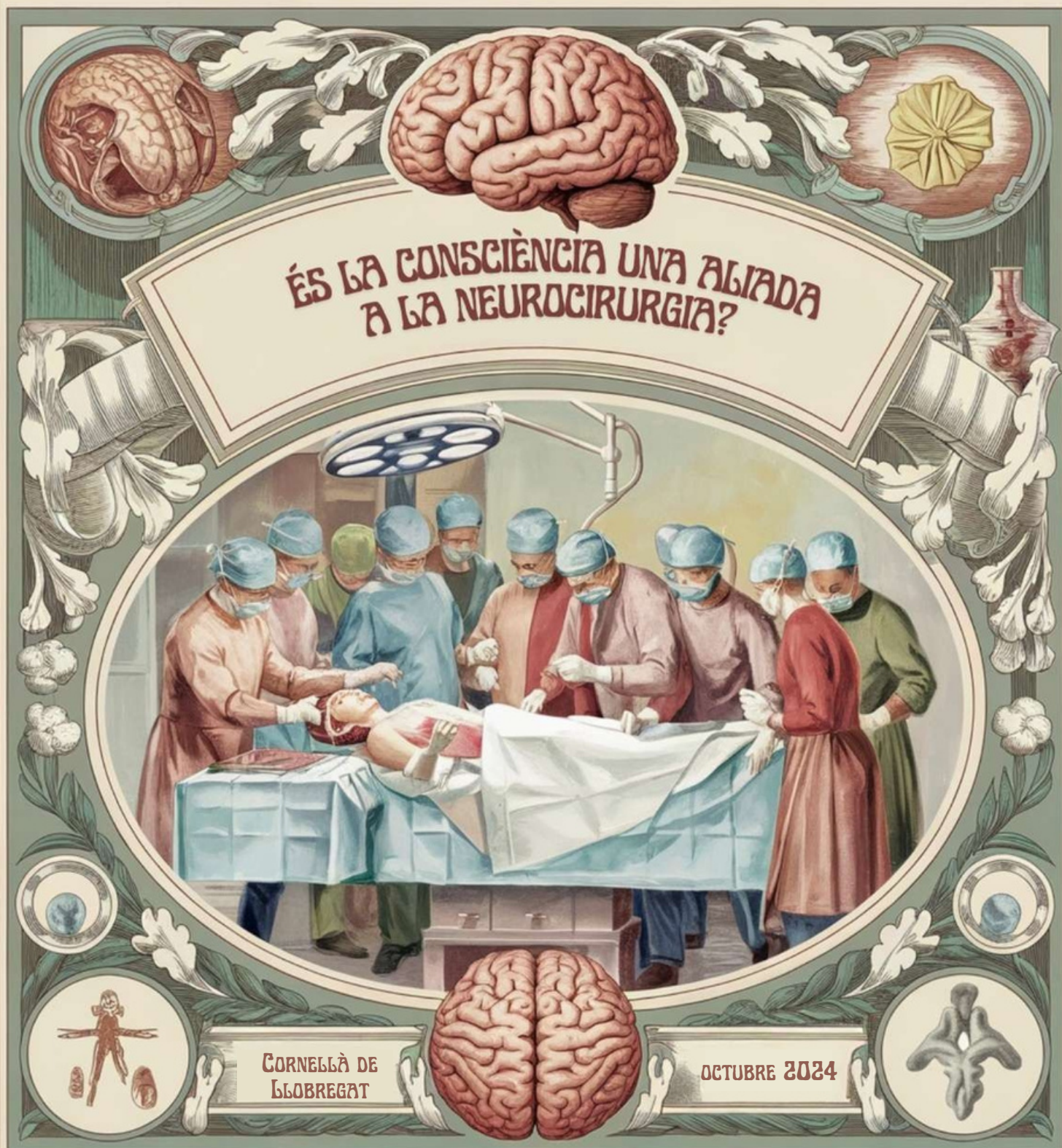


TUTORA:
ROSA RIERA

IES FRANCESC MACIÀ



SANDRA FIGUERAS MÉNDEZ



RESUM

L'encèfal, com tots sabem, és un dels òrgans més complexos del nostre organisme. Ho és tant que, de vegades, quan l'hem d'operar, no ho podem fer amb el pacient anestesiats, ja que no podem estar segurs de no fer malbé alguna de les tantes funcions que té aquest òrgan.

Això és així, principalment, quan la lesió es troba al lòbul frontal, perquè és aquí a on es troba la zona que s'encarrega de la parla.

Però, potser, la consciència del pacient dins del quiròfan té moltes més conseqüències de les que sembla.

Aquest treball intenta corroborar aquesta hipòtesi i ho fa mitjançant una comparació entre una neurocirurgia amb el pacient despert i una amb el pacient adormit.

A la part teòrica he posat les bases per a entendre com està format i com funciona l'encèfal i com es realitza una neurocirurgia. A la part pràctica he identificat a l'encèfal d'un porc les parts que prèviament havia estudiat i he comparat ambdues cirurgies per a trobar les principals diferències.

Davant dels resultats obtinguts, es pot corroborar que la consciència del pacient afecta en molts aspectes a l'hora de realitzar una neurocirurgia i no només en la part anestèsica.

Paraules clau: Consciència, encèfal, neurocirurgia i comparació.

ABSTRACT

The encephalon, as we all know, is one of the most complex organs of our organism. It is so much so that, sometimes, when we have to operate it, we cannot do it if the patient is anesthetized, since we cannot be sure that we don't damage any of the many functions that this organ has.

This is mainly the case when the injury is in the frontal lobe, because it is here where the speech area is located.

But, perhaps, the patient's consciousness in the operating room has more consequences than it seems.

This work tries to corroborate this hypothesis and does so by comparing a neurosurgery with the awake patient and one with the sleeping patient.



In the theoretical part I have laid the foundations to understand how the brain is formed, how it works and how a neurosurgery is performed. In the practical part I have identified in the encephalon of a pig the parts I had previously studied and I have compared both surgeries to find the main differences.

Given the results obtained, it can be corroborated that the patient's consciousness affects in many aspects when performing a neurosurgery and not only in the anesthetic part.

Keywords: Consciousness, brain, neurosurgery and comparison.

ÍNDEX

I. INTRODUCCIÓ.....	3
II. MARC TEÒRIC.....	5
1. L'encèfal.....	5
1.1. Anatomia.....	5
1.1.1. Neurones.....	6
1.1.2. Hemisferis i lòbuls.....	7
1.1.3. Cos callós.....	9
1.1.4 Sinus venosos durals.....	10
1.2. Fisiologia.....	10
1.2.1. Conducció nerviosa.....	10
1.2.2. Sinapsi.....	12
2. Anestèsia.....	14
2.1. Tipus.....	15
2.1.1. Anestèsia general.....	15
Inhalatoris.....	15
Intravenosos.....	16
2.1.2. Anestesia local o locoregional.....	18
3. Neurocirurgia.....	18
3.1. Tècniques neuroquirúrgiques.....	19
Tècnica habitual.....	19
Ablació per làser.....	19
3.2. Eines neuroquirúrgiques.....	20
Neuronavegació.....	20
Mapping o mapatge.....	20
III. MARC APLICAT.....	22
1. Identificació d'estructures neurològiques a l'encèfal del porc.....	22
1.1. Objectius.....	22
1.2. Material.....	22
1.3. Procediment.....	22
1.4 Resultats i discussió.....	25
2. Comparació d'una neurocirurgia amb el pacient despert i una amb el pacient adormit.....	25
2.1. Hipòtesis.....	25
2.2. Neurocirurgia amb el pacient despert.....	26
2.3. Neurocirurgia amb el pacient adormit.....	32
2.4. Resultats i discussió.....	36
IV. CONCLUSIONS.....	43



V. AGRAÏMENTS.....	45
VI. BIBLIOGRAFIA.....	46
VII. FIGURES.....	49



I. INTRODUCCIÓ

Des de petita, sempre he estat una nena molt curiosa amb el que passava al meu voltant. El tema de les intel·ligències, les habilitats cognitives i la distribució del cervell, el que avui sé que es coneix com a neuropsicologia, ha sigut un tòpic que sempre ha estat present a la meua vida i que em despertava un gran interès, però no va ser fins als deu anys, quan el meu avi va patir un ictus, que una gran part de la meua curiositat es va centrar a entendre què passa en aquest òrgan tan fascinant com és el cervell i a fer-ho des d'un punt de vista més mèdic.

Uns anys després, a primer de batxillerat, em va arribar l'oportunitat de participar en un programa de la fundació La Pedrera, Joves per la Medicina. Gràcies a aquest, vaig poder viure l'experiència en primera persona del que era la neurologia i em va obrir la porta a un nou àmbit, la cirurgia. Em va fascinar tant que, quan vaig haver d'escollir el tema del treball de recerca, vaig decidir ajuntar les dues especialitats mèdiques i centrar-me en les tècniques neuroquirúrgiques que existien.

El programa de la fundació no només em va ajudar a conèixer i viure la medicina des de dins, també em va aportar molts contactes que han sigut clau a l'hora de realitzar aquest treball.

Algun cop havia sentit parlar de les neurocirurgies amb el pacient despert, però mai havia valorat que fos una possibilitat poder estar a dins de quiròfan veient-la en directe. Per aquest motiu, quan una de les anestesistes que vaig conèixer a Bellvitge em va proposar fer una comparació entre la neurocirurgia amb el pacient adormit i amb el pacient despert em va semblar el tema perfecte pel meu treball de recerca, ja que no només era del meu interès, sinó que també podia ajudar amb el tercer Objectiu de Desenvolupament Sostenible, Salut i benestar, donant a conèixer aquest procediment tan important i tan poc conegut, per tant, tan poc realitzat.

Així doncs, aquest treball intenta comparar una cirurgia amb el pacient despert i una amb el pacient adormit i respondre a la pregunta: **Què implica el nivell de consciència del pacient en una neurocirurgia?**

L'estudi comença amb una part teòrica imprescindible per a entendre com és i com funciona el cervell i quines tècniques existeixen avui dia. Com la diferència primordial entre les dues cirurgies és el nivell de consciència del pacient, també he fet una investigació bibliogràfica sobre l'anestèsia, per a poder indagar una mica més en aquest aspecte. A més, he realitzat una dissecció de l'encèfal d'un porc al laboratori de l'institut, per a poder conèixer millor la teoria estudiada. Posteriorment, he pogut estar present a



una operació de cada tipus i he pogut comparar de forma pràctica les característiques principals d'ambdues.

Per a poder realitzar aquest treball, em vaig proposar els següents objectius:

1. Definir l'anatomia de l'encèfal a nivell microscòpic i macroscòpic.
2. Entendre la fisiologia del cervell.
3. Estudiar els tipus d'anestèsia existents i els seus mecanismes d'acció
4. Conèixer les diferents tècniques neuroquirúrgiques.
5. Identificar les estructures neuronals a l'encèfal d'un porc.
6. Comparar una cirurgia amb el pacient adormit i una amb el pacient despert.

II. MARC TEÒRIC

Per a iniciar el meu treball havia de tenir clars una sèrie de conceptes teòrics, bàsics per entendre com funciona l'encèfal i les neurocirurgies, així com saber quina implicació té l'anestèsia al cervell, per a poder procedir després a comprendre la part pràctica del treball.

1. L'encèfal

L'encèfal és l'òrgan que es troba a dins del crani, forma part del sistema nerviós central (SNC) i està format pel cervell, el cerebel i el tronc encefàlic: - El cervell és la regió més gran. S'encarrega de

les funcions sensorials, cognitives i els moviments voluntaris. - El cerebel se situa a la part inferior del crani i controla la motricitat fina, l'equilibri i la postura. - El tronc encefàlic connecta l'encèfal amb la

medulla espinal. És la unitat encarregada ara la respiració, la freqüència cardíaca o els reflexos.

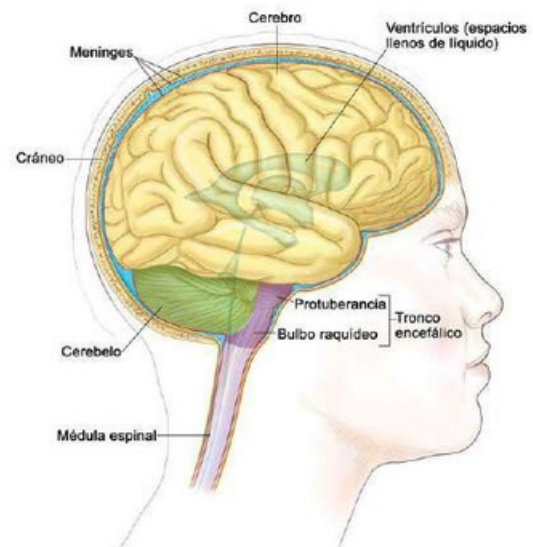


Figura 1. L'encèfal

L'encèfal està recobert per tres meninges, que són membranes que el protegeixen, la piamàter, l'aracnoidal i la duramàter, que és la més externa i forta. A més, està format principalment per dos tipus de cèl·lules: les glials, que són les més abundants, i les neurones, que són la unitat bàsica del sistema. Aquestes classes de cèl·lules són morfològicament i fisiològicament diferents, però depenen les unes de les altres per a un correcte funcionament de l'òrgan. Mentre les cèl·lules glials s'encarreguen de l'estructura i la protecció del sistema nerviós com ara les cèl·lules de Schwann o els oligodendròcits, que proporcionen la capa de mielina que protegeix a les neurones del sistema nerviós perifèric i central respectivament, les neurones s'encarreguen de rebre, processar i transmetre informació en forma de senyals elèctrics, coneguts com a impulsos nerviosos.

1.1. Anatomia

Podem explicar l'anatomia de l'encèfal des de dos punts de vista, un a nivell més microscòpic i un altre a escala macroscòpica.

1.1.1. Neurones

Microscòpicament, hem de començar parlant de les neurones, les cèl·lules principals del sistema nerviós.

Hi ha diferents tipus, però en general podem dir que es componen per:

- El **soma**, o cos cel·lular, que conté el nucli, i la resta d'òrgànuls, com ara els ribosomes, els mitocondris, el reticle endoplasmàtic, etc. Té la funció d'integrar els impulsos nerviosos i enviar-los a l'axó. Forma la matèria grisa (Fig. 3) i es troba a la part externa de l'encèfal i a la part interna de la medul·la. Les **dendrites** són
- ramificacions procedents del soma i són les encarregades de rebre la informació d'altres neurones. L'**axó** és la ramificació més llarga i és per on es transmeten els
- senyals nerviosos. Algunes neurones tenen l'axó recobert de **beines de mielina**, que acceleren la transmissió nerviosa. Forma la substància blanca (Fig. 3) i es troba a la part interna de l'encèfal i a la part externa de la medul·la (al contrari que el soma). Els **botons sinàptics** es troben al final de l'axó terminal i és on comença la sinapsi
- química.

Podem trobar dos tipus de neurones, les mielinitzades (tenen beines de mielina) i les no mielinitzades (no en tenen). Aquesta diferència influirà en la velocitat en què l'impuls es transmetrà per l'axó, però d'això parlaré més endavant.

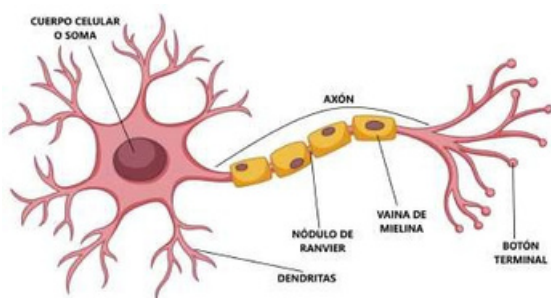


Figura 2. Anatomia d'una neurona

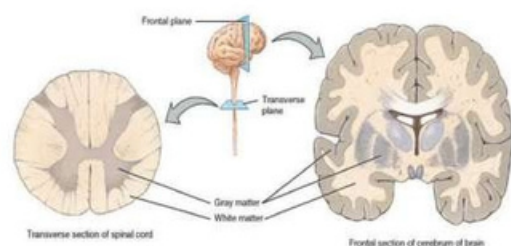


Figura 3. Substància grisa i blanca

1.1.2. Hemisferis i lòbuls

Quan parlem de l'encèfal des d'un punt de vista macroscòpic podem observar que el cervell, la part més gran, està dividit en dues meitats simètriques anomenades hemisferis. Estan separats per una fissura anomenada fissura longitudinal interhemisfèrica del cervell, a on se situa el cos callós, que connecta ambdós hemisferis.

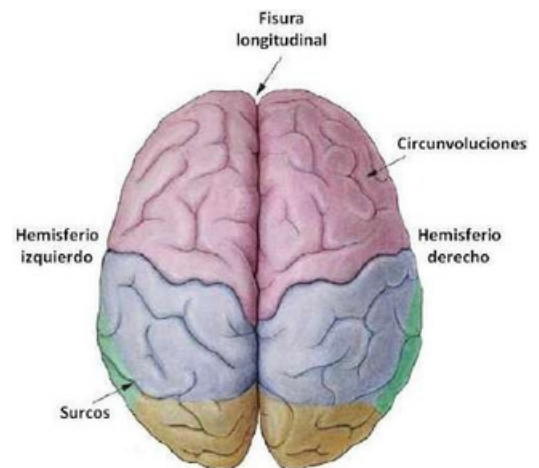


Figura 4. Cervell (visió superior)

Encara que anatòmicament els dos hemisferis siguin simètrics, no fan el mateix. Als anys seixanta, Roger Sperry va exposar que això és degut al que coneixem com a lateralització de funcions, és a dir, la tendència d'algunes funcions a expressar-se a un hemisferi o a l'altre.

Generalment, les tasques relacionades amb el llenguatge, l'anàlisi i la lògica es processen a l'hemisferi esquerre, mentre que la consciència espacial, el reconeixement facial i les habilitats artístiques són característics del dret. Pel que fa a l'habilitat motora, l'hemisferi dret controla la part esquerra del cos i viceversa.

Però això no vol dir que els hemisferis actuïn de forma aïllada, o que, com molts cops hem pogut escoltar, n'hi hagi un de predominant.

Cadascú dels hemisferis es divideix en zones més petites, anomenades lòbuls, que tenen funcions molt característiques i es delimiten mitjançant solcs. Així i tot, el cervell actua de forma global, mitjançant connexions, és a dir, els lòbuls no són àrees tancades, sinó que es comuniquen entre ells.

Podem destacar quatre lòbuls principals, segons la seva posició i funció, i els anomenem amb el mateix nom que els ossos del crani que se situen a sobre.

1. El **lòbul frontal** és l'encarregat de generar una resposta motora adequada, prendre decisions i transformar els pensaments en paraules.

Comprèn l'escorça¹ prefrontal, que té la funció de planificar, reflexionar i interaccionar amb la societat; l'escorça motora primària, junt amb la circumvolució² precentral, que condueix les neurones motores provinents de la medul·la espinal; i l'àrea de Broca, reconeguda per encarregar-se de l'expressió oral.

¹ Escorça cerebral: Substància grisa, formada pels cossos cel·lulars de les neurones.

² Circumvolucions: Elevacions de la superfície del cervell amb la finalitat d'augmentar-la.



Un exemple de la utilitat d'aquest lòbul es duu a terme quan agafem de forma diferent una cullera que una tassa. Amb l'escorça prefrontal processem quin tipus d'utensili volem agafar i amb l'escorça motora enviem la resposta correcta. També l'utilitzem per a generar respostes orals.

2. El **lòbul parietal** s'encarrega de la informació sensorial tant interoceptiva (provinent de l'organisme) com exteroceptiva (provinent de l'exterior). Està format per l'escorça somatosensorial primària i la circumvolució postcentral, que reben la informació sensorial des de l'exterior; i l'àrea d'associació somatosensorial, que genera un model tridimensional del món que envolta a l'organisme.

Per exemple, es desenvolupa quan toquem una pilota amb els ulls tancats.

L'escorça somatosensorial rep característiques com ara la mida, la forma, la textura, la duresa... gràcies als receptors del tacte i l'àrea d'associació somatosensorial genera una imatge en 3D de com pot ser aquest objecte.

3. El **lòbul occipital** s'encarrega principalment de la visió, gràcies a l'escorça visual primària, que rep la informació dels fotoreceptors i està dividida per la cissura calcanaria; i a l'àrea d'associació visual, que processa aquesta informació, a més, també en forma part l'àrea de comprensió lectora. Un cop elaborada aquesta informació, transcendeix al lòbul parietal, per a afegir-la al model generat per l'àrea d'associació somatosensorial.

Relacionant-lo amb l'anterior cas, un exemple d'aquest és quan veiem aquesta mateixa pilota. L'escorça visual rep característiques com ara el color, la textura visual... i l'àrea d'associació visual processa aquesta informació. Després passa al lòbul parietal per a afegir-la a la imatge 3D que ja teníem de la pilota.

4. El **lòbul temporal** és l'encarregat de l'audició. Es compon per l'escorça auditiva primària, que processa els sons, i l'àrea d'associació auditiva, que s'encarrega de la informació superior d'aquest so, com ara el to, el volum, la localització del soroll, etc.

També hi forma part l'àrea de parla sensorial de Wernicke, que s'encarrega de la comprensió oral.

Un exemple s'executa quan escoltem a algú parlar. L'escorça auditiva processa el so i l'àrea d'associació auditiva localitza de qui és i d'on ve, però és l'àrea de parla sensorial de Wernicke qui s'encarrega de donar sentit a què està dient i comprendre la informació que estem rebent.

A més, a la part interna del cervell podem trobar dos lòbuls més.

5. El **lòbul ínsula** es localitza al fons del solc lateral, a sota d'on s'ajunten el lòbul frontal, parietal i lateral. Les seves funcions principals estan relacionades amb el desig, l'antull i les addiccions. A més, connecta amb altres estructures com el neocòrtex, els nuclis basals, el tàlem i el sistema límbic, i té una gran relació amb els trastorns psiquiàtrics.

6. El **lòbul límbic** envolta l'hipotàlem i el telencèfal, i està relacionat amb la memòria, les emocions i els instints (com ara la gana, l'instint maternal o el desig sexual). Està format per l'escorça orbito frontal, que percep les olors i crea records; i l'hipocamp, que s'encarrega de la memòria a llarg termini.

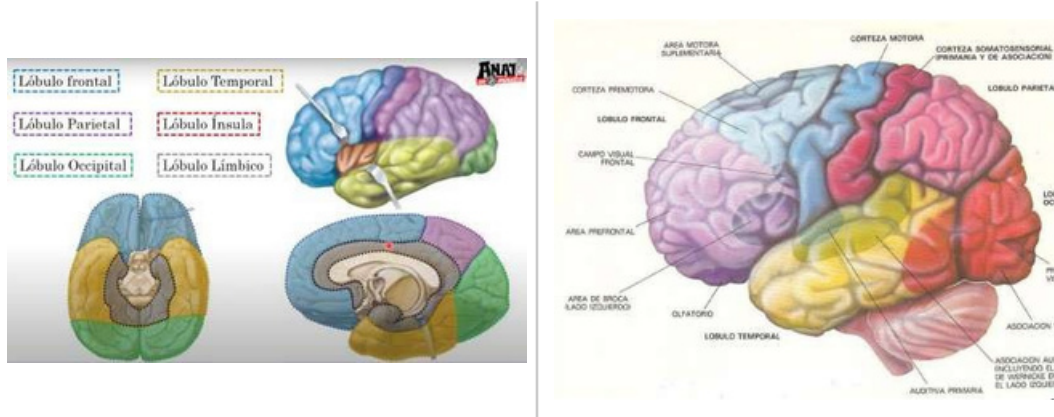


Figura 5. Lòbuls i àrees corticals

1.1.3. Cos callós

A l'apartat anterior, he introduït el concepte del cos callós, una estructura feta de fibres de substància blanca, que se situa a la profunditat del cervell i s'encarrega de comunicar els dos hemisferis, però ara parlarem més detalladament d'ell.

Està dividit en quatre parts, depenent de la seva posició anatòmica i dels lòbuls que connecten:

- El **bec o rostrum** està situat al davant del cos callós i connecta l'escorça cerebral amb el quiasma òptic³
- El **tronc** és la secció central més llarga i assoleix tota la superfície dels hemisferis. Connecta el sistema límbic, que s'encarrega de les emocions i els instints, i els lòbuls temporals.
- El **rodet** és la part final del cos callós i enllaça els lòbuls occipitals.

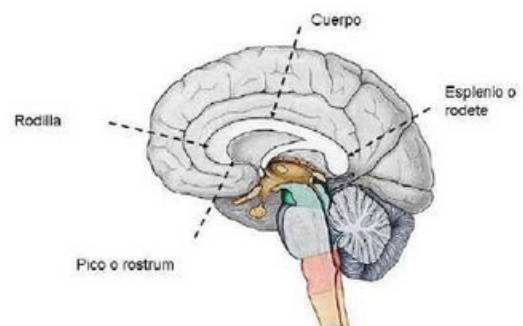


Figura 6. Cos callós

³ Quiasma òptic: Zona del cervell a on es connecten els nervis òptics dels dos ulls.

1.1.4 Sinus venosos dural

A part dels lòbuls i el cos callós, l'encèfal té una gran quantitat de vasos sanguinis, ja que, igual que la resta d'òrgans, necessita oxigen i nutrients per a funcionar. Aquests són transportats per la sang mitjançant un sistema de circulació que consta, principalment, de dos tipus de vasos sanguinis. Les artèries són les encarregades de portar la sang oxigenada des del cor fins a la resta d'òrgans. Per altra banda, les venes s'encarreguen de recol·lectar la sang sense oxigen per a tornar-la al cor.

Al cervell, però, també podem trobar un altre tipus de vas sanguini, els sinus venosos.

Un sinus venós és un conducte venós que, gràcies a la seva forma de canal i a les parets tan primes que té, recol·lecta sang de la resta d'òrgans. A més, es caracteritzen per ser unidireccionals, ja que no té vàlvules.

Els sinus duramàter s'anomenen sinus



durals, i s'encarreguen de portar la sang del cervell fins a les venes jugulars internes.

Aquests són: el sinus sagital superior i inferior, el sinus transvers, el sinus recte, el sinus sigmoide i el sinus cavernós.

1.2. Fisiologia

Ara que tenim clar com és l'encèfal, ens centrarem en com funciona aquest òrgan, un dels òrgans més complexos del nostre organisme, ja que s'encarrega de transportar la informació per tot el cos. Perquè això passi, s'ha de produir un procés que podem dividir en dues parts:

1.2.1. Conducció nerviosa

La membrana plasmàtica de les nostres neurones està formada per una bicapa lipídica, a la que està adherida una proteïna transmembrana anomenada canal de sodi. A l'exterior de la cèl·lula predominen els ions de sodi (Na^+) i a l'interior trobem ions de potassi (K^+), és a dir, la cèl·lula està polaritzada.

1. Quan es genera un estímul es crea un potencial d'acció, el canal de sodi s'obre, deixant entrar de forma massiva ions de sodi (Na^+) a l'espai intracel·lular. Això s'anomena despolarització i carrega positivament la membrana.

2. Després, la cèl·lula passa per un període refractari, a on el canal de sodi es torna a tancar i no existeix cap intercanvi de càrregues. Posteriorment, el potencial d'acció
3. avança per l'axó i la zona anterior es repolaritza. És a dir, el potassi comença a sortir de la cèl·lula, s'obre el canal de sodi i deixa sortir el sodi, fent que el potassi entri de nou i tornant a la fase inicial del procés. Quan això passa, les àrees contigües a la zona despolaritzada comencen el procés de nou, i així es constitueix l'impuls
4. nerviós.

Depenent de si la neurona té beines de mielina, estarem davant d'una conducció saltatòria (Fig. 9) o no. Quan trobem fibres mielinitzades, el potencial d'acció només es du a terme a les zones que no estan recobertes per la mielina, "saltant-se" gran part de la cèl·lula i accelerant així aquest procés.

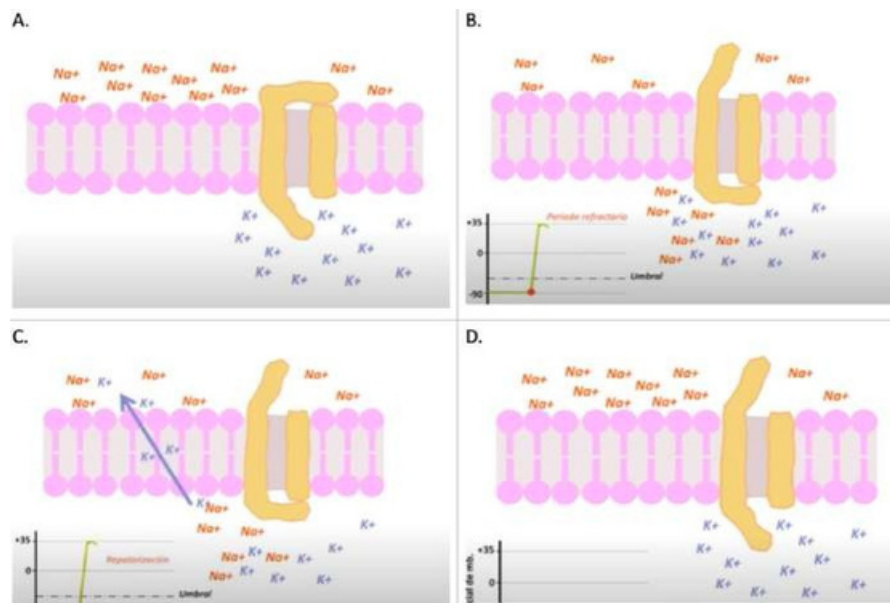


Figura 8. Conducció nerviosa.

- A.** Bicapa lipídica amb canal de sodi i ions. **B.** Fase de despolarització. **C.** Període refractari. **D.** Repolarització

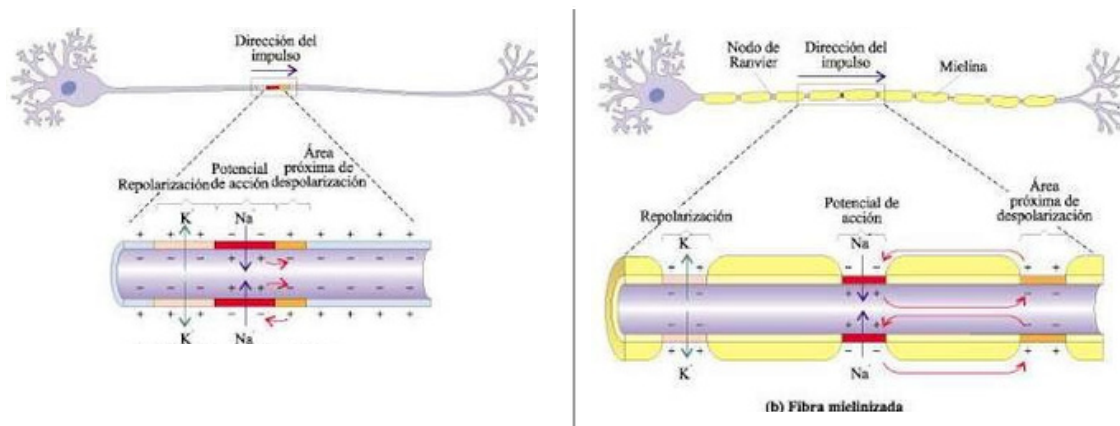


Figura 9. Impuls nerviós en axons mielinitzats i no mielinitzats

1.2.2. Sinapsi

Un cop l'impuls nerviós arriba als botons sinàptics, comença la transmissió entre neurones, que poden, o no, estar en contacte, produint-se un fenomen anomenat sinapsi. La sinapsi nerviosa pot ser de dos tipus: elèctrica o química. Encara que habitualment parlarem de sinapsi química, ja que és la més comuna, la sinapsi elèctrica és més ràpida.

A la **sinapsi elèctrica** les cèl·lules estan unides per canals de cations, per on passen els ions i despolaritzen la següent cèl·lula. Per aquest motiu la transmissió és ràpida, però també estàndard (no pot convertir senyals excitadores en inhibidores), i només serveix per a senyals senzills i a curt termini.

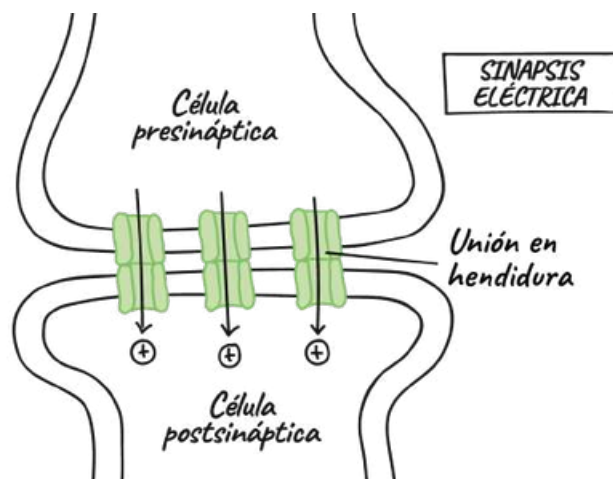


Figura 10. Sinapsi elèctrica

Per altra banda, la **sinapsi química** comença al botó sinàptic de la cèl·lula presinàptica (l'emissora). El potencial d'acció obre els canals de calci i desencadena l'entrada d'ions de calci (Ca^{2+}). Aquests àtoms provocaran la fusió de la membrana plasmàtica amb les vesícules sinàptiques, que estan plenes de neurotransmissors que després s'alliberaran a

l'espai sinàptic. Aquests neurotransmissors s'uniran a les proteïnes receptores específiques de la cèl·lula postsinàptica (la receptora) i això farà que s'obrin els canals de cations i es despolaritzi la membrana plasmàtica de la cèl·lula postsinàptica. Aquesta despolarització dispara un potencial d'acció a la neurona postsinàptica, que desencadena un nou cicle de conducció nerviosa.

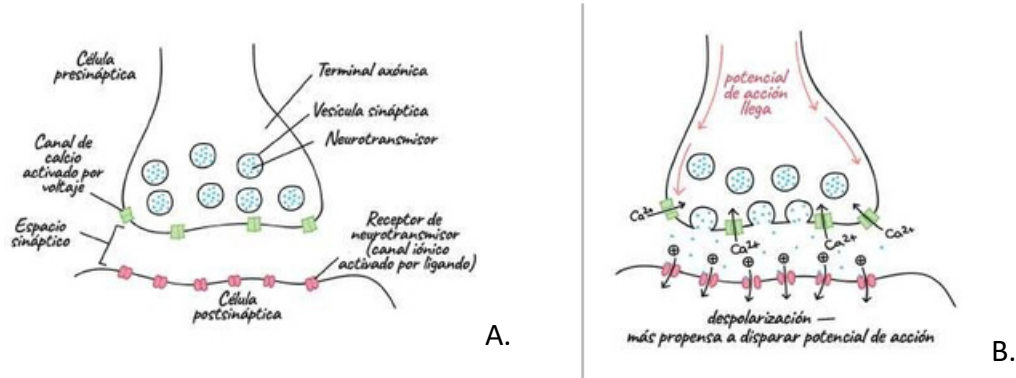


Figura 11. Sinapsi química
(A. Parts. B. Procés.)

Els **neurotransmissors** dels quals parlàvem anteriorment són substàncies químiques que segreguen les neurones. Aquestes envien **senyals excitadors o inhibidors** perquè l'impuls elèctric es generi o no ho faci a la següent neurona. I aquesta acció també depèn del receptor sobre el qual actuen. També existeixen neurotransmissors modulators, tenen una acció més lenta, però poden afectar a més d'una neurona alhora.

Depenent de la seva naturalesa química, diferenciem sis grans blocs:

- D'**aminoàcids** en trobem dos:
 - L'**àcid gamma-aminobutíric (GABA)**, que és el principal neurotransmissor inhibitori i actua a la visió, el moviment i el control de l'ansietat.
 - El **glutamat**, que és el més abundant i participa en la memòria i l'aprenentatge. És un neurotransmissor excitatòri.
- De **pèptids** hi ha dos més:
 - L'**oxitocina**, que és una hormona que actua de neurotransmissor i és clau a les relacions i el reconeixement socials i la reproducció.
 - Les **endorfines**, que inhibeixen la sensació de dolor i promouen el sentiment d'eufòria.
- De **minoamines** en trobem cinc:
 - La **epinefrina** (o adrenalina), que actua com a hormona de l'estrès i com a neurotransmissor a la sinapsi.
 - La **norepinefrina**, que és un neurotransmissor excitador que està involucrat a l'estat d'alerta, mobilitzant el cos i el cervell.



- Les **histamines**, que actua al cervell i a la medul·la espinal, a les reaccions al·lèrgiques com a part de la resposta del sistema immunitari.
- La **dopamina**, que és el principal encarregat de la motivació i el benestar. També participa en la coordinació del moviment.
- La **serotonina**, que és una hormona i neurotransmissor que intervé a la regulació de la son, l'estat d'ànim, l'ansietat, la sexualitat i la gana.
- De **purines** hi ha dos:
 - L'**adenosina**, que actua de neuromodulador, rebaixant l'excitació i millorant la son.
 - El **trifosfat d'adenosina**, que actua al control autònom, a la transducció sensorial i a la comunicació entre cèl·lules glials.
- De **gasotransmissors** en trobem dos més:
 - L'**òxid nítric**, que relaxa els músculs perquè els vasos sanguinis es dilatin i arribi el flux sanguini a tot el cos.
 - El **monòxid de carboni**, que en grans quantitats pot ser tòxic, també és un neurotransmissor que modula la resposta inflamatòria de l'organisme.
- D'**acetilcolines** només en tenim una:
 - L'**acetilcolina**, que és el neurotransmissor principal de les neurones motores, a més d'intervenir a la memòria i l'aprenentatge.

2. Anestèsia

L'anestèsia és una especialitat mèdica que té com a finalitat la pèrdua de sensibilitat del pacient aconseguida mitjançant una combinació de fàrmacs.

Històricament, no va ser fins a finals de 1844, als Estats Units, quan Horace Wells, un dentista molt interessat en les innovacions mèdiques, va començar a utilitzar aquesta tècnica. Es trobava a un espectacle on el showman Gardner Quincy Colton estava fent una demostració dels efectes de l'òxid nítric, un gas inhalatori, quan Quincy va patir un accident durant el xou i es va dislocar el turmell, però va continuar l'espectacle com si res hagués passat. Això va sorprendre Wells i el va portar a fer un experiment a la seva consulta l'endemà. El doctor va subministrar-se a si mateix una dosi d'òxid nítric (el gas de la rialla) i li va demanar a un company que li treies una dent. Com que no va sentir cap mena de dolor, Wells va començar a implantar-ho a la seva consulta. Quan finalment va voler mostrar el seu descobriment a una demostració a la Facultat de Medicina de Harvard, l'anestèsic no va funcionar (ja que el pacient patia de sobrepès i no se li va aplicar la dosi correcta). A causa d'això, Wells va perdre la seva credibilitat. Així i tot, un dels seus deixebles, William Morton, va continuar investigant i després de fer diversos experiments va presentar l'èter a una demostració a l'Hospital General de Massachusetts i va ser tot un èxit. Aquí va néixer el que avui dia coneixem com a anestèsia.



2.1. Tipus

Troblem dos tipus d'anestèsia, segons el grau d'inconsciència del pacient.

2.1.1. Anestèsia general

Els objectius de l'anestèsia general són:

- Sedació
- Pèrdua de consciència
- Amnèsia retrògrada i anterògrada (des de minuts abans de la inducció anestèsica fins minuts després de l'edducció)
- Analgèsia (no dolor)
- Control del SNA (Sistema Nerviós Autònom)
- Relaxació neuromuscular

En relaxar tot el sistema muscular, també relaxem el sistema respiratori i alhora controlem el sistema nerviós autònom, que s'encarrega dels impulsos involuntaris, com ara la respiració. Per tant, és necessari que el pacient estigui connectat a un sistema de ventilació extern i amb un control invasiu de la via aèria, ja sigui mitjançant un tub endotraqueal o algun dispositiu supraglòtic, com ara la mascareta laríngia.

De vegades, quan la cirurgia és curta o menys invasiva, no és necessària una anestèsia completa, i es fa el que anomenem una sedació. La diferència principal és que no es relaxa la musculatura, per tant, s'evita la intubació del pacient.

L'anestèsia general consta de tres fases.

- Fase d'inducció
- Fase de manteniment
- Fase d'edducció

Existeixen dos tipus d'anestèsia general, segons la via d'administració.

Inhalatoris

Els fàrmacs que s'utilitzen com a anestèsics inhalatoris són aquells derivats dels elements halogenats (especialment del Fluor). Són líquids volàtils i amb una capacitat analgèsica molt baixa, per tant, han d'anar combinats amb un altre tipus d'anestèsia, com ara la local. El seu mecanisme d'acció es basa a augmentar la resposta inhibidora del GABA i disminuir la resposta excitadora del glucamà, fent així que no hi hagi excitabilitat neuronal. A més, redueixen el flux sanguini cerebral, la pressió intracranial i el metabolisme cerebral. És a dir, redueixen l'activitat cerebral. El principal fàrmac usat a quiròfan és el Sevofluran.

Algunes de les complicacions més habituals d'aquest tipus d'anestèsia són:

- La Insuficiència hepàtica
- Els vòmits
- Cefalea

Aquests fàrmacs també poden arribar a causar hipertèrmia maligna, però és una complicació força estranya. (Rüffert, H, et al, en nom de l'European Malignant Hyperthermia Group, 2021)

Intravenosos

Aquest tipus d'anestèsics són els més utilitzats avui dia. En distingim tres de principals: el Propofol, la Ketamina i les Benzodiacepines. A continuació els compararem per veure les seves diferències i similituds.

Taula 1. Comparació de fàrmacs intravenosos.

	Propofol (alquifenol)	Ketamina (fenciclidina)	Benzodiacepines (midazolam)
Mecanisme d'acció	Augmenta l'activitat GABA	Augmenta l'activitat GABA. Estimula receptors opioïdes que donen analgesia	Augmenta l'activitat GABA
Duració	Triga de 15 a 45 segons a fer efecte i dura de 10 a 60 minuts.	Triga de 30 a 60 segons a fer efecte i dura de 12 a 25 minuts.	Triga de 15 a 45 segons a fer efecte i dura de 15 a 20 minuts.
Efectes	- Sistema nerviós central: - Sedació - NO analgesia - Disminueix la pressió intracranial - Antiemètic (No nàusees) Cardiovascular: - Disminueix la pressió arterial	- Sistema nerviós central: - Estat dissociatiu (al·lucinacions) - Amnèsia i sedació - Analgesia - Augmenta la pressió intracranial - <i>Contraindicat a pacients amb</i>	- Sistema nerviós central: - Amnèsia - Anticonvulsiu - Relaxant muscular - NO analgesia - Cardiovascular: - Disminueix la despesa cardíaca

	freqüència cardíaca - Disminueix la pressió arterial	hipertensió <i>intracranial.</i> - Cardiovascular: - Augmenta la freqüència cardíaca - Eleva la pressió arterial - <i>Contraindicat a pacients amb hipertensió arterial</i> - Respiratori: - Preserva els reflexos dels músculs laringis - Dilata els bronquis	- Disminueix la pressió arterial - Respiratori: - Disminueix la freqüència respiratòria - Deprimeix el diafragma (Depressió respiratòria)
Efectes secundaris	- Pot provocar necrosis dels teixits	- Agitació psicomotriu - Augment de la l'extubació pressió intraocular	- Retarda el despertar i

Normalment, els anestesiòlegs utilitzen aquests fàrmacs en petites dosis i els barregen amb altres analgèsics, com ara la morfina o el **Fentanil**, creant així el que anomenem el “còctel perfecte”. A més, quan la cirurgia requereix una intubació completa, normalment es fa servir també un fàrmac anomenat **Rocuronil**, que actua de relaxant muscular.

2.1.2. Anestesia local o locoregional

Quan la intervenció que realitzarem no necessita que el pacient estigui completament sedat, utilitzem l'anestèsia local, que té com a objectiu bloquejar el dolor d'una zona concreta de l'organisme. Això ho fa bloquejant de forma temporal els canals de sodi de les membranes neuronals. Les molècules del fàrmac que no s'uneixen als protons que hi ha a l'exterior de la cèl·lula són capaces de travessar la bicapa lipídica. A dins, fan el procés contrari. S'uneixen als protons intracel·lulars i tanquen el canal de sodi, de tal forma que eviten la conducció nerviosa.



Els efectes que té sobre el pacient són:

1. Primer eleva la temperatura de la zona afectada i dilata els vasos sanguinis d'aquesta.
2. Després bloqueja el dolor.
3. A més, també bloqueja la propiocepció (sensació de tacte i pressió).
4. I, per últim, bloqueja la motricitat.

Existeixen dos tipus d'anestèsics locals, segons la seva composició química.

- Els **èsters** són molècules inestables i, per tant, alliberen molts metabòlits al plasma, fent que sigui aquí a on es metabolitzin. Aquest tipus cada cop és menys freqüent, degut a la curta duració (60 minuts aproximadament) i per produir molts casos d'al·lèrgia. Es reserva especialment per a usos dermatològics. Dins d'aquest grup de fàrmacs, el més utilitzat és la **procaïna**, encara que la cocaïna també es troba en aquest grup.

- Per altra banda, les **amides** són més estables, per tant, necessiten el fetge per a poder-se degradar. Són les més usades com a anestèsics locals, ja que tenen una duració aproximada de 120 minuts. Un dels fàrmacs més utilitzats és la **Ropivacaina**, que té efectes tant anestèsics com analgèsics, encara que també s'utilitza la **Bupivacaina combinada amb adrenalina**.

3. Neurocirurgia

A Espanya les intervencions quirúrgiques de l'encèfal, fins fa cinc anys, es feien amb una tècnica molt invasiva, que requeria craniotomia. En 2019, a l'Hospital del Mar, es va dur a terme la primera neurocirurgia làser a Espanya, com a forma d'extreure una lesió a l'encèfal de la forma menys invasiva possible. Actualment, les dues tècniques conviuen, encara que la invasiva continua sent la més habitual. A més, en ambdós casos, existeixen eines que ajuden al cirurgià.

3.1. Tècniques neuroquirúrgiques

Tècnica habitual

Com he comentat anteriorment, avui dia la tècnica més habitual per fer la resecció d'una lesió a l'encèfal continua sent molt invasiva. Per a realitzar-la amb èxit, els neurocirurgians segueixen unes pautes molt marcades.

El primer que es fa és col·locar al pacient en la postura adient, tant el cap com el cos, normalment en decúbit supí, és a dir, boca dalt, però això pot variar depenent de l'operació.



Després es fixa el cap a la taula amb un craniòstat i comença la neuronavegació, una eina que explicaré posteriorment. Un cop realitzada, es marca amb un retolador per on es tallarà la pell i arriba el moment d'esterilitzar-se, primer el cirurgià, més tard l'espai quirúrgic i, per acabar, el cap del pacient.

Amb un bisturí fred, es talla la pell i el múscul. Després, es realitzen quatre "forats" i es talla l'os amb una serra. Amb un elevador se separa la duramàter del crani i posteriorment amb l'ajut d'unes pinces hemostàtiques de rammi i unes tisores en punta roma, es tallen la resta de meninges. Un cop el cervell està exposat, es realitza una corticectomia, és a dir, es fa un tall a l'escorça cerebral per a tindre una major facilitat a l'hora d'extreure la lesió amb l'ajuda d'un aspirador, amb electrocoagulació bipolar o amb CUSA, un aspirador quirúrgic ultrasònic.

Una vegada ressecada la lesió, el penúltim pas és l'hemostàsia, és a dir, netejar la zona operada i assegurar-se que res sagna. Després, i en últim lloc, serà el moment de tancar amb punts, ja siguin reabsorbibles, quan estan sota la pell, o amb grapes, quan es posen a la superfície. (Raúl Sánchez, resident de neurologia de Bellvitge)

Ablació per làser

La tècnica més innovadora i menys invasiva que existeix per a la resecció de lesions cerebrals és l'ablació per làser.

Segons el cap de la Unitat de neuroradiologia de l'Hospital del Mar, Jaume Capellades, aquesta tècnica permet *"acceder a lesiones de menos de tres centímetros de diámetro en territorios del cerebro que son de difícil acceso mediante la cirugía convencional"*. S'introdueix una fibra òptica amb llum làser per una petita incisió al crani i, segons el Dr. Pedro Roldán, de l'Hospital Clínic de Barcelona, funciona *"Por medio de una fuente de energía láser y a través de estas fibras es posible destruir el tejido enfermo mediante el recalentamiento de la zona enferma"*

3.2 Eines neuroquirúrgiques

Independentment de la tècnica utilitzada, hi ha procediments que contribueixen a la bona realització de la cirurgia i ajuden el cirurgià a assegurar-se de la seva posició a l'encèfal i la implicació que tindria per l'òrgan perjudicar aquella zona.

Neuronavegació

Aquest sistema s'utilitza en la gran majoria de les neurocirurgies, ja que és una gran eina que serveix per a localitzar la zona afectada.

Consisteix en, utilitzant una tecnologia semblant a la del GPS, ubicar un lloc específic del sistema nerviós a la tomografia computaritzada (TAC). És a dir, relaciona la imatge en 3D amb l'anatomia del pacient en temps real. A les neurocirurgies de resecció tumoral, el teixit tumoral es tenyeix i es veu en tres dimensions. A més els teixits més importants al voltant del tumor s'acolorixen. D'aquesta forma, podem diferenciar el teixit sa de l'afectat.

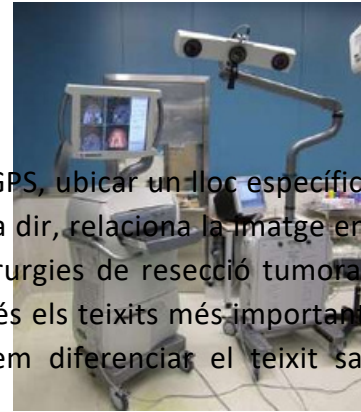


Figura 12. Neuronavegador

Mapping o mapatge

A l'hora de realitzar una neurocirurgia, és molt important tenir en compte la posició anatòmica de la lesió. Depenent de la zona de l'òrgan afectada, serà necessari utilitzar el mapping o no.

Es basa a proporcionar al pacient un petit corrent elèctric a l'escorça, que inhabilita aquelles neurones durant el temps que duri l'estimulació de la zona. D'aquesta manera poden veure si l'afectació d'aquell punt té efectes físics o no els té i valorar si es pot extreure.

Habitualment s'utilitza quan el tumor està afectant la capacitat de moviment o del llenguatge del pacient. Quan el tumor es troba al lòbul frontal de l'hemisferi esquerre, normalment es fa ús d'aquesta tècnica amb el pacient despert, per a poder avaluar l'afectació a la parla o al moviment.

Hi ha dues formes de realitzar aquesta pràctica:

- El **mapatge cortical**, a on s'utilitzen uns elèctrodes que es posen a l'escorça cerebral i envien senyals que el neurofisiòleg segueix. En el moment que el neurocirurgià comença a fer malbé la via corticoespinal, aquests senyals deixen d'arribar i d'aquesta manera sap que ha de deixar d'operar. L'**estimulació subcortical**, que es
- realitza amb un estimulador petit, en forma de llapis, amb el que a mesura que es va operant, vas estimulant algunes zones del cervell i, segons l'amplitud, et diu si estàs a prop de la via corticoespinal.



III. MARC APLICAT

Un cop assolits tots els conceptes del marc teòric, i amb la finalitat de donar resposta a la meua pregunta, he dut a terme el següent marc aplicat, que consta de dues parts. Per una banda, he disseccionat l'encèfal d'un porc al laboratori de l'institut, per a poder observar les estructures neurològiques. Per altra banda, he tingut el privilegi de poder assistir a dues neurocirurgies a l'hospital de Bellvitge de Barcelona. Allà he pogut entrar a quiròfan i viure en directe una neurocirurgia de resecció tumoral amb el pacient despert i una altra de resecció d'una malformació arteriovenosa amb el pacient adormit. Ambdues s'han fet mitjançant la tècnica neuroquirúrgica habitual i amb neuronavegació, però a la primera es va utilitzar el mapping i a la segona no.

1. Identificació d'estructures neurològiques a l'encèfal del porc

Per a poder veure físicament l'anatomia exposada al marc teòric, he realitzat una dissecció de l'encèfal d'un porc, ja que la majoria de les parts de l'encèfal humà es poden observar en altres mamífers.

1.1. Objectius

A l'hora de fer-ho m'he proposat els següents objectius:

1. Identificar a l'encèfal de l'animal les estructures generals mencionades anteriorment
2. Identificar els diferents lòbuls cerebrals a l'òrgan del mamífer

1.2. Material

El material que he utilitzat ha estat el següent:

- Encèfal de porc
- Safata de dissecció
- Guants
- Pinces de laboratori rectes
- Bisturí

1.3. Procediment

Per a realitzar aquest experiment, he anat identificant les diferents estructures a mesura que anava obrint l'encèfal.

1. S'obre el crani del porc intentant conservar l'encèfal intacte.

Per a fer-ho, es fa un tall longitudinal a l'os, sense arribar a l'òrgan i es separen les dues meitats amb compte.



Figura 13. Cap de porc



Figura 14. Cap de porc obert

2. Se separa l'encèfal del crani.

Amb unes pinces de laboratori, es separa l'òrgan de l'os i s'identifica la meninge duramàter. També es poden observar els vasos sanguinis més externs i les circumvolucions del cervell.

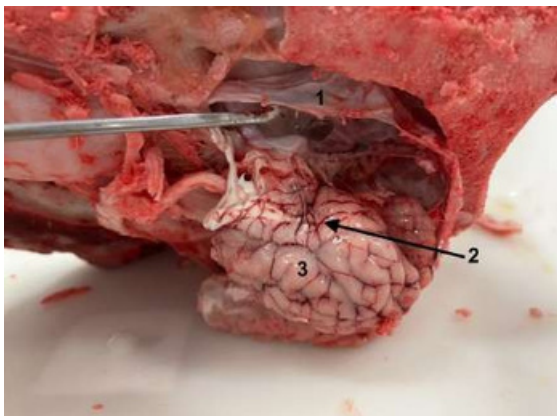


Figura 15. Meninges i cervell

1. Meninge duramàter
2. Vasos sanguinis
3. Circumvolucions del cervell

3. S'identifiquen les parts de l'òrgan vist des d'un punt de vista dorsal.

Un cop l'encèfal està a la safata, podem identificar les estructures principals. Podem diferenciar clarament les tres parts de l'encèfal (el cervell, el cerebel i el bulb raquidi) igual que la fissura interhemisfèrica, que separa els dos hemisferis.

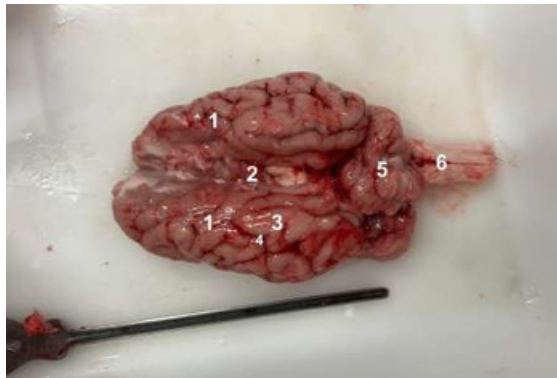


Figura 16. Vista frontal

1. Hemisferis del cervell
2. Fisura longitudinal interhemisfèrica
3. Circumvolucions
4. Solcs
5. Cerebel
6. Bulb raquidi

4. S'identifiquen les parts de l'òrgan vist des d'un punt de vista ventral.

Donem la volta a l'òrgan i procedim a analitzar-lo de forma ventral, identificant les parts més importants. Amb aquesta visió, veiem noves estructures com ara els peduncles cerebrals, els cossos mamil·lars o els bulbs olfactoris.

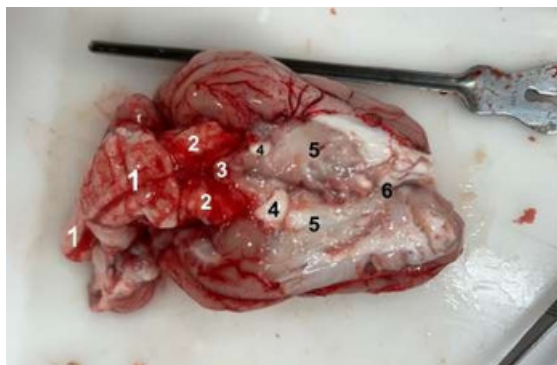


Figura 17. Vista ventral

1. Bulb raquidi
2. Peduncles cerebrals
3. Cossos mamil·lars
4. Bulbs olfactoris
5. Lòbuls de l'hipocamp
6. Fisura longitudinal interhemisfèrica

5. S'identifiquen els lòbuls del cervell del porc

Un cop tenim identificades les estructures generals, intentem assenyalar els diferents lòbuls, tant els que podem veure a la vista frontal com els de la vista lateral.

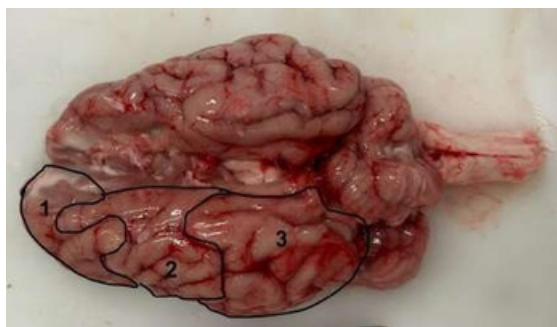
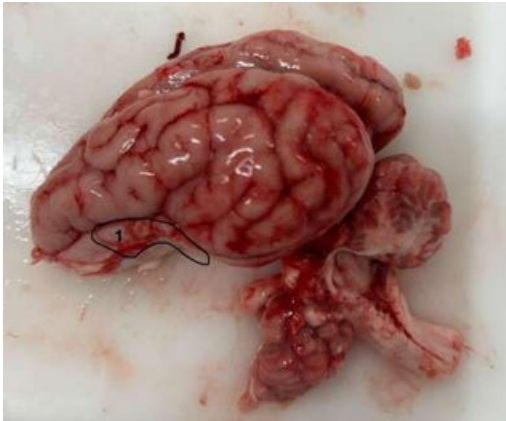


Figura 18. Lòbuls a la vista frontal

1. Lòbul occipital
2. Lòbul parietal
3. Lòbul frontal



1. Lòbul temporal

Figura 19. Lòbul a la vista lateral

1.4 Resultats i discussió

Finalment, amb aquest experiment he pogut complir completament el meu primer objectiu. He estat capaç d'identificar totes les estructures generals de l'encèfal humà a l'encèfal de l'animal. Per altra banda, el segon objectiu l'he pogut complir parcialment, ja que, encara que he estat capaç d'identificar molts dels lòbuls que coneixem, en ser l'òrgan d'un animal, no és cent per cent igual al dels humans, el que fa que sigui molt complicat predir amb exactitud la vorera dels lòbuls de l'escorça, igualment que trobar els lòbuls d'ínsula i límbic, que es troben a l'interior de l'òrgan. Així i tot, la pràctica m'ha estat molt útil per a poder assolir els coneixements previs de forma empírica.

2. Comparació d'una neurocirurgia amb el pacient despert i una amb el pacient adormit

Per portar a terme aquest estudi, he assistit a dues neurocirurgies i he pogut comparar com influeix la consciència del pacient, necessària segons la localització que té la lesió a l'encèfal, en alguns dels camps principals d'una neurocirurgia.

2.1. Hipòtesis

Per a la realització d'aquesta comparació m'he proposat les següents hipòtesis.

1. Potser la neurocirurgia amb el pacient despert serà més llarga.
2. Potser a la neurocirurgia amb el pacient despert hi haurà més personal.
3. Potser s'utilitzaran fàrmacs diferents a l'hora d'anestesiàr al pacient.
4. Potser la neurocirurgia amb el pacient despert és menys exitosa.

2.2. Neurocirurgia amb el pacient despert

Aquesta neurocirurgia va durar set hores i quart i es va practicar a l'hospital de Bellvitge.

Cas clínic

Un home de vint-i-dos anys amb episodis epilèptics durant els últims sis mesos. Treballa de programador.

Professionals

- Doctora anestesista Elena Campistol
- Resident d'anestèsia
- Neurocirurgià, el doctor Alejandro Fernández
- Adjunt de neurocirurgia
- Dues infermeres d'instrumental
- Dues infermeres de quiròfan
- Dues neuropsicòlogues
- Cinc estudiants de neuropsicologia, que van presenciar també l'operació

Objectiu

L'objectiu d'aquesta primera neurocirurgia és la resecció d'un glioma situat al lòbul frontal de l'hemisferi esquerre (Fig.20).

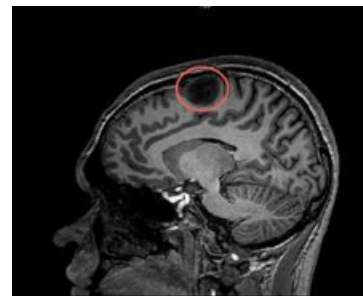


Figura 20. TAC preoperatori

Material

Vies	- Perifèrica Urinària - Catèter central - Zanetin
Fàrmacs	- Clorur sòdic 0,9% - Propofol - Fentanil - Ropivacaina - Suero fisiològic - Iode - BIS
Controls	- Mascareta laríngia - Electrocardiograma - Mascareta d'oxigen -
	- Craneostat - Bisturí per a incisió cutània - Elevador

Material quirúrgic	- Bisturí per a incisió de duram`ster - Cànula d'aspiració - Bisturí elèctric - Pinces de dissecció - Pinces hemostàtiques de rammi - Tisores en punta roma - Portaagulles - Separadors - Perforador - Serra - Sutures polipropilè - Lentines - Grapadora - Guants estèrils
Material d'un sol ús	- Panys quirúrgics - Apòsit transparent - Compreses - Gases estèrils - Xeringues - Sutures - Grapes - Ordinador
Neuronavegació	- Càmeres - Esferes d'infrarojos - Estimulador elèctric
Mapping	



Figura 21. Material utilitzar a la cirurgia

Procés:

1. Preparació a l'anestèsia

8:00

- Inicia el procés anestèsic.
- Se li col·loquen tres vies al pacient. Una via IV perifèrica a la mà, un catèter central i una via urinària.

2. Anestèsia

8:45

- Es prepara al pacient amb un antibiòtic format per 150g de Zanetin en pols i 100ml de clorur de sodi 0,9% (preparat per mi amb la supervisió dels professionals).
- Se li col·loca un índex bispectral (BIS), per al monitoratge de consciència del pacient.
- Es procedeix a la inducció de la inconsciència, que es duu a terme amb Propofol i Fentanil.
- Un cop inconscient, se li col·loca una mascareta laríngia, més eficaç que la intubació en aquest cas, ja que quan se li despertés havia de quedar desintubat.
- Es prepara la zona estèril de quiròfan.



Figura 22. Posat de les vies

Les anestesistes es van trobar amb un petit inconvenient. El pacient tenia molta miopia i per a poder fer les proves neuropsicològiques posteriors necessitava les ulleres. Abans de començar amb l'operació, els metges van haver de treure-li les patilles a les ulleres i guardar-les per a enganxar-se-les un cop despert amb esparadrap.



Figura 23. Anestèsia i BIS

3. Fixació cranial

9:15

- Se li infiltra Ropivacaina, un anestèsic local, amb l'objectiu de controlar les pulsacions, als punts a on se subjectarà el carniòstat.

- S'encasta el cap.

4. Neuronavegació i marcatge

10:00

- Es fa la neuronavegació.



Figura 24. Neuronavegació

- Es marca la part a tallar, ressaltant amb un retolador la zona que prèviament s'havia delimitat amb la neuronavegació (Fig 25).



Figura 25. Fixació i marcatge

5. Craniotomia

10:45

- Es desinfecta el cap del pacient amb iode.
- Se li infiltra ropivacaina a la zona que es tallarà.
- Es talla la pell amb un bisturí en forma de "U".
- Es comprova el pCO₂ a la analítica (si el pCO₂ està alt, vol dir que el cervell està inflammat i resulta un perill mortal).
- Es perforen quatre punts al crani i se serra un quadrat a partir d'ells.
- Es retiren les meninges.



Figura 26. Craniotomia

6. Proves neuropsicològiques i mapping

12:00

- Es desperta al pacient. - Es realitza el mapping subcortical mentre les neuropsicòlogues li fan per primer cop dins de quiròfan quatre proves, que prèviament li havien realitzat a consulta:

- Formació de verbs a partir de paraules.
- Coordinació amb la mà dreta.
- Llenguatge de programació.
- Narració d'històries.



Figura 27. Proves neuropsicològiques

7. Resecció tumoral

12:45

- S'extreu el tumor mentre se li tornen a realitzar les quatre proves anteriors.

- Quan el pacient presenta problemes per a poder respondre correctament les proves, el cirurgià deixa d'operar aquella zona en concret.



Figura 28. Cerebellum sense tumor

8. Tancament

14:15

- S'adorm al pacient.
- Es fa l'hemostasi.
- Es tanquen els teixits interns amb sutures polipropilè.
- Es tanca la craniotomia amb grapes.
- Es porta al pacient a la sala de reanimació.

2.3. Neurocirurgia amb el pacient adormit

La segona neurocirurgia va durar vuit hores i mitja i es va practicar a l'hospital de Bellvitge.

Cas clínic

Una dona de trenta-cinc anys amb molèsties motores a la cama esquerra i dos sagnats intracranials.

Professionals

- Adjunt anestesista Onésimo Alaniz Resident d'anestèsia Tres
- neurocirurgians Una infermera d'instrumental Dues infermeres de
- quiròfan Un estudiant de 4t de medicina, que va presenciar també
- l'operació
-
-

Objectiu

L'objectiu de la segona neurocirurgia és la resecció d'una malformació arterial sagnant (Fig.29) situat al sinus venós transvers, al lòbul posterior de l'hemisferi dret del cerebel.

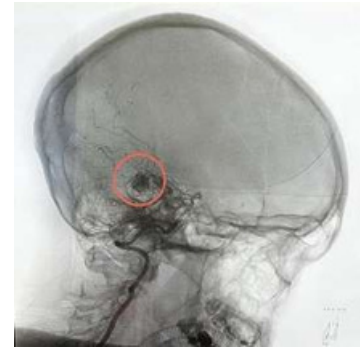


Figura 29. Angiografia preoperatoria

Material

Vies	- Perifèrica (ja la tenia posada previament) - Urinària Catèter central Via arterial - - Zanetin - Clorur sòdic 0,9%
Fàrmacs	- Propofol - Fentanil - Rocuroni - Noradrenalina - Bupivacaina - Adrenalina - Suero fisiològic - Iode - BIS - Tub endotraqueal
Controls	- Laringoscopi - Electrocardiograma - Mascareta d'oxigen - -
Material quirúrgic	- Craneostat - Bisturí per a incisió cutània - Elevador - Bisturí per a incisió de duramàter - Cànula d'aspiració - Bisturí elèctric - Pinces de dissecció - Tisores - Portaagulles - Separadors - Perforador - Serra - Sutures polipropilè

	- Lentines - Grapadora
Material d'un sol ús	- Guants estèrils - Panys quirúrgics - Apòsit transparent - Compreses - Gases estèrils - Xeringues - Sutures - Grapes - Ordinador
Neuronavegació	- Càmeres - Esferes d'infrarojos



Figura 30. Material utilitzat

Procés:

1. Preparació a l'anestèsia 8:00

- Inicia el procés anestèsic. - Se li col·loquen tres vies a la pacient. Un catèter central, una via arterial (per a controlar la tensió en tot moment) i una via urinària. A més, la pacient ja tenia una via IV perifèrica a la mà.



Figura 31. Preparació anestèsia

2. Anestèsia

8:30

- Es prepara a la pacient amb un antibiòtic format per 150g de Zanetin en pols i 100ml de clorur de sodi 0,9%.
- Se li col·loca un BIS, per al monitoratge de consciència de la pacient.
- Es procedeix a la inducció de la inconsciència, que es duu a terme amb Propofol, Fentanil i Rocuronil.
- Se li entuba.
- Es prepara la zona estèril de quiròfan



Figura 32. Intubació

3. Fixació cranial

9:30 - Se li infiltra Bupivocaina i adrenalina, anestèsics local, amb l'objectiu de controlar les pulsacions, als punts a on se subjectarà el craniòstat, - S'encasta el cap.



Figura 33. Fixació

4. Neuronavegació i marcatge

10:00

- Es fa la neuronavegació.
- Es marca la part a tallar, ressaltant amb un retolador la zona que prèviament s'havia delimitat amb la neuronavegació. (Fig 34)
- Es desinfecta el cap de la pacient amb iode.
- Se li infiltra bupivocaina i adrenalina a la zona que es tallarà.



Figura 34. Neuronavegació i infiltració de bupivocaina

5. Craniotomia

10:45

- Es talla la pell.
- Es comprova el pCO₂ a la analítica.
- Es perforen quatre punts al crani i se serra un quadrat a partir d'ells.
- Es retiren les meninges.

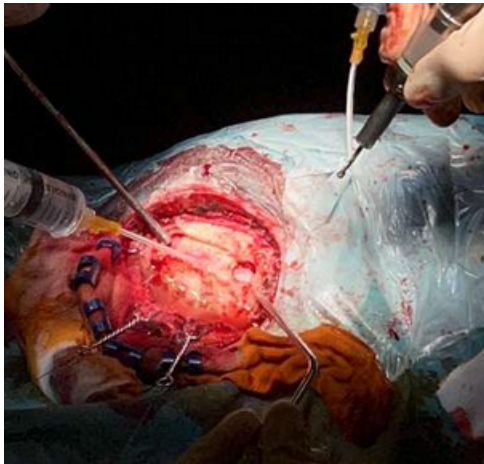


Figura 35. Craniotomia i fragments del crani

6. Resecció arterial

12:00

- Es resseca la malformació arterial.

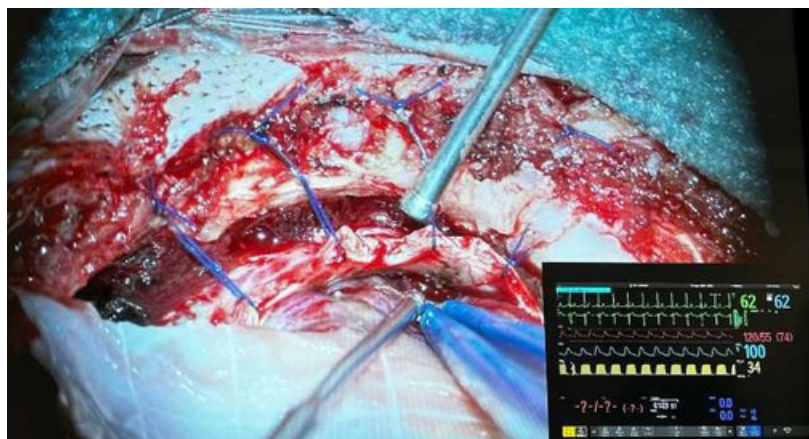


Figura 36. Resecció de la malformació



7. Angiograma

14:45

-Es realitza un angiograma per a comprovar que no hi queda cap porció de malformació arterial.

8. Tancament

15:30

- Es fa l'hemostasis.
- Es tanquen els teixits interns amb sutures polipropilè.
- Es tanca la craniotomia amb grapes.
- Es porta al pacient a la sala de reanimació.

2.4. Resultats i discussió

Per a poder exposar i discutir els meus resultats, he realitzat dues taules, a on comparo alguns dels aspectes de les neurocirurgies que he treballat.

Taula 2. Comparació d'aspectes generals de les dues cirurgies.

	Cirurgia pacient despert	Cirurgia pacient adormit
Temps	Set hores i quart.	Vuit hores i mitja.
Professionals	Dos neurocirurgians Dues infermeres d'instrumental Dues neuropsicòlogues Cinc estudiants de neuropsicologia	- Tres neurocirurgians - Una infermera - d'instrumental - Cap neuropsicòloga Un estudiant de medicina
Lesió	Glioma situat al lòbul frontal del cervell.	Malformació arterial al sinus venós transvers, al lòbul posterior de l'hemisferi dret del cerebelo.
Material	- No via arterial - No rocuroni - No noradrenalina - Ropivacaina - Mascareta laríngia	- Via arterial - Rocuroni - Noradrenalina - Bupivacaina - Adrenalina - Tub endotraqueal Laringoscopi

	- Estimulador elèctric (mapping)	
--	----------------------------------	--

Taula 3. Comparació del procés quirúrgic.

	Cirurgia pacient despert	Cirurgia pacient adormit
Preparació anestèsia	- 45 min - Posició supí incorporat	- 30 min - Posició mitjana entre supí i decúbit lateral
Anestèsia	- 30 min - Sense Rocuroni - Mascareta laríngia	- 1h - Rocuroni - Intubació
Fixació cranial	- 45 min	- 30 min
Neuronavegació i marcatge	Cap diferència	Cap diferència
craniotomia	Cap diferència	Cap diferència
Proves neuropsicològiques	- 45 min - Es van realitzar quatre proves neuropsicològiques	- No es va fer
Mapping	- Es va realitzar un mapatge 1h 30min	- No es va fer
Resecció	-	- 2h 30min
Angiograma i TAC	No es va fer	- 45 min - Es va realitzar un angiograma i un TAC de comprovació
Tancament	- 1h	- 1h

Com podem veure a la Taula 2, la primera cirurgia va ser força més curta que la segona, el que desmenteix la meua primera hipòtesi: **potser la neurocirurgia amb el pacient despert serà més llarga**. Això va ser així, perquè la lesió del pacient despert estava situada molt més superficialment que la de la pacient adormida, i a l'hora de la resecció, es va trigar quasi una hora menys. A més, encara que és cert que a la neurocirurgia amb la pacient adormida no es van fer les proves neuropsicològiques, com podem veure a la Taula 3, es



va realitzar un TAC i un angiograma, que van trigar pràcticament el mateix. Això ens porta a concloure que el temps en una neurocirurgia no depèn exclusivament de si el pacient està despert o adormit, sinó que depèn de molts altres factors, com ara la localització de la lesió.

Per altra banda, la segona hipòtesi: **potser a la neurocirurgia amb el pacient despert hi haurà més personal**, es confirma completament. Encara que a la cirurgia amb la pacient adormida va haver-hi un neurocirurgià més, el total de professionals a quiròfan va ser superior a la primera cirurgia. El motiu és que a una cirurgia amb el pacient despert sempre caldrà un equip de neuropsicòlogues que no serà necessari a l'operació amb el pacient adormit.

Pel que fa a la tercera hipòtesi: **potser s'utilitzaran fàrmacs diferents a l'hora d'anestesià al pacient**, podem veure que es compleix parcialment. A ambdues operacions s'utilitza Propofol i Fentanil per a produir la pèrdua de consciència, però a la segona cirurgia s'afegeix el Rocuroni, un relaxant muscular. Això és així, ja que com a la cirurgia amb el pacient despert, el pacient havia de despertar al mig de l'operació, no podia estar intubat, per tant, se li va posar una mascareta laríngia, per a la qual no va ser necessari relaxar la musculatura. A la segona operació sí que es va entubar a la pacient, per això es va requerir aquest fàrmac.

No podia acabar aquest treball sense valorar l'èxit d'ambdues cirurgies.

A la neurocirurgia amb el pacient despert, no hi havia millor forma de fer-ho que amb una entrevista, a on en el pacient ens expliqués el resultat final de l'operació. Gràcies a una combinació de circumstàncies imprevistes, vaig poder, tres mesos després, entrevistar a en Kevin, el pacient d'aquesta neurocirurgia, i em va sorprendre molt gratament la seva ràpida evolució. A continuació, deixo la transcripció del seguit de preguntes que em va contestar a la trobada:

1. Buenos días Kevin. Antes de nada, muchas gracias por acceder a hacer esta entrevista. ¿Podrías presentarte un poco, por favor?

“Buenos días. Mi nombre es Kevin González, tengo veintidós años y trabajo de programador. En junio me operaron de un glioma en el lóbulo frontal y, como me afectaba al habla, tuve que estar despierto durante la operación.”

2. Primero de todo, me gustaría preguntarte: ¿cómo notaste que algo no iba bien? ¿Cuáles fueron los primeros síntomas?



“Pues yo estaba en la ducha cantando, hace unos ocho meses, tarareando siempre la música, como un día normal. Entonces, al salir de la ducha, yo me estaba secando y vi que tarareando empezaba a balbucear. Como eran ataques de unos veinte segundos, en ese momento dije, no será nada, pero me pasó una segunda y una tercera vez y a la cuarta ya dije, tengo que ir al médico.”

3. Imagino que antes de llegar a la operación, has debido pasar una larga travesía de médicos. ¿Podrías explicarnos cómo ha sido este camino?

“Claro. Primero fui al CAP de Sant Ildefonso, hace unos tres meses, y allí me derivaron al Broggi. Estuve ocho horas esperando en urgencias y cuando me cogieron me derivaron de nuevo al CAP. Aquí me pidieron un TAC y vieron que había una pelotita, entonces ya sí que me derivaron a Bellvitge.”

4. Una vez en Bellvitge, tuviste consultas con los neurocirujanos y los neuropsicólogos, ¿no es así? ¿Cómo fue esta época?

“Pues primero los neuropsicólogos me hicieron unas pruebas de reconocimiento y otras de programación. Fui varias veces porque me las tuvieron que hacer varias veces para asegurarse de que funcionaban y para tener con qué comparar luego, dentro del quirófano. Además, el neurocirujano me recetó keppra, que es una medicación para prevenir la epilepsia y todas las pruebas las hice medicado.”

5. Y llega el día de la operación. ¿Cómo viviste este día?

“En un principio, mi operación estaba prevista para octubre, pero al final me la hicieron el diez de junio. Ese día, llegué allí a las seis de la mañana. A las ocho me entraron en quirófano y recuerdo a la chica que me dijo: “Bueno, Kevin, ya te vamos a dormir. Si quieres, piensa en un paisaje bonito.” Y yo dije: “Las montañas”. Y ya, pues me dormí.”

6. Mientras dormías, te hicieron la craneotomía y entonces las anestesistas te volvieron a despertar. En ese momento te empezaron a realizar las pruebas neuropsicológicas de nuevo mientras te hacían el mapeo. ¿Qué sentiste en ese momento?

“Pues era raro, porque eran pruebas que ya había hecho, pero la situación era muy diferente y bastante agobiante. Pero ya iba a eso, así que fue bastante bien. La única diferencia con las que me hicieron en consulta fue que había momentos en que, cuando el neurocirujano tocaba ciertas partes, notaba que no podía mover la mano, me quedaba como parado sin ser capaz de hacerlo.”



7. Después del mapping, empezaron a resecar el tumor mientras te repetían estas pruebas. ¿Notaste alguna diferencia?

“Bueno, la única diferencia era que si antes no podía mover la mano, ahora no podía hablar. O sea, cuando estaban en acción, por así decirlo, había momentos en que no era capaz de hablar aparte de no poder mover la mano. Me quedaba pillado. Además, también me pidieron que hablara. Recuerdo explicar historias de mi viaje a Granada del verano y hablar del juego de Magic.”

8. Una vez acabaron de resecar el tumor, te volvieron a dormir y cerraron. ¿Cómo fue la situación al despertarte de la anestesia una vez había acabado todo?

“Recuerdo despertarme en una cama y estaba mi madre, mi padre y mi hermana allí. Yo me emocioné mucho, porque había sido una operación difícil, pero nada, muy feliz. Estuve una semana más en el hospital y al cuarto día ya podía caminar, por lo que me sacaron de la UCI. Luego estuve tres días más en planta, me hicieron un TAC para comprobar que no había restos de tumor ni hemorragias internas y me dieron el alta.”

9. Por lo que dices, fue una recuperación muy corta. ¿Qué fue lo que más te costó volver a hacer?

“En el hospital lo más difícil fue lavarme el pelo. Porque bueno, yo llevaba el pelo largo y me recomendaron que antes de la operación me lo cortara, pero aun así, con los puntos, me era muy complicado lavarlo. Una vez en casa, lo que más tardé en recuperar fue la fuerza en la mano derecha.”

10. Hace ya casi tres meses de la operación. Desde que saliste del hospital, ¿has vuelto a tener cita con el neurocirujano?

“Todavía no, tengo cita en octubre para hacer la revisión y después de eso, solo tendré que ir una vez al año para comprobar que todo sigue perfecto.”

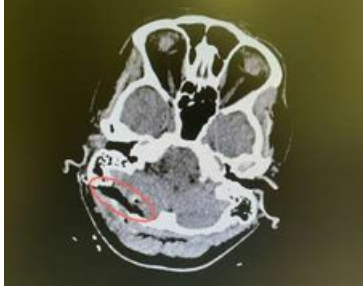
11. Y por último, ya para acabar, ¿cómo ha cambiado tu vida desde la operación?

“La verdad es que no ha cambiado en nada. A día de hoy ya he vuelto a trabajar, hago vida normal y no tengo ningún tipo de secuela. Lo único diferente es el nuevo look de pelo corto y que tengo una cicatriz enorme en la cabeza.”

Pues muchísimas gracias de nuevo por la entrevista y espero que todo siga igual de bien.

Per a poder valorar l'èxit de la cirurgia amb la pacient adormida, com que no tenia el contacte de la pacient, vaig pensar que seria molt visual, en ser una operació de resecció arterial, poder comparar una prova per imatge preoperatòria amb una postoperatòria. A la taula següent es poden veure ambdós TAC's. Al primer, està marcada la malformació, mentre que al segon està marcat el lloc a on prèviament estava, demostrant així l'èxit de la neurocirurgia.

Taula 4. Abans i després de la malformació arterial del pacient adormit.

	Abans	Després
Cirurgia 2	 Figura 37. TAC preoperatori	 Figura 38. TAC postoperatori

Gràcies a aquestes dues aportacions, podem dir que la quarta hipòtesi formulada: **potser la neurocirurgia amb el pacient despert és menys exitosa**, no es compleix. Si bé l'èxit a la primera neurocirurgia, en estar el pacient despert, tenia un risc afegit (era molt important que el pacient no es mogués, però alhora ell estava inquiet, com és lògic donades les circumstàncies), vaig poder observar que aquest inconvenient, que no hi és a la cirurgia amb el pacient adormit, es va solucionar amb la gran feina que va realitzar el personal mèdic (anestesisistes, neuropsicòlogues i infermeres), que van participar molt més activament ajudant a calmar al pacient i controlant que tot estigués funcionant correctament. És per aquest motiu que, com ell mateix ens explica a l'entrevista, aquest factor no va influir negativament en l'èxit de la cirurgia i molt menys en la seva recuperació.



IV. CONCLUSIONS

Amb aquest treball he pogut respondre la pregunta realitzada a la introducció: **Què implica el nivell de consciència del pacient en una neurocirurgia?**

El nivell de consciència del pacient té moltes implicacions a tots els àmbits de la neurocirurgia. Això fa que hi hagi moltes diferències notables entre una cirurgia amb el pacient despert i una amb el pacient adormit, ja no només en l'anestèsia, sinó també en la quantitat de personal que es necessita a quiròfan o fins i tot en els procediments que es porten a terme.

Gràcies a la part teòrica i al marc experimental s'han pogut assolir tots els objectius plantejats a l'inici. La recerca bibliogràfica m'ha permès definir amb claredat conceptes com ara l'anatomia de l'encèfal, des de les cèl·lules fins a l'organització de l'escorça; explicar els processos fisiològics que succeeixen a l'òrgan; comprendre el món de l'anestèsia; o, fins i tot, aprendre teòricament com funciona una neurocirurgia.

D'altra banda, amb el marc experimental he pogut veure més enllà dels dibuixos les estructures principals de l'encèfal, el que m'ha ajudat molt a poder fer-me una idea molt més detallada i real de com és l'estructura d'aquest òrgan tan complex. A més, m'ha donat l'oportunitat de conèixer de forma empírica el que és una cirurgia i veure com funciona des de dins. Això m'ha ajudat a poder comparar les dues neurocirurgies i extreure les meves conclusions.

Quan vaig començar aquest treball, el dilema inicial amb el qual em vaig trobar va ser justament com afrontar-me a la pàgina en blanc. No tenia clar com havia de començar a escriure, però gràcies a la meva tutora vaig poder elaborar un esquema amb els temes que inicialment volia tractar. Aquest ha anat canviant a mesura que ha anat avançant el treball, ja que la idea inicial va patir alguns canvis fortuïts, però sens dubte aquest primer índex va ser el que més em va ajudar a començar amb el projecte.

Per a la part pràctica, vaig contactar amb la resident d'anestèsia de Bellvitge que m'havia impartit la sessió a Joves per la Medicina. Ella em va posar en contacte amb una de les anestesistes que portava el servei de neurologia i durant les primeres setmanes del treball vam tindre una reunió telemàtica a on vam quadrar el marc aplicat.

En un principi, la idea era comparar dues operacions de resecció d'un tumor cerebral, una a on el tumor estigués al lòbul frontal i fos necessari que el pacient estigués despert i una altra a on el tumor estigues a un altre lòbul, per tant, que el pacient estigués adormit. Primer vaig realitzar la cirurgia amb el pacient despert, ja que era la més complicada de programar per la poca freqüència amb la qual es realitza, però el problema va arribar



quan el dia que vaig anar a Bellvitge a la segona cirurgia, l'havien canviat per una resecció arterial urgent. Això va fer que hagués de canviar una mica els meus plans i fer una mica de recerca amb relació al sistema circulatori de l'encèfal, però va ajudar a completar el meu treball, ja que he pogut ampliar la informació teòrica i pràctica sobre aquest òrgan.

Personalment, aquest treball m'ha ajudat a adonar-me que la neurocirurgia és, realment, al que em vull dedicar, i he tingut l'oportunitat de poder viure experiències úniques que m'han aportat molt, com a estudiant, però encara més com a persona.



V. AGRAÏMENTS

Primer de tot, voldria agrair a la meva tutora del treball de recerca, la Rosa Riera, per haver estat allà durant tot el procés. Des del primer moment, ha estat molt implicada en el treball, ha respost tots els dubtes que he tingut durant l'any i mai m'ha faltat acompanyament.

També m'agradaria donar les gràcies a tots els metges que han fet possible que realitzés aquest treball:

- La Meritxell Torres, resident d'anestèsia, qui va ser la primera persona que es va oferir a ajudar-me i que em va posar en contacte amb tothom per a poder fer realitat la part pràctica.
- La Laura Pariente, anestesista de Bellvitge, qui va ser el meu contacte dins de l'hospital, i qui va proposar-me aquest treball en aquella primera reunió.
- L'Elena Campistol i la Mar Míguez, anestesista i resident d'anestèsia de Bellvitge respectivament, qui van estar amb mi durant la primera cirurgia.
- L'Onésimo Alaniz, anestesista de Bellvitge, qui em va acompanyar a la segona neurocirurgia.
- En Raúl Sánchez, resident de neurocirurgia, qui em va resoldre molts dels dubtes que tenia al marc teòric respecte a les tècniques neuroquirúrgiques.

Així mateix, voldria donar les gràcies a en Kevin González (pacient despert) per a concedir-me una entrevista.

Igualment, no puc deixar de donar les gràcies al meu pare, que sempre ha estat disposat a fer el que fes falta perquè pogués desenvolupar el meu treball, portant-me a Bellvitge en repetides ocasions en horaris de feina i caps de setmana i posant-me en contacte amb en Kevin.

Per últim, m'agradaria agrair a la meva família i la meva parella, per haver-me recolzat fins al final i, felicitar-me a mi mateixa, per no haver-me rendit en cap moment i haver aconseguit gaudir del procés.



VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borja, A. P. (2023, May 23). *La aparición de la anestesia, una revolución en el mundo de la medicina*. Campus Vygon España. Consultat 17 febrer 2024, de <https://campusvygon.com/es/historia-anestesia/>
- [2] Gargantilla Madera, P. (2019, novembre 11). *Operar sin dolor: Nace la anestesia*. Consultat 17 febrer 2024, de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/operar-sin-dolor-nace-anestesia_14722
- [3] J.M. Borralló-Pérez, A. Béjar-Delgado i Grup de treball analgesia i sedació de la Semicuc. (2008). *Sedación de corta duración*. Consultat 18 febrer 2024, de <https://www.medintensiva.org/index.php?p=revista&tipo=pdf-simple&pii=13116122>
- [4] Business Insider España. (s.d.). *Los efectos de la anestesia en tu cerebro—YouTube*. Consultat 18 febrer 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=bPp7MYrJ7vw>
- [5] MedlinePlus. (s.d.). *Anestesia*. National Library of Medicine. Consultat 18 febrer 2024, de <https://medlineplus.gov/spanish/anesthesia.html>
- [6] Salusplay. (s.d.). *Anestésicos Generales*. Consultat 18 febrer 2024, de <https://www.salusplay.com/apuntes/apuntes-de-farmacologia/anestesis-generales/resumen>
- [7] UVA. (s.d.). *ANESTÉSICOS LOCALES: MECANISMOS DE ACCIÓN - YouTube*. Consultat 18 febrer 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=dErSLBLI504>
- [8] AEP. (s.d.). *Tiopental | Asociación Española de Pediatría*. Consultat 22 juny 2024, de <https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/tiopental>
- [9] Bioenciclopedia. (s.d.). *Neurona: Qué es, tipos, partes y funciones*. bioenciclopedia.com. Consultat 23 juny 2024, de <https://www.bioenciclopedia.com/neurona-que-es-tipos-partes-y-funciones-367.html>



[10] Cruz Fernández, K. (s.d.). *Células gliales: Qué son, función y tipos*.

bioenciclopedia.com. Consultat 23 juny 2024, de

<https://www.bioenciclopedia.com/celulas-gliales-que-son-funcion-y-tipos-892.html>

[11] Khan Academy. (s.d.). *La sinapsis (artículo) | Biología humana*. Consultat 23 juny

2024, de https://es.khanacademy.org/_render

[12] INA. (2022, juny 30). *¿Qué son los neurotransmisores?* Consultat 24 juny 2024, de

<https://www.neurocienciasaplicadas.org/post/qué-son-los-neurotransmisores>

[13] IMECBA. (s.d.). Mapping Cerebral. *Neurocirugía Barcelona*. Consultat 26 juny 2024,

de <https://www.neurocirugiabarcelona.com/tecnicas/mapping-cerebral/>

[14] BarnaClínic+. (s.d.). *La nueva ablación láser para tumores cerebrales y epilepsia*.

Consultat 26 juny 2024, de

<https://www.barnaclinic.com/blog/blog/ablacion-laser-tumor-cerebral-epilepsia/>

[15] Ajler, P., Hernández, D., Dakoff, J. Z., Pietrani, M., & Baccanelli, M. (2002).

NEURONAVEGACIÓN EN NEUROCIRUGÍA. 16. Castillero, O. (2016, desembre 19). *Cuerpo*

calloso del cerebro: Estructura y funciones. Consultat 4 agost 2024, de

<https://psicologiymente.com/neurociencias/cuerpo-caloso-cerebro>

[16] Neurología contemporánea. (s.d.). *Caja de instrumental para craniotomía*

[*Neurocirugía Contemporánea*]. Consultat 4 agost 2024, de

http://neurocirugiacontemporanea.com/doku.php?id=caja_de_instrumental_para_craniotomia

[17] Clínica Universidad de Navarra. (s.d.). *Sistema límbico*. Kenhub. Consultat 29 agost

2024, de <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/sistema-limbico>

[18] Kenhub. (s.d.). *Lóbulo de la ínsula*. Kenhub. Consultat 29 agost 2024, de

<https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/lobulo-de-la-insula>



[19] Clínica Universidad de Navarra. (s.d.-a). *Qué es Seno Venoso. Diccionario Médico.*

Clínica U. Navarra. <https://www.cun.es>. Consultat 3 setembre 2024, de

<https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/seno-venoso>

[20] NIH. (2019, març 18). *Definición de encéfalo—Diccionario de cáncer del NCI - NCI.*

[NIH]. Consultat 3 setembre 2024, de

<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/encefalo>

[21] EFE (2011, febrer 2). *Primera cirugía láser en España para tratar la epilepsia.*

Consultat 20 setembre 2024, de

https://cadenaser.com/ser/2019/03/18/ciencia/1552894885_528022.html

VII. FIGURES

Figura 1. Adaptat d'Anatomia del Encèfal, de NIH, 2011,
[<https://visualsonline.cancer.gov/details.cfm?imageid=9140>]

Figura 2. Adaptat d'Anatomia d'una neurona, de Psycolab, 2021,
[<https://www.psycolab.com/diferencia-entre-neurona-y-neuroglia/>]

Figura 3. Adaptat de substància grisa i blanca, de Tucuerpohumano, 2018,
[<https://tucuerpohumano.com/c-sistema-nervioso/sustancia-gris/>]

Figura 4. Adaptat d'Anatomia bàsica del cervell, de Researchgate, 2019,
[https://www.researchgate.net/figure/Figura-14-Anatomia-basica-del-cerebro_fig22_332705479]

Figura 5. Adaptat de Anestésics locals: Mecanismos de acción, de UVa_Online, 2020,
[<https://www.youtube.com/watch?v=dErSLBLI504>]

Figura 6. Adaptat de Diagnóstico por la imagen de la patología del cuerpo calloso en pediatría, sd, Víctor Pérez Candela
[<https://scptfe.com/diagnostico-por-la-imagen-de-la-patologia-del-cuerpo-caloso-en-pediatria/>]

Figura 7. Cerebral venous thrombosis, 2024, L. Ordieres-Ortega, S. Moragón-Ledesma, P. Demelo-Rodríguez
[<https://www.revclinesp.es/en-cerebral-venous-thrombosis-articulo-S2254887424000389>]

Figura 8. Adaptat de Anestésics locals: Mecanismos de acción, de UVa_Online, 2020,
[<https://www.youtube.com/watch?v=dErSLBLI504>]

Figura 9. Adaptat de El impulso nervioso, de Docentes educación de Navarra, 2011,
[<http://docentes.educacion.navarra.es/metayosa/1bach/rela3.html>]

Figures 10 i 11. Adaptat de La sinapsi, de Khan Academy, 2017,
[<https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-synapse>]

Figura 12. Adaptat de Neuronavegador, de Dr. Leidinger, 2016,
[<https://www.neurocirugiabarcelona.com/en/techniques/neuronavigation/attachment/neuronavegador-2/>]

Figura 13-38. Font propia