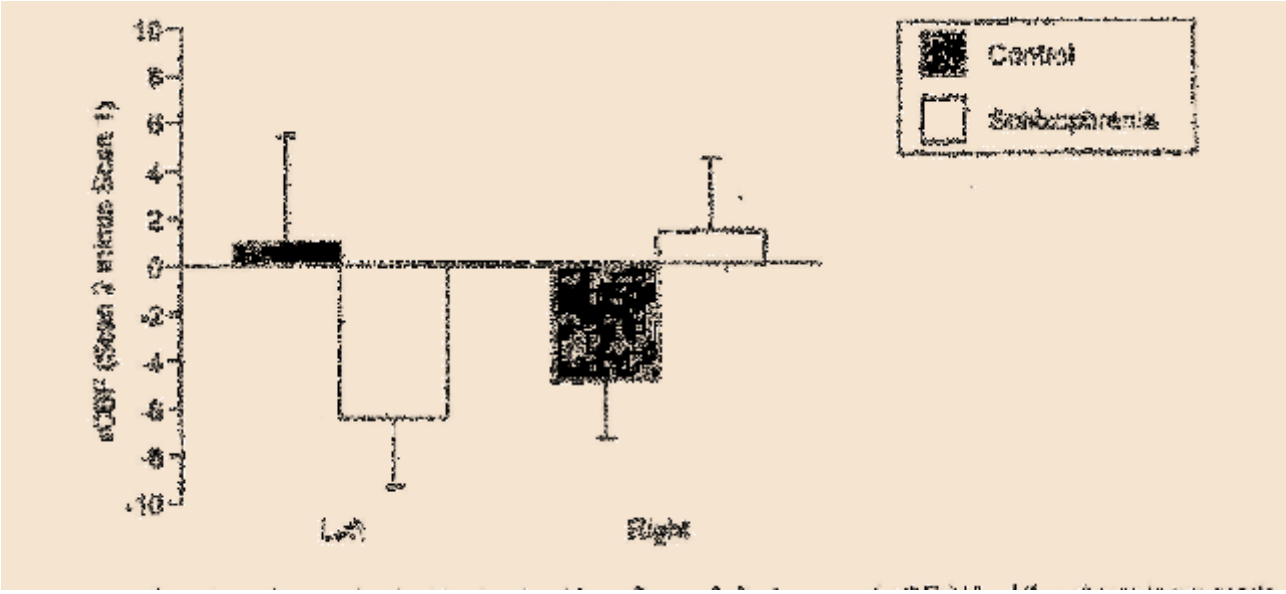
Edelman (1972), evidenziò che le reti mirabili encefaliche sono arteriole di 0,1 – 0,40 mm e si comportano come arterie periferiche con immediata vasocostrizione, in risposta alla nor-epifedrina. I vasi delle reti mirabili encefaliche sono dunque di piccolo calibro, hanno una estesa componente di muscolatura liscia e rispondono attivamente alle condizioni d'ipossia ed ipercapnia.

Nell'individuo normale, la somma del volume cranico, del fluido cerebro spinale (CSF) e del volume di flusso sanguigno intracranico è costante. Nella cavità cranica, incrementi volumetrici in uno dei tre scomparti possono essere compensati da decrementi volumetrici nei restanti. C'è aumento della pressione intracranica (ICP) nei casi in cui i decrementi immediati non avverranno. Nell'Uomo intorno ai cinque anni di vita, la stabilizzazione del flusso sanguigno encefalico favorirebbe l'incremento della densità sinaptica, in particolare in molte aree corticali. Importanti strutture anatomiche di regolazione emodinamica, oltre a sostanze chimiche specifiche, mantengono costanti i seguenti parametri: fluido cerebro spinale, flusso e volume sanguigno cerebrale, pressione intracranica (ICP).

Su alcune patologie relazionata all'emodinamica cerebrale. Alterazioni dell'emodinamica cerebrale starebbero alla base dei sintomi dell'autismo. Nella specie umana, alterazioni di CBFr potrebbero compromettere la normale corticogenesi, in particolare nei lobi frontali intorno ai cinque anni di età. Takashi Ohnishi et all. (2000) rilevarono il quoziente di perfusione cerebrale in ventitré ragazzi autistici, mediante la tomografia computerizzata ad emissione di positroni. Nei soggetti autistici, c'era una stretta correlazione tra alterazioni del flusso sanguigno cerebrale regionale (CBFr) e la sintomatologia legata all'autismo. Il CBFr risultava alterato bilateralmente nell'insula, nel gyro temporale superiore e nella corteccia prefrontale sinistra. Nelle stesse regioni, c'erano indici di perfusione cerebrale alterati. Anomalie nelle regioni frontali e temporali in soggetti autistici sono evidenti anche mediante EEG e SPECT. Negli autistici, Dawson G. e coll. (1995) hanno rilevato quadri anomali di EEG nelle regioni frontali e temporali. Con la SPECT, George MS et all. (1992), Mountz JM et all. (1995), hanno dimostrato l'esistenza nei soggetti autistici di anomalie nelle omologhe regioni frontali e corticali. Oscillazioni di velocità sanguigna nelle arterie cerebrali medie, con una incidenza del 15% - 35 %, si verificano negl'individui affetti da schizofrenia, Lee J.M. et all. (1999).

Heckers S. et all. (2002), effettuarono test visivi su soggetti schizofrenici, paragonati a gruppi di controllo normali, sottoposti agli stessi test. Le variazioni di flusso sanguigno cerebrale furono rilevate con la MRI. Negli schizofrenici, i risultati evidenziarono importanti indici di asimmetria emisferica inversa nell'elaborazione delle informazioni sensoriali. Negli schizofrenici, c'era un chiaro incremento del flusso sanguigno cerebrale nell'emisfero destro ed un decremento nel sinistro. L'opposto accadeva nel gruppo di controllo, fatto di persone normali. Per Heckers, negli schizofrenici la **corteccia associativa** parieto-temporo-occipitale (giro angolare area 39 di Brodman), implicata nella produzione del linguaggio avrebbe un elevato decremento di flusso sanguigno. Nello Scimpanzé, Brozoski T.J. et all. (1976), evidenziò delle analogie con gli schizofrenici in alcuni centri della corteccia associativa. Brozoski vide che la riduzione della dopamina in un'area circoscritta della **corteccia associativa** causava un indebolimento nelle abilità spaziali con un grado di gravità simile all'asportazione della stessa area.

Tab. Ω - Heckers, (2002).

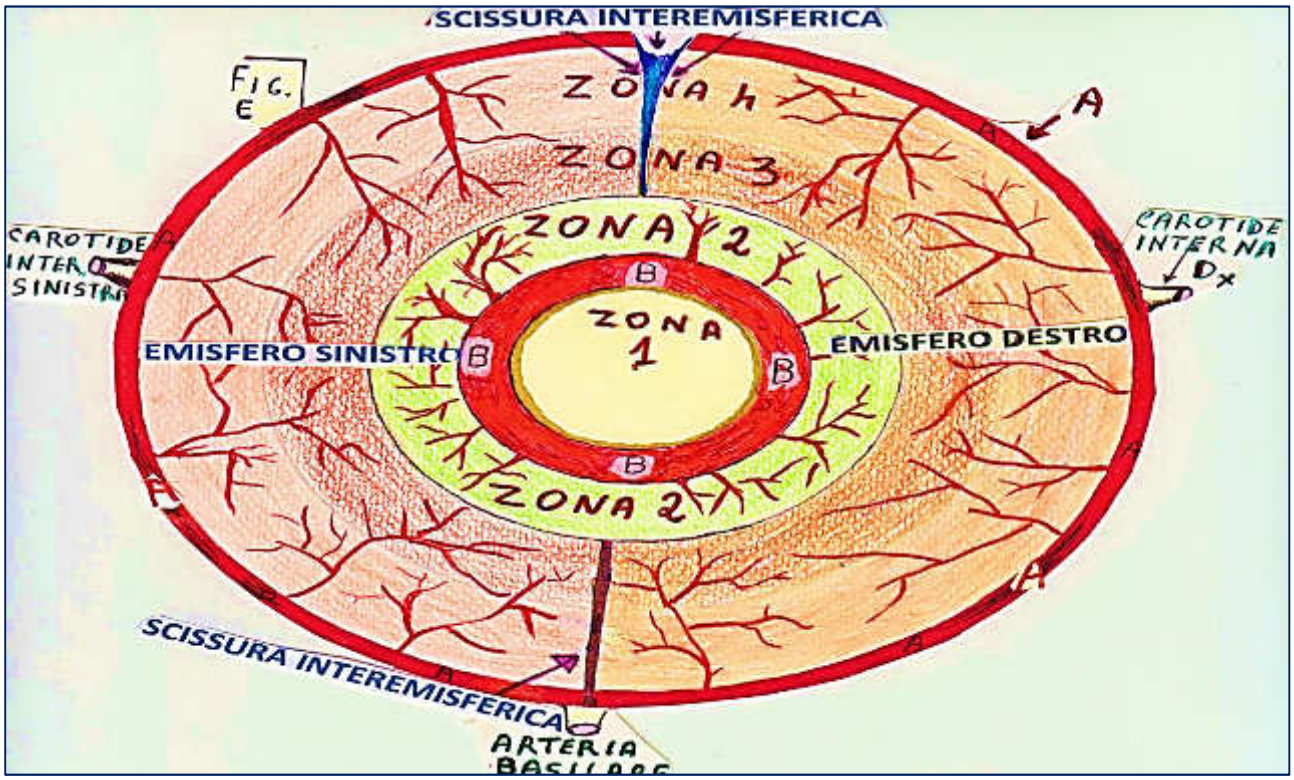


Le analogie emodinamiche nella corteccia associativa tra schizofrenici (centri del linguaggio) e corteccia associativa (scimpanzé) dei centri specializzati nella discriminazione spazio-temporale si possono così sintetizzare:

Decremento di flusso sanguigno (schizofrenici) ↔ riduzione di dopamina (scimpanzé).

Il punto focale della regolazione emodinamica cerebrale. Nei mammiferi, compresi gli acquatici, il cranio è all'apice del corpo, come una stazione ricevente le sensazioni, per lo più visive ed olfattive del mondo circostante. In molte specie di animali a livello cranico, ci sono anche gli organi per la prensione degli alimenti e data la compattezza ed estensione dei frontali, anche la funzione di difesa - offesa. Nell'Uomo, il neuro-cranio è nella parte più elevata del corpo e a differenza degli altri mammiferi compreso i primati, ha un volume molto maggiore di quello facciale.

Allogato nell'ampia cavità cranica, il cervello umano è circa il 2% della massa corporea e pesa in media 1360 gr. Tuttavia, le cellule cerebrali consumano il 20 -25% dell'energia corporea totale. La pre-ipofisi e l'ipotalamo sono le parti del cervello dove la circolazione arteriosa è più veloce ed uniforme sul versante destro e su quello di sinistra. Il disegno da me medesimo elaborato schematizza le circolazione cerebrale e le quattro zone neuronali da essa irrorate, **fig. E**.



Alterazioni vascolari nella zona 2

↓

Aree d'ischemia in alcuni distretti dello striato e del talamo

↓

Comparsa di patologie collegate allo striato ed al talamo.

In riguardo alle zone **1** e **2**, Ford J.M. (2005) trovò significativi ritardi nelle risposte di attivazione emodinamica negli schizofrenici. Le aree cerebrali coinvolte in tali ritardi erano i gangli basali, il talamo e la corteccia cingolata anteriore.

Nella **fig. E**, le anastomosi arteriose tra la zona **2** e **3** sono quasi del tutto inesistenti. E' da sottolineare che le arterie cerebrali sono di tipo terminale, come quelle del cuore e dei reni. Nell'emodinamica cerebrale umana, si possono distinguere quattro aree, (**fig. E**):

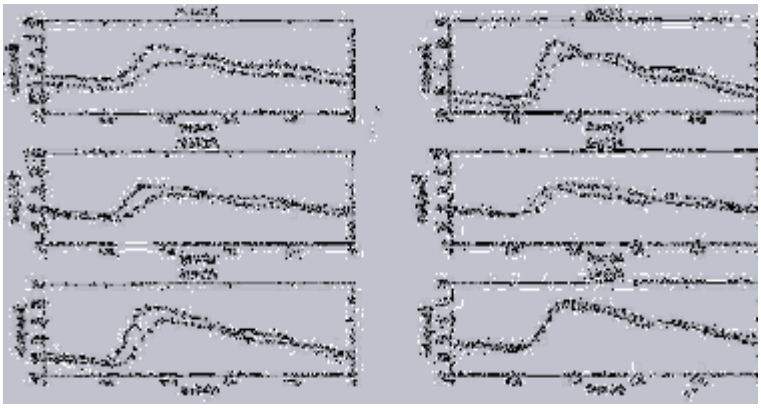
- L'area **1** ha la più alta velocità circolatoria.
- La zona **2** ha vasi arteriosi con velocità sanguigna un poco meno elevata.
- Le aree "corticali" **3** e **4**, con velocità circolatoria meno sostenuta, rispetto alle precedenti.

- La velocità del flusso sanguigno arterioso è più accentuato nell'emisfero cerebrale sinistro rispetto al controlaterale, in particolare le aree servite dalla cerebrale media corrispondente.
- In base alla velocità del flusso sanguigno cerebrale, si può fare la seguente comparazione:

Area 1 > Area 2
Area 2 > Area 3
Area 3 > Area 4

- Importanti differenze emodinamiche, come in seguito sarà esposto nei dettagli, esistono tra i due emisferi. La maggiore uniformità circolatoria interemisferica è presente solo nell'area 1, dove c'è anche la maggiore velocità di flusso ematico.

Lo schema (**fig.E**), riporta i tre tronchi arteriosi che irrorano l'encefalo: le due arterie carotidi interne (di destra e di sinistra) e la basilare. Provenienti dal collo, le carotidi interne penetrano nel cervello dalla base cranica. Nell'Uomo, le arterie carotidi interne hanno in media un diametro di 6,2 cm. Il loro volume è esattamente proporzionale allo sviluppo del cervello, come Testut & Lamariet affermano nel loro trattato di Anatomia umana. Nella parte postero inferiore del neurocranio, l'arteria basilare ascende lungo il canale neurale – essendosi formata nella sua estremità superiore – ed entra nel cranio per il grande foro occipitale. Le tre arterie – le due carotidi e la basilare - convergono nel Poligono di Willis, al di sotto del cervello. Nello schema (**fig.E**), ho eseguito una serie di cerchi concentrici al di sotto dei quali c'è sia il percorso delle tre arterie in questione, sia il Poligono di Willis. Avendo dovuto semplificare non mi è stato possibile indicare il percorso intracranico delle due carotidi interne e della basilare, nascoste dalla serie dei cerchi concentrici. Per lo stesso motivo, manca anche il poligono di Willis. Il cerchio più esterno, colorato in rosso ed indicato con **A**, illustra il flusso sanguigno delle principali arterie cerebrali che nascono dal poligono di Willis e che dalla periferia penetrano nei lobi cerebrali. Devault K. (2008) in uno studio sistemico sulle velocità medie di flusso sanguigno nelle principali arterie che si originano dal poligono di Willis rileva le seguenti differenze, dal grafico qui di seguito evidenziate.



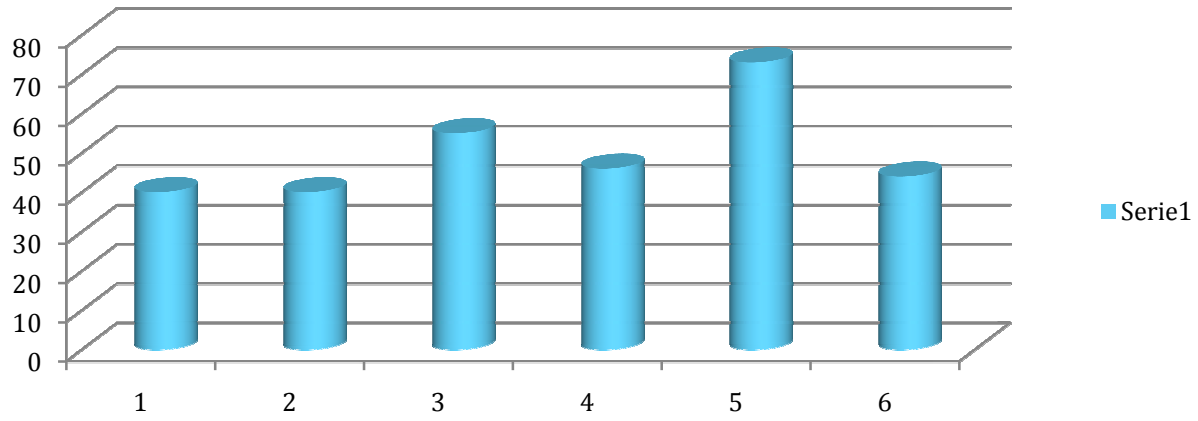
RACA: arteria cerebr. ant. destra.
LACA: a. cerebrale ant. sinistra.
RMCA: a. cerebrale media destra.
LMCA: a. cer. media sinistra.
RPCA: a. cerebrale post. destra.
LPCA: a. cerebrale post. sinistra.

Nel poligono di Willis, i picchi di velocità sistolica (PSV) e diastolica (PED) tendono a decrescere con l'avanzare dell'età. Al contrario, tendono ad aumentare i valori dell'indice di resistenza (RI) e pulsatile (PI). L'arteria cerebrale media ha un diametro di 2 – 4 mm e provvede all'apporto sanguigno per l'80% dell'intero emisfero cerebrale. Il picco di velocità sistolica (PSV) è di 100 – 110 cm/sec. La velocità diastolica (EDV) è 45 – 50 cm/sec. Tra le arterie intracraniche la cerebrale media ha il flusso sanguigno con la massima velocità. Nell'organismo umano, la velocità media del flusso sanguigno è di 65/70 cm/sec.

Importanti arterie, ciascuna con diversa velocità sanguigna (correlata al calibro vasale, cioè al raggio del vaso), si originano nel tratto intracranico della carotide interna, oppure dai vari segmenti del poligono di Willis. Esse sono:

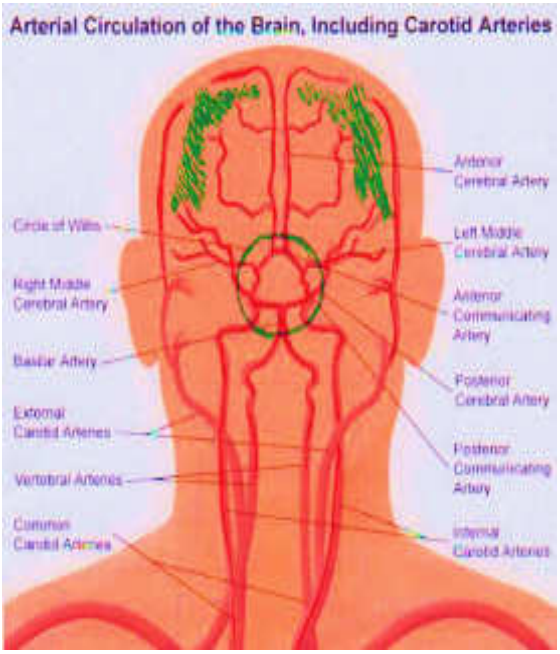
1. Arterie striate laterali: si originano dalla carotide interna. La velocità media del flusso sanguigno al loro interno è di 40 cm/sec.
2. Arterie striate anterolaterali, con velocità di flusso di 40cm/sec.
3. Arterie striate anteromediali che si originano dalla cerebrale anteriore e si distribuiscono al tratto ottico ed al rostro. La velocità media di flusso al loro interno è di 50-60 cm/sec.
4. Arterie postero-mediali, si staccano dalla comunicante posteriore: 42-53 cm/sec.
5. Arterie talamo-perforanti che si originano dalla cerebrale posteriore 66-81 cm/sec.
6. Arterie talamo-genicolate, derivano dalla cerebrale posteriore. Alcuni rami di queste arterie irrorano lo splenio del corpo calloso: 42 – 47 cm/sec.

Velocità sanguigna in cm/sec: 1) arterie striate lat. 2) a. striate antero later. 3) a. striate antero mediali. 4) a. postero-mediali.5) a. talamo perforanti.6) a. talamo-genicolate.



Nella figura E, la **zona 1** di colore giallo rappresenta l'asse ipofisi ipotalamo: la parte encefalica con più elevata velocità sanguigna arteriosa. Il cerchio **B** colorato di rosso, indica il sangue nei segmenti di **carotide interna**, **cerebrale media** e **cerebellare posteriore** da cui si staccano le arterie perforanti per i nuclei basali, per il talamo e per le restanti parti dello striato. Anche in questa **zona 2**, la velocità sanguigna resta abbastanza elevata. La scomparsa con l'età della comunicante posteriore del circolo di Willis si ripercuote direttamente sull'emodinamica della **zona 2**. La **zona 4** è la corteccia cerebrale, leggermente differente nei due emisferi: il destro più ampio ed il sinistro con maggiore concentrazione neuronale, ma meno voluminoso. La corteccia cerebrale è irrorata dalle cerebrali: media, anteriore e posteriore. Le arterie rilasciano rami che dalla parte esterna dell'encefalo penetrano nell'interno, dove si ramificano. Il cerchio esterno in rosso ed indicato con **A** segnala la circolazione delle sei arterie cerebrali: anteriore, media e posteriore, le tre di destra e le altrettanti di sinistra.

La **zona 3** è la parte degli emisferi cerebrali intermedia tra corteccia e nuclei della base. Sono le zone **1** e **2** quelle che risentono delle modificazioni di flusso all'interno del poligono di Willis e dei segmenti propinqui. La ricerca di Grubhofer G. et all. (1999) dimostra che l'ipertensione aumenta il picco di velocità sistolica nell'arteria cerebrale media, rilevando che la pressione sanguigna sistemica ha influenza immediata su quella intracranica. Com'è noto, la cerebrale media è la diretta continuazione della carotide interna.



Il disegno schematico qui di lato evidenzia la circolazione arteriosa cerebrale umana. L'area tratteggiata di colore verde rappresenta la zona 3 dello schema precedente (fig. E), parte intermedia del cervello e priva di grossi tronchi arteriosi. L'area all'interno del poligono di Willis è quella con maggiore velocità sanguigna arteriosa. L'asse ipofisi-ipotalamo che sta alla base del cervello, è stata definita il punto focale della regolazione emodinamica cerebrale. E' da tenere presente che le arterie cerebrali sono tutte di tipo terminale.

Schema di ricapitolazione.

In particolare nel cervello, con maggiore frequenza che in ogni altro organo del corpo umano, la velocità del flusso sanguigno arterioso è regolata anche per brevi tratti, dai seguenti fattori fisici che secondo alcuni ricercatori influenzerebbero direttamente il sistema renina angiotensina II – acido aminobutirrico.

- Disposizione spazio-temporale dei vasi sanguigni arteriosi e venosi.
- Raggio vasale.
- Lunghezza vascolare arteriosa.
- Viscosità del flusso sanguigno.

Hagiwara Yukihiko e Kubo Takao (2005), hanno evidenziato nell'area ipotalamica anteriore di Ratto alcuni neuroni che rispondono a variazioni pressorie. In particolare, l'area ipotalamica anteriore risponderebbe alle variazioni di pressione sanguigna, dopo essere stata attivata dal sistema angiotensina II – acido aminobutirrico.

Hagiwara Yukihiko e Kubo Takao dunque dimostrano le strette correlazioni tra sistema angiotensina II – acido aminobutirrico, velocità sanguigna e pressione arteriosa intracraniche nelle adiacenze dell'asse ipofisi – ipotalamo: la **zona 1** dello **schema E**. La zona 1 sarebbe **il punto focale della regolazione emodinamica cerebrale.**

Differenze di velocità sanguigna arteriosa negli emisferi cerebrali. Un particolare importante è la differente velocità sanguigna nelle due carotidi interne, più elevata in quella di sinistra.

Uzner N. (2000), dimostra che nell'arteria cerebrale media di sinistra i parametri di velocità di flusso sono più alti che a destra in tutti i soggetti da lui esaminati e che sono indipendenti dal sesso. La sistole cardiaca ha maggiore intensità di spinta nella carotide comune di sinistra in relazione all'origine asimmetrica dall'arco aortico. I dati sono i seguenti: 64,4 cm/sec nella carotide comune di destra e 67,9 cm/sec in quella di sinistra, in media. Ciò in accordo con la dominanza emisferica sinistra. Hudetz (1999) ha dimostrato un rapporto diretto tra flusso sanguigno cerebro-corticale e consumo di O_2 nelle normali attivazioni fisiologiche dei principali centri corticali. Il consumo di O_2 sarebbe supportato da un incremento direttamente proporzionale di flusso sanguigno a livello capillare. Perret e Sloop (2000), dimostrano che soggetti umani con pressione sanguigna elevata hanno un incremento delle velocità di flusso nelle carotidi comuni. Questi sono i valori da Perret e Sloop rilevati.

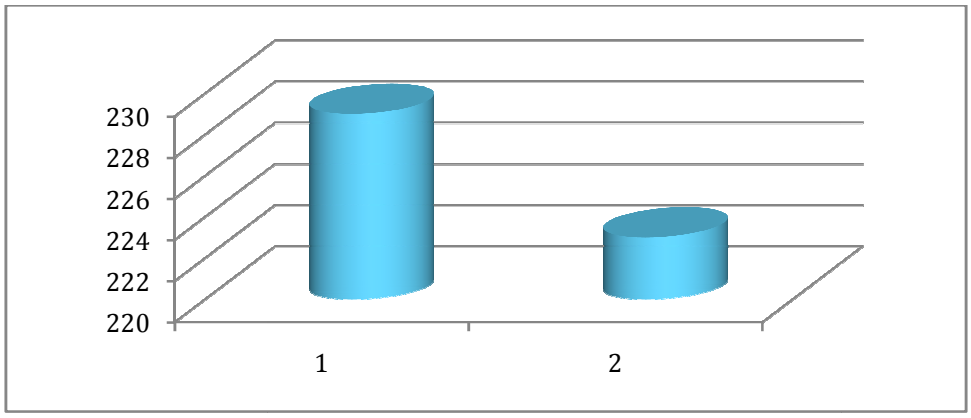
- Soggetti ipertesi:

Arteria carotide comune di sinistra: 72,0 cm/sec.
Arteria carotide comune di destra: 72,5 cm/sec.

- Nei soggetti normali di controllo la velocità nelle due arterie è più elevata a sinistra:

Arteria carotide comune di sinistra: 63.9 cm/sec.
Arteria carotide comune di destra: 62,7 cm/sec.

Obata T. et all. (1996), riporta i dati di una ricerca di Bogren, H.G. (1994). Le persone destrimani esaminate da Bogren, avevano un flusso sanguigno più alto nell'arteria carotide comune di sinistra, in rapporto alla controlaterale. La velocità di flusso sanguigno sarebbe nella carotide comune di sinistra di 229 mil./min., ed in quella di destra di 223 mil./min.



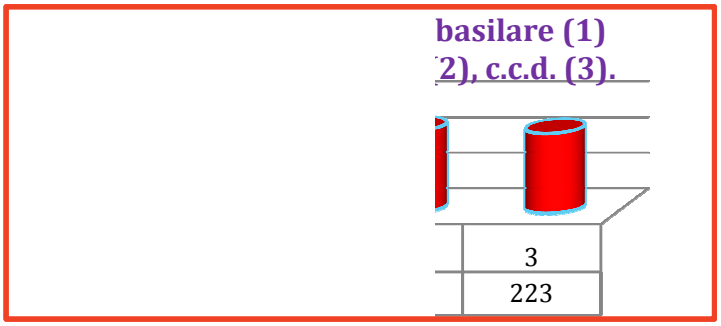
1) **Arteria carotide comune di sinistra: 229 ml/min.**
2) **Arteria carotide comune di destra: 223 ml/min.**

Come Obata e Bogren riferiscono e come il grafico da me elaborato qui sopra illustra, nei soggetti umani normali, c'è una sostanziale differenza di velocità sanguigna nelle carotidi interne di destra e di sinistra. Solo nell'Uomo rispetto a tutti i primati, la carotide interna di sinistra si origina direttamente dall'arco aortico, mentre quella di destra si stacca dall'arteria brachiocefalica.

Questa significativa differenza anatomica e fisiologica si ripercuote in massima parte nel flusso sanguigno della cerebrale media corrispondente, diretta continuazione della carotide interna omolaterale. Il poligono di Willis riequilibra solo parzialmente le pressioni sistoliche e la velocità di flusso proveniente dalle carotidi interne. E' da notare che l'emisfero cerebrale di sinistra è meno

voluminoso del destro, ma ha una maggiore concentrazione di neuroni. Di conseguenza, anche il *sistema glinfatico* di recente scoperto da Nedergaard & Goldman, (2016), avrebbe importanti differenze nei due versanti.

Con la risonanza magnetica nucleare a contrato di fase (P – CMRI), Obata T. et all. (1996), riportano i seguenti dati sul flusso sanguigno cerebrale in 26 soggetti maschi normali, tra i 18 e 65 anni di età. **VFR** indica la velocità del flusso sanguigno.

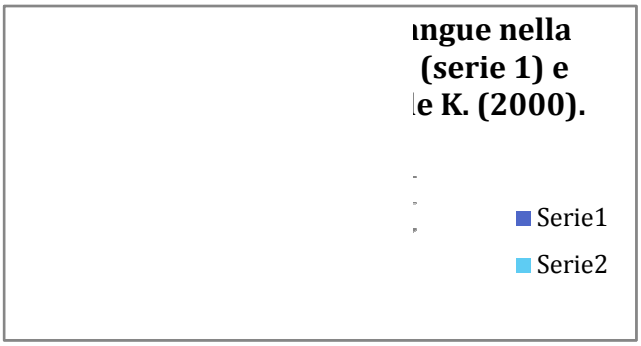


VFR: 142 ml/min. nell'arteria basilare, (1).
VFR: 229 ml/min. nell'arteria carotide interna di sinistra, (2).
VFR: 223 ml/min. nell'arteria carotide comune di destra, (3).
VFR: 617 ml/min. la velocità media del flusso sanguigno cerebrale.

Il grafico in alto riporta i dati del VFR di Obata secondo il quale in tutti i soggetti da lui esaminati, la velocità del flusso sanguigno era:

- Significativamente minore nell'arteria basilare rispetto alle carotidi interne.
- I differenti valori del VFR nelle carotidi interne confermavano i rilievi di Bogren, H.G. et all. (1994) e Lantz, B.M., (1981). Bogren e Lantz sono citati da Obata nella sua ricerca. Pertanto i due autori non sono riportati nella bibliografia di questo saggio.

Dal punto di vista anatomico, l'emisfero sinistro con maggiore densità neuronale dell'altro, è servito dall'arteria carotide comune di sinistra che solo nell'Uomo si stacca direttamente dall'arco aortico. Inoltre, l'emisfero sinistro ha una maggiore stabilità di flusso sanguigno. Il sistema nervoso simpatico, in particolare *il nucleo stellato* che stabilizza il flusso sanguigno cerebrale ha un più intenso controllo sui vasi arteriosi che irrorano l'emisfero destro, essendoci maggiore turbolenza. Nell'Uomo in riguardo alla circolazione cerebrale nei versanti di destra e di sinistra, la persistenza di differenze quantitative di flusso nelle cerebrali medie, dirette continuazioni delle carotidi interne dipendono dai seguenti fattori:



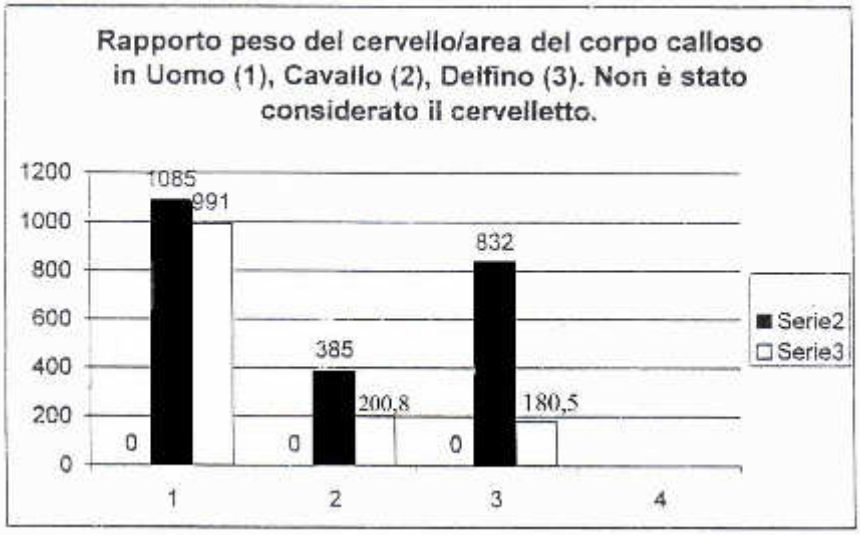
- Il poligono di Willis non equilibra, né stabilizza le pressioni sanguigne alla base del cervello. La comunicante posteriore non rende omogeneo il flusso sanguigno arterioso cerebrale.
- La mancanza di comunicazioni tra le carotidi interne dei due lati: assenza di rami inter-carotici, presenti per esempio nel Cavallo.

- Nell'Uomo, le parti iniziali delle cerebrali medie hanno lo stesso calibro delle carotidi interne da cui si originano, preservandone le differenze di flusso sanguigno. La velocità media del sangue nell'arteria cerebrale media di sinistra e di **58,6 ml/sec** ed in quella di destra di **55,5 ml/sec**. Questi parametri sono stati ricavati da Ide K. et all. (2000), in soggetti sani e normali.
- La tecnica dell'amythal sodico è un'altra dimostrazione della relativa indipendenza dei due flussi cerebrali di destra e di sinistra, nella specie umana. Iniettato nella carotide interna, un anestetico come l'amythal sodico agisce sul corrispondente emisfero ipsilaterale per breve

tempo, mentre il controlaterale funziona normalmente. C'è afasia motoria che dura per più di un minuto, cioè il paziente non è in grado di proseguire la conta. Se l'amythal è stato iniettato nell'emisfero non dominante (il destro), il disturbo di parola compare, ma è fugace. Nonostante l'esistenza del poligono di Willis, l'anestetico dalla carotide interna di sinistra si diffonde solo nella cerebrale media omolaterale.

Nella specie umana, forse a causa delle differenze interemisferiche molto accentuate, la connettività del cervello tramite il corpo calloso è molto superiore rispetto agli altri primati ed a tutti gli altri mammiferi. La tabella(**Tab. δ**) qui di seguito mostra gli aspetti comparativi tra peso del cervello ed area del corpo calloso nell'Uomo, nel Cavallo e nel Delfino.

Tab. δ



Ho elaborato la tab **δ** secondo i dati raccolti da Franklin M.S. (2000). C'è un rapporto diretto tra l'area del corpo calloso e quella cerebrale.

I delfini hanno una preferenza nell'uso dell'occhio destro, durante l'osservazione di stimoli nuovi o sconosciuti. Il chiasma ottico è completamente incrociato in tutti i cetacei e ciò comporta l'assenza di fibre chiasmatiche non crociate (unidirezionali) e quindi un grado d'indipendenza nel controllo ed uso di dati provenienti dai due occhi. Questo sarebbe indice di elevata autonomia e specializzazione emisferica. Nei delfini, il corpo calloso è relativamente molto piccolo. Nella comparazione con l'Uomo.

Nuclei talamici e la **zona 1** (fig.E). Il cervello umano non è un blocco tissutale omogeneo, ma un sistema oscillante in equilibrio instabile. La sua parte profonda ha un *nucleo oscillatorio* con variazioni a seconda dello stato di veglia, di sonno e di sogno. Questo *nucleo oscillatorio* è formato da un ammasso di neuroni posti tra la corteccia cerebrale, il talamo (nucleo reticolare ed intralaminare) e l'ippocampo (l'antico cervello olfattivo). Lo stato conscio di veglia, quello inconscio di sonno e di sogno si avvicendano, grazie ad un minuscolo nucleo all'interno del tronco encefalico e del telencefalo. C'è un altro *nucleo pulsatile* che è il gigantesco *nucleo talamo corticale* con il più alto grado di oscillazione. Edelman (1998), ne indica la parte profonda (nocciolo) come uno speciale *nucleo dinamico*. Per questo, il talamo controlla il flusso d'informazioni che dalla periferia va alla neocortex. Il talamo è la prima stazione dove i segnali afferenti possono essere inibiti nel sonno o facilitati durante la veglia, contribuendo alle modificazioni cui il cervello va incontro nei vari stadi di coscienza: dalla veglia quando le porte del cancello sono aperte al massimo, al sonno sincrono, in cui sono chiuse. Secondo A. Oliveiro (2009), l'azione dei gangli basali, specie del *nucleo accumbens* si espleta in particolare sul talamo, la sede delle informazioni sensoriali. Il talamo recepisce in modo selettivo questi stimoli. L'incremento di concentrazione dopaminergica nello striato fa sì che il talamo lasci passare una maggiore quantità

d'input. Questa sorta di filtro non riguarda solo l'informazione di tipo cognitivo, ma anche altri aspetti del comportamento: dalla motilità all'emozioni. Minime disfunzioni emodinamiche nella zona 1 (fig. E), comportano gravi alterazioni sulla fisiologia talamica ed in modo particolare quella dei nuclei pulsatili talamo corticali.

Emodinamica cerebrale. Nell'Uomo dunque esistono piccole differenze di flusso e di pressione sanguigna nelle arterie carotidi comuni che hanno origine asimmetrica:

origine asimmetrica a.a. carotidi comuni

↓

↓

asimmetria interemisferica di volume, di geometria e di densità neuronale.

Solo nell'Uomo l'arteria carotide comune di sinistra si origina direttamente dall'arco aortico. L'omologa di destra è una delle biforcazioni o rami terminali dell'arteria anonima. Questa differenza di pressione e di velocità sistolica persiste dunque nelle carotidi interne e nelle cerebrali medie, loro dirette continuazioni. L'inconsistente apporto al riequilibrio della pressione sanguigna tramite le comunicanti posteriori, tra arteria basilare e carotidi interne e l'assenza di rami inter-carotici (presenti nella maggior parte dei mammiferi), preservano queste differenze di flusso nelle principali arterie cerebrali. La maggiore differenza di flusso è all'interno delle due cerebrali medie, dirette continuazioni delle rispettive carotidi interne.
Concentrazione neuronale:

- Emisfero sinistro (**A**) ha una maggiore concentrazione neuronale, quindi scriviamo:
  emisfero sinistro (A) > emisfero destro (**B**)

- Quindi, la velocità del flusso sanguigno cerebrale è maggiore nell'emisfero sinistro:
  velocità sistolica A > B.
- Quindi, c'è l'origine molto asimmetrica delle due carotidi comuni, solo nella specie umana:

A = Arco aortico →Carotide comune di sinistra →Cerebrale media di sinistra.

B = Arco aortico →Tronco brachiocef. comune →Carotide. com. destra →C. media di destra.

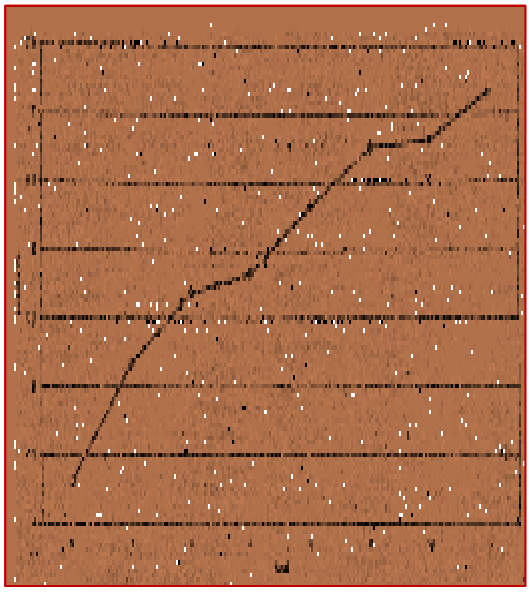
Nel tronco brachiocefalico comune, il flusso sanguigno è soggetto a frequenti, minime variazioni di velocità e di pressione a causa dei movimenti dell'arto superiore destro. Il flusso arterioso della carotide comune di destra, nelle parti iniziali, in prossimità del tronco brachiocefalico comune, risente delle variazioni di velocità e di flusso derivanti dai cambiamenti spaziali della succlavia di destra che irrora l'arto superiore corrispondente. Nell'Uomo a differenza degli altri mammiferi, l'articolazione scapolo-omerale dà ampi movimenti, simili a quelli delle scimmie. Però, l'andatura clinograda delle scimmie ha in genere azione riduttiva sulle micro-variazioni di flusso nella succlavia di destra. Inoltre, nelle scimmie, la carotide comune di sinistra non si origina direttamente dall'arco aortico. Nell'Uomo, la carotide comune di sinistra e la succlavia di sinistra hanno origine indipendente dall'arco aortico. I vasi sanguigni arteriosi, derivanti dalla cerebrale destra sono maggiormente controllati dal sistema simpatico (ganglio stellato), rispetto ai corrispondenti del lobo sinistro. Dunque nel tronco brachiocefalico comune (arteria anonima), il flusso sanguigno è spesso caotico ed espresso dalla seguente formula: **P = RQ.**

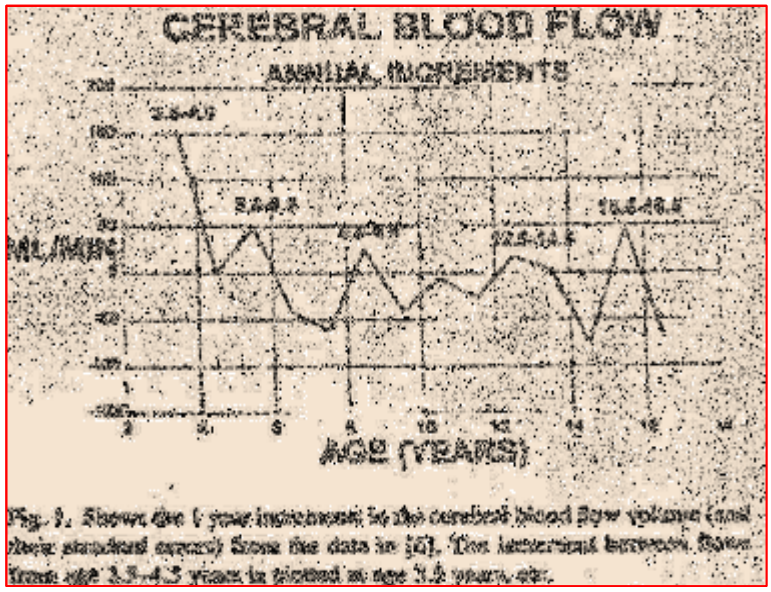
Dove Q è la quantità di sangue pompata del vaso nell'unità di tempo.

R sono le resistenze vascolari in una data sezione vascolare.

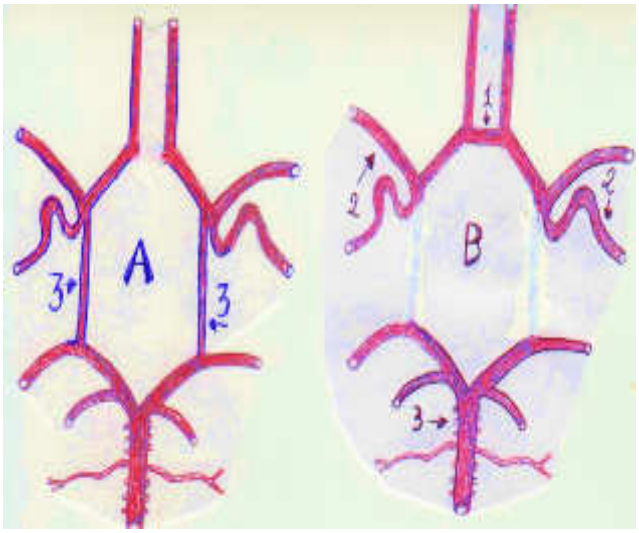
A causa del flusso caotico nell'arteria anonima, Q ha maggiori variazioni che nell'origine della carotide comune di sinistra.

Flusso ematico cerebrale totale. Nella specie umana, il flusso ematico cerebrale (FEC) totale ha questi parametri: **FEC= 50 ml / 100 grammi / min. e quindi 750ml /min. Per tutto il cervello, FEC è il 12-15% della gittata cardiaca. FEC non è omogeneo nell'intero cervello, ma quattro volte superiore nella sostanza grigia rispetto alla bianca. Data l'asimmetrica origine delle arterie carotidi comuni, la FEC è superiore nella sostanza grigia dell'emisfero sinistro. FEC è più elevato nell'infante e decresce con l'età in proporzioni molto variabili. L'arteriosclerosi ne altera costantemente i parametri.**





Le due tabelle qui di sopra sono state prese da Epstein, (1999). La prima mostra l'incremento costante di calibro della carotide comune di destra negl'individui maschi, dalla nascita ai dodici anni. Nel bambino, le carotidi comuni hanno un calibro maggiore che nell'adulto. Oltre che negl'infanti, la FEC è alta nei dodicenni, dopo di che tende a diminuire. Il secondo grafico evidenzia l'incremento volumetrico del flusso sanguigno cerebrale dall'età di tre anni fino ai sedici anni. All'età di cinque anni, c'è la massima incidenza come anche poco dopo i quindici anni. E' da presumere che nella specie umana, la massima differenza di concentrazione neuronale e di volume tra i due emisferi cerebrali avvenga dopo i cinque ed i quindici anni di età.



Nella specie umana, il poligono di Willis ha importanti modificazioni strutturali e funzionali nel corso della vita. Subito dopo la nascita e negli ultimi periodi di vita intrauterina, il poligono di Willis è incompleto, mancando la comunicante anteriore (A). Nell'adulto, la comunicante posteriore si atrofizza ed i due sistemi, il vertebrale ed il carotideo, diventano indipendenti (B).

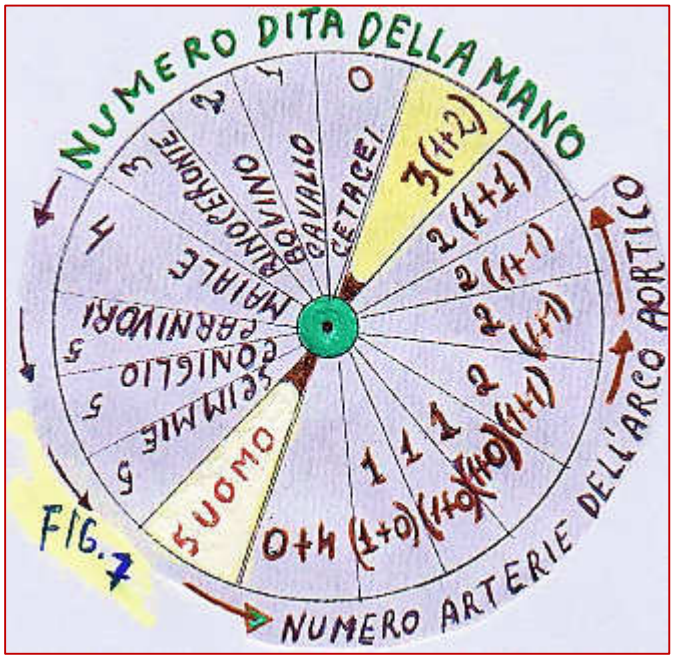
1 – comunicante anteriore
2 – arteria carotide interna
3 – arteria basilare.

La dinamica funzionale degli arti superiori condiziona il numero delle arterie dell'arco aortico. Il numero delle arterie che si originano dall'arco aortico sembra sia collegato non tanto al numero delle dita della mano, ma alla diversificazione funzionale dell'intero arto superiore, anzi dei due arti superiori, tra loro coordinati nei movimenti. Nell'Uomo, c'è la massima diversificazione funzionale degli arti superiori, collegata ai seguenti aspetti anatomici:

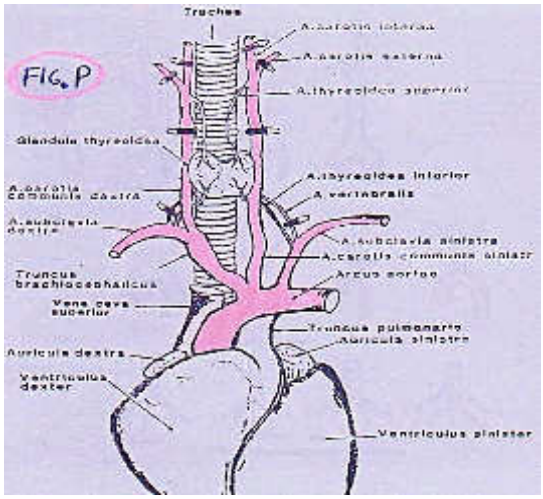
- numero delle dita
- pollice opponente
- radio-ulna, ossa dell'avambraccio tra loro separate.

Solo nell'Uomo, si originano tre vasi dall'arco aortico:

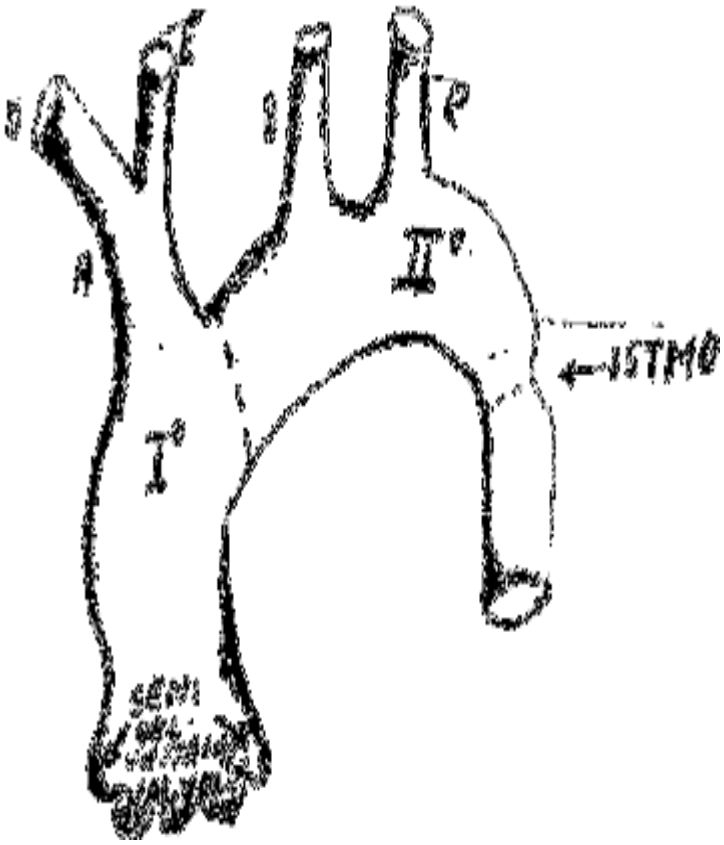
- succlavia sinistra
- carotide comune sinistra
- tronco brachiocefalico comune (a. anonima).



Nell'Uomo, le arterie succlavia di sinistra e carotide comune di sinistra non sono mai unite in un unico tronco. Nei primati, un unico vaso arterioso unisce all'origine la succlavia sinistra e la carotide comune sinistra (Fig. P). I cetacei al posto degli arti anteriori hanno le pinne e sono prive di un tronco brachiocefalico comune. Nel maiale, nei carnivori e nel coniglio, l'arteria succlavia di sinistra si stacca dall'arco aortico. Come la fig. 7 illustra, sembra che la diversificazione funzionale delle mani ed il numero delle rispettive dita sia relazionato al numero delle arterie dell'arco aortico, in una determinata specie.



A differenza dell'Uomo, nella Scimmia come la **fig. P** mostra, l'arteria carotide comune di sinistra non si origina direttamente dall'arco aortico, ma dalla brachiocefalica. La fig. P è stata presa da un lavoro di Tabuchi del 1995. Solo nell'Uomo, l'arteria carotide comune di sinistra si origina dall'arco aortico. Mancando anastomosi tra le carotidi comuni, tra carotidi interne e le rispettive cerebrali medie, la diversità emodinamica persiste nei due emisferi cerebrali e si accompagna alla differente concentrazione neuronale.



Il disegno a lato è stato eseguito da me ed evidenzia l'arco aortico nell'Uomo che dal punto di vista anatomico e funzionale si può dividere in due distretti. Nel primo distretto, ci sono due dilatazioni: i seni del Valsalva ed il grande seno aortico. Il primo distretto è il tratto di aorta che sopporta le maggiori pressioni sistoliche e diastoliche, compresa quella idrostatica del sangue. Tali pressioni si fanno risentire nel giro di poche frazioni di secondi anche sulle pareti del tronco brachiocefalico comune. Il secondo distretto ha forma d'imbuto e calibro più uniforme del precedente. Il tratto congiungente l'arco aortico con l'aorta toracica ha un restringimento (istmo), ben evidente nel feto. Nel secondo distretto c'è l'origine dell'arteria carotide comune di sinistra, con una distanza di circa 1,5 cm dall'omonima di destra. I due vasi che si originano del tronco brachiocefalico comune e che indirettamente fanno parte del primo distretto aortico, hanno andamento divergente (D ed E). Quelli del secondo distretto aortico sono in parallelo il che distribuisce meglio le pressioni sistoliche e diastoliche di riflesso dal primo distretto e dall'aorta discendente. L'istmo aortico contribuisce anch'esso a ridurre l'energia cinetica del flusso sanguigno. Sul secondo distretto dell'arco aortico hanno maggiore influenza le variazioni di flusso dovute alle resistenze periferiche delle numerose arterie dell'aorta discendente.

L'onda sistolica raggiunge la carotide comune di sinistra con qualche secondo di ritardo rispetto all'omologa di destra. La distanza tra:

origine carotide comune di destra-valvole semilunari aortiche < origine carotide comune di sinistra – valvole semilunari aortiche

Le differenze di geometria vasale e la disposizione spaziale delle due carotidi comune hanno diretta influenza sull'emodinamica delle carotidi comuni stesse, quindi su quelle interne e sulla circolazione cerebrale. Nell'Uomo, le due carotidi comuni si dividono all'altezza della cartilagine tiroide in due rami terminali: la carotide interna e quella esterna. Mediamente, la carotide esterna di destra ha un diametro maggiore dell'omologa di sinistra.

A = tronco brachiocefalico comune.
D = a. succlavia destra.
E = carotide comune di destra.
B = carotide comune di sinistra.
C = a. succlavia di sinistra.

PARTE SECONDA

Circolazione encefalica. Mammiferi col poligono di Willis e mammiferi col poligono di Willis affiancato da reti mirabili.

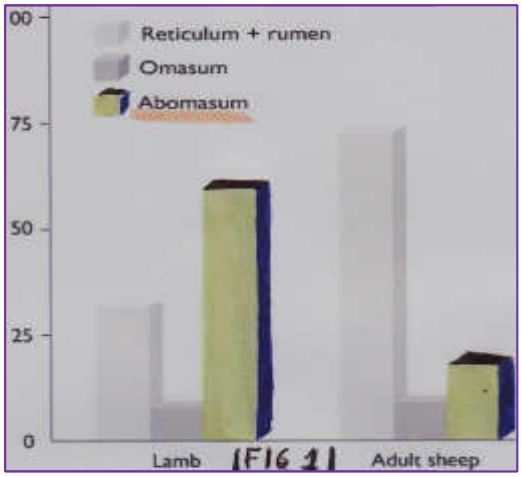
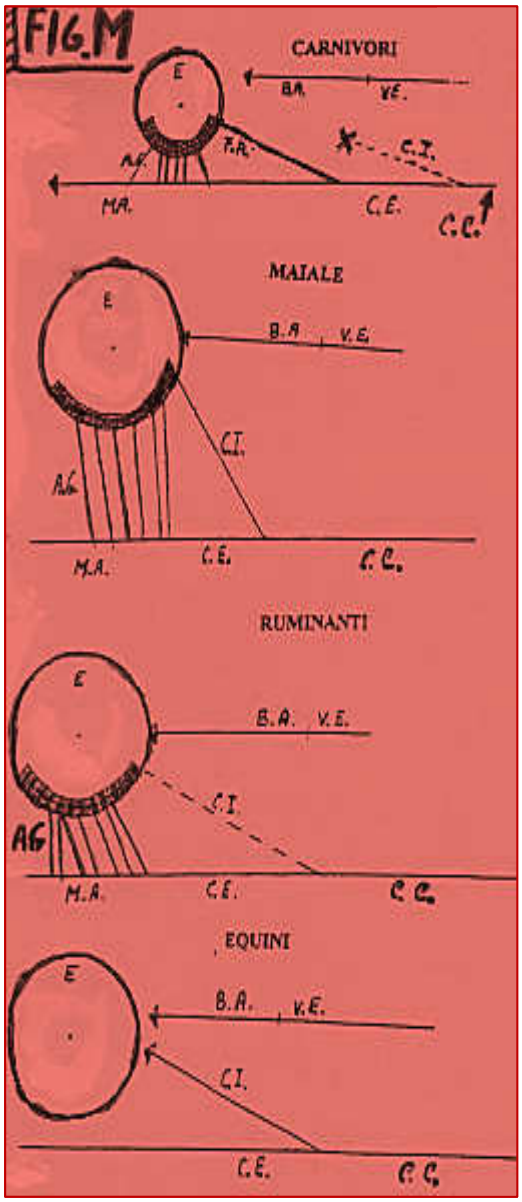


FIG 11



La **figura 1** evidenzia lo sviluppo del quarto stomaco nei ruminanti (bufali, bovini, pecore, capre, stambecchi, gnu, bisonti…). Nel primo mese di vita, il ruminante è un monogastrico e tramite la chiusura della doccia esofagea, il latte materno è convogliato e digerito nell'abomaso (stomaco ghiandolare). Dopo i primi mesi di vita, si sviluppa il rumine e si riduce l'abomaso, divenendo quasi una dilatazione di passaggio del bolo alimentare, in parte digerito, verso l'intestino tenue. Nell'abomaso, alcuni importanti processi digestivi continuano anche nell'adulto, ma il suo volume è molto minore rispetto a quello del rumine che occuperà gran parte della cavità addominale, in particolare il fianco sinistro. Riducendosi il quarto stomaco, si sviluppa il rumine in concomitanza con l'alimentazione erbivora. Lo sviluppo complessivo del rumine coinvolge le principali arterie del tripode celiaco e dell'epigastrica craniale, con conseguenze sulla circolazione sanguigna generale. A livello encefalico, regredisce la carotide interna e s'incrementano le arterie generatrici la rete mirabile encefalica, derivanti dalla mascellare interna. Le reti mirabili encefaliche stabilizzano la circolazione sanguigna dell'intero organismo animale, in particolare a livello cranico.

La principale funzione delle reti mirabili encefaliche è di armonizzare le pressioni sanguigne tra neuro-cranio e splancno - cranio. Il tessuto nervoso cerebrale e cerebellare necessita di una pressione sanguigna costante. Quando gli erbivori (bovini, ovini, caprini…) si alimentano, mantenendo la testa sotto la base cardiaca per lungo tempo, le reti mirabili encefaliche preservano il cervello dalle eccessive pressioni idrostatiche del sangue. Idem, per gli animali carnivori che fiutano la preda e ne seguono le orme con la testa rasente il terreno. Il maiale che ha dieta onnivora, scava col grugno nel terreno in cerca di tuberi e bulbi. I cetacei (delfini ecc.) sono mammiferi acquatici e nuotano, immergendo spesso la testa sotto la base cardiaca, oppure fanno salti, tuffi e giravolte in mare. In queste specie di mammiferi marini, tra cuore e cervello esistono ben sette reti mirabili encefaliche.

Dunque, sia negli erbivori, sia nei carnivori, sia nei suini che nei cetacei, esistono alla base cranica estese reti mirabili come strutture che regolarizzano il fluido ematico, diretto al cervello ed al cervelletto.

Nella **figura M**, è schematizzata la circolazione encefalica nei carnivori (Gatto), suini, ruminanti ed equini.

C.I. = carotide interna.
B.A. = arteria basilare.
C.C. = carotide comune.
C.E. = carotide esterna.
F.A. = faringea ascendente.
V.E. = vertebrale.
A.G.= arterie generatrici la rete mirabile encefalica.
E = encefalo (cervello e cervelletto e cavità cranica).
L'area tratteggiata in nero, a reticolo, rappresenta la rete mirabile encefalica, alla base cranica (E).

La pressione idrostatica del sangue a livello encefalico. La pressione idrostatica è la forza esercitata da un fluido (il sangue) in quiete, sull'unità di superficie cui è in contatto. Il valore di questa pressione dipende dalla densità del fluido (**η**) e dall'affondamento del punto considerato rispetto al pelo libero, per esempio la testa tenuta a lungo sotto la base cardiaca. La formula della pressione idrostatica è:

$$P = \eta\, g\, h$$

- ***P*** è la pressione idrostatica: se la testa è mantenuta per molto tempo sotto la base cardiaca, la pressione idrostatica del sangue arterioso e venoso cerebrale aumenta con dirette ripercussioni sugli scambi a livello capillare.
- **η** è la viscosità del fluido: la densità del flusso sanguigno nelle carotidi comuni è più accentuata in specie dal collo lungo come la Giraffa e il Cavallo. Rispetto al Cavallo, il Bovino ha il collo corto e di conseguenza le rispettive carotidi comuni.
- ***g*** è l'accelerazione di gravità (nel caso della terra: 9,81 m/s^2): l'accelerazione di gravità è molto intensa nelle a.a. cerebrali se il collo è lungo e la testa è tenuta per molto tempo sotto la base cardiaca e poi sollevata al di sopra del garrese, come fanno spesso gli animali al pascolo. Il Cavallo come l'Uomo ha solo il poligono di Willis alla base cranica, ma la lunghezza del tronco bicarotico e della carotide comune incrementano **η** (viscosità del flusso sanguigno), riducendo la pressione sistolica nel poligono di Willis. Il Cavallo taglia l'erba con entrambi gl'incisivi, in breve tempo e la sua testa è più allungata in senso oro-aborale rispetto a quella del bovino (che non ha incisivi nell'arcata superiore). Il Cavallo si nutre delle parti apicali dell'erba, il bovino preferisce i fusti erbosi rasenti il terreno.
- ***h*** è l'altezza del punto considerato (m): nel nostro caso, **h** indica la distanza del cervello dalla base cardiaca. L'altezza (h) può essere positiva se il cervello sta sopra la base cardiaca e negativa se sta sotto, come quando il ruminante come il bovino pascola in pianura.

Le reti mirabili nel Gatto Nei felini dopo i primi periodi di vita extrauterina, la carotide interna è sostituita dalla faringea ascendente che trasporta il sangue dalla carotide comune alla carotide cerebrale, passando a ponte sulle due ampie reti mirabili encefaliche, quella extracranica e quella endocranica. Come si vede nella **fig. γ**, nel Gatto la faringea ascendente si origina più cranialmente rispetto alla carotide interna omolaterale ed è più breve. Le differenze di pressione (**ΔH**) tra origine e terminazione della faringea ascendente sono meno accentuate rispetto a quelle della primitiva carotide interna. Quest'ultima sarà sostituita dalla faringea ascendente dopo i primi periodi di vita extrauterina, o subito dopo lo svezzamento. La faringea ascendente apporta una quota aggiuntiva di sangue arterioso al cervello, in particolare quando il felino corre ed insegue la preda. La quota restante di sangue al cervello è assicurata dalle due reti mirabili encefaliche, collegate all'arteria mascellare. Il ramo anastomotico (C) tra rete mirabile extracranica e rete mirabile endocranica fa fronte alle minime variazioni di flusso sanguigno tra le due reti mirabili ed è unito con un terzo ramo (D), alla meningea media. Quattro arteriole anastomotiche collegano le due reti mirabili. La rete mirabile esterna è sul percorso dell'arteria mascellare, mentre l'altra sta sulla base cranica, di

lato al poligono di Willis a cui è collegata tramite l'arteria carotide cerebrale. La rete mirabile esterna, lungo il percorso dell'arteria mascellare, riduce la pressione e la velocità del sangue in gran parte delle arterie faciali. L'altra rete mirabile, quella endocranica, riduce gli stessi parametri emodinamici (velocità e pressione sanguigna) all'interno della carotide cerebrale. Per la presenza di una estesa rete mirabile lungo l'arteria mascellare, parte del flusso sanguigno della carotide comune è deviato a pressioni abbastanza elevate, nelle seguenti arterie che precedono la rete mirabile:

Arteria occipitale – faciale (o facciale) – auricolari – profonda delle lingua – alveolare inferiore – temporale profonda caudale –temporale superficiale.

L'arteria che unisce ad arco le due reti mirabili, detta anche ramo anastomotico, nella sua parte intermedia dà origine alla meningea media. Il flusso sanguigno della carotide comune è quindi in parte deviato verso:

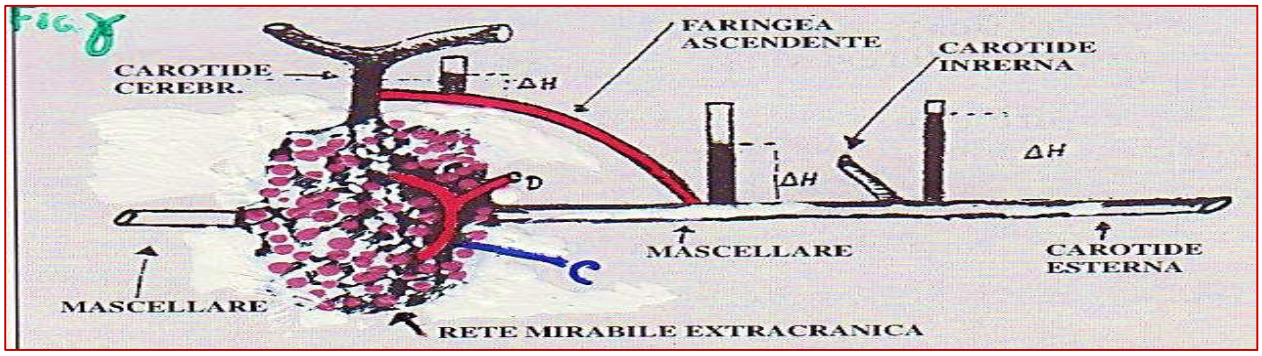
1. padiglioni auricolari
2. orecchio interno
3. labbra
4. lingua
5. regione temporale (mm. Temporali)
6. mandibola (e relative radici dentali).

Come rilevato nel Cammello da Ocal M.K. (1999) nel Gatto, l'arteria basilare è di grosso calibro e fornisce sangue al poligono di Willis. Nel Gatto quindi, l'apporto di sangue al poligono di Willis è assicurato principalmente dall'arteria basilare e dalla faringea ascendente. Una quota aggiuntiva di sangue a bassa pressione, ma costante, è data dalle due reti mirabili (fig. γ).

<u>Principali aspetti delle reti mirabili encefaliche nei mammiferi e nell'Uomo</u>.

- CARNIVORI (GATTO):

1) Stomaco ghiandolare alla nascita: dieta lattea e dopo lo svezzamento, carnea.
2) Nei primi periodi di vita extra-uterina, ci sono la carotide interna ed il poligono di Willis.
3) Dopo lo svezzamento e l'alimentazione a base di carne, avvengono importanti cambiamenti nella circolazione encefalica con la regressione della carotide interna, lo sviluppo di reti mirabili encefaliche e l'incremento della faringea ascendente che supera a ponte le reti mirabili e si congiunge con la carotide cerebrale.

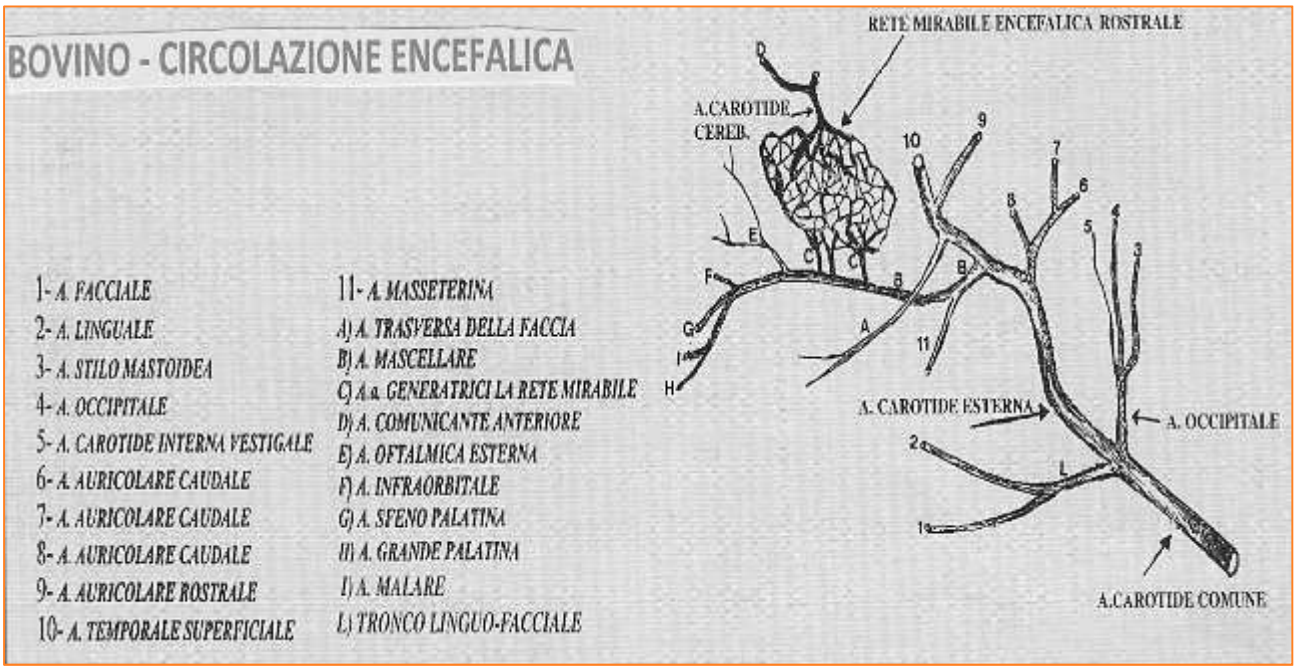


- RUMINANTI

1) Sviluppo dell'abomaso alla nascita →→alimentazione dalla mammella →→ a. carotide interna + poligono di Willis come nel Cavallo.
2) Allo svezzamento, si sviluppa il rumine e c'è riduzione volumetrica dell'abomaso →→dieta erbivora →→testa tenuta per lungo tempo sotto la base cardiaca nel pascolare →→incremento della pressione idrostatica del sangue in ambito cerebrale.
3) Regressione della carotide interna.
4) Incremento della mascellare interna e sviluppo delle arterie generatrici la rete mirabile encefalica.

In particolare in alcune specie di ruminanti come i cervi e le alci con processi cornuali sviluppati o con ampi seni frontali, gli squilibri pressori del sangue tra neurocranio e splancnocranio sono contrastati dalle estese reti mirabili encefaliche a protezione del delicato tessuto nervoso cerebrale e cerebellare.

Vasto splancnocranio + ampi seni paranasali ↔ reti mirabili encefaliche + poligono di Willis
Splancnocranio non molto esteso + ridotti seni paranasali ↔ poligono di Willis
Animali carnivori ed erbivori poligastrici ↔ poligono di Willis + reti mirabili encefaliche
Erbivori monogastrici (equini) ↔ poligono di Willis
Erbivori monogastrici e plantigradi (conigli) ↔ poligono di Willis



- ERBIVORI MONOGASTRICI (CONIGLIO)

1) Stomaco ghiandolare dalla nascita. Dieta erbivora, dopo lo svezzamento dal latte materno.
2) Sviluppo dell'intestino cieco e crasso. Animale plantigrado che poggia a terra l'intera pianta del piede (tarso, metatarso e falangi), come l'Uomo. Quando un Coniglio si alimenta, tiene rialzato il capo (che è più lungo in senso oro-aborale di quello di un Gatto), poggiando a terra il piede. Lo sviluppo delle orecchie e della relativa irrorazione arteriosa tendono ad armonizzare l'emodinamica a livello encefalico. C'è da aggiungere che la cavità cranica nel coniglio è di appena 10 cm^3, quella del gatto è di 25 cm^3.

Nuovo schema riassuntivo.

Il solo poligono di Willis si trova in specie di mammiferi con lo splancnocranio allungato in senso oro aborale e che tengono per breve tempo il cranio sotto la base cardiaca. Gli animali plantigradi hanno solo il poligono di Willis.

- Coniglio è plantigrado, ha la faccia allungata con lunghe orecchie: solo il poligono di Willis.
- Gatto: faccia più breve del Coniglio → poligono di Willis e reti mirabili encefaliche.
- Cavallo: collo e faccia allungate → solo il poligono di Willis.
- Bovino: faccia più tozza (ma con ampi seni paranasali) del Cavallo → poligono di Willis e reti mirabili encefaliche.

- ANIMALI ONNIVORI MONOGASTRICI (SUINO).

1) Alla nascita, c'è solo lo stomaco ghiandolare che si sviluppa dopo lo svezzamento, avendo un tipo di alimentazione onnivora.
2) Nei primi periodi di vita extrauterina, c'è solo la carotide interna collegata al poligono di Willis.
3) Da adulto, il Suino si nutre tenendo la testa per molto tempo sotto la base cardiaca. Sotto la pelle, all'apice del naso, c'è un osso del grugno che facilita l'escavazione di tuberi e bulbi.
4) Nell'adulto (fig. M), si hanno le seguenti modificazioni della vascolarizzazione cerebrale: regressione parziale della carotide interna e sviluppo di estese reti mirabili encefaliche. Di solito, la carotide interna rimane, ma è una delle tante arteriole che apportano il sangue alla rete mirabile encefalica.
5) L'estensione della regione auricolare del suino concorre a stabilizzare eventuali squilibri di flusso tra neurocranio e splancnocranio, in particolare se fa troppo freddo o troppo caldo.
6) Il cinghiale non solo si nutre rovistando col grugno per terra, ma attacca e si difende coi denti canini, lunghi ed acuminati, mantenendo la testa rasente il suolo.

- ANIMALI ERBIVORO POLIGASTRICO (GIRAFFA).

1. La Giraffa è un ruminante: collo lungo e di conseguenza le carotidi comuni, con relativo incremento della viscosità sanguigna al loro interno.
2. Pressioni sistoliche elevate rendono possibile l'afflusso di sangue al cervello.
3. Reti mirabili encefaliche estese e intensamente ramificate al fine di proteggere la materia cerebrale e cerebellare da eccessi di pressione idrostatica. Raramente l'animale porta la testa sotto la base cardiaca, anche quando si disseta. Nel bere, la Giraffa cerca di evitare di abbassare troppo la testa: piega quanto più possibile gli arti anteriori, allunga il collo, estende la testa in avanti e si abbassa coi posteriori. Nella Giraffa, è necessaria una elevata pressione sistolica che contrasti la gravità (2g), al fine di far pervenire il sangue alla testa. Al contrario, eccessivi livelli di pressione idrostatica sanguigna possono ledere il sistema

nervoso centrale. Misurazioni della pressione sanguigna mostrano valori di pressione sistolica intorno ai **260 mm Hg**. Dovendo sopportare elevate pressioni sistoliche, le pareti delle arterie cerebrali, delle carotidi comuni e di quelle interne sono molto spesse. Quando una Giraffa con un'altezza di circa 4,5 metri abbassa la testa per bere, le valvole nelle vene del collo impediscono il reflusso del sangue alla testa, prevenendo eccessi di pressione idrostatica. Frąckowiak, H., & Jakubowski, H., (2008) descrivono la topografia di due estese reti mirabili encefaliche ai lati del poligono di Willis, servite da rami della mascellare interna, dell'occipitale e della condiloidea. La Giraffa ha elevate pressioni sistoliche e pur tenendo il cranio ben sollevato ha reti mirabili encefaliche che azzerano l'energia cinetica del sangue destinato al cervello, ma non alla faccia e alla lingua. La mascellare esterna che irrora la faccia, il cavo orale (lingua, gengive, denti ecc.) e le cavità nasali non attraversa la rete mirabile encefalica. Nella Giraffa, altre arterie tra le quali la basilare, l'occipitale e la condiloidea raggiungono il poligono di Willis, oltrepassando a ponte le reti mirabili encefaliche ed apportando sangue con la giusta quota di energia cinetica, essenziale per la circolazione cerebrale. Il vero ruolo delle reti mirabili encefaliche sarebbe dunque quello di regolare *in primis* la pressione di perfusione cerebrale.

Pressione sistolica elevata per una adeguata pressione di perfusione cerebrale

↓

Reti mirabili encefaliche.

- ERBIVORO POLIGASTRICO (ELEFANTE). Collo corto. Alimentazione ed abbeverata con la proboscide. Arterie carotidi comuni corte (in rapporto alla brevità del collo), ma di grosso calibro. Con lo sviluppo del rumine, dopo lo svezzamento, c'è la regressione della carotide interna e lo sviluppo delle arterie mascellari. Presenza di estese reti mirabili encefaliche, intra ed extracraniche. Parte del sangue encefalico è dirottato dalle reti mirabili alla faccia, orecchie e proboscide.

- MAMMIFERI ACQUATICI (DELFINI). I Cetacei (delfini, orche, otarie, narvali…) hanno sette reti mirabili encefaliche, interposte tra cuore e cervello e servite da oltre 800 arterie afferenti. Secondo A.W. Vogl e H.D. Fisher (1982), le reti mirabili dei delfini sarebbero strutture polifunzionali collegate tra l'altro, all'abilità del tuffo. Nel Delfino c'è l'assenza delle arterie vertebrali e manca un'arteria tra arco aortico (o la carotide comune) ed il poligono di Willis che oltrepassi a ponte le reti mirabili con la funzione di dare un apporto di energia cinetica al sangue cerebrale. I muscoli peri-rete ed il vasto contingente di muscolatura liscia intramurale, propria delle reti mirabili encefaliche forniscono energia cinetica aggiuntiva al flusso sanguigno cerebrale. Le reti mirabili nel Delfino danno un importante supporto ematico al cervello, cervelletto, oltre che al midollo spinale nelle regioni lombari, toraciche, del collo e della testa:

1. Rete toracica: è diffusa nella fascia endotoracica, lungo la parete dorsale toracica ed è la più vasta delle reti arteriose. L'afflusso sanguigno è dato dai rami dorsali delle intercostali (aa. intercostali dorsali). La rete toracica si estende lateralmente fino all'angolo delle costole. Cranialmente, si continua con le reti del collo e caudalmente con quelle della regione lombare. Ventralmente, è collegata alle pleure. Le connessioni dorsali includono i muscoli intercostali, i corpi vertebrali e caudalmente l'origine dei muscoli pelvici. Ramuscoli della rete toracica entrano nei fori intervertebrali per unirsi alla rete vertebrale, nel canale neurale.
2. Rete cervicale: è distinta in tre porzioni, ventrale, laterale e dorsale. La rete cervicale ventrale è uno dei prolungamenti cefalici della rete toracica. Anteriormente, s'estende fino all'articolazione atlanto-occipitale e lateralmente verso i muscoli scaleni. In questo punto, è

delimitata dall'arteria cervicale ascendente. Dalla rete ventrale, partono rami che attraversano i fori cervicali intervertebrali per unirsi alla rete vertebrale. Lateralmente, si anastomizza coi vasi della porzione laterale della rete cervicale. La rete laterale è compresa tra le masse dei muscoli scaleni. Caudalmente, si continua con la rete toracica e ventralmente con la rete cervicale ventrale. I prolungamenti della rete attraversano i fori intervertebrali e confluiscono nella rete vertebrale. La parte dorsale cervicale è in rapporto cogli archi neurali delle vertebre cervicali, coi muscoli e legamenti di questa regione.

3. Rete lombare: è sotto le v.v. lombari, in rapporto con la fascia iliaca. Al di sopra dell'aorta, si continua nella rete toracica e attraverso i fori intervertebrali, con la rete vertebrale.
4. Rete vertebrale: è un fitto plesso non collegato alle arterie vertebrali che nei Cetacei sono assenti. E' una rete epidurale; tramite i fori intervertebrali è collegata con le restanti. La rete vertebrale ha vasi direttamente dall'aorta addominale. Dalla rete vertebrale, si originano vasi efferenti per il midollo spinale.
5. Rete craniale: la rete craniale collega la rete vertebrale ad un piccolo plesso (rete carotidea), situata alla base del cervello da cui traggono origine le arterie vertebrali. In prossimità del grande foro occipitale, i vasi della rete vertebrale hanno disposizione ventrale, al di sotto del midollo allungato e del bulbo. Le espansioni vascolari si continuano all'interno del cranio (attraverso il grande foro occipitale), passano lateralmente al di sopra degli emisferi cerebrali all'interno dei seni venosi della regione; circondano i lobi temporali e si anastomizzano medialmente con la rete carotidea.
6. Rete carotidea: la rete mirabile carotidea s'estende all'interno della dura madre laterale, circondando l'ipofisi. Insieme coi vasi della rete craniale è collegata ventro lateralmente alla carotide interna vestigiale e in alcuni casi, può avere comunicazioni con l'arteria mascellare mediante le piccole arterie meningee. Strutture collegate alla rete carotidea includono i nervi cranici, la ghiandola ipofisi e le vene del seno cavernoso. Dalla rete carotidea, si originano quattro arterie che attraversano la dura madre, formano il poligono di Willis ed apportano sangue al cervello. Inoltre, alcuni rami di tale rete si estendono lungo i nervi ottici e gli altri nervi dell'orbita.
7. Rete oftalmica: questo plesso arterioso (rete mirabile oftalmica) è in rapporto col nervo ottico, irrorando la retina e le rimanenti strutture dell'orbita.

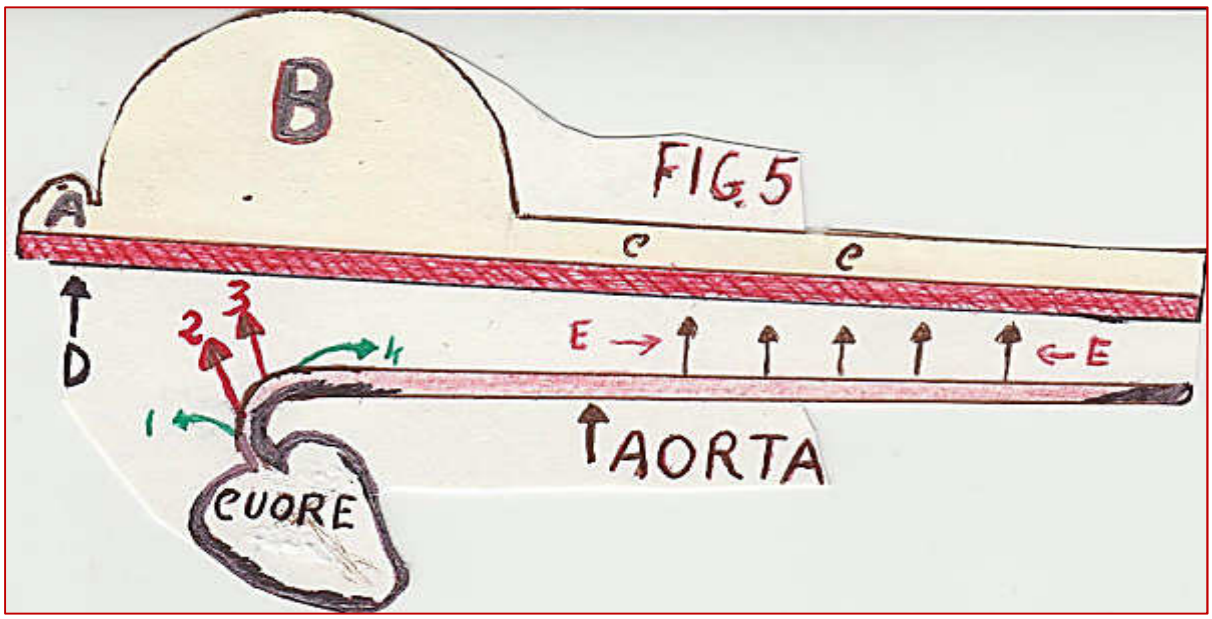
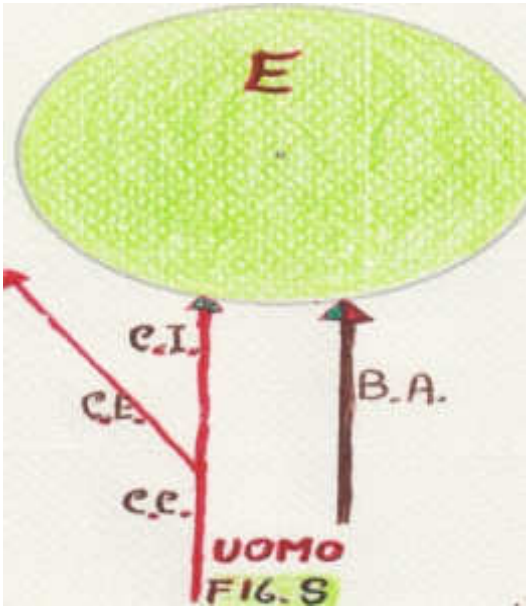


fig.5: La circolazione encefalica nei delfini.

A) Cavità orbitaria.
B) Cervello e cervelletto.
C) Midollo spinale.
D) Reti mirabili che si estendono dalla cavità orbitaria ai tratti toracici e lombari del midollo spinale.
E) Alcune delle reti mirabili ricevono sangue da collaterali dell'aorta toracica ed addominale.

I quattro rami che si staccano dall'arco aortico (succlavie e carotidi comuni) sono indicate dai numeri da uno a quattro. Le arterie succlavie di sinistra e di destra sono la prima e la quarta; la seconda e la terza sono le carotidi comuni di destra e di sinistra. Nei cetacei, l'intero sistema nervoso centrale, compreso il bulbo oculare e la retina, riceve il sangue da sette reti mirabili, servite a loro volta da oltre ottocento arteriole di medio e piccolo calibro, con un percorso in parallelo. Le ottocento arteriole afferenti sono frapposte tra aorta e reti mirabili. La loro direzionalità in parallelo riduce e fraziona ancora di più le pressioni sistoliche cardiache.

- UOMO. Stazione eretta. Carotidi comuni che si originano in modo asimmetrico: la sinistra dall'arco aortico e la destra dalla brachiocefalica. La differenza di velocità sanguigna persiste nelle carotidi interne e cerebrali medie, dirette continuazioni delle carotidi comuni. Data la stazione eretta e l'ausilio delle mani nella nutrizione, c'è solo il poligono di Willis che riceve il sangue dalle carotidi interne e dalla basilare. Prima dello svezzamento, il bambino si nutre dalla mammella e da adulto con le mani, senza dover mantenere la testa per lungo tempo sotto la base cardiaca.



Schema delle arterie dirette all'encefalo nell'Uomo (Fig. S).

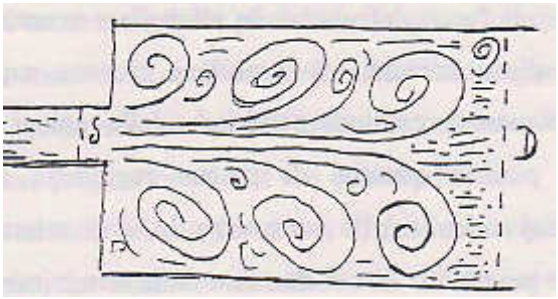
E = encefalo (neurocranio)
C.I. = carotide interna
B.A. = arteria basilare
C.C. = carotide comune
C.E. = carotide esterna (diretta alla faccia).

I ruminanti come i bufali, i bisonti, i bovini, le pecore, le capre, i cammelli, le giraffe e gli elefanti hanno estese reti mirabili ai lati del poligono di Willis. Le reti mirabili encefaliche sono molto più vaste nei cetacei, ma lo sono assai di meno nel suino. Nel Gatto, ci sono due reti mirabili encefaliche per lato, una extracranica ed una endocranica. Nel Cane, nel Lupo, nelle iene, foche e otarie esistono pochi rami intrecciati a rete alla base cranica.

Dalla rete mirabile encefalica, si origina un unico ramo che affluisce nel poligono di Willis: l'arteria carotide cerebrale di calibro maggiore rispetto ai rami della rete da cui nasce. Il flusso sanguigno nella carotide cerebrale, a causa del brusco allargamento di sezione, ha minore energia cinetica e di pressione rispetto alle arterie della stessa rete mirabile ed ancora di meno, in confronto alle carotidi interne ed alle arterie mascellari.

Quando un condotto ha un brusco allargamento, come la carotide cerebrale di calibro superiore alla somma delle arteriole da cui si origina, il coefficiente di resistenza (ζ) è dato:

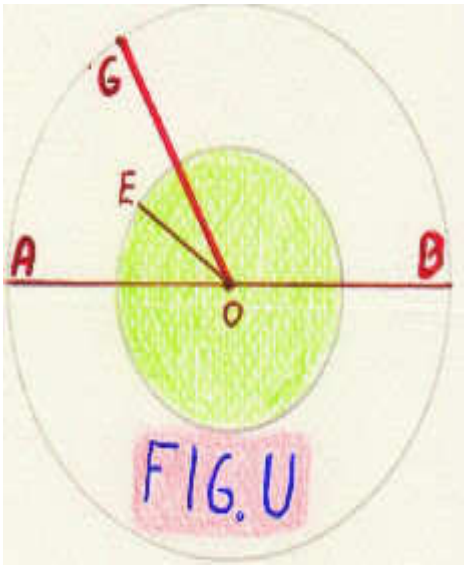
$$\zeta = [(1 - (d/D)]^2$$



d = somma dei diametri degli affluenti nella carotide cerebrale
D = diametro medio della carotide cerebrale.

ζ è dunque la perdita dell'energia cinetica (o di carico) del flusso sanguigno nella carotide cerebrale a causa del suo brusco allargamento, rispetto alle arteriole da cui si origina.

In **T**, sono schematizzati i movimenti della testa nei cetacei che nuotano effettuando salti, tuffi e giravolte in acqua. Il cervello del Delfino è tenuto spesso al di sotto della base cardiaca, indicata dal segmento AB. Nel Delfino, esistono ben sette reti mirabili encefaliche, servite da oltre ottocento arterie di piccolo calibro, rettilinee ed in parallelo tra loro. Alcuni vasi afferenti alle reti mirabili provengono dall'aorta toracica ed addominale.

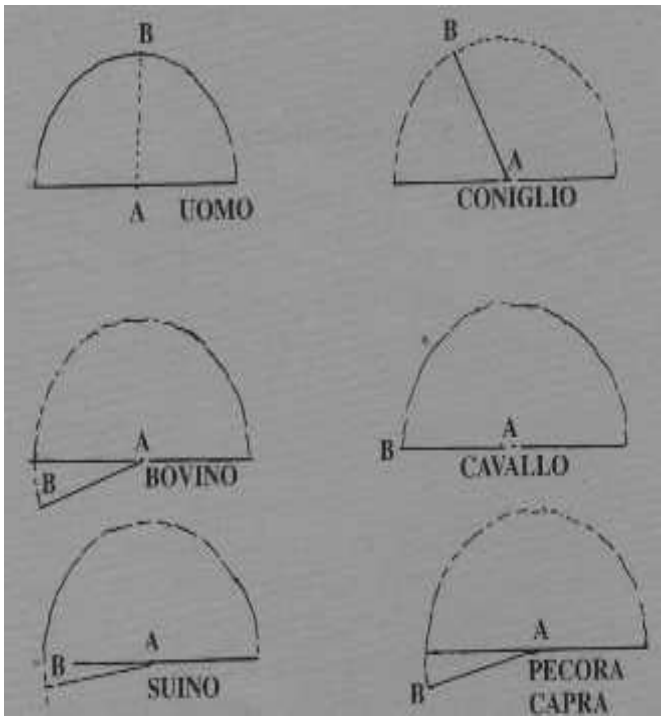


La fig. **U** indica il normale posizionamento del collo rispetto alla base cardiaca (AB) della Giraffa (GO) e dell'Elefante (EO). Entrambe le specie appartengono alla famiglia dei ruminanti e sono provviste di pre-stomaci, oltre a quello ghiandolare (abomaso). La Giraffa ha difficoltà a piegare verso il suolo il collo, in particolare se deve bere. L'animale si aiuta con la flessione degli arti anteriori, ma quasi mai porta la testa sotto la base cardiaca. Idem, per l'Elefante che si ciba e si disseta con la proboscide. Per queste due specie, le estese reti mirabili alla base cranica comunque prevengono eccessi pressori sul tessuto nervoso cerebrale e cerebellare. Nella Giraffa, la lunghezza delle carotidi comuni aumenta la viscosità del flusso sanguigno (legge di Poisseuille) al loro interno. Per raggiungere la testa, il flusso sanguigno necessita di una forte potenza sistolica. La lunghezza del collo comporta ampi movimenti di oscillazione della testa con altrettanti incrementi e decrementi di pressione idrostatica del sangue a livello cerebrale. Le reti mirabili in queste zone anatomiche prevengono gli eccessi di pressione idrostatica arteriosa.

Il segmento EO (Elefante) più corto di GO (Giraffa) indica la lunghezza del collo, nell'Elefante dove la carotide comune è corta, ma di grosso calibro. In base alla legge di Poisseuille, l'incremento del raggio in una sezione di un condotto, ne aumenta la portata alla quarta potenza:

$$F = [\Delta P \bullet \eta r_4] / 8\eta l$$

La legge di Poisseuille dice che nell'attraversamento di un condotto, il flusso aumenta con l'incremento della pressione di spinta (la sistole cardiaca), con l'aumentare del raggio del condotto e con la riduzione della sua lunghezza. Importanza ha la viscosità del liquido (η) che vi transita. Particolare rilievo ha anche il raggio, essendo il flusso proporzionale alla sua quarta potenza. L'aumento del raggio da 1 a 2 comporta, a parità di altri parametri, un aumento del flusso di 2 elevato alla quarta potenza, cioè 16 volte. Nell'Elefante, la massa cerebrale che è sei volte l'umana, necessita di un flusso sanguigno cerebrale molto costante. Queste condizioni sono assicurate solo dalle estese reti mirabili encefaliche, frapposte tra cuore e cervello. La presenza del rumine e le complesse funzioni digestive localizzate, come in tutti i ruminanti nel tratto che precede lo stomaco ghiandolare, necessitano di un apporto sanguigno elevato. Si aggiunga che la massa cerebrale va preservata dagli sbalzi di pressione sanguigna durante la fermentazione ruminale. Lo sviluppo facciale, della proboscide e delle orecchie richiedono un apporto elevato di sangue con pressione e velocità sostenute, al contrario della massa cerebrale che necessita di parametri non eccessivi, ma costanti di pressione sistolica. Nell'Elefante come in altre specie (suini, conigli ed equini), lo sviluppo auricolare migliora il bilanciamento emodinamico tra neurocranio e splancnocranio, riducendo l'energia cinetica del sangue destinato alla faccia.



Nella figura a lato, sono schematizzati i normali posizionamenti del capo (B) rispetto ad A che è la base cardiaca. Nell'Uomo, i punti B ed A sono tra loro perpendicolari (stazione eretta). Il Bovino si nutre di erba e rispetto al Cavallo ha il cranio più breve e tozzo. Quest'ultimo ha il collo più lungo ed i denti incisivi sviluppati in entrambe le arcate coi quali taglia le parti apicali dell'erba, in breve tempo. Il bovino non ha incisivi nell'arcata dentale superiore e con gl'inferiori a paletta, strappa l'erba dalle parti basali. A differenza del Cavallo, il Bovino ha i sistemi di difesa offesa localizzati nelle ossa frontali (corna e ossa frontali robuste). Il Bovino ha la testa per prolungati periodi di tempo sotto la base cardiaca sia per alimentarsi, sia quando deve difendersi dai predatori, sia nella corsa (in particolare i bisonti).

<u>Sul posizionamento del neurocranio rispetto alla base cardiaca. Schema riassuntivo</u>.
TESTA MANTENUTA PER LUNGHI PERIODI DI TEMPO SOTTO LA BASE CARDIACA →→INCREMENTO DELLA PRESSIONE IDROSTATICA DEL SANGUE→→RETI MIRABILI ENCEFALICHE CHE ARMONIZZANO L'EMODINAMICA TRA SPLANCNOCRANIO E NEUROCRANIO, CONTRASTANDO ECCESSIVI INDICI DI PRESSIONE IDROSTATICA.

TESTA MANTENUTA QUASI SEMPRE SOPRA LA BASE CARDIACA, SENZA FORTI SQUILIBRI DI PRESSIONE IDROSTATICA TRA SPLANCNOCRANIO E NEUROCRANIO→→ POLIGONO DI WILLIS, ALIMENTATO DIRETTAMENTE DALLE CAROTIDI INTERNE E DALLA VERTEBRALE.

Su alcune differenze anatomiche tra i bovini, i piccoli ruminanti e gli equini.

- BOVINO. Ossa frontali molto sviluppate e robuste. Processi cornuali soggetti a crescita continua. Cranio non molto allungato in senso oro-aborale. Seni frontali molto ampi e fittamente irrorati. Collo corto. Scompenso emodinamico tra splancnocranio e neurocranio. Assenza d'incisivi nell'arcata dentaria superiore. Testa mantenuta per lunghi periodi di tempo sotto la base cardiaca per alimentarsi. Sviluppo di estese reti mirabili encefaliche tra cuore e cervello.
- PICCOLI RUMINANTI. Le pecore e le capre hanno come il bovino, scompensi volumetrici tra il neurocranio e lo splancnocranio: estesi seni frontali, corna soggette a crescita continua, assenza d'incisivi nell'arcata superiore. La presenza del rume aumenta il grado di scompenso della portata cardiaca tra faccia, neurocranio e rume (arterie ruminali).

Piccoli ruminanti → reti mirabili + poligono di Willis

- CAVALLO: ossa frontali poco sviluppate. Collo più lungo e mobile rispetto al Bovino. Incremento della viscosità sanguigna nelle lunghe arterie carotidi comuni. Gl'incisivi su entrambe le arcate dentarie permettono ai cavalli di tagliare le parti apicali dell'erba, senza dover tenere spesso la testa sotto la base cardiaca. Cranio allungato in senso oro-aborale. Animale monogastrico. Assenza di reti mirabili encefaliche, ma presenza di alcuni rami inter-carotici e rami anastomotici tra i due versanti del poligono di Willis.

Pressione sistolica e diastolica in alcune specie di mammiferi

GIRAFFA	280/160
BOVINO	140/95
SUINO	140/80
PECORA	140/80
GATTO	140/90
CANE	120/70
RATTO	110/70
TOPO	110/80
CAVIA	100/60
CAVALLO	130/95
UOMO	120/70
CONIGLIO	120/80

In un altro ruminante il Cammello, Ocal M.K. et all. (1999), non hanno rilevato significative differenze di calibro tra le arterie di destra e di sinistra che apportano sangue alle estese reti mirabili encefaliche. Le reti mirabili encefaliche tendono a contrastare squilibri di pressione idrostatica sanguigna, sia tra neurocranio e splancnocranio, sia ai due lati del poligono di Willis. Infatti, nel Cammello, esistono numerosi rami anastomotici tra le reti mirabili di destra e di sinistra. I dati forniti da Ocal nel Cammello sono:

CCA (sinistra) = µm 2107 – CCA (destra) = 2159
CaCA (sinistra) = µm 2093 – CaCA (destra) = 2121

Per Raffi Karshafian e coll. (2
elevata complessità, correlato ad
pressione sistolica e l'elasticità d
descrivo alcuni meccanismi fisi
pressione sanguigna a livello
cerebrali, tali automatismi risul
capillari e sul sistema di deflusso

1. Parallelismo tra circ

Le tre similitudini della fisic
particolare in riguardo ai due pol

1. SIMILITUDINE GEOMI

I due poligoni di Willis (venos
c'è corrispondenza biunivoca spa
ha valore costante **L**. Questo
lunghezze. Il verificarsi di tale i
omologhi, di angoli omologhi,
rispettivo poligono) e ad un r
all'interno di ciascun poligono,
implica quindi la corrispondenza
Willis, arterioso e venoso. Al lor
del flussi sanguigni in un dato ist

ERROR: ioerror
OFFENDING COMMAND: image

STACK: