

ESTIMULACIÓ ELÈCTRICA MEDULAR EN LA TETRAPLEGIA



Treball de Recerca

Berta Borra Font

**Tutora: Maria Teresa Colomer
i Despuig**

04/10/2019

Síntesi: Aquest treball de recerca ha consistit en realitzar un estudi destinat a analitzar l'estimulació elèctrica medul·lar (EEM) com a solució de la tetraplegia. Planteja els obstacles que suposa patir una lesió d'aquest tipus, i relata els tipus de trastorns i beneficis derivats d'una intervenció quirúrgica necessària per implantar la solució estudiada. Per altra banda, explica el procés de creació d'un suport educatiu per alumnes o interessats en el món de la salut, destinat a entendre amb més facilitat i de manera visual en què consisteix la tècnica estudiada, l'EEM.

Síntesis: Este trabajo consiste en la realización de un estudio destinado al análisis de la estimulación eléctrica medular (EEM) en la tetraplejia. Plantea los obstáculos que supone sufrir una lesión de este tipo, y relata los distintos trastornos y beneficios derivados de una intervención quirúrgica para implantar la solución estudiada. Por otra parte, explica el proceso de creación de un soporte educativo para alumnos e interesados en el mundo de la salud, destinado a comprender con más facilidad y de manera visual en que consiste la técnica estudiada, la EEM.

Abstract: The aim of this project is to perform a study on the spinal cord stimulation method as a treatment for quadriplegia. It shows the main difficulties that this kind of condition entails, as well as the benefit and risks that arise after the surgical intervention needed to implement the spinal cord stimulation. Furthermore, it explains the procedure for creating educational material and support for all the students and people interested in health care. This project shows, in a visual way, the spinal cord stimulation method and how it works.

AGRAÏMENTS

Abans de començar amb el cos del treball, m'agradaria remarcar a un conjunt de persones que han fet possible la realització d'aquest projecte:

Primerament a la meva família, pel suport i confiança que m'han aportat, però concretament als meus pares, Joana Font i Roger Borra per ajudar-me en tots els apartats més creatius del projecte.

A en Lluís Alemany, professor de tecnologia, per assessorar-me en tots els dubtes i complicacions que he tingut durant la creació de la columna vertebral.

A en Josep Planas, professor de tecnologia, per ajudar-me en tot el procés de programació mitjançant la plataforma *Arduino*.

A l'Helena Riuró, professora de biologia, per resoldre dubtes que he tingut sobre la realització del projecte.

Finalment agrair a totes les persones que han contribuït a través de crítiques o consells, per aconseguir un projecte complet.

ÍNDEX

Introducció	4
1. Motivació	4
2. Objectius	6
3. Metodologia	7
Marc teòric.....	8
4. Anatomia i lesions vertebrals	8
4.1 La columna vertebral i els traumatismes vertebrals	8
4.2 La medul·la i les lesions espinals	10
4.3 Lesions completes i incompletes	12
4.3.1 Tetraplegia C1-C3	15
4.3.2 Tetraplegia C4	15
4.3.3 Tetraplegia C5	15
4.3.4 Tetraplegia C6	16
4.3.5 Tetraplegia C7-C8	16
4.3.6 Paraplegia T1-T9	16
4.3.7 Paraplegia T10-L1	17
4.3.8 Paraplegia L2-S5	17
4.3.9 Avaluació de la lesió	18
4.4 Estimulació elèctrica medul·lar	19
4.4.1 Antecedents	21
4.4.2 Tècnica	22
4.4.3 Elements utilitzats en la intervenció	24
4.4.4 Implant	27
4.4.5 Trastorns	28
4.4.6 Beneficis	29
4.4.7 Conclusió	29
Marc pràctic	30
5. Material	30
5.1 Maqueta de la columna vertebral	30
5.2 Simulació del tractament	30

5.3 Creació d'un blog	31
6. Mètode	32
6.1 Maqueta de la columna vertebral	32
6.1.1 Planificació de la columna vertebral	32
6.2.2 Disseny i transformació d'arxius	34
6.2.3 Funcionament de les impressions	35
6.2 Simulació del tractament	35
6.2.1 Programació amb Arduino	35
6.2.2 La placa	36
6.2.3 Implantació dels elèctrodes	41
6.3 Creació d'un blog	41
6.3.1 Blog personalitzat	42
7. Resultats	45
7.1 Presentació de les vèrtebres	45
7.2 Presentació de la placa	48
7.3 Muntatge final	49
8. Discussió	50

Conclusions

Índex de figures

Webgrafia i Bibliografia

Annexos

Introducció:

1.MOTIVACIÓ

Escollir un tema per realitzar un treball de recerca no és una tasca fàcil. Finalment m'he decantat per un àmbit científic. La meva recerca serà dedicada a l'estimulació elèctrica medul·lar com a solució de la tetraplegia, un problema que afecta a una part poc reconeguda de la població i una lesió que influeix al llarg de la vida.

En l'actualitat ja hi ha diferents centres que es dediquen a aquest tipus de recerca.

Personalment no estic vinculada en cap cas de tetraplegia però com ja he dit, és una assumpte poc popular en la vida quotidiana i considero que donar-li importància és una feina necessària.

La meva motivació és promoure l'interès de la gent per entendre de què es tracta la tetraplegia com a tal i a més a més la cerca d'una solució. És fonamental per a la recerca de les respostes conscienciar a les persones de l'existència d'aquest tipus de lesions medul·lars i les noves tècniques per a la millora.

El meu treball es basa en l'estimulació elèctrica com a una solució. Per conèixer aquesta resposta primerament haig de fer una recerca inicial sobre les causes i les conseqüències de la minusvalidesa tractada, juntament amb l'anatomia de les parts del cos afectades davant d'aquestes lesions.

En aquest projecte s'explicaran les diferents cares de la tetraplegia i lesions vinculades. Explicant-ne les causes i les conseqüències.

La part més important de la tasca estarà dedicada a l'estimulació elèctrica medul·lar.

Amb la realització d'aquest treball espero l'aportació de valors personals. També que sigui promotor de la recerca individual davant d'aquestes lesions i altres sectors vinculats. Per altra banda, espero que sigui un projecte enriquidor intel·lectualment.

2.OBJECTIUS

Acabat aquest treball, m'agradaria haver assolit alguns dels objectius plantejats des del començament.

OBJECTIU PRINCIPAL:

- La creació d'un suport educatiu per un aprenentatge més fàcil de l'estimulació elèctrica medul·lar en la tetraplegia.

Objectius secundaris:

- Estudiar les causes i les conseqüències d'aquest dany.
- Descriure el mecanisme de funcionament de l'estimulació elèctrica medul·lar en persones tetraplègiques.

METODOLOGIA

En el seguiment d'aquest treball he realitzat una metodologia concreta. La recerca s'ha realitzat a partir, inicialment de vídeos i reportatges generals per fer una introducció al tema.

A partir d'aquí va començar la creació de la part teòrica de menys a més específic, de tal manera que a mesura que era necessària més especificitat recorria a pàgines web més concretes, bibliografies especialitzades i llibres relacionats amb el tema.

Per complementar la teoria era necessari un estudi de camp. Aquest ha comportat una recerca d'informació apart relacionada amb el funcionament d'una impressora 3D i també el nivell bàsic de programació amb la plataforma Arduino. Per tant, en aquesta part calia més informació contrastada amb professionals del sector.

El següent treball aborda diversos camps científics, des de la biologia, l'anatomia i la neurologia, fins les noves tecnologies. És una aposta per un tema molt punter que es podria classificar com a biotecnologia.

Està dividit en dos grans blocs, on es diferencien la part teòrica i la pràctica. Aquesta primera es divideix en tres apartats, el primer *4.1 Anatomia i lesions vertebrals* ens fa una introducció a l'anatomia que queda afectada en lesions medul·lars, el següent *4.2 Lesions completes i incompletes* especifica una classificació de les lesions i finalment *4.3 Estimulació elèctrica medul·lar*, ens parla sobre la innovadora tècnica a la qual és dedicat el treball.

En el segon gran bloc trobem cinc subdivisions seguint el mètode experimental, la primera *5.1 Material* ens indica tot allò necessari per la part pràctica, el següent *5.2 Mètode* on es parla del procediment, *5.3 Resultats* on s'observa el que s'ha obtingut, *5.4 Discussió* on s'explica el perquè dels resultats i finalment el *5.5 Conclusió*, on es discutiran els objectius.

Marc teòric

4. ANATOMIA I LESIONS VERTEBRALS

4.1 La columna i els traumatismes vertebrals

La columna vertebral és part de l'esquelet axial, és a dir, la part que conté els ossos del cap i del tronc d'un vertebrat. És la característica que defineix un vertebrat, en el qual el notocordi (un cordó fi que es desenvolupa a partir de la paret dorsal de l'intestí durant la fase embrionària i que s'estén en sentit longitudinal al llarg del cos) ha estat reemplaçat per una sèrie d'ossos segmentats, les vèrtebres. Conté la medul·la espinal. (White, T. 2012)

La columna vertebral humana està formada per 33 vèrtebres, en total: 7 vèrtebres cervicals, 12 toràciques o dorsals, 5 lumbar, 5 sacres i 4 coccigeals que formen el còccix o carpó. (Marnet, M. 2016) (Partesdel.com, 2019)

Diverses vèrtebres en vista posterolateral:

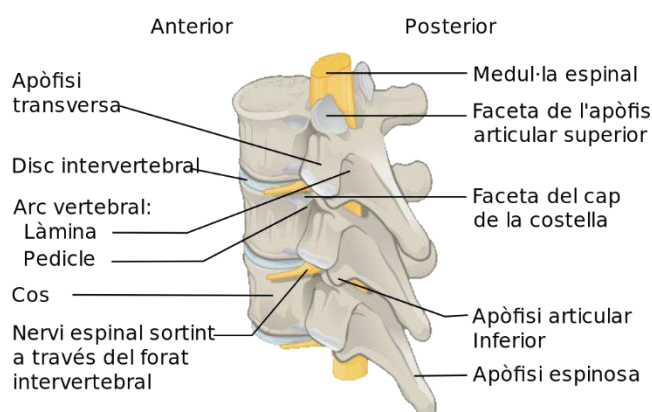


Fig. 1: Imatge d'una vèrtebra en vista posterolateral.
Vegeu índex de figures

A partir de la imatge anterior podem descriure les parts més destacades de les vèrtebres (Castellanos, C. 2014):

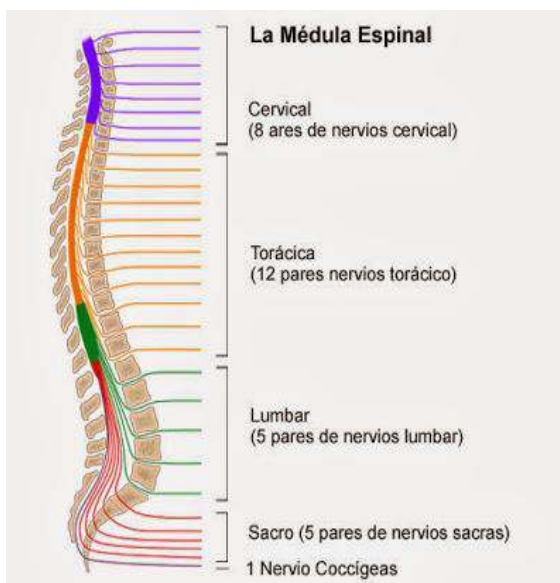
- Apòfisis: és un procés ossi que apunta cap enrere i avall des de la unió de les làmines i que fa la funció d'ancoratge pels músculs i lligaments.
- Pedicle: és la part més estreta d'un òrgan que serveix d'implantació o unió amb la resta del cos.

- Disc intervertebral: és una articulació cartilaginosa que permet un lleuger moviment entre vèrtebres, i actua com a lligament i com a amortidor.
- Làmina: són les porcions postero-lateral de cada vèrtebra.
- Nervi espinal: és un nervi format per les arrels dorsal i ventral, que surten de la medul·la espinal. Hi ha un total de 31 parells de nervis espinals en els éssers vius:
 - 8 parells cervicals
 - 12 parells toràcics
 - 5 parells lumbar
 - 5 parells sacres
 - 1 parell de coccigis

Es prolonguen des de la medul·la espinal i travessen els músculs vertebrals per distribuir-se pel cos. Tots tenen tant funcions sensorials com motores, portant informació des de la medul·la o cap aquesta.

Tots els òrgans, músculs i glàndules del cos transmeten i reben informació a través d'aquests, de tal manera que el cervell pot processar totes les dades i elaborar una resposta adequada.

En una lesió medul·lar, el dany afecta les fibres nervioses que travessen la zona lesionada afectant a una part o a la totalitat dels músculs i nervis corresponents.



Les
s **Fig. 2:** Imatge representant els 31 parells de nervis espinals i els seus orígens. Vegeu índex de figures

lesions vertebrals més comunes són les següents (Nayduch, D. 2011):

- La **compressió**, passa durant el moment de la lesió i es distorsiona la curvatura normal de la columna vertebral.
- La **contusió**, un cop que pot provocar una hemorràgia i un edema en el seu interior. La compressió d'un edema pot esdevenir necrosis. Les fractures, luxacions i traumatismes directes poden donar lloc a una contusió.

4.2 La medul·la i lesions espinals:

La medul·la espinal és un cordó nerviós, blanc i cilíndric que està tancat dintre de la columna vertebral. La seva funció és conduir, mitjançant les vies nervioses, el corrent nerviós que condueix les sensacions fins el cervell i els impulsos de les respostes del cervell als músculs. Té una longitud d'uns 46 centímetres.

Comença al forat occipital del crani, segueix pel bulb raquidi (situat a l'encèfal), i acaba a nivell de la vora inferior de la L1 (la primera vèrtebra lumbar) (Muñoz, 2010).

La medul·la espinal humana està dividida en trenta un segments diferents, i en cadascun, als costats hi conté els nervis espinals, que condueixen els senyals motrius i sensitius.

Encara que és una estructura cilíndrica, presenta alguns engruiximents:

- Cervical: relacionat amb la innervació de les extremitats superiors (vèrtebres que comprenen de la C4 a la T2)
- Lumbar: relacionat amb la innervació de les extremitats inferiors (vèrtebres dels sectors L3 al S3).

Si es fa un tall transversal de la medul·la es poden observar diferents estructures:

- Conducte endodimari.
- Substància grisa: es troba al voltant del conducte

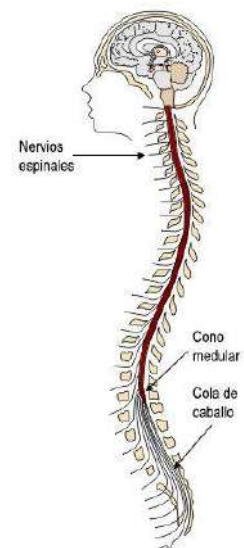
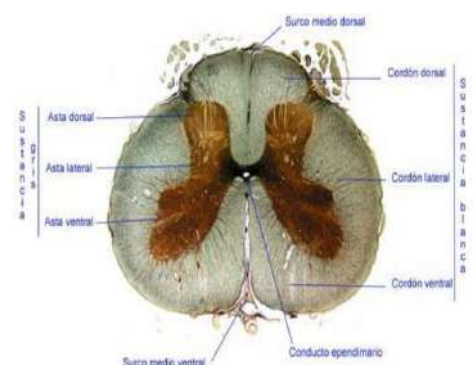


Fig.3: Imatge medul·la espinal



ependimari, presenta una forma d'ales de papallona.

- **Substància blanca:** es troba al voltant de la substància grisa.

Fig.4: Imatge en tall transversal de la medul·la.

Les lesions de medul·la espinal (LME) comporten l'alteració i la destrucció de neurones de la pròpia columna vertebral. Aquestes poden crear situacions de complicacions mortals i una pèrdua de la independència funcional. Poden ser permanents o temporals en funció de la gravetat. (Nayduch, 2011)

Segons diversos estudis realitzats al món, el 53% de les lesions medul·lars es presenten en adolescents o joves d'entre 16 i 30 anys, i la major part d'aquestes es deuen a accidents amb vehicles, atacs per violència física (com les armes) i traumatismes esportius. (Nayduch, 2011)

Les LME estan relacionades amb traumatismes en la columna vertebral, les més comunes són (Nayduch, 2011):

- **Fractures:** afecten al pedicle, la làmina vertebral, el cos vertebral o les apòfisis transversals. Aquesta pot aparèixer aïllada o associada a una luxació.

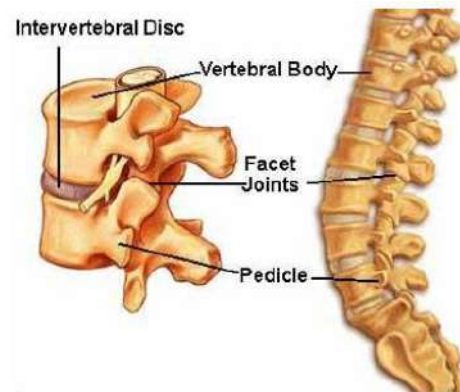


Fig.5: Imatge exterior de dues vèrtebres

- **Les luxacions i les subluxacions:** creen un desplaçament de les vèrtebres, alterant la seva disposició recta. La luxació apareix quan una vèrtebra es sobreposa a una altra.

L'alteració de la seva alineació és visible radiològicament. En conseqüència a aquests fets, els lligaments de suport també poden ser danyats i la medul·la pot presentar problemes en alguns d'aquests casos.

Qualsevol moviment de la columna vertebral pot donar lloc a la compressió o a la distensió del teixit neural, aquest conté milions de neurones amb una quantitat incalculable de interconnexions, que forma el complex sistema de comunicació neuronal; això pot causar la producció de lesions medul·lars.

Aquestes alteracions es poden dividir en relació al tipus de lesió (Nayduch, 2011):

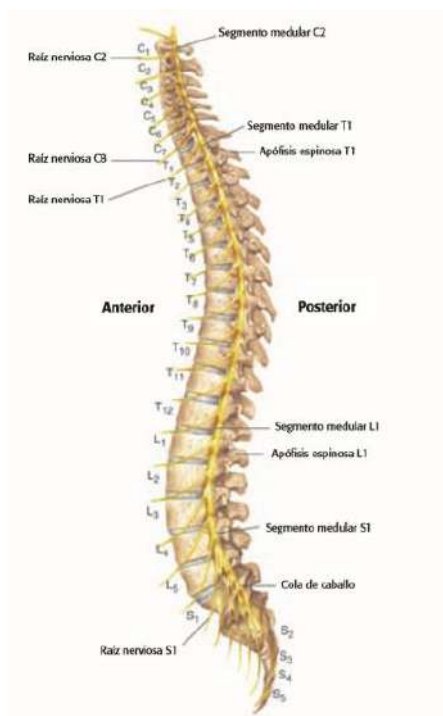
- La **commoció**, que és una agitació intensa de la medul·la espinal que pot donar lloc a pèrdues funcionals temporals que oscil·la entre diverses hores i setmanes.
- La **laceració** és un esquinçament de la medul·la espinal que origina una lesió permanent, la contusió, l'edema i la compressió medul·lar són efectes de la laceració.
- La **transacció** afecta a una secció completa o no de la medul·la. Per exemple, les transaccions cervicals altes provoquen una pèrdua del control respiratori i són la causa de mort en molts casos.
- L'**hemorràgia** és fruit d'un traumatisme interior que comprimeix les pròpia medul·la i les arrels nervioses.
- La **lesió dels vasos sanguinis** que irriguen la medul·la, tal com l'artèria espinal interior, causa isquèmia i possiblement necrosis, que poden ser la causa de dèficits permanents.

4.3 Lesions completes i incompletes

Aquest tipus de lesions es poden dividir entre completes o incompletes (Nayduch, 2011).

El primer grup són totes aquelles que van acompanyades de les pèrdues de les funcions sensorials i motores voluntàries per sota del nivell de la lesió. En els casos de LME total les alteracions solen ser les següents:

- Paràlisis flàccida en tots els músculs voluntaris..
- Desaparició dels reflexos medul·lars
- Pèrdua de la percepció dolorosa, la sensibilitat en el contacte, la propioceptiu i les sensibilitats relacionades amb la temperatura i la pressió.
- Absència de sensacions somàtiques i visceral.
- Pèrdua de la capacitat de sudoració.
- Disfuncions intestinals i vesicals.



La pèrdua de funcions sensorials i motores voluntàries per sota el nivell de la lesió, inclouen els segments més baixos (S4 i S5).

Fig.6: Imatge de la columna vertebral.

Els pacients poden experimentar dolor a la zona de la lesió degut a que en aquesta hi ha un increment de sensibilitat anomenat hiperestèsia, sobre el nivell de la columna afectat.

Generalment no hi ha possibilitat de recuperació en les LME acompanyades de la pèrdua total de les funcions neurològiques ni quan el pacient no presenta cap mena de millora en vint-i-quatre hores, després del traumatisme.

La resposta de la medul·la davant la lesió s'anomena xoc medul·lar, i es caracteritza per la pèrdua completa però temporal de les funcions sensorials, motores, reflexes i del sistema nerviós autònom.

En són exemples la paràlisi flàccida, la desaparició de reflexes cutanis i de reflexes tendinosos, pèrdua de to vesical i la desaparició de peristalsis, sudoració i erecció del pèl.

Per determinar la gravetat de la lesió, s'utilitza l'escala A.S.I.A. (American Spinal Injury Association).

¿Completa o incompleta?⁶

Para determinar la gravedad de la LME, se puede utilizar la Escala de afectación de la ASIA:

Completa A: ausencia total de función motora o sensitiva en los segmentos sacros S4-S5.

Incompleta B: preservación de la función sensitiva, pero no de la motora, por debajo del nivel neurológico; incluye los segmentos sacros S4-S5.

Incompleta C: preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico; al menos la mitad de los músculos clave por debajo de los niveles neurológicos muestran una fuerza muscular inferior a 3.

Incompleta D: preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico; al menos la mitad de los músculos clave por debajo del nivel neurológico muestran una fuerza muscular de 3 o superior.

Normal E: normalidad de las funciones motora y sensitiva.

Taula 1: amb l'Escala d'afectació d'una LME

Tetraplegia

De manera general es divideixen les tetraplegies en altes (C1-C5) i les baixes (C6-C8). La majoria de persones amb aquestes lesions depenen d'una altra persona per realitzar totes les activitats de la seva vida diària. Per altra banda són capaços de comunicar-se amb el seu cuidador i comunicar totes els seves necessitats i ser responsables del seva salut. (Nayduch, 2011)



4.3.1 Tetraplegia C1-C3

Tenen afectació de la musculatura de les quatre extremitats i del tronc. Requereixen una ventilació mecànica assistida a llarg termini. Actualment s'està estudiant la probabilitat dels pacients amb aquestes característiques per poder ser sotmesos a un marcapassos diafragmàtic per disminuir la necessitat del respirador. Poden beure amb assistència i arribar a desplaçar-se amb una cadira de rodes elèctrica amb adaptacions especials.

Fig.7: Imatge de les vèrtebres de la columna vertebral.

4.3.2 Tetraplegia

C4

Preserven cert moviment dels músculs del cap i el coll, tenint la possibilitat d'eleva les espatlles. Durant l'etapa aguda, és molt comú que necessitin una ventilació assistida, tot i que generalment aconseguen desfer-se del respirador. Com a la tetraplegia C1-C3 són dependents en totes les activitats de vida diàries (AVDs) poden ingerir líquids mitjançant ajuda i també són capaços de desplaçar-se amb una cadira de rodes elèctrica amb adaptacions especials.

4.3.3 Tetraplegia

C5

Les persones amb aquesta lesió, a més de les funcions descrites a les altres tetraplegies, tenen la capacitat de flexionar el colze. En aquest cas és importat evitar l'aparició de contractures per mantenir el balanç articular del colze, és a dir, evitar la flexió del colze i la supinació de l'avantbraç. Pel nivell de la lesió conserven la capacitat de respirar de manera autònoma, tot i així continuen sent dependents en totes les AVDs. Per altra banda poden

utilitzar estris, com una forquilla, amb ajuda. Poden desplaçar-se amb una cadira de rodes elèctrica amb control manual.

4.3.4 Tetraplegia **C6**

Tenen totes la capacitats descrites en els nivells anteriors, i conserven la funció dels extensors del canell. Aquesta els permet agafar i deixar certs objectes mitjançant l'efecte tenòdesis (prensió passiva amb extensió activa del canell). És una funció important però s'ha d'evitar l'estirament excessiu dels dits. Existeixen ortesis que afavoreixen a aquesta capacitat.

Conserven l'autonomia respiratòria. Les persones amb aquesta lesió són parcialment dependents en les seves AVDs, poden col·laborar en la seva alimentació, activitats de bany i fins i tot vestir-se. Els tetraplègics a nivell C6 poden desplaçar-se trajectes curts i plans utilitzant una cadira de rodes autopropulsada però amb un alt cost energètic, i això fa que continuïn sent dependents d'una cadira de rodes elèctrica per desplaçaments llargs.

4.3.5 Tetraplegia **C7-C8**

Les persones amb lesió al nivell C7 conserven les capacitats descrites als nivells superiors i conserven la funció de estendre el colze. Això permet la realització de pulsions i amb això l'assistència en transferències. Presenten major mobilitat i més habilitats en autocura.

Els pacients afectats la zona C8 conserven la funció dels flexors dels dits. Això millora la seva habilitat de prensió, afavorint a la independència funcional en activitats de mobilitat. En aquest nivells els lesionats tenen un menor grau de dependència, col·laboren en les AVDs i la cura del esfínters si tenen tot el material necessari preparat. Són capaços d'autopropulsar una cadira de rodes manual en llargues distàncies. Continuen presentant dificultats en superfícies irregulars i rampes, per aquest motiu prefereixen cadires de rodes elèctriques.

4.3.6 Paraplegia **T1-T9**

Les persones amb lesions a partir del nivell T1 preserven la innervació i per tant, la funció dels músculs de els extremitats superiors. Poden arribar a la independència funcional, no només en AVDs i mobilitat, sinó també en certes tasques domèstiques senzilles.

En aquest tipus de tetraplegia també és factible un entrenament intens per portar cadira de rodes manual en terrenys irregulars i rampes. A partir de lesions T6 els pacients presenten un control mínim del tronc, el que els permet realitzar un control gran de la cadira de rodes com “cavallets” (activitat que consisteix en l’elevació de la part anterior de la cadira i ajudar a pujar escales i altres irregularitats del terreny). A més, amb l’entrenament adequat poden fer transferències entre la cadira i el terra. Les persones amb lesions entre T9-T12 arriben a la bipedisme profilàctic amb ajuda d’unes crosses.

4.3.7 Paraplegia T10-L1

A partir de lesions T10 presenten una respiració normal amb una capacitat vital normal. Com a les lesions T1-T9 són independents en les AVDs, curs d’esfínters i transferències. Aquest grup de pacients és capaç de realitzar el bipedisme independent i marxa terapèutica assistida. Desafortunadament per totes aquestes activitats la despesa energètica és excessiva i el desgast articular de les extremitats superiors important. Els pacients continuen sent dependents d’una cadira de rodes autopropulsable en desplaçaments.

4.3.8 Paraplegia L2-S5

Pacients amb lesions lumbars o sacres tenen independència funcional en totes les activitats d’autocura, mobilitat i fins i tot activitats domèstiques. Segons el nivell afectat poden aconseguir una marxa funcional o sense necessitat de recolzar-se amb cap ajuda. A la zona L2 poden caminar però necessitaran una cadira de rodes autopropulsable pels desplaçaments. En canvi els pacients de zones L3-S1 podran realitzar trajectes llargs sense cap ajuda, tot i així no hi ha dues lesions iguals i caldrà estudiar el cas personalment, és a dir, algun pacient potser continua necessitant una cadira de rodes o algun ajuda.

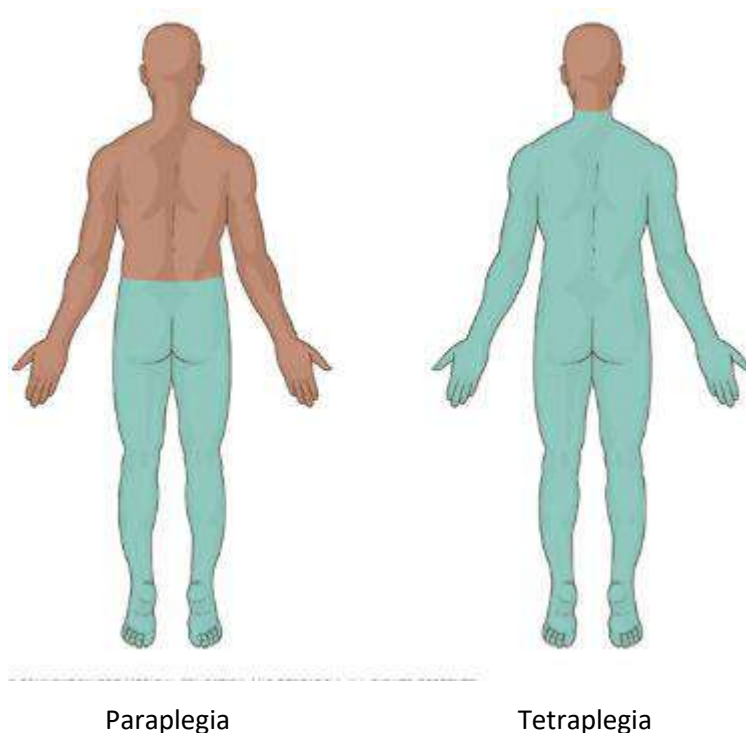


Fig.8: Imatge diferenciadora de la paraplegia i la tetraplegia

4.3.9 Avaluació de la lesió

La valoració ràpida és essencial per identificar la lesió primària, és a dir, la que es produeix en el moment de l'impacte. També és important per protegir la columna davant la lesió secundària, que es produeix després de la lesió inicial i és deguda a la hipòxia, la isquèmia o ambdues (Nayduch, 2011).

L'avaluació del tipus de lesió va finalment determinada per un examen neurològic. Es considera també l'inici de la valoració secundària.

La valoració de la funció motora és definida a partir de la capacitat del pacient en moure's o respondre davant estímuls en els diferents nivells de la medulla espinal. La força motora s'avalua en una escala de 6 punts:

- 0 = paràlisi total (absència de resposta).
- 1 = contracció palpable o visible, moviments musculars lleugers.
- 2 = moviment actiu però sense superació de la força de la gravetat.
- 3 = moviment actiu amb superació de la força de la gravetat.

- 4 = moviment actiu amb superació de certa resistència.
- 5 = moviment actiu amb superació d'una resistència completa.

L'objectiu principal és preservar i millorar la funció neurològica i la seva recuperació es centra en la prevenció de lesions secundàries. Es basa en realinear i estabilitzar la columna vertebral, i en la prevenció de complicacions. Per evitar l'agreujament de les lesions cal mantenir la via respiratòria i la ventilació, així com la pressió arterial.

La alineació i l'estabilització de la columna vertebral són per aconseguir la descompressió neural de la medul·la espinal i dels nervis espinals, ja que tenen una prioritat important pel control o la eliminació de la isquèmia i la necrosi d'aquesta. L'estabilització ràpida permet la mobilització del pacient i la prevenció de les complicacions associades amb la immobilitat.

4.4 Estimulació elèctrica medul·lar

L'estimulació elèctrica medul·lar (EEM) és una tècnica analgèsica per dolor agut focal, preferentment neuropàtic. Es basa en el principi teòric de reproduir o incrementar els sistemes i mecanismes fisiològics que controlen la gènesi i conducció dels estímuls (Hernández, 2016).

Aquesta tècnica acaba amb la necessitat d'alterar quirúrgicament la via anatòmica de transmissió del dolor i per altra banda, manca dels efectes secundaris provocats pels analgèsics.

El desenvolupament de la neuroestimulació es basa en dos principis fisiopatològics bàsics (Capdevila, 2018):

- El primer és el concepte implicat en *la teoria del control de porta* de Melzack i Wall. Aquesta atribueix a les neurones de l'asta posterior medul·lar un paper modulador de les inferències sensorials, de manera que la seva activació a través d'impulsos per fibres mielíniques produiria

una inhibició presinàptica de la transmissió de les fibres amielíniques fines.

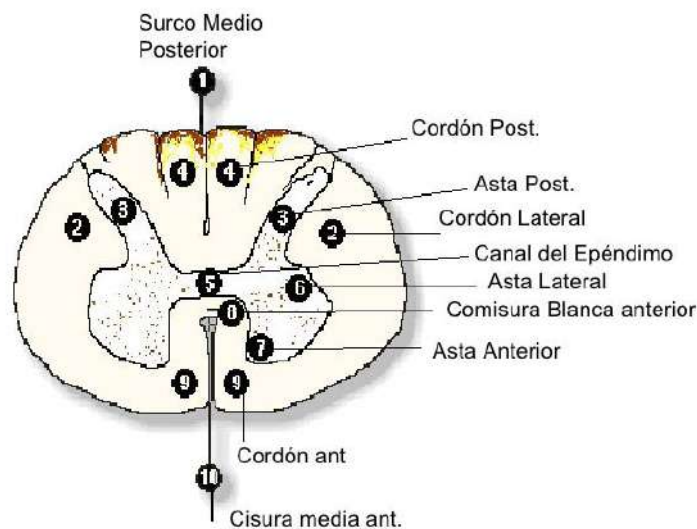


Fig.9: Imatge de tall transversal de la medulla espinal. Es pot observar l'asta posterior equivalent al número 3 de la imatge.

Les percepcions del sistema nerviós, principalment la del dolor, no depenen únicament de l'estimulació perifèrica i de la seva transmissió, sinó que hi ha sistemes propis de modulació medul·lar que hi influeixen. La transmissió de la sensació dolorosa a l'encèfal a través de fibres aferents primes es pot inhibir per l'acció de l'estimulació de fibres gruixudes, que són les que transmeten la sensació del tacte, de tal manera que es pot provocar una mena de 'porta' que bloqui l'ascens del dolor.

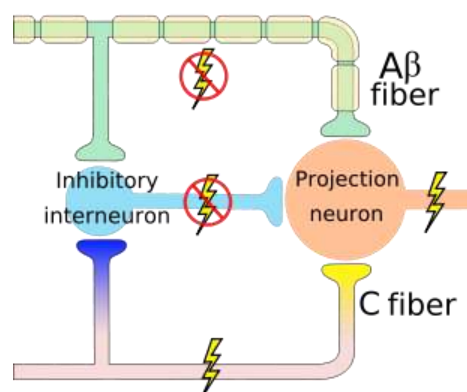


Fig.10: Imatge de la transmissió de la sensació dolorosa i la capacitat d'inhibir.

- El segon principi és el descobriment dels opioides endògens (que són substàncies generades pel propi cos que tenen una activitat semblant a la de l'opi) i la alliberació per estimulació elèctrica d'algunes àrees del cervell. L'estimulació cerebral profunda implementant elèctrodes a la substància gris periacueductal i periventricular va obtenir bons resultats.

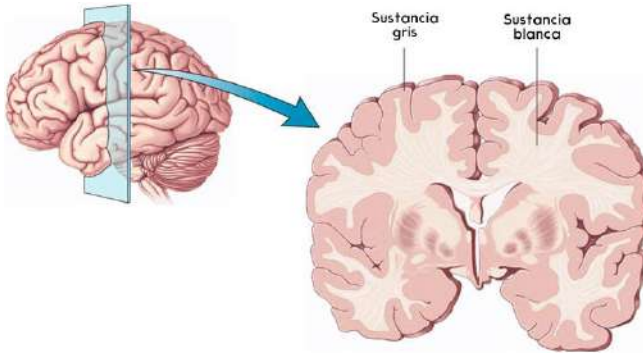


Fig.11: Imatge de la substància gris i la blanca del cervell

Els opioides endògens regulen la transmissió del dolor i determinen moltes respostes a aquest estímul. Estan involucrats en el control de l'homeòstasi, el dolor, la proliferació cel·lular, control cardiovascular i en la resposta immune.

4.4.1 Antecedents

L'EEM va ser incorporada com a nou mètode terapèutic a partir dels anys setanta i s'aplicava a diverses patologies d'etiologia variada, sense tenir en compte la seva base fisiopatològica.

Un grup europeu especialitzat en l'estudi i tractament del dolor, va realitzar una de les primeres revisions on es va poder observar que tan sols un 23% dels pacients presentaven un resultat satisfactori de llarga durada. (Gabriela Emilia Hernández, 2017)

Aquests resultats poc favorables van ser deguts a la selecció prèvia dels pacients, a la inapropiada indicació clínica i a la incorrecta localització parestèsia que ha de coincidir amb la zona dolorosa.

Degut a la qüestió anterior es van crear els Criteris d'indicació. Aquests es poden resumir en els següents:

- És preferible una aplicació en dolor crònic de tipus neurogènic o vascular.
- Per un efecte profitós, es requereix la integritat del Sistema Nerviós Central.
- L'analgèsia més eficaç s'aconsegueix en els casos de dolor localitzat.
- El grau d'analgèsia durant el període de prova té un gran valor predictiu.
- És cabdal tenir un nivell cultural i un estat psicològic apropiats.
- No pot existir una dependència farmacològica.
- Eludir aquells casos en els que el pacient vol aconseguir un benefici econòmic de la tècnica.

4.4.2 Tècnica

El mecanisme d'acció de l'EEM encara és desconegut, tot i així la substància asta dorsal medul·lar sembla ser l'última responsable de la coordinació motora per la relació sinàptica amb el sistema extrapiramidal. (Hernández, 2016)

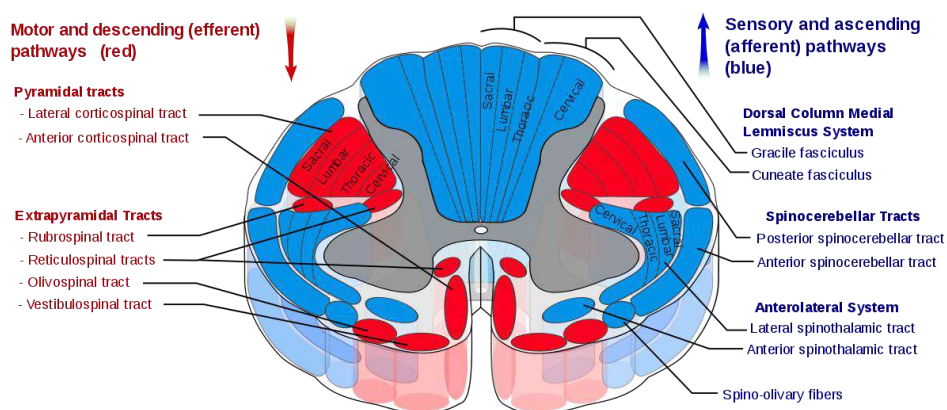


Fig.12: Imatge del mecanisme d'acció de l'EEM.

L'Estimulació Elèctrica medul·lar és una tècnica de neurocirurgia funcional que activa mecanismes fisiològics i per tant, és reversible. La disciplina conté una part d'implantació percutània i aquest és un dels motius pels qual s'ha

transformat en un procediment cada vegada més difós. Consta de dues intervencions: una de prova i la segona, anomenada implantació definitiva.

Consisteix en la col·locació d'un elèctrode a l'espai epidural sobre els cordons posteriors medul·lars, en situació paramediana, que al connectar-se a un generador d'impulsos, indueix una projecció de parestèsia que ha de coincidir, dins el possible, amb la zona que s'ha de tractar.



Fig.13: Imatge de la col·locació de l'elèctrode.

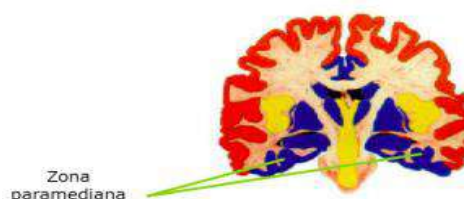


Fig.14: Imatge de la zona paramediana.

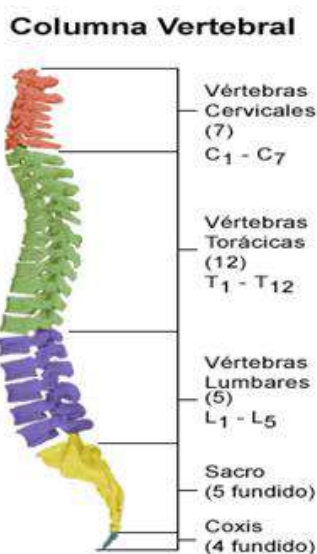


Fig.15: Imatge de la columna vertebral.

El punt de punció dependrà del nivell d'estimulació.

Pel dolor precordial, l'elèctrode haurà d'encloure les vèrtebres C2-C3, si l'àlgia es troba en les extremitats superiors, la punció serà entre els nivells C4-T1, i per extremitats inferiors serà de T9-T12.

Durant la primera fase de prova, que dura entre dos i tres setmanes, s'indueix l'estímul a través d'un generador extern provisional que es connecta a l'elèctrode a la seva ubicació definitiva. Durant aquest període el pacient pot controlar la freqüència dels impulsos, d'entre 2-130 pulsacions/segon.

Durant la fase definitiva, es substitueix el generador extern per un de totalment implantable i es realitza un control per telemesura, és a dir, la tecnologia que permet el mesurament a distància i la comunicació d'informació.



Fig.16: Imatge del generador implantable i l'elèctrode

4.4.3 Elements utilitzats en la intervenció

Els elements que són empleats mitjançant aquesta tècnica són (Espinosa, 2013):

- **Elèctrodes:** Actualment s'utilitzen els tetrapolars, és a dir, s'utilitzen quatre pols. L'aparell subministra, mitjançant circuits separats, dos corrents alternes, és a dir, que canvien en intervals llargs de temps la intensitat, de freqüència mitjana. Quan les dues corrents es creuen, es produeix una interferència i conseqüentment l'efecte de la intensitat es dona a la zona on les corrents es troben i a cada quadrant que delimiten dos elèctrodes de circuits diferents.

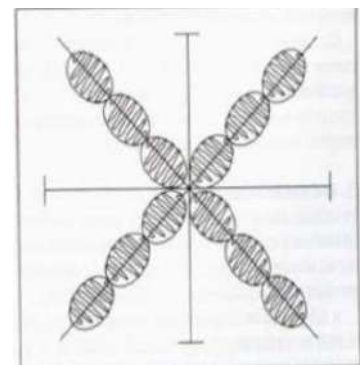


Fig.17: Imatge d'un elèctrode tetrapolar

Els elèctrodes transcutanis tenen unes característiques específiques, són cilíndrics i de vint-i-vuit centímetres de longitud. Es solen introduir a través d'una agulla Tuohy 15G. Tenen quatre quadrants de platí-iridi de tres mil·límetres de longitud i estan separats entre sí per sis mil·límetres.

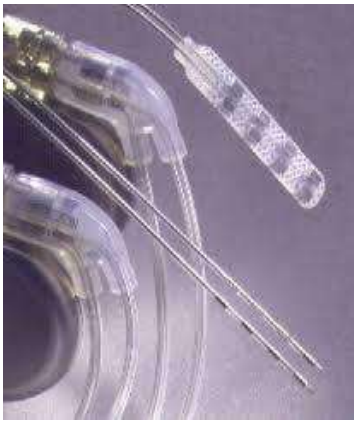


Fig.18: Imatge d'un elèctrode transcutani.

Són els elèctrodes més freqüents i la tècnica que s'utilitza per implementar-los és poc cruenta. No es necessita anestèsia general i d'aquesta manera t'assegures que la zona induïda sigui la desitjada. Un inconvenient relatiu seria que hi ha una major possibilitat de migració de l'elèctrode, tot i que els sistemes amb els que contenen permeten una reprogramació en alguns paràmetres.

El pacient per aquesta intervenció, es col·loca en la posició de decúbit pron, lleugerament anestesiàt i es realitza una punció epidural sota control radioscòpic i anestèsia local. El lloc de punció és més avall de la ubicació prevista pels components, fet que permet una situació més precisa.

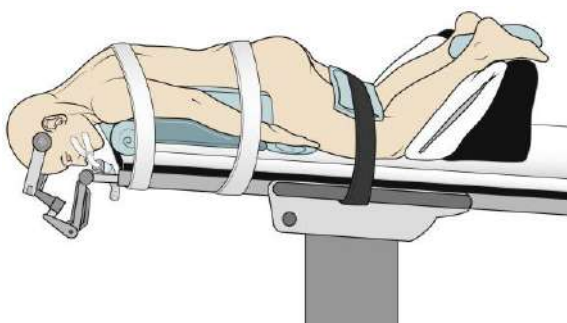


Fig.19: Imatge de la posició decúbit pron.

Es realitza una punció vertical per salvar la apòfisi espinosa de la vèrtebra superior per aconseguir arribar al lligament groc de l'espai superior amb el major angle que l'agulla ens permeti. És recomanable que l'angle d'introducció sigui major als 30 graus, d'aquesta manera es facilita la introducció de l'elèctrode dins l'espai epidural (Hernández, 2016).

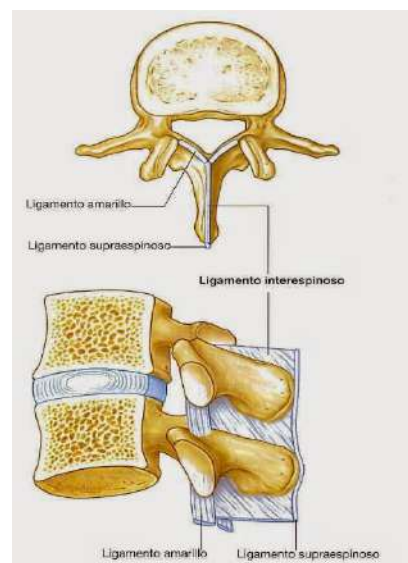


Fig.20: Imatge dels lligaments de la vèrtebra

Quan l'elèctrode es troba al nivell seleccionat es realitza una estimulació buscant que les parestèsies ocupin l'àrea adolorida i que la tècnica no provoqui respostes motores no desitjades.

Una vegada localitzat, es fixa l'elèctrode a la fàscia dorsal per mitjà d'aranzels de silicona.

Existeixen un segon tipus d'implants que es col·loquen mitjançant una cirurgia oberta, i s'utilitzen elèctrodes rectangulars o ovalats generalment de les següents mides: (44 x 10 x 1,7 mm), que posseeixen quatre pols rodons alineats o en creu.



Fig.21: Imatge de la posició d'una implantació.

Per aquest tipus d'aparells es realitza una cirurgia oberta, aquests s'escullen quan la zona de parestèsia és molt àmplia. Particularment, és usada en regions cervicals i destinada a persones joves en les quals el risc de migració de l'elèctrode és alt degut a la mobilitat del tram raquidi.

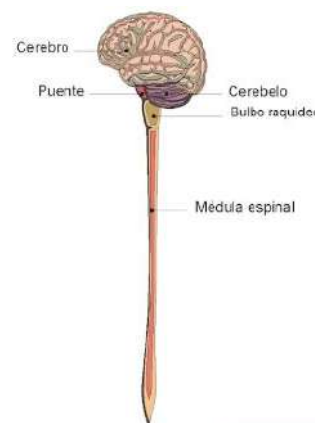


Fig.22: Imatge del tram raquidi

Aquesta tècnica requereix anestèsia general, però aquest fet impedeix constatar si l'àrea de parestèsia està completament coberta. Però aquest desavantatge està compensat en part, ja que aquest tipus d'elèctrodes assoleixen una gran extensió.

4.4.4 Implant

Tots els elèctrodes, sense tenir en compte la tècnica d'implantació, estan units a un generador d'impulsos, anomenats receptors de radiofreqüència implantats. Aquests són activats a través d'un emissor extern que permet la modificació de la intensitat del generador. Aquest generalment està connectat a un elèctrode, la qual cosa facilita la localització de la zona desitjada.

L'amplitud del generador varia entre 0-12 Volts amb salts de 0,1 Volts. La freqüència oscil·la entre 2 i 130 pulsacions per segon amb increments d'una pulsació per segon. L'amplitud del pols està entre 50 i 500 milisegons amb variacions de 10 milisegons.



Fig.23: Imatge del generador.

4.4.5 Trastorns

L'aplicació de l'EEM en un pacient pot provocar trastorns sensitius relacionats amb el dolor neuropàtic. Els causants acostumen a ser (Hernández, 2016):

- Aracnoïditis: inflamació de l'aracnoide provocada per contrastes liposolubles o presència de sang en l'espai epidural.
- Cirurgia de la columna fallida: generalment degut a la fibrosis epidural, quan existeix un dolor a les extremitats inferiors.
- Neuràlgia postherpètica: és una complicació que es pot produir pel desenvolupament d'un herpes zòster i que es caracteritza per un dolor constant.
- Monyó i cicatriu dolorosa.
- Distròfia simpàtica reflexa.

També existeixen disfuncions motores:

- Esclerosi múltiple: quan apareix una paraparèsia espàstica i trastorns vesicals amb dolor.
- Paràlisi cerebral: el primer símptoma és la atetosis, la distonia i la torticolis espasmòdica.

4.4.6 Beneficis

Davant l'EEM podem afirmar alguns beneficis que obté el pacient sotmès al tractament (Hernández, 2016):

- Millora evident de la microcirculació facilitant una bona cicatrització de les úlceres.
- Bon control del dolor.
- Augment significatiu de la distància caminada fins que es comença a claudicar.

- En alguns casos s'evita l'amputació del membre afectat o del nivell d'amputació.
- Millora la qualitat de vida.

4.4.7 Conclusió

En conclusió l'EEM, gràcies als avenços tecnològics ha esdevingut una tècnica de baixa mortalitat, tolerada per l'organisme, còmode i fàcil de manejar. A més a més, com a conseqüència no hi ha complicacions importants i els efectes secundaris són reversibles.

El major inconvenient és el cost i la inversió econòmica que s'ha de destinar a l'operació i a l'aparell.

Òbviament, a partir de la implantació, s'observa una millora important del dolor, una disminució del consum de fàrmacs i un retorn a l'activitat laboral més ràpid. És necessari tenir un criteri sòlid per la selecció del pacient i una constància en el seguiment, ja que d'això depèn l'èxit o el fracàs de l'EEM.

Per totes les coses mencionades amb anterioritat, la neuroestimulació és un mètode cada vegada més freqüent en el tractament del dolor.

Marc pràctic

El marc pràctic consisteix en la creació d'un suport visual per facilitar la comprensió de la tècnica descrita en el marc teòric.

Es descriu la fabricació d'una columna vertebral mitjançant les impressions en 3D i la programació d'un xip que permet una simulació de l'estimulació elèctrica medul·lar. Per finalitzar també es presenta la producció d'un blog amb finalitat educativa on hi ha tots els continguts en relació el marc pràctic del treball.

5. MATERIAL

5.1 Maqueta de la columna vertebral

Els diversos materials amb els quals es pot imprimir amb la *Sigma* són PLA, ABS, Nylon, PET-G, PVA, TPU i Composites. Tots aquests són anomenats filaments és a dir, materials de grau industrial dissenyats per oferir resultats òptims en cadascuna de les impressions.

La maqueta de la columna vertebral està fabricada a partir de PLA o àcid polilàctic, un polímer constituït per molècules d'àcid làctic, que és utilitzat en la creació d'envasos i és biodegradable. S'obté a partir del midó del blat de moro. És utilitzat àmpliament en les impressions 3D mitjançant el procés de Modelat per Deposició Fosa (MDF), utilitzat per modelar prototips i producció a petita escala.

Un cop s'aconsegueixin totes les parts que formen la maqueta final, es necessita un suport on sostenir el resultat, a més a més, també cal tenir un material, com la silicona, per unir totes les peces.

5.2 Simulació del tractament

Per la segona part del projecte, he programat un xip seguint el programa *Arduino*. Mitjançant aquest, es connecten leds a la placa esmentada i permet una programació que proveeix un ventall ampli d'oportunitats.

Aquest anirà col·locat de manera estratègica a la columna vertebral impresa a la primera part i farà una simulació de l'emissió dels estímuls elèctrics que s'utilitzen en l'EEM.

Arduino és una plataforma de creació electrònica de codi obert, és a dir, ofereix un accés pràctic al codi font del producte (béns i coneixements). Està basat en un hardware i software lliures, flexibles i fàcils d'utilitzar pels usuaris. Aquesta plataforma permet crear diferents tipus de microordinadors d'una sola placa als que es poden donar diferents tipus d'usos.

Aquest programa ofereix les bases perquè qualsevol persona pugui crear les seves pròpies plaques, diferents entre elles però funcionals a partir de la mateixa base. També es proposa *Arduino IDE (Entorn i desenvolupament integrat)*, que és un entorn de programació amb el que qualsevol pot crear aplicacions per les plaques, de manera que poden adquirir qualsevol utilitat. (Xataca Basics, 2018)

La placa que s'ha utilitzat per a la programació s'anomena *Arduino Uno*, és una placa de controlador de codi obert basat en el microxip ATmega328P, un circuit integrat d'alt rendiment i una memòria amb la capacitat de "llegir mentre escriu". Està equipada amb un conjunt de pins d'entrada i sortida digitals i analògics, que es poden connectar a diverses plaques d'expansió i a altres circuits. Conté catorze pins digitals, sis pins analògics i programables amb *Arduino IDE* a través d'un cable USB. Mitjançant aquest últim també pot estar alimentat o utilitzant una bateria externa de nou volts, tot i això accepta voltatges d'entre set i vint volts. (Wikipedia, 2019)

La paraula "Uno" es va utilitzar per marcar el llançament inicial del software *Arduino*. Aquesta placa és la primera d'una sèrie basades en USB. El microxip anomenat anteriorment apareix preprogramat amb un carregador d'arrencada que permet carregar un nou codi sense l'ús d'un programador hardware extern. (Wikipedia, 2019)

5.3 Creació d'un blog

Per a la creació d'un blog explicatiu, on es podrà trobar el procés de creació de la columna vertebral amb la finalitat de suport educatiu visual, s'ha utilitzat la plataforma online *Blogger*.

És un suport que permet idear i publicar un blog fàcilment. L'usuari no està obligat a escriure cap codi o instal·lar programes específics al servidor.

Blogger accepta al *hosting* el seu propi servidor (Blogspot) o el servidor que l'usuari especifiqui (FTP o SFTP) (Lluís, 2018).

6. MÈTODE

6.1 Maqueta de la columna vertebral

6.1.1 Planificació de la columna vertebral

Per a la realització de la maqueta de la columna vertebral és necessària una planificació prèvia. La creació està basada en un esquema realitzat amb anterioritat i amb les modificacions adients realitzades posteriorment.

Les peces ideades són a una escala més gran que les d'un humà, d'aquesta manera les impressions permeten un grau de precisió més gran. Anatòmicament l'espina dorsal comprèn de 73 a 75 centímetres, amb un total de 33 vèrtebres.

Les mides estàndard d'una columna vertebral humana són les següents:

Vèrtebres cervicals



La part cervical està formada per un conjunt de set vèrtebres.

Aquestes ocupen de 13 a 14 centímetres de la longitud total de la columna.

Fig.24 Imatge de la part cervical.

Vèrtebres toràciques



Fig.25 Imatge de la part toràcica

La part toràcica està formada per un total de dotze vèrtebres que ocupen uns 27-29 centímetres del total de la columna.

Vèrtebres lumbars

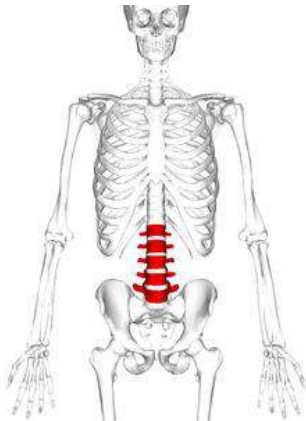


Fig.26 Imatge de la part lumbar

La part lumbar està constituïda per cinc vèrtebres, que identifiquen uns 17-18 centímetres.

Sacre i còccix



Fig.27 Imatge vertebral.

El sacre està format per cinc vèrtebres i el còccix per quatre més, amb un total de nou ossos. Aquesta totalitat representa uns 12-15 centímetres de la espina dorsal.

6.1.2 Disseny i transformació d'arxius

Pel disseny de la columna he escollit un esquema realitzat prèviament per un usuari anònim que he trobat a *Thingiverse*, una pàgina web dedicada a

compartir dissenys per impressores 3D, online i gratuïtament, buscant la innovació.

Després de descarregar-me els arxius amb la informació per la maqueta, els he hagut d'adaptar a la impressora que he utilitzat, una *Sigma*, que es troba a l'Institut Josep Brugulat de Banyoles. Per aconseguir els documents específics que es necessiten s'ha de traspasar la informació a G-Code o llenguatge de programació G, aquest tipus de codi és a partir del qual aconseguim transportar a les impressores 3D el "què" i "com" volem quelcom. És, a grans trets, les instruccions que indiquen on s'ha de moure, la velocitat i la trajectòria a seguir, indica l'operació que s'ha de realitzar.

Tot aquest procés de transformació dels arxius ha estat realitzat a partir del programa *Cura*, una aplicació creada per les impressores 3D a partir del qual es podem modificar els paràmetres d'impressió i ser transformats al llenguatge específic.

Els documents descarregats dividien una mateixa vèrtebra en diverses parts, és a dir, calien diferents impressions per realitzar una peça, que finalment havien de ser ajuntades. Mitjançant l'aplicació esmentada he pogut ajuntar les diferents informacions de tal manera que amb un sol arxiu, es produïssin les varies parts constituents de la vèrtebra. Aquest procés és degut a què el programa permet una visualització prèvia de les peces en 3D col·locades sobre el vidre d'impressió, de tal manera que obrint diversos arxius i fent els canvis convenients es pot aconseguir que les peces independents tinguin espai suficient per ser impreses simultàniament.

El funcionament de la generació del codi, per tant, de la manera com actua el programa és, dividir l'arxiu model escollit o dissenyat en varies capes, creant així el G-Code. Quan s'ha finalitzat el procés el resultat final és enviat a la màquina a través d'un dispositiu d'emmagatzematge o vinculat a la impressora per mitjà d'una connexió.

6.1.3 Funcionament de les impressions

En cadascuna de les impressions és necessari realitzar el mateix procediment.

En primer lloc, cal extreure el dispositiu d'emmagatzematge que conté la impressora, i mitjançant un ordinador, traspasar l'arxiu desitjat en el llenguatge adequat.

Un cop estigui introduït cal comprovar que el filament de PLA estigui en el lloc adequat, cal dipositar el rotllo del material en una base indicada i fer passar un extrem del fil per el forat adient. Després cal indicar a la impressora que hem introduït el material, de tal manera que pugui escalfar a la temperatura adequada els espais on es troba perquè es fongui, i, a partir d'aquí tenir la capacitat de modelar segons les indicacions en G-Code per obtenir l'objecte.

La duració per cada peça és relativa a la complexitat.

Finalment un cop estigui acabat, s'extreu el filament. Es desenganxa el vidre d'impressió on hi trobarem allò demanat, s'extreu i es torna a col·locar el cristall.

Abans de realitzar la pròxima operació cal untar la plataforma amb laca, per aconseguir que no s'enganxi totalment a la base el PLA i facilitar-ne l'extracció.

6.2 Simulació del tractament

6.2.1 Programació amb Arduino

El microcontrolador d'*Arduino* posseeix una interfície d'entrada, una connexió en la que podem connectar diferents tipus de perifèrics units a la placa. La informació d'aquests elements és transportada al microcontrolador, el qual s'encarrega de processar les dades que arriben (Carrió, 2016).

El tipus de perifèrics que es poden utilitzar per enviar dades depenen de l'ús pel que estarà programat. Poden ser des de càmeres, teclats o diferents tipus de sensors.

Aquestes plaques també contenen una interfície de sortida, que és la que s'encarrega de portar la informació processada pel xip a la resta de perifèrics. Aquests poden ser pantalles o altaveus en els que es reproduiran les dades processades, però també poden ser altres plaques o controladors.

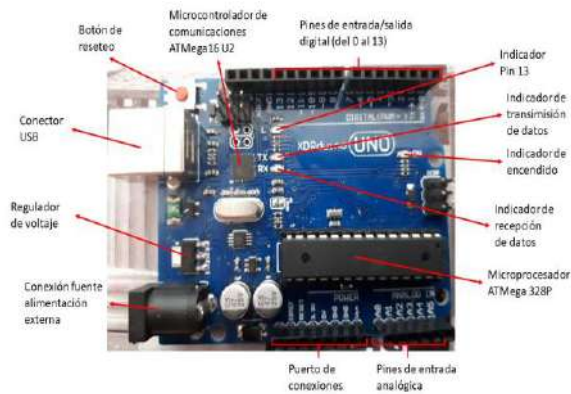


Fig.28 Imatge de la placa

6.2.2 La placa

La placa que he utilitzat per la programació s'anomena *Arduino Uno*, és una placa de controlador de codi obert basat en el microxip ATmega328P, un circuit integrat d'alt rendiment i una memòria amb la capacitat de "llegir mentre escriu". Està equipada amb un conjunt de pins d'entrada i sortida digitals i analògics, que es poden connectar a diverses plaques d'expansió i a altres circuits. Conté catorze pins digitals, sis pins analògics i programables amb *Arduino IDE* a través d'un cable USB. Mitjançant aquest últim també pot estar alimentat o utilitzant una bateria externa de nou volts, tot i això accepta voltatges d'entre set i vint volts (Alba, 2019).

La paraula "Uno" es va utilitzar per marcar el llançament inicial del software *Arduino*. Aquesta placa és la primera d'una sèrie basades en USB. El microxip anomenat anteriorment apareix preprogramat amb un carregador d'arrencada que permet carregar un nou codi sense l'ús d'un programador hardware extern.



Fig.29 Imatge d'Arduino Uno

La placa és programada a través de l'*Sketch*, el codi que s'utilitza per utilitzar *Arduino*. Les parts de les que consta aquesta plataforma, i les que s'han utilitzat per dur a terme la programació són les següents:

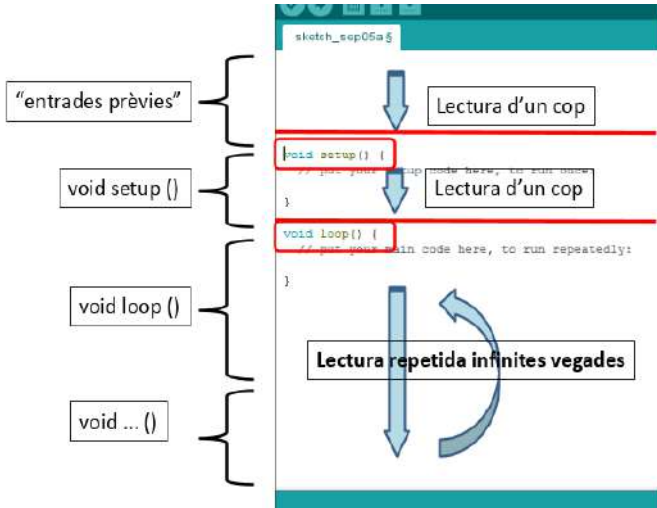


Fig.30 Imatge del funcionament.

En la imatge anterior podem observar les opcions més essencials que ens presenta l'anterior plataforma. El funcionament que utilitza el programa és el següent:



Fig.31 Imatge del funcionament.

En la següent imatge es pot observar la programació realitzada pel treball de recerca. La seva funció va relacionada amb els leds. Descriu una intermitència de la llum i una variació de la intensitat. La simulació representa l'enviament d'estímul elèctric a través de la implantació de l'aparell requerit en l'EEM.

```
int x=25;

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
}
12_leds_intermitent_1
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(2, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(2, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(3, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(3, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x);
  digitalWrite(4, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(4, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(5, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(5, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x);
  digitalWrite(6, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(6, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(7, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(7, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x);
  digitalWrite(8, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(x); // wait for a second
  digitalWrite(8, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(x); // wait for a second
```

Fig.32 Imatge de programació.


```

digitalWrite(7, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x);
digitalWrite(8, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(8, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(9, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(9, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x);
digitalWrite(10, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(10, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x);
digitalWrite(11, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(11, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(12, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(12, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x);
digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
delay(x); // wait for a second
digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
delay(x); // wait for a second

```

Fig.33 Imatge de programació.

La informació obtinguda a partir de les imatges anteriors és la següent:

- “the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup () { “

Aquesta primera indicació expressa que tota la programació s’inicia un cop es doni energia a la placa o quan es premi el botó “reset”.

- “// initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
pinMode (2, OUTPUT)...”

En aquesta segona instrucció entenem que hi ha 13 sortides de la placa, totes connectades als leds i que aquest programa funcionarà en tots els dispositius connectats a la placa.

- “// the loop function runs over and over again forever void loop () {“

L' escriptura fa referència al temps que durarà la funció programada. En aquest cas les indicacions no s'aturaran fins que no s'extregui la font d'energia que utilitza la pila (o s'apagui el dispositiu).

- “digitalWrite (2, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltatge level)”

Aquesta indicació descriu que la primera funció que farà el led és produir llum a un voltatge alt.

- “digitalWrite (2, LOW); // turn the LED off by making the voltatge LOW

L'expressió anterior explica que un cop acabada la primera funció, el led s'apagarà, reduint el voltatge de la llum. D'aquesta manera es crea un efecte de pampallugues.

- “delay (X); // wait for a second “

L'última frase ens explica que entre la primera funció programada i la segona hi haurà un interval de temps de 1 segon.

Totes les instruccions explicades són comunes a totes les sortides de la placa, d'aquesta manera són iguals per tots els leds. (Vegeu annex 3)

6.2.3 Implantació dels elèctrodes

En una tetraplegia, la introducció dels elèctrodes avarca de les vèrtebres C4 a la D1, per aquest motiu, la simulació amb leds tindrà situació a l'espai que pertany entre aquests dos punts.



Fig.34 Imatge de la columna vertebral.

6.3 Creació d'un blog

Per la creació del blog, el punt d'inici que trobem és l'escriptori, on hi ha una llista de totes les opcions que et proporcionen a l'hora de personalitzar el blog. Dins d'aquesta opció pots afegir "gadgets" com presentacions, enquestes d'usuaris i anuncis d'Adsense. (Wikipedia, 2019)

En la segona part de la creació, s'escriu una nova entrada del blog. Tens diverses opcions a partir d'aquí:

- Utilitzar vista prèvia per veure com t'està quedant.
- Afegir una imatge: Pots determinar-ne la seva mida i les opcions "Esquerra", "Centrar" y "Dreta".
- Publicar imatges amb el dispositiu mòbil, el software de fotos gratuït de Google Picasa o un servei de tercers com flickr.

- Afegir un vídeo: Blogger accepta arxius AVI, MPEG, QuickTime, Real i Windows Media amb una mida inferior a 100 MB.

Et permet veure una llista de les entrades publicades per un blog determinat.

Té també, un apartat amb una llista desplegable que et permet diverses opcions:

- Visió general
- Entrades
- Pàgines
- Comentaris
- Estadístiques
- Ingressos
- Disseny
- Plantilla
- Configuració

6.3.1 Blog personalitzat

L'enllaç al blog creat és el següent: eemtdr@blogspot.com

El blog s'anomena "Estimulació elèctrica medul·lar". Està creat a partir de la plantilla "Soho".

Conté alguns "gadgets" optatius, com la opció de buscar les publicacions a la pàgina web i la classificació per etiquetes. Hi ha la possibilitat de publicar-hi comentaris.

A continuació es podran observar imatges del blog:



Fig.35 Imatge del blog.



A les imatges anteriors es pot observar l'escriptori del blog creat, conjuntament amb un índex per facilitar la cerca dels articles més interessants.

En les següents imatges es pot observar l'organització i disposició dels articles a la plataforma.

ESTIMULACIÓ ELÈCTRICA MEDULAR

CERCA

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada



DISSENY I TRANSFORMACIÓ

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada



de setembre 11, 2019

MATERIAL SIMULACIÓ

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada

de setembre 11, 2019

MATERIAL IMPRESSIONS

Fig.36 Imatge del blog.

ESTIMULACIÓ ELÈCTRICA MEDULAR

CERCA

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada



de setembre 11, 2019

PROCÉS DE CREACIÓ

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada

de setembre 11, 2019

PLANIFICACIÓ COLUMNA VERTEBRAL

Comparteix: Publica un comentari a l'entrada

Fig.37 Imatge del blog.

7. RESULTATS

7.1 Presentació de les vèrtebres

Les impressions es van començar a partir de les cervicals fins arribar al sacre i còccix.

Vèrtebres cervicals

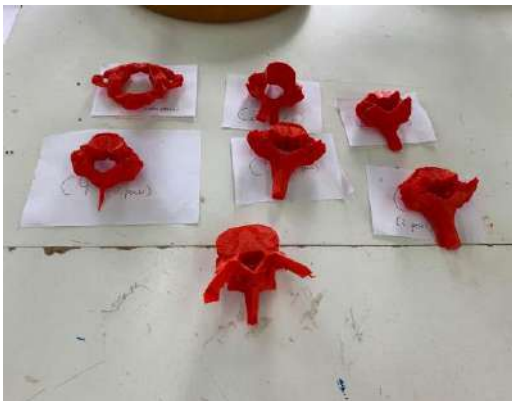
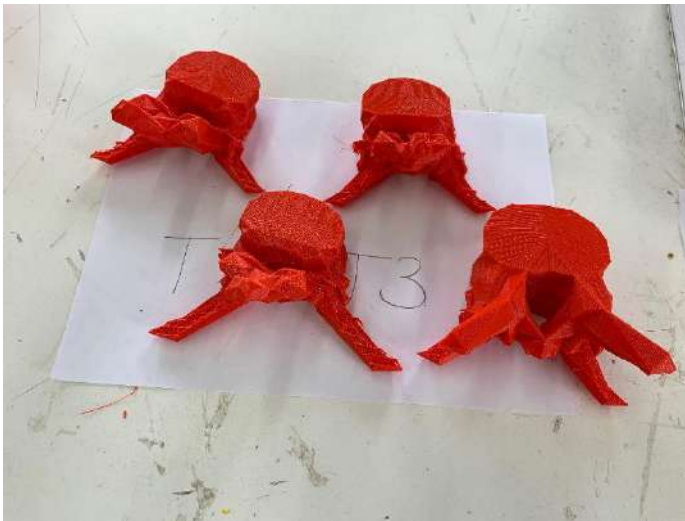


Fig.38 Imatge de vèrtebres.

En aquesta imatge anterior es poden observar les 7 vèrtebres que conformen la cervical. Es pot veure com cadascuna d'elles està constituïda per dues parts diferents que s'han d'ajuntar per aconseguir la vèrtebra al complet.

Vèrtebres toràciques



En aquest apartat es pot veure en quatre imatges diferents el conjunt de vèrtebres que formen la part toràcica de la columna vertebral.

Fig.39 Imatge de vèrtebres.



Fig.40 Imatge de vèrtebres.

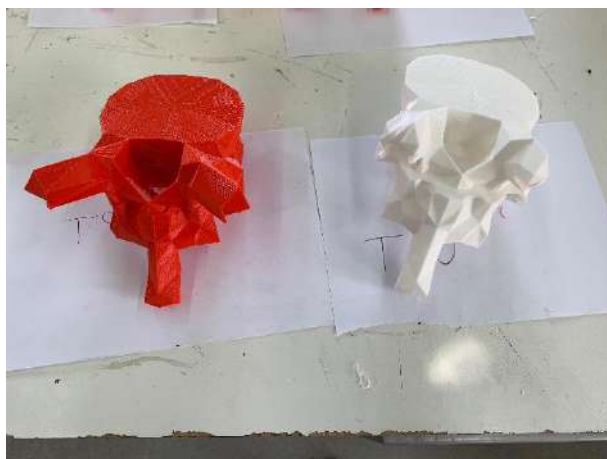
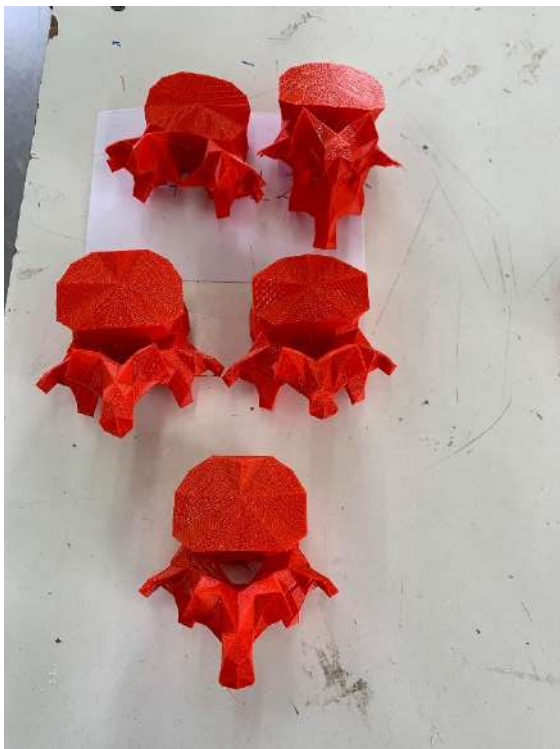


Fig.41 Imatge de vèrtebres.

Vèrtebres lumbar



Impressions de les 5 vèrtebres lumbar.

Fig.42 Imatge de vèrtebres.

Sacre i còccix



Fig.43 Imatge de vèrtebres.

7.2 Presentació de la placa

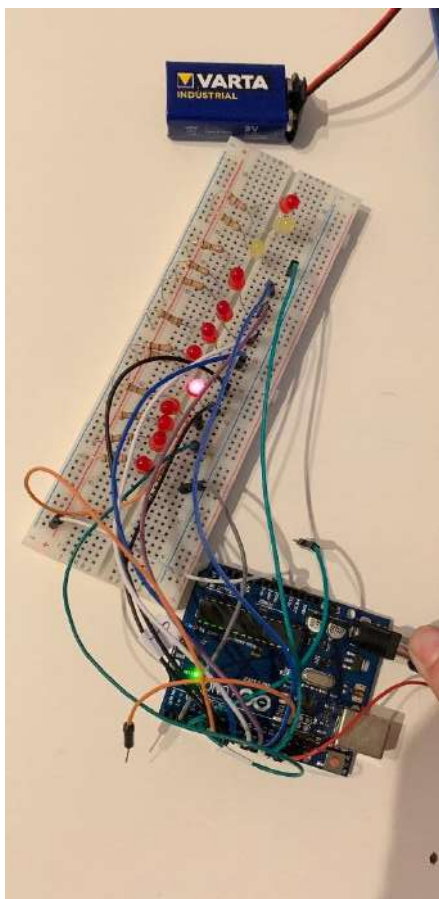


Fig.44 Imatge de la placa

A la figura 44 es pot observar el resultat final de la placa, on hi ha els leds connectats mitjançant cables.

Els leds s'extrauran de la placa a la que estan units i s'adjuntaran a la columna vertebral per simular el tractament.

Pel funcionament de la programació vegeu annex 3.

7.3 Muntatge final



Fig.45

Les imatges següents són els resultats obtinguts un cop la columna ha estat muntada.

A la figura 45 es pot observar una ampliació de les unions de les vèrtebres dins la columna.

La figura 46 és la imatge de la part de darrera la columna.



Fig.46

La figura 47 representa la zona frontal de la columna. Es poden observar els discs intervertebrals (annex 2).



Fig.47

8. DISCUSSIÓ

En primer lloc, cal dir que la maqueta es va començar el 17 de juny de 2019 i ha estat acabada el 20 de setembre de 2019, tot i que estava previst obtenir els resultats amb més antelació. Això és degut a que el temps d'impressió depèn de cada peça, algunes poden tardar aproximadament 10 hores, i a més, hi ha hagut algun contratemps, ja que alguns dies estava embussada i no es podia imprimir.

Maqueta de la columna vertebral

D'una banda cal destacar que la columna no és a escala en comparació amb la d'un humà, ja que durant les impressions les vèrtebres es van ampliar perquè la qualitat i la precisió de les peces millorés.

Tal com ja s'ha explicat, els productes obtinguts a partir de la impressora 3D eren les vèrtebres dividides en dues parts, per aconseguir el resultat final s'han hagut d'unir amb silicona. Entre elles, no estan unides, és a dir, per exemple, les vèrtebres L1 i L2 no estan enganxades, però els subdivisions de la peça sí. Per tal de dissimular de la manera més acurada possible les unions entre vèrtebres s'han imitat uns discs intervertebrals (vegeu annex 2).

Una limitació ha estat que algunes vèrtebres tenen angles complicats d'imprimir, per tant, abans de les impressions s'havia de modificar el disseny inicial per tal de poder afegir uns punts de suport a les vèrtebres. D'aquesta manera els suports es podien retirar amb posterioritat, però alguns d'aquests van quedar units a les peces. Com a conseqüència d'això s'han obtingut vèrtebres amb alguns forats que han estat tapats amb silicona i pintura vermella, creant una capa indiferenciable entre la vèrtebra i aquesta solució.

Disseny i transformació d'arxius

El procés de transformar els arxius que contenen la informació corresponent als dissenys de les vèrtebres és una tasca llarga. Requereix una transformació de 66 arxius, degut a la subdivisió de les vèrtebres en dues parts.

En un inici les impressions s'aprofitaven per a una vèrtebra, és a dir, a l'hora de convertir els arxius, també s'ajuntaven de dos en dos, de tal manera que en un sol arxiu es produïssin dues peces. Després de la creació de 5 vèrtebres, el sistema de funcionament es va canviar. No era productiu que només s'imprimissin dues peces al moment, i que la resta d'espai de la impressora quedés desaprofitat, de tal manera que els arxius van passar a unir-se de quatre en quatre, d'aquesta manera el procés es va accelerar i es va aconseguir més productivitat.

Per altra banda, no tots els arxius es van transformar correctament en un inici. Algunes de les impressions van començar a sortir amb imperfeccions que afectaven a tota la fisiologia de la vèrtebra. Després d'analitzar-ho es va descobrir que era degut a una conversió dolenta dels documents. Per aquest motiu, hi va haver una segona transformació dels arxius.

Funcionament de les impressions

El procés d'impressió de les peces és imprevisible, ja que, com s'ha comentat abans, la durada de la formació d'una peça pot variar. Per altra banda, la impressora 3D que ha estat proporcionada per l'institut, no ha funcionat a la perfecció en tots els moments. Generalment els tubs pels quals es subministrava el PLA s'embussaven. Aquest fet és degut a que determinades composicions s'acabaven a determinades hores, durant les quals el centre no estava obert, per aquest motiu la recollida d'aquestes s'havia de realitzar el dia posterior. Això causava que, malgrat la impressió s'acabés, restes del plàstic es dipositessin als tubs i es creés una acumulació.

Simulació del tractament

La simulació de l'enviament d'estímuls elèctrics ha funcionat tal com estava previst. Reflecteix el punt més important del tractament. Tot i això, cal destacar que no s'han pogut dur a terme totes les funcions plantejades en un inici. La intenció principal era que els leds provoquessin un efecte de recepció d'impulsos elèctrics, amb la capacitat de control de la intensitat, de tal manera que es pogués simular un control total del voltatge i d'aquesta manera introduir l'explicació de la variació de la intensitat en relació la gravetat i la posició de la lesió. Malgrat aquest últim inconvenient, es pot observar la funció del tractament.

Programació amb Arduino

La programació amb la plataforma *Arduino* és una manera senzilla per una introducció al món de la programació. Ha permès una realització de la majoria dels ideals plantejats en un inici per aquesta part del projecte. Aprendre com formular les indicacions de tal manera que els leds (sortides) connectats a la placa realitzin una funció determinada, ha representat una tasca no molt complicada degut a l'ajuda de PowerPoint i indicacions dels diferents experts del centre.

Aquesta part del projecte ha resultat ser un procés de curta durada degut a que, un cop la programació ha estat inserida a la placa, aquesta es queda gravada fins que no sigui eliminada i reprogramada. Per aquest motiu, no és necessari una indicació de *Cura* (plataforma de programació) cada cop que es vol un funcionament de la placa. Aquesta té "memòria" de l'última funció que ha realitzat.

Creació d'un blog

Per la ideació del blog, s'ha utilitzat la plataforma Blogger on et presenta els bàsics per la creació d'un blog ben elaborat.

El procés d'aquest apartat ha resultat ser senzill. La plataforma no ha presentat cap problema, tot i que les modificacions per personalitzar el blog són limitades. Per altra banda la realització d'un menú, on els articles estiguin separats per etiquetes de tal manera que hi hagi la possibilitat de separar els articles per interessos ha comportat contratemps. Aquest últim cas és degut a que les indicacions de com crear les funcions més complexes no està ben indicat. A més, no en totes les ocasions es guardaven els últims canvis modificats, per aquest motiu, la creació del blog i dels articles ha estat repetida en diverses ocasions.

Blog personalitzat

La personalització del blog és una tasca limitada. Blogger és una plataforma que t'ofereix els components essencials per la producció d'un blog.

Per contra, no presenta moltes opcions per fer un blog personalitzat, de la manera que es vol. Malgrat aquesta última afirmació, ha resultat molt adequat per la funció que ha de realitzar, i una eina útil on es poden trobar els aspectes més característics i importants del treball de manera resumida. Ofereix la informació justa per fer una reproducció del projecte.

Muntatge

El resultat final de la maqueta ha comportat molt treball i temps. Un cop les vèrtebres han estat impreses, s'han hagut d'ordenar, és a dir, etiquetar de tal manera que faciliti la distinció de quin sector de la columna vertebral pertanyen i en quina posició d'aquesta zona pertanyen. Això s'ha realitzat a partir dels arxius de disseny convertits en un inici.

Un cop s'ha aconseguit una separació, s'han enganxat les subdivisions creant la vèrtebra final. S'ha destinat més temps del previst en aquesta part degut a la dificultat de diferenciació.

Finalment, després d'estar unides, s'han creat els discos intervertebrals personalitzats per cada vèrtebra (vegeu annex 2).

Per acabar, el suport on havia d'anar el muntatge sostingut no era suficientment alt, per tant, s'ha hagut de crear un segon suport adequat per la maqueta realitzada.

Respecte el suport visual realitzat, les utilitats proposades per aquesta columna són bàsicament educatives, per això, de cares a un futur seria interessant estudiar per saber si realment el producte obtingut ha simplificat l'aprenentatge de l'estimulació elèctrica medul·lar en la tetraplegia.

Finalment, cal destacar que la part pràctica del treball de recerca és la creació d'un producte alternatiu per a l'aprenentatge. Per tant, els resultats obtinguts en comparació la teoria i la pràctica, no varien gaire, perquè sempre es poden fer modificacions als resultats finals per una adaptació a la teoria proposada.

Conclusions

A continuació, s'exposen les conclusions obtingudes en relació als objectius plantejats per dur a terme aquest projecte:

- El mecanisme de funcionament de l'estimulació elèctrica medul·lar consisteix en una intervenció quirúrgica on s'implanten uns elèctrodes en les zones C4-D1 de la columna vertebral. Són connectats a un generador d'impulsos i d'aquesta manera s'activen els mecanismes fisiològics. Això fa que sigui una tècnica reversible.
- La majoria de causes d'aquest tipus de lesió es produeixen en joves, són provocades generalment per accidents amb vehicles, atacs per violència física i traumatismes esportius.
Les conseqüències es determinen a través de la gravetat de les lesions, però qualsevol moviment de la columna vertebral pot donar lloc a la compressió o a la distensió del teixit neural, causant la producció de lesions medul·lars.
- La realització de la maqueta de la columna vertebral ha resultat efectiva. Representa la tècnica descrita en el projecte i és un suport visual per la comprensió de l'estimulació elèctrica medul·lar.
- S'ha comprovat que l'EEM millora la qualitat de vida de les persones afectades de tetraplegia a través de la recerca basada en les experiències de diferents pacients. (Vegeu annex 4)

ÍNDIX DE LES FIGURES

- **Figura 1**, font: March, J. (2015). *Vèrtebra*.
- **Figura 2**, font: Enfermeria Celayane (2019). *La médula espinal y los nervios espinales*
- **Figura 3**, font: Muñoz, S. (2010). *La médula espinal: anatomia y fisiologia*.
- **Figura 4**, font: Muñoz, S. (2010). *La médula espinal: anatomia y fisiologia*.
- **Figura 5**, font: Equipo de Redacción de PartesDel.com (2019). *Partes de la vertebra*
- **Figura 6**, font: Marnet, M. (2016). *Columna vertebral*.
- **Figura 7**, font: Castellanos, C. (2014). *Anatomía y biomecánica de la columna vertebral*.
- **Figura 8**, font: Mayo Clinic Stuff. (2017). *Spinal Cord Injury: Symptoms and causes*.
- **Figura 9**, font: Rial, D. (2007). *Medula espinal*.
- **Figura 10**, font: Capdevila, M. (2018). *Teoría del control de porta*
- **Figura 11**, font: Martos, C. (2019). *Sustancia gris: elementos, localización y funciones*.
- **Figura 12**, font: Medicina del Dolor (2015). *Implante de sistemas de estimulación medular y nervio periférico*
- **Figura 13**, font: Universitair Medisch Centrum Groningen (2015).
- **Figura 14**, font: Fundación Centro Investigación Enfermedades Neurológicas. (2014). *Anatomía cerebral para entender mejor las enfermedades neurológicas*.
- **Figura 15**, font: Anònim (2014). *Columna vertebral: ligamentos y músculos*.
- **Figura 16**, font: <https://www.youtube.com/watch?v=sFrd5OW2iIA>
- **Figura 17**, font: Rial, D. (2007). *Medula espinal*.
- **Figura 18**, font: Luna, L.G. (2014). *Electroteràpia*.
- **Figura 19**, font: Granado, H. (2015). *Auxiliar de enfermería en hospitalización*.
- **Figura 20**, font: Anònim (2014). *Columna vertebral: ligamentos y músculos*.
- **Figura 21**, font: Serradilla, M. (2014). *Cirugía de las glándulas suprarrenales*.

- **Figura 22**, font: Granado, H. (2015). *Auxiliar de enfermería en hospitalización*.
- **Figura 23**, font: Batlle, J. (2016). *Arcos biomedical*.
- **Figura 24**, font: Casas, L. (2017). *Cuáles son los síntomas de pinzamiento cervical y cómo tratarlos*.
- **Figura 25**, font: : [BodyParts3D, © The Database Center for Life Science, bajo la licencia Creative Commons](#) (2012). *Thoracic vertebrae*.
- **Figura 26**, font: : Wikimedia Commons (2019). *Lumbar vertebrae*.
- **Figura 27**, font: Saragota Spine (2019). *Spine Anatomy Part 5 – The Sacrum and Coccyx*.
- **Figura 28**, font: Carrió, J. (2017) *Programació amb Arduino*.
- **Figura 29**, font: Kitronik, Ltd. (2016). *Arduino Uno main board R3*.
- **Figura 30**, font: Planas, J. (2019) *Arduino*
- **Figura 31**, font: Planas, J. (2019). *Arduino*
- **Figura 32**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 33**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 34**, font: <https://studylib.es/doc/5343499/columna-vertebral>
- **Figura 35**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 36**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 37**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 38**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 39**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 40**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 41**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 42**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 43**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 44**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 45**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 46**, font: Borra, B. (2019)
- **Figura 47**, font: Borra, B. (2019)

- **Taula 1**, font: Nayduch, (2011). *l'Escala d'afectació d'una LME*.

BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

Alba, (2019). *Atmega328*. Recuperat de : <https://es.wikipedia.org/wiki/Atmega328> (11/07/2019)

Anatomía topográfica. *Nervios espinales*. Recuperat de: [https://www.anatomiatopografica.com/sistema-nervioso/nervios-espinales/\(3/07/2019\)](https://www.anatomiatopografica.com/sistema-nervioso/nervios-espinales/(3/07/2019))

Anònim (2014). *Columna vertebral: ligamentos y músculos*. Recuperat de: <http://laanatomiadela columna.blogspot.com/2014/11/columna-vertebral-ligamentos-y-musculos.html> (20/06/2019)

Argomedo, (2012). *Lesión neuronal*. Recuperat de : <https://es.scribd.com/doc/96959414/Lesion-Neuronal> (25/06/2019)

Aspaym Madrid (2013). *Lesión Medular: Guía para el manejo integral del paciente con LM crónica*. Recuperat de: https://www.codem.es/Adjuntos/CODEM/Documentos/Informaciones/Publico/ffc d6ec4-ba0e-456d-a4e6-898519fedd06/AFE3D9D2-2478-49D8-97A1-E8D672190CE4/8145d334-906c-4dc6-8357-d3026d3c9e9c/file_Guia_manejo_in.pdf (16/04/2019)

Avendaño, (2001). *La estimulación funcional en el lesionado medular*. Recuperat de: <https://www.elsevier.es/es-revista-fisioterapia-146-articulo-electroestimulacion-funcional-el-lesionado-medular-S0211563801729690> (20/04/2019)

Bot, (2016). *Neuràlgia postherpètica*. Recuperat de: https://ca.wikipedia.org/wiki/Neur%C3%A0lgia_postherp%C3%A8tica (11/06/2019)

Bot, (2018). *Interfície d'usuari*. Recuperat de: https://ca.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%ADcie_d%27usuari (11/07/2019)

Capdevila, M. (2018). *Teoria del control de porta*. Recuperat de: https://ca.wikipedia.org/wiki/Teoria_del_control_de_porta (11/06/2019)

Carrió, *Programació amb Arduino*. Recuperat de: <http://placarduino.weebly.com/p-r-o-g-r-a-m-a-c-i-o-aacute.html> (11/07/2019)

Castellanos, (2014). *Anatomía y biomecànica de la columna vertebral*. Recuperat de: <https://www.monografias.com/trabajos63/anatomia-columna-vertebral/anatomia-columna-vertebral.shtml> (11/06/2019)

Enfermeria Celayane (2019). *La médula espinal y los nervios espinales*. Recuperat de: <https://blogs.ugto.mx/enfermeriaenlinea/unidad-didactica-2-la-medula-espinal-y-los-nervios-espinales/> (16/04/2019)

Equipo de Redacción de PartesDel.com (2019). *Partes de la vertebra*. Recuperat de: <https://www.partesdel.com/vertebra.html> (11/07/2019)

Espinosa, (2013). *Corrientes interferenciales*. Recuperat de: <https://es.slideshare.net/jessicaespinosam/corrientes-interferenciales-28228738>

Freiré, (2008). *EEM en el tratamiento de la enfermedad vascular periférica: Parte I*. Recuperat de: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-80462008000500006 (10/08/2019)

Fundación Centro Investigación Enfermedades Neurológicas. (2014). *Anatomía cerebral para entender mejor las enfermedades neurológicas*. Recuperat de: <http://blog.fundacioncien.es/index.php/2014/04/anatomia-cerebral-para-entender-mejor-las-enfermedades-neurologicas/> (10/08/2019)

Granado, (2015). *Auxiliar de enfermería en hospitalización*. Recuperat de: <https://slideplayer.es/slide/4073433/> (13/08/2019)

Hernández, (2016). *Estimulación eléctrica medular en el tratamiento del dolor crónico*. Recuperat de: https://www.anestesia.org.ar/search/articulos_completos/1/1/290/c.php

Humana, A. (2013). *Columna vertebral considerada en su conjunto*. Recuperat de: <https://es-la.facebook.com/notes/anatomia-humana/columna-vertebral-considerada-en-su-conjunto/396107390489789/> (12/07/2019)

Jiménez, A. (2009). *EEM en pacientes con dolor crónico: evaluación de la discapacidad y la calidad de vida*. Recuperat de: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-80462010000300003 (27/08/2019)

Lluís, (2018). *Blogger*. Recuperat de: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Blogger>

Luna, (2014). *Electroteràpia*. Recuperat de: https://es.slideshare.net/Gerardo_25/electroterapia-35665074 (14/08/2019)

Maddox, (2007). *Guía de recursos sobre la parálisis*. Recuperat de: <http://s3.amazonaws.com/reeve-assets-production/Spanish-PRG-4th-ed.-2018.pdf> (20/04/2019)

Marnet, (2016). *Columna vertebral*. Recuperat de: <https://salud.ccm.net/faq/18714-columna-vertebral-definicion> (20/06/2019)

Martos, (2019). *Sustancia gris: elementos, localización y funciones*. Recuperat de: <https://www.lifeder.com/sustancia-gris/> (28/07/2019) Mayo Clinic Staff. (2017). *Spinal Cord Injury: Symptoms and causes*. Recuperat de: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890> (27/07/2019)

Medicina del Dolor (2015). *Implante de sistemas de estimulación medular y nervio periférico*. Recuperat de: <https://medicinadeldolor.es/tratamientos/tecnicas-de-neuromodulacion-espinal-y-periferica/implante-de-sistemas-de-estimulacion-medular-y-nervio-periferico/> (10/07/2019)

Mel, (2019). *Nervio espinal*. Recuperat de: https://es.wikipedia.org/wiki/Nervio_espinal

Muñoz, S. (2010). *La médula espinal: anatomía y fisiología*. Recuperat de: <https://www.psicoadictiva.com/blog/la-medula-espinal-anatomia-fisiologia/>

Nayduch, (2011). *Los fundamentos: identificación y tratamiento de la lesión medular*. Recuperat de : file:///C:/Users/user/Downloads/lesion_medular.pdf (20/04/2019)

Rial, (2007). *Medula espinal*. Recuperat de: <https://es.slideshare.net/daianarial/medula-espinal-61120> (20/06/2019)

Serradilla, (2014). *Cirugía de las glándulas suprarrenales*. Recuperat de: <http://cirugiaandalucia.com/cirugia-de-las-glandulas-suprarrenales/>

Vidal, (S.D.). *La estimulación eléctrica funcional en la lesión medular*. Recuperat de: https://siidon.guttmann.com/files/sr69_estimulacione electrica.pdf (23/04/2019)

White, (2012). *Human osteology*. Recuperat de:

Wikipedia. (2019). *Arduino Uno*. Recuperat de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno (13/07/2019)

Xataca Basics. (2018). *Qué es Arduino, cómo funciona y que puedes hacer con uno*. Recuperat de: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno> (13/07/2019)

ANNEXOS

ANNEX 1: Realització del crani

Després de la creació del projecte, una maqueta de la columna vertebral, s'ha realitzat, també amb la impressora 3D, un crani complementari a al producte.

Com a tal, no forma part del treball, però és una ajuda per entendre la proporció de les vèrtebres dins la columna. A més a més aquesta peça permet una orientació de la zona del cos lesionada.

El crani que s'obté està dividit en 4 parts



El procés de creació del crani és el mateix utilitzat en les vèrtebres de la columna:

- 1- Transformació d'arxius
- 2- Producció amb la impressora 3D
- 3- Unir les diferents parts obtingudes del crani
- 4- Crear un disc intervertebral
- 5- Col·locar-lo sobre el suport.

Fig. 1: Crani i columna vertebral
Font: Tamblyn, A. (2017)

ANNEX 2: Creació dels discos intervertebrals

Per fer una representació de les unions entre vèrtebres, s'han produït discos intervertebrals.

El material utilitzat per la creació ha estat Goma Eva, ja que és fàcil de modelar i s'adapta bé a les formes que creen les superfícies de les vèrtebres.

S'ha usat color gris per crear un contrast entre l'os i les unions, d'aquesta manera és més visual la distinció.

Cada part de la columna té dos discos personalitzats, que s'han unit a la peça a través de silicona.



En aquesta imatge es pot observar el descrit anteriorment.

Els discos intervertebrals, de color gris, estan units als extrems de la vertebra, creant un efecte de separació amb la unió de la següent peça.

Fig. 2: Vèrtebra amb disc intervertebral
Font: Borra, B. (2019)

ANNEX 3: Funcionament de la simulació amb leds

Seguint el link que s'adjunta a continuació, es pot observar el funcionament de la programació amb *Arduino*.

Només es pot accedir al vídeo a partir del següent link:

<https://youtu.be/-xmAHyXUEI4>.

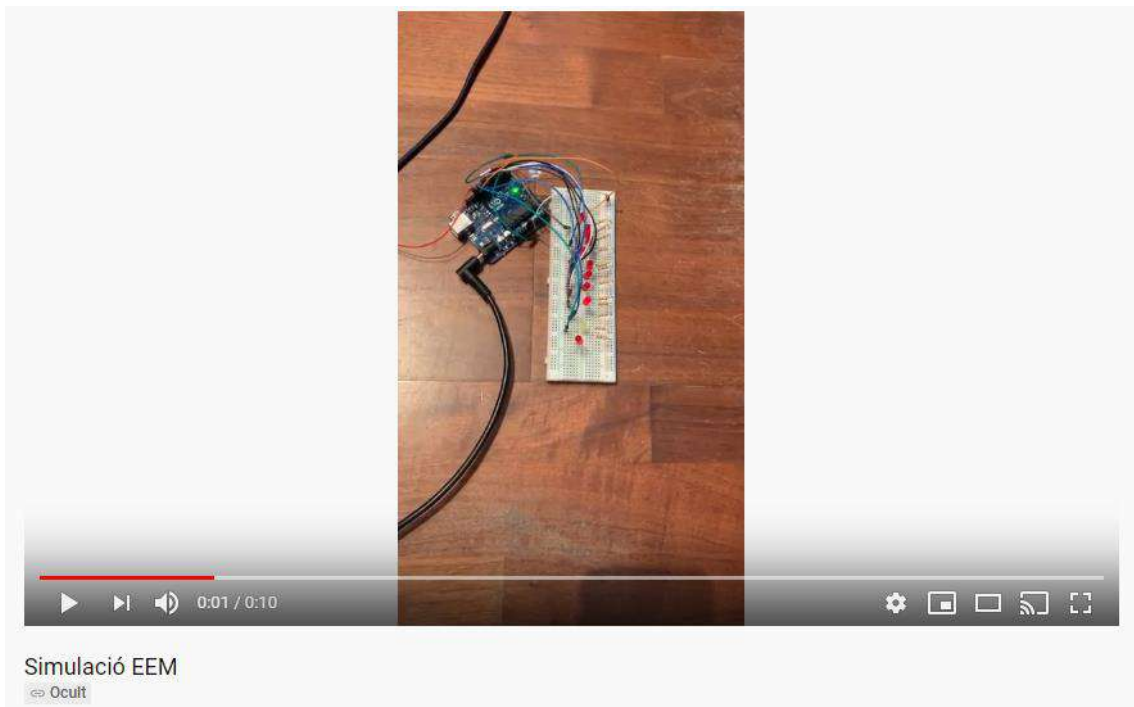


Fig. 3: Imatge escriptori del vídeo
Font: Borra, B. (2019)

Annex 4: Casos d'estimulació elèctrica medul·lar

Durant la realització del treball s'han conegut casos on s'ha utilitzat l'estimulació elèctrica medul·lar davant la tetraplegia.

Cas 1: Jered Chinnock



Fig. 4: Imatge del pacient
Font: CBS Interactive Inc (2019)

Jered Chinnock, pacient de 29 anys a Mayo Clinic (Minnesota, Estats Units), va patir un accident que el va deixar tetraplègic. Cinc anys més tard comença a recuperar la mobilitat a les extremitats gràcies a la tècnica Estimulació Elèctrica Medul·lar i hores de rehabilitació.

"The walking side of it isn't something where I just leave my wheelchair behind and away I go,, there is the hopeful side of, maybe I'll gain that — where I can leave the wheelchair behind, even if it is to walk to the refrigerator."

(Chinnock, J.)

La frase anterior la va anomenar el pacient a una entrevista amb BCS News. Comenta que "ràpidament no podré deixar la cadira de rodes de banda, però gràcies a les intervencions, hi ha l'esperança de que algun dia podré deixar la cadira de rodes per anar ni que sigui fins la nevera".

Cas 2: David Mzee



Fig. 5: Imatge del pacient
Font: The New York Times (2019)

David Mzee va patir un accident l'any 2010. Amb 31 any, va ajudar a organitzar "2019 Wings for Life World Run", una marató que va tenir lloc a la ciutat de Zug, Suïssa. Va fer els últims metres de la cursa caminant, aixecant-se de la cadira de rodes.

El seu tractament es va dur a terme a l'Escola Politècnica Federal de Lausana (EPFL).

"It was overwhelming. My maximum was six minutes of walking in the clinic on smooth surfaces and without this weather, and now I did 30 minutes with five or six breaks, which is a record for me" (Mzee, D.)

Comenta la seva experiència, "va ser increïble. El màxim temps que havia estat caminant eren sis minuts, on el terra era pla i la temperatura ideal. He caminat trenta minuts, amb unes cinc o sis parades, però és un record per mi".

