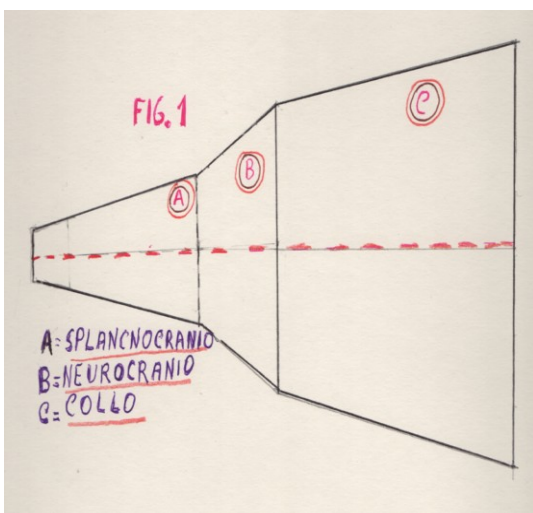


Giuseppe C. Budetta

Ossa craniche e reti mirabili encefaliche.

Oltre che come stazione ricevente le sensazioni dal mondo esterno, il cranio di alcuni mammiferi ha altre funzioni, come quella di difesa-offesa e prensile. In generale, il cranio è molto mobile, potendo essere messo in flessione-estensione (articolazione occipito-atlantoidea) e potendo ruotare (articolazione atlanto-epistrofea, oltre che tra le singole vertebre cervicali). In altre specie non appartenenti ai mammiferi, come rettili ed uccelli, c'è il *cranio cinetico*, potendo le ossa del pre-mascellare e del mascellare ruotare in alto, ampliando la cavità della bocca.

FIG. 1



A = SPLANCHNOCRANIO MOLTO SVILUPPATO.

- Bovini, altri grandi e piccoli ruminanti (pecore, capre, cervidi, bufali, bisonti...),
- Equini (cavalli, muli, bardotti, asini). Gli equini hanno lo splanchnocranio più allungato dei ruminanti in genere.
- Suini (il maiale ha un osso del grugno nelle narici con cui scava bulbi, tuberi...). In queste specie con splanchnocranio sviluppato, la prensione degli alimenti avviene con labbra, lingua e denti incisivi.

B = NEUROCRANIO MOLTO VOLUMINOSO (e riduzione dello splanchnocranio e del collo). Nei cetacei, il collo è quasi del tutto immobile e molto corto).

- Elefante: prensione degli alimenti con la mobilissima proboscide.
- Cetacei: prensione degli alimenti tramite il mezzo circostante liquido (il mare).
- Uomo e primati: prensione degli alimenti con gli arti superiori.

C = COLLO VOLUMINOSO E LUNGO (con neuro e splanchnocranio ridotti di volume).

- Giraffa: la giraffa è un ruminante ed effettua la prensione di alimenti vegetali, disposti molto in alto, con labbra e lingua. Quando la giraffa deve bere, piega gli arti anteriori, evitando di tenere la testa (neurocranio), per lunghi periodi di tempo, al di sotto della base cardiaca.

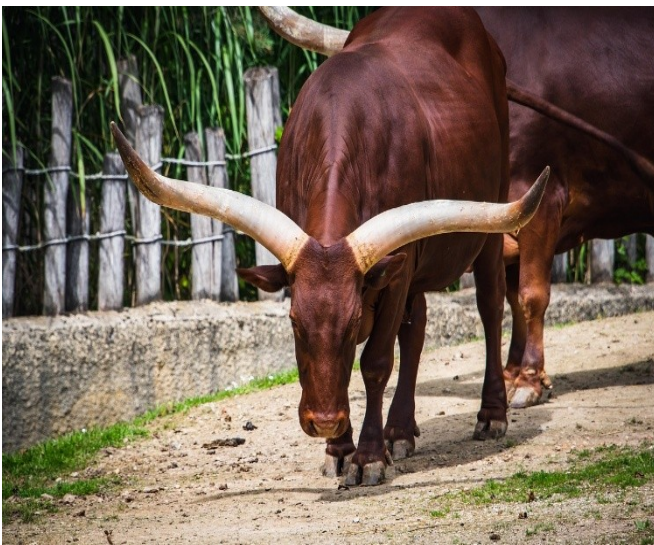
Potremmo iscrivere i tre trapezi (fig.1), indicanti lo splanchnocranio, il neurocranio e il collo, in tre rispettivi cerchi con circonferenza tra essi inversamente proporzionale:

$$(d_1 : d_2 : d_3 = g_3 : g_2 : g_1)$$

L'aumento del raggio di uno dei cerchi corrisponde alla riduzione degli altri due. A livello evolutivo, ciò è accaduto per *Homo Sapiens sapiens*, primati (scimmie), elefante e cetacei, dove c'è stato incremento graduale del neurocranio con corrispondente riduzione di splanchnocranio e collo. Nella Giraffa, l'aumento del "trapezio iscritto in un cerchio di riferimento al collo" è avvenuto con la riduzione, inversamente proporzionale, dei due cerchi indicanti lo splanchnocranio e il neurocranio.

RUMINANTI. Nei ruminanti, la funzione di difesa-offesa è localizzata a livello delle ossa

frontali, plasmate a mo' di scudo, molto estese in senso oro – aborale e prolungatesi in genere, nei processi cornuali. Queste caratteristiche si riscontrano soprattutto nei bovini, nei bisonti, gnu e in alcuni piccoli ruminanti, come pecore e capre. Nei bovini il cranio è tozzo, piramidale e compatto. L'impalcatura dei seni frontali, molto estesi, permette al cranio di sostenere urti brevi e forti, come quando gli animali lottano tra loro nella stagione degli amori, o quando devono difendersi dai predatori. I bovini, in particolare quelli che pascolano nella savana, quando devono difendere la prole allattante dagli attacchi dei predatori, si dispongono l'uno accanto all'altro, a formare una specie di muro. Gli animali abbassano il cranio verso terra, mettendo ben in mostra le corna. Questo comportamento in genere scoraggia i predatori che, per evitare di essere feriti nelle loro incursioni, attaccano spesso di sorpresa. Nei suoi attacchi, se un predatore è ferito, sia pur in modo leggero, è la fine. Non potrà usare la corsa per uccidere la preda, se zoppica. I predatori, se i bovini ed i bufali non si spaventano e non fuggono davanti a loro, rinunciano di solito all'aggressione. Specialmente i bufali formano una difesa a muro circolare o serrata, proteggendo i cuccioli al centro e affrontando con le corna i predatori come i leoni.



I bovini hanno cranio tozzo, piramidale. Quando si alimentano o si difendono dai predatori, tengono il cranio ben al di sotto della base cardiaca. Estese reti mirabili encefaliche ne proteggono il cervello. In particolare negli scontri durante la stagione degli amori, il loro cervello è preservato da eccessive e brusche pressioni sistoliche tramite le complesse reti mirabili encefaliche le cui arteriole sono provviste di una spessa parete vascolare, ricca di elementi muscolari ed elastici. Nei ruminanti, le ossa parietali sono spostate di lato e i frontali, molto sviluppati e piatti come scudi, si raccordano direttamente con gli occipitali.



A lato, un bisonte che si nutre di erba, tenendo di continuo e per lunghi periodi di tempo, il neurocranio (e il cervello) al di sotto della base cardiaca. La pressione idrostatica del sangue arterioso cerebrale aumenta, se il cranio è tenuto al di sotto della base cardiaca. Ben quattro, estese reti mirabili encefaliche (quattro da un lato e quattro dall'altro lato della base cranica) contrastano gli eccessivi sbalzi pressori nelle arterie cerebrali.

EQUINI. Gli equini fanno dell'andatura veloce un'arma. L'ampiezza toracica facilita la ventilazione sanguigna e l'ossigenazione dei tessuti, durante la corsa. Esistono pure ruminanti, come gli gnu, in grado di percorrere decine di chilometri, correndo di continuo. In questi animali, c'è

andatura costante di corsa, ma meno veloce dei cavalli. Un altro ruminante, il bisonte americano, fa della corsa e della mole massiccia del corpo un valido mezzo per sfuggire agli attacchi dei predatori, ma è superato in velocità dal Cavallo. La velocità, come arma di difesa, ha comportato nel Cavallo, a differenza del Bovino, alcune modifiche a livello cranico. Negli equini, il frontale non ha funzione di sistema di difesa-offesa, di conseguenza ha sviluppo limitato ed il *parietale* occupa la volta cranica. Negli equini, i seni frontali sono molto meno estesi. La riduzione dei seni frontali ha comportato una maggiore estensione della cavità cranica e aumento del volume cerebrale. Nei delfini avvenne, nel corso della loro evoluzione, un fenomeno analogo: riduzione dei seni frontali e aumento della capacità cranica. Le differenze dell'impalcatura cranica sembrano riflettersi anche nel comportamento animale. Il cavallo, attaccato da un predatore, corre e dà calci (negli zoccoli c'è un'ottima arma di difesa-offesa) e alza testa e collo. Il Bovino, se attaccato e deve difendere la prole, resta fermo, abbassa la testa con le corna contro l'aggressore. Se il ruminante si mette a correre, in genere abbassa un po' il cranio con le corna dirette in avanti (Bisonti). In genere, i quadrupedi hanno omogeneità morfo funzionale nelle parti distali degli arti: metacarpo, nodello e falangi dell'arto toracico similari a metatarso, nodello e falangi dell'arto pelvico. Esistono invece differenze, in particolare negli equini: il metatarso è più lungo del metacarpo, l'angolo del nodello disuguale nei versanti anteriore e posteriore. Negli equini, le terze falangi sono più incavate sulla faccia plantare che è pure più stretta. I grandi sesamoidi sono più esili di quelli dell'arto anteriore e il piccolo sesamoide è meno allungato.

Solo negli equini c'è il legamento coxo-femorale che tiene ben ancorata la testa del femore alla cavità acetabolare del coxale. Questo particolare incrementa la forza propulsiva dell'arto posteriore, pur impedendone l'abduzione e di scalciare di lato.



Il cervello del cavallo pesa circa 500-600 grammi (lo 0,1% del peso corporeo), ma ha struttura complessa con la neocorteccia più sviluppata che nei bovini: notevole complessità di solchi e girificazione.

DELFINI – Il Delfino ha collo corto, quasi immobile. Effettua la prensione degli alimenti in mare aperto e direttamente con la bocca. Il Delfino compie, salti, giravolte e flessioni in mare. Il suo cervello è quattro volte più voluminoso dell'umano, ma protetto da ben otto reti mirabili, frapposte tra cuore e cervello. Circa ottocento rami, tra loro in parallelo, trasportano il sangue arterioso alle numerose e vaste reti mirabili. Hopkins WD, Lori Marino (2000) scrivono che nei delfini le reti mirabili encefaliche occupano circa il 20% del volume cranico e sono provviste di estesi contingenti di muscolatura liscia. Nell'Uomo la diversificazione funzionale degli arti superiori, più accentuata rispetto ad altre specie, è diametralmente opposta a quella dei delfini. Nella specie umana alla base del cervello, esiste solo il poligono arterioso di Willis che fornisce di sangue il voluminoso cervello. Inoltre, diversamente che negli altri mammiferi, nell'Uomo non esistono rami anastomotici tra i due versanti del poligono.



I delfini si sono evoluti da almeno 50 milioni di anni da mammiferi terrestri che forse rassomigliavano agli ungulati artiodattili viventi attualmente, come bovini e suini. Come i ruminanti, le ossa parietali occupano le parti laterali della cavità cranica e sono poco estese. I frontali, pur estesi in senso oro – aborale, non sono piatti come nel Bovino, ma con convessità anteriore. I seni paranasali, in particolare quelli frontali, sono molto ridotti. Le vertebre cervicali sono appiattite in senso anteroposteriore ed il collo nei delfini è corto e poco mobile.

A livello evolutivo, nei delfini, mammiferi acquatici, le aree corticali motrici dei muscoli degli arti sono quasi scomparse. Viceversa nei delfini, sono molto sviluppate le aree corticali motrici che regolano le contrazioni dei muscoli lunghissimi dorsali con azione flesso-estensoria sull'intera colonna vertebrale. Come scritto, nel Delfino, tra cuore e sistema nervoso centrale, esistono ben sette reti mirabili originate da oltre 800 arterie afferenti. Per A.W. Vogl e H.D. Fisher (1981), le reti mirabili dei delfini sarebbero strutture polifunzionali collegate, tra l'altro, all'abilità del tuffo.

Le otto reti mirabili nel Delfino comunque danno supporto sanguigno al cervello, cervelletto e midollo spinale nelle regioni lombari, toraciche, del collo e della testa. I numerosi spiaggiamenti di delfini e balenottere potrebbero collegarsi a fenomeni d'ipossia cerebrale causata dalla vasodilatazione in vaste aree delle reti mirabili encefaliche. Questa vasodilatazione riduce il controllo su di **CBF (flusso sanguigno cerebrale)** e **MAP (pressione arteriosa media)** e non è compensata da un apporto aggiuntivo diretto di sangue come avviene per il Gatto, Ruminanti (compreso la Giraffa) ed altri mammiferi, provvisti di reti mirabili encefaliche e di rami anastomotici tra i due lati del Poligono di Willis (nelle specie con reti mirabili, il Poligono di Willis esiste ed è frapposto tra le reti mirabili di destra e quelle di sinistra).

Nei delfini dunque, sono assenti sia un *vaso ponte* come l'arteria faringea ascendente (o la condiloidea), sia rami anastomotici inter rete tra i versanti di destra e di sinistra che forniscano un apporto aggiuntivo di sangue al cervello, come nel Gatto e nei ruminanti. Nel delfino, ci sono circa ottocento rami affluenti alle reti mirabili che decorrono in parallelo. La potente muscolatura liscia nei vasi delle reti mirabili encefaliche col loro tono peculiare regola:

CBF: flusso sanguigno cerebrale.

ICP: pressione intracranica.

CSF: liquido cerebro spinale.

MAP: pressione arteriosa media.

CPP: pressione di perfusione cerebrale.

C'è da precisare che la presenza di estese reti mirabili encefaliche, frapposte tra cuore e cervello, ai lati del Poligono di Willis, non ha ostacolato lo sviluppo volumetrico dell'encefalo in alcune specie (Elefante e Delfino).

Vogl, A.W. et al., (2005) hanno effettuato uno studio ultrastrutturale basato sulla immunofluorescenza, evidenziando nel Narvalo (*Monodon monoceros*) una scarsa innervazione adrenergica nelle reti mirabili encefaliche. Comunque gli Autori ipotizzano l'esistenza di attività vasomotorie, regolate da catecolamine ed altri agenti vasoattivi.

UOMO – Nella specie umana, alla base del cervello c'è solo il Poligono di Willis: le arterie delle reti mirabili, presenti nei ruminanti, mancano del tutto. Nell'Uomo è evidente l'interazione

stretta tra aree del linguaggio e aree motorie, in particolare quelle che regolano la **preensione degli alimenti** con gli arti superiori, come il seguente schema evidenzia:

Orecchio interno → Collicolo inferiore → Talamo → Corteccia uditiva → area di Wernicke → area di Broca → Corteccia premotoria → Corteccia motoria primaria.

Nell'Uomo, la presa degli alimenti avviene in due fasi: (a) **raggiungere l'oggetto (reach)** (b) **afferrare l'oggetto (grasp)**: reach e grasp sono dirette da distinti percorsi visivo-motori. Per il **reach** (raggiungere), c'è la via nervosa dorso-mediale: lobulo parietale superiore, corteccia parieto-occipitale superiore, solco intraparietale mediale, precuneo anteriore, corteccia pre-motoria dorsale e corteccia motoria primaria (M1). (b) **Afferrare l'oggetto (grasp)**: via nervosa dorsolaterale e cioè solco intraparietale anteriore, corteccia premotoria ventrale, quindi M1 (corteccia motoria primaria), come per il reach. C'è differenza nei centri nervosi motori a seconda se la preensione è effettuata con la mano destra, o con la sinistra. Nel caso in cui la preensione, per esempio degli alimenti, sia effettuata con la destra, le vie nervose coinvolte sono nella **corteccia cerebrale di sinistra, prospiciente all'area di Wernicke**, il vero centro del linguaggio, specifico per l'essere umano (nelle scimmie c'è solo l'area di Broca). La vicinanza coi centri motori del linguaggio ne avrebbe incrementato lo sviluppo, in particolare a livello del lobo cerebrale sinistro.

Variazioni morfo-funzionali del Poligono di Willis nella specie umana

- Alla nascita, il Poligono di Willis è incompleto e c'è separazione tra i due versanti opposti, mancando la comunicante anteriore. Le carotidi interne sono le uniche arterie che apportano sangue al cervello.
- Vita adulta. La comunicante posteriore si riduce di calibro fino ad atrofizzarsi. C'è separazione tra i due distretti del Poligono di Willis: l'anteriore, servito dalle carotidi interne e il posteriore dalla basilare. Rami perforanti che derivano dalla comunicante posteriore e dal tratto post petroso della carotide interna, si atrofizzano. Questi rami perforanti erano destinati al talamo e allo striato

Tra versante destro e sinistro del Poligono di Willis e tra le due carotidi interne, in alcune specie esistono rami anastomotici.

- Nel Cavallo, c'è l'arteria carotico basilare che si origina dalla seconda curva ad S della carotide interna: si dirige ventro caudalmente per raggiungere l'arteria basilare sulla faccia ventrale del ponte. Un'arteria intercarotica caudale nasce rostralmente alla precedente: flessuosa e spesso formante una rete, unisce le due carotidi interne caudalmente all'ipofisi. Non esiste un'arteria intercarotica rostrale.
- Nel Cane, c'è un'arteria intercarotica rostrale e una caudale, spesso formanti piccole reti, anteriormente e posteriormente all'ipofisi.
- Nel Coniglio, esistono lo stesso due rami intercarotici, uno rostrale e uno aborale, davanti e dietro il peduncolo ipofisario.
- Nell'Uomo, mancano rami intercarotici e i versanti (di destra e di sinistra) del Poligono di Willis sono distanziati.
- Viceversa nel Cane, il Poligono di Willis è stretto e allungato in senso oro-aborale.

L'esistenza di rami intercarotici nei mammiferi, provvisti solo di poligono di Willis (e senza reti mirabili encefaliche), regolerebbe in breve tempo l'onda sistolica nei due lati (sinistro e destro) dello stesso Poligono di Willis e bilancerebbe brusche e brevi variazioni di pressione idrostatica,

dovute ai movimenti del cranio, specialmente quando l'animale abbassa la testa.

N.B. Funzioni complesse, con elevato consumo di O₂ come nel linguaggio umano, necessitano di una particolare emodinamica con flusso sanguigno costante ed elevata velocità. Nell'Uomo, la presenza di reti mirabili encefaliche, ne ridurrebbe velocità e pressione.

SI PUÒ FARE IL SEGUENTE SCHEMA

1. PRENSIONE DEGLI ALIMENTI: CON ARTI SUPERIORI (UOMO).

2. CIRCOLAZIONE CEREBRALE PRIVA DI RETI MIRABILI E CON SOLO IL POLIGONO DI WILLIS.

DUE ENUNCIATI

Se una specie animale "A" tiene il cranio per lungo tempo vicino al suolo, in un piano di sotto la base cardiaca, allora in entrambi i lati del Poligono di Willis si è sviluppata una rete mirabile encefalica "B". Animali che tengono la testa per lunghi periodi di tempo sotto la base cardiaca principalmente per mangiare, sono i ruminanti, il suino ed i felini: **A ↔ B**

Viceversa, se e solo se una specie di mammiferi mantiene il cranio per lunghi periodi di tempo al di sopra della base cardiaca, c'è solo il Poligono di Willis alla base cranica. Fa eccezione la Giraffa per il lungo collo, una carotide comune anch'essa molto lunga nella quale la viscosità sanguigna è elevata. Nella Giraffa, le alte pressioni sistoliche encefaliche sono contrastate dalle reti mirabili a protezione del cervello. Inoltre, se deve bere, la Giraffa piega e divarica gli arti anteriori in modo da evitare che il cranio, per un periodo di tempo lungo, sia al di sotto della base cardiaca. Nella Giraffa come in tutti i ruminanti (tutti i ruminanti hanno estese reti mirabili sulla base cranica), ha i prestomaci, **accompagnati da pressioni sistoliche elevate**. E' verosimile che la presenza dei prestomaci implichi pressioni sistoliche elevate e presenza di reti mirabili encefaliche. E' stato visto che nei neonati umani esistono anomalie del poligono di Willis, affiancato da una minuscola rete vascolare, simile ad una rete mirabile. In questi casi, potrebbero esserci anomalie cardiache con pressioni sistoliche superiori alla norma.



Qui a fianco, la foto di una giraffa che beve. Questa specie ha difficoltà nel piegare il collo, in particolare se beve. L'animale si aiuta piegando gli arti anteriori, evitando anche che il cervello si trovi troppo al di sotto della base cardiaca.

Le arteriole della rete mirabile hanno una grossa componente di muscolatura liscia che regola brusche variazioni pressorie. A monte della rete mirabile encefalica, ci sono diversi rami di afflusso, in genere 3-4 (nel Bovino sono dieci). Più in particolare, nel Bovino e in genere nei ruminanti, l'arteria

carotide interna è presente solo nel feto e nei primi periodi di vita post-uterina, poi regredisce in parallelo alla **riduzione volumetrica dell'abomaso**. Nei ruminanti, l'encefalo riceve il sangue da un complesso sistema vascolare, alimentato da rami dell'**arteria mascellare interna**. Un apporto suppletivo di sangue è dato dalla basilare. L'arteria mascellare interna, in prossimità del corpo dello sfenoide, dà origine alle arterie generatrici la rete mirabile. Una di queste è caudale e attraversa il foro ovale. Le altre formano il gruppo rostrale, entrando nel foro *orbitorotondo*. Alcuni di questi rami nascono dall'arteria buccale e anche dall'oftalmica esterna. Dalle arterie generatrici la rete mirabile, si origina un groviglio di vasi di medio e piccolo calibro, ai lati dell'ipofisi (rete mirabile encefalica). Numerosi rami trasversali passano vicino al chiasma dei nervi ottici, collegando le reti mirabili dei due lati e formando la "*rete mirabile epidurale chiasmatica*". Da questa, si origina l'a. oftalmica interna che, nelle specie provviste di solo Poligono di Willis, deriva dall'arteria cerebrale rostrale.

CIRCOLAZIONE CEREBRALE – Nelle specie provviste con estese reti mirabili encefaliche si verifica che alla perdita di energia cinetica nella rete mirabile, viene ad aggiungersi quella nell'arteria carotide cerebrale, un vaso di calibro maggiore rispetto a quello da cui si origina. Quando un condotto subisce un brusco allargamento, il coefficiente di resistenza (ζ) cui va incontro il sangue circolante è dato dalla formula: $\zeta = [1 - (d / D^2)]^2$

Dove **d** è il diametro del tubo più piccolo e **D** quello del tubo maggiore, ζ è il dislivello della linea dei carichi effettivi tra due sezioni S' ed S", cioè la perdita di carico dovuta ai bruschi allargamenti (nel nostro caso, l'arteria carotide cerebrale). In conseguenza di tali enunciati, gli schemi **A** e **B**:

A



B

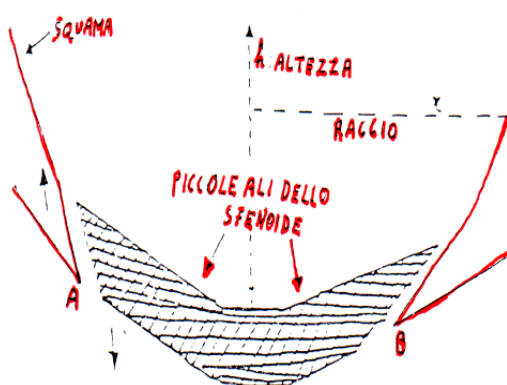


L'area del linguaggio (di Wernicke) è presente solo nel cervello umano. L'area di Broca (l'altra area del linguaggio) è in tutti i primati, sia nell'Uomo che nelle scimmie. Solo nell'Uomo, nel lobo cerebrale sinistro, dove c'è maggiore concentrazione neuronale e stabilità di flusso, è presente il maggior centro del linguaggio che è l'area di Wernicke.

La pressione di perfusione cerebrale è determinata da BP (pressione arteriosa), ICP (pressione intracranica) e pressione venosa. In condizioni fisiologiche, la pressione di perfusione

cerebrale è determinata principalmente dalla BP arteriosa e dalla postura del corpo (supina o prona rispetto a seduta, o in piedi negli esseri umani), perché BP.

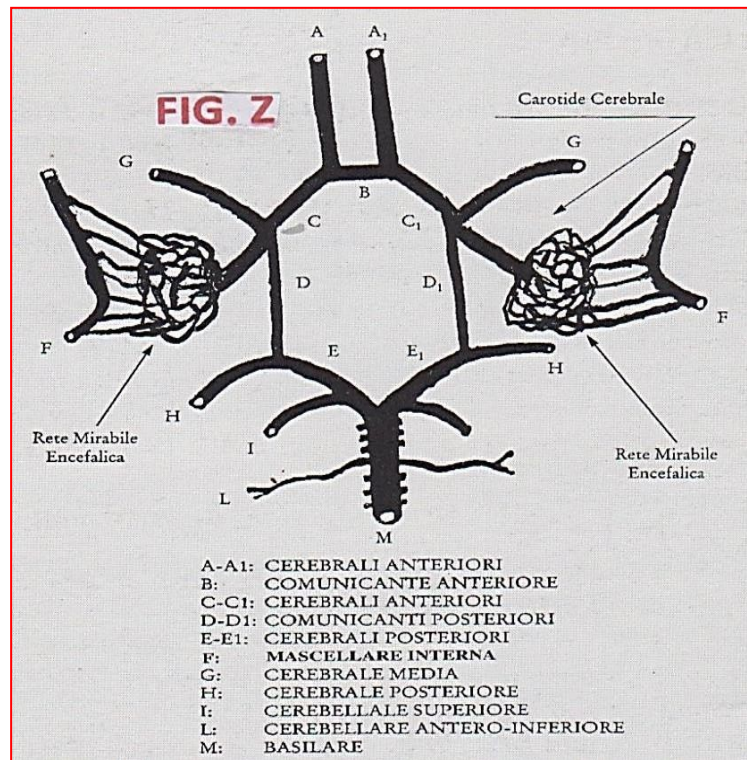
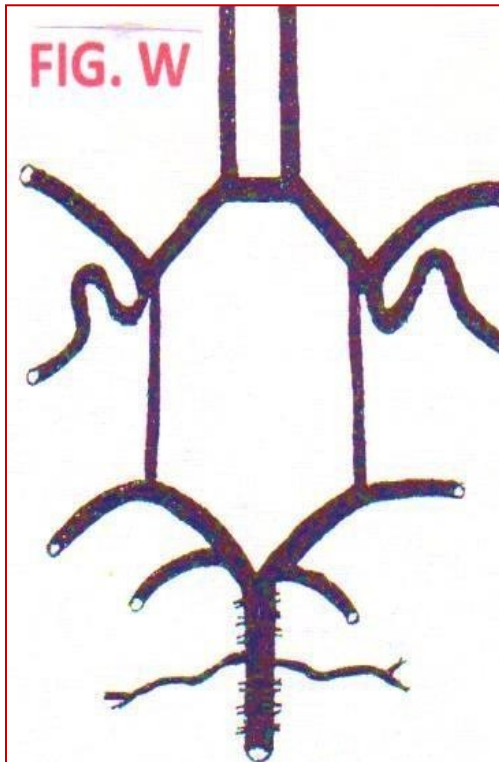
Tra l'altro, il cranio funziona come bilanciante del corpo. Nell'andatura lenta o veloce, o quando l'animale si disseta, o si nutre di erba che strappa coi denti incisivi, il cranio è di continuo messo in movimento, sollevato verso l'alto dalla corda elastica del legamento nucale, o abbassato dall'azione dei muscoli cervico-toracici. Il cranio può anche essere messo in posizione di estoflessione rispetto al collo (articolazione occipito-atlantoidea), o di rotazione tramite l'articolazione atlanto-epistrofea, oltre che tra le singole vertebre cervicali. Aumenti di pressione idrostatica del sangue arterioso a livello encefalico avvengono se l'animale tiene la testa abbassata, per lunghi periodi di tempo, in un piano inferiore rispetto a quello passante tra aorta ascendente e arco aortico. Quando ciò accade, i valori espressi dall'equazione di Reynolds tra sangue venoso e sangue arterioso encefalico tendono a differenziarsi. Tale differenza, dovuta all'aumento della pressione idrostatica del sangue arterioso encefalico, può avere effetti dannosi sui capillari della barriera emato-encefalica. Le ricerche di Grubhofer G. et al. (1999), sull'Uomo dimostrano che l'ipertensione sistemica influenza negativamente la velocità sanguigna a livello cerebrale. Le reti mirabili encefaliche formerebbero una barriera contro eccessi di pressione sanguigna sistemica in particolare durante il nuoto veloce e prolungato (cetacei), nella corsa prolungata (ruminanti), nella corsa molto veloce (felini in genere) e contro le forti pressioni sistoliche nelle lunghe arterie carotidi comuni nel collo della Giraffa.



EVOLUZIONE DELLE OSSA CRANICHE IN *HOMO SAPIENS sapiens*.

Il cranio di *Homo Sapiens sapiens*, rispetto a quello di *Homo di Neanderthal*, ha due autapomorfie strutturali: retrazione facciale e neurocranio più globoso e alto. In *Homo Sapiens sapiens*, c'è anche correlazione stretta tra cervello voluminoso e denti postcanini piccoli, come se il volume complessivo del neurocranio fosse inversamente proporzionale a quello dei denti postcanini e dello splancnocranio in generale. In *Homo sapiens* e in *Homo Sapiens sapiens*, ci fu riduzione della distanza tra superfici interne delle ossa

temporali, a livello della sutura tra piccole ali dello sfenoide e parte squamosa dei temporali. Quest'articolazione è una sinartrosi ed il tessuto congiungente è connettivo fibroso. Nell'evoluzione umana, ci fu aumento volumetrico del cranio, accompagnato dallo spostamento in senso laterale della squama del temporale sulle piccole ali dello sfenoide. Queste modificazioni morfometriche comportano l'aumento del segmento sferico ad una sola base della calotta cranica: l'incremento riguarda il suo diametro e volume totale. Questo segmento sferico ha per base una circonferenza con diametro AB. Il volume di tale segmento di sfera è dato dalla seguente formula: $V = 1/6 h (h^2 + 3r^2)$. L'aumento volumetrico del segmento sferico dipende, oltre che dall'altezza - distanza tra le ossa parietali e base cranica - dal **quadrato del raggio moltiplicato per tre**. La sutura squamosa, tra piccole ali dello sfenoide e faccia interna dei temporali, avviene tra superfici ossee tagliate a sbieco, una a livello della superficie interna (squama del temporale) ed una sulla superficie esterna (piccole ali dello sfenoide): l'allungamento delle estremità A e B, appartenenti al diametro AB, comporta aumento in altezza (h) della cavità cranica. Nel corso dell'evoluzione umana, si sono verificati incrementi di h e di r. Dai reperti fossili, risulta che in *Homo di Neanderthal*, ci fu maggiore incremento di r, ma in *Homo sapiens* ed *Homo Sapiens sapiens*, l'incremento maggiore riguardò h. Cioè tra *Homo di Neanderthal* ed *Homo Sapiens sapiens* ci fu una inversione di parametri: nel primo ci fu un maggiore e più rapido incremento di r e nel secondo (*Homo Sapiens sapiens*) un lento incremento di r ed un più rapido ampliamento di h che tra l'altro, favorì lo sviluppo dei lobi frontali.



Nella figura **W**, è disegnato il solo poligono di Willis che poggia sulla base cranica. Nella fig. **Z**, c'è il poligono di Willis affiancato da reti mirabili encefaliche. Nell'Uomo, primati, Cavallo (equini) e Coniglio (lagomorfi) c'è solo il poligono di Willis, come anche in specie antiche non mammifere (rettili e anfibi). Nel Cavallo, il poligono di Willis è servito da un'arteria carotide interna esile, quasi una collaterale della carotide esterna. Nelle specie con estese reti mirabili che affiancano il Poligono di Willis, l'arteria carotide interna persiste nei primi periodi di vita post-uterina, o negli ultimi periodi di vita intra uterina, venendo sostituita dalla mascellare interna e da rami della carotide esterna.

Perdite di carico nella carotide cerebrale.



Nelle specie provviste di rete mirabile encefalica (ruminanti e cetacei), l'arteria carotide cerebrale è l'unico ramo (oltre a quelli inter-rete) che si frappone tra le reti mirabili ed il Poligono di Willis. L'arteria carotide cerebrale è 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 (δ) è dato:

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

d = somma dei diametri degli affluenti nella carotide cerebrale;

D = diametro medio della carotide cerebrale;

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

NUMERO DI REYNOLDS – Il rapporto forze viscosi/ forze d'inerzia è detto numero di Reynolds e si esprime con la seguente equazione:

$$R = (D \cdot u \cdot \rho) / \mu$$

D = massa volumica

U = velocità del fluido

ρ = lunghezza del vaso sanguigno considerato

μ = viscosità del fluido (sangue).

Il numero di Reynolds ® è senza dimensioni (un puro numero), risultato dal rapporto tra grandezze uguali. L'uguaglianza dei numeri di Reynolds, tra sangue arterioso e venoso a livello cranico, implica la seguente caratteristica fisiologica. Sia il sangue arterioso che il venoso stanno nella rigida struttura ossea del cranio (calotta cranica), per cui ad un aumento di afflusso arterioso, deve corrispondere un aumento di efflusso venoso. A livello cranico i due sistemi, arterioso e venoso, sono cinematicamente simili essendo costante il rapporto tra le velocità ematiche in due qualsiasi punti omologhi.

Cervello umano - Precisazione. Il cervello umano ha un elevato grado di variabilità nella distribuzione regionale e nella forma tra gli individui, con differenze, osservate anche tra i sessi e le etnie. Inoltre, il volume cerebrale si riduce con l'età, in particolare dopo i 60 anni.

Om Biju Panta et al., (2023) forniscono questi dati medi sul volume cerebrale medio umano. Il volume intracranico medio di 285 pazienti con risonanza magnetica normale era $1286,30 \pm 129,88$ cc ($1271,22-1301,38$, 95% CI). L'età media della popolazione era $39,52 \pm 14,09$ anni. Su 285 pazienti, 190 (66,67%) erano donne mentre 95 (33,33%) erano uomini. L'età media degli uomini era $38,49 \pm 15,18$ anni e quella delle donne era $39,95 \pm 13,41$ anni. Il volume cerebrale totale medio negli uomini era $1205,41 \pm 125,64$ cc e nelle donne era $1089,55 \pm 101,50$ cc.

Cavalli. Differenze in base al sesso del volume cranico. Alla nascita, cavalli maschi e femmine hanno volumi cranici simili, ma nei primi anni di vita, il volume aumenta rapidamente in entrambi i sessi. A cinque anni, entrambi i sessi hanno circa l'80% del volume cranico adulto. In particolare:

- Alla nascita, il volume cranico del cavallo maschio è pari al 28% del suo volume adulto, mentre quello della femmina è pari al 26%.
- Entro il primo anno, il volume cranico maschile raggiunge il 65% del volume adulto, mentre quello femminile raggiunge il 59%.
- Maschi e femmine hanno picchi di crescita superiori alla media, rispettivamente a 4 anni e 6 mesi e a 5 anni e 6 mesi.
- Giunti alla maturità, entrambi i sessi hanno raggiunto il 95% del volume cranico adulto.

Come nella maggior parte dei mammiferi, il cervello equino varia in dimensioni, forma e morfometria corticale. La forma del cervello di un cavallo è influenzata dalle sue dimensioni: i crani più piccoli sono più larghi e hanno una scatola cranica più rotonda.

Uno studio pubblicato su *Applied Animal Behaviour Science* di Murphy et al., (2004) evidenzia come i cavalli maschi abbiano in media volumi cerebrali totali maggiori rispetto alle cavalle. Murphy et al. forniscono anche la prima dimostrazione comportamentale sull'esistenza di una **capacità visuo-spaziale superiore nei cavalli maschi**, in accordo con risultati simili, in altre specie. I risultati sembrano supportare altre ricerche equine (Flannery, 1997), secondo cui i cavalli maschi, rispetto alle femmine, hanno la capacità di razionalizzare e formulare i concetti necessari per risolvere problemi di discriminazione, più complessi e di ordine superiore. Evidenti e ben documentate differenze di genere ci sono nelle prestazioni, sia tra gli atleti umani che tra gli equini. In molte discipline equestre, proprietari e addestratori preferiscono i cavalli maschi perché superano le controparti femmine, sia a bassi livelli competitivi, sia ai massimi livelli. Questa preferenza è parzialmente spiegata dalle differenze fisiche tra cavalli maschi e femmine, dovute agli steroidi

androgeni e a una più potente massa muscolare maschile, come anche negli esseri umani. Tuttavia, le migliori capacità visivo-spaziali dei cavalli maschi sono importanti in molti altri aspetti dell'equitazione.

Bibliografia

- AGUGGINI G. et all.: *Fisiologia degli animali domestici con elementi di etologia*. UTET – Torino (1992).
- ASHTON, N.: *Neurological and humoral control of blood pressure*. Anesthesia & intensive Care Medicine Volume: 8, Issue : 6, pagg. 221 – 226 – June, (2007).
- BARONE R.: *Anatomia Comp. dei Mammiferi Domestici*. Vol. V. Edagricole, (1983).
- CASSOT F., Zagzoule M., Marc-Vergnes JP: *Hemodynamic role of the circle of Willis in stenoses of internal carotid arteries. An analytical solution of a linear model*. J Biomechanics 33:395-403, (2000).
- FLANNERY B.: *Relational discrimination learning in horses*. Appl. Anim. Behav. Sci., (1997).
- GETTY R.: *Anatomia degli animali domestici*. Piccin Editore – Padova, (1982). 1995).
- GRUBHFER G., Lasnigg A. et all.: *Systemic blood pressure and cerebral blood flow velocity during carotid surgery*. Thoracic Cardiovasc. Surg., 47: 381 – 385, (1999).
- GWINNUTT C.L. & Saha B. : *Cerebral flow and intracranial pressure*. Anesthesia and intensive care medicine, 6 – 5 : 153 – 156, (2005).
- GUANGYU-Zhu, Qi Yuan et all.: *Experimental study of hemodynamics in the circle of Willis*. – BMC - [BioMedical Engineering OnLine](#) - volume 14, Article number: S10, (2015).
- GUNNARSSON GÖ, Marsal K. : *Blood flow velocity waveforms in the middle cerebral, renal and femoral arteries of human fetuses*. Eur J Ultrasound 3(3) :251-259, (1996).
- HOPKINS WD, Fernández-Carriba S.: *The effect of situational factors on hand preferences for feeding in 177 captive chimpanzees (Pan troglodytes)*. Neuropsychologia 38 (4): 403-409, (2000).
- HOPKINS WD, Lori Marino: *Asymmetries in cerebral width in nonhuman primate brains as revealed by magnetic resonance imaging (MRI)*. Neuropsychologia 38: 493-499 (2000).
- IDE K, Bouschel R, Sørensen HM, Fernandes A, Cai Y, Pott F, Secher NH : *Middle cerebral artery blood velocity during exercise with β -1 adrenergic and unilateral stellate ganglion blockade in humans*. Acta Physiol Scand 170:33-38 (2000).
- KONIGH H.E., LIEBICH H.G.: *Anatomia dei mammiferi domestici*. Piccin, Padova, VI Edizione 2017.
- MURPHY J. et all.: *Sex differences in equine learning skills and visuo-spatial ability* - Applied Animal Behaviour Science - Volume 87, Issues 1–2, Pages 119-130 – (Jully, 2004).
- OM BIJU PANTA et all: *Mean Intracranial Volume of Brain among Patients with Normal Magnetic Resonance Imaging Referred to the Department of Radiology and Imaging of a Tertiary Care Centre*. JNMA J Nepal Med Assoc.: 61 (268), pagg. 934-937, (2023).
- OVERBEEKE J.J. et all.: *A comparative study of the circle of Willis in fetal and adult life. The posterior bifurcation of the posterior communicating artery*. J. of Anatomy, 176: 45 – 54 (1991).
- VOGL AV, Fischer HD.: *The internal carotid artery does not directly supply the brain in the monodontidae (order Cetacea)*. J Morphology 170:207-214, (1981).
- VOGL, A.W. et all.: *An ultrastructural and fluorescence histochemical investigation of the innervation of retinal arteries in Monodon monoceros*. Journal of Morphology, vol. 168, pagg. 109-119, (2005).
- WURSIG B.: *I delfini*. Le Scienze n. 129-98 (111) – (1979).

Autore: Giuseppe C. Budetta – giuseppe.budetta@gmail.com