



FACULTAT  
**DE CIÈNCIES  
I TECNOLOGIA**

UVIC | UVIC·UCC

Treball de Fi de Grau Experimental

# EFECTE DE MÚSICA SOBRE EL RENDIMENT D'UN BCI

TARANDEEP SINGH MANDAHAR

**Grau en Enginyeria Biomèdica**

Tutor: Jordi Solé-Casals

Co-tutor: Marc Sebastián-Romagosa

Ubicació Vic, Setembre de 2021

## *Agraïments*

*En primer lloc vull agrair al meu tutor Dr. Jordi Solé i Casals per haver confiat en les meves capacitats per realitzar les tasques que requereix un treball d'aquestes característiques i ajudar-me les vegades que ha fet falta. També vull donar-li les gràcies per haver-me ajudat a incorporar a l'empresa g.tec per dur a terme aquest treball.*

*M'agradaria agrair de manera molt especial al suport que he rebut des de d'empresa g.tec sense qual no hagués estat possible la recollida i anàlisi de dades. Sobretot, a Dr. Marc Sebastián-Romagosa per ajudar-me amb tots els aspectes tècnics i teòrics de l'estudi. També agrair a Dr. Rupert Ortner pel seu constant suport per continuar avançant amb l'estudi.*

*Finalment, m'agradaria —més que agrair— disculpar-me de la meva família i de la gent més propera.*

## Resum

El recoveriX PRO s'utilitza en la rehabilitació de persones que han patit ictus per tant, una millora en el rendiment del sistema pot ajudar a millorar la qualitat de vida d'aquestes persones. El sistema es basa en la rehabilitació per la imaginació motora que promou la plasticitat neuronal aprofitant la capacitat del cervell per adaptar-se a noves situacions.

En el present estudi s'utilitza el sistema recoveriX PRO proporcionat per l'empresa g.tec, un dispositiu BCI (Interfície cervell-ordinador), per recollir els patrons en l'EEG (Electroencefalografia) dels pacients que han patit ictus i subjectes sans. Les dades es recullen per una banda, mentre els pacients i els subjectes sans escoltaran una determinada peça de música i per altra, sense música.

Una vegada s'han recollit les dades es vol observar si el rendiment del sistema BCI es veu afectada amb l'ús de música. També es recullen dades, amb uns qüestionaris, sobre motivació, satisfacció, rendiment, ... després de realitzar cada sessió de recollida de dades amb l'objectiu d'estudiar els possibles efectes que aquests factors poden tenir sobre el rendiment del sistema. Un altre objectiu de l'estudi era estudiar diferències en el rendiment i altres variables entre els subjectes sans i els pacients però degut a les normes de protecció de les dades l'empresa no ha compartit les dades dels pacients i per tant, no s'ha pogut dur a terme l'estudi previst.

No obstant això, existeixen limitacions que dificulten validar els resultats de l'estudi, com ara la quantitat de població que intervé en l'estudi. L'anàlisi de dades es fa amb només les dades de 10 subjectes sans. Per tant, no es poden generalitzar els resultats per totes les persones i molt menys pels pacients d'ictus. Tot i així, hi ha diferències en els resultats d'utilitzar i no utilitzar música que cal estudiar en més detall i es proposen algunes millores pels futurs estudis.

## **ABSTRACT**

RecoveriX PRO, a BCI (Brain-Computer Interface) device, is used in the rehabilitation of people who have suffered stroke, so an improvement in its performance can help improve the quality of life of these people. The system is based on rehabilitation by motor imagination that promotes neuronal plasticity by taking advantage of the brain's ability to adapt to new situations.

The present study uses the recoveriX PRO system provided by the company g.tec to collect EEG (Electroencephalography) patterns from stroke patients and healthy subjects. The data is collected on the one hand, while patients and healthy subjects listen to a certain piece of music and on the other hand, without music.

Once the data has been collected, the aim of the study is to see if the performance of the BCI system is affected by the use of music. Data is also collected, with questionnaires, on variables such as motivation, satisfaction, performance, ... after each session of data collection in order to study the possible effects that these factors may have on the performance of the system. Another aim of the study was to study differences in performance and other variables between healthy subjects and stroke patients but due to data protection rules the company has not shared patient data and therefore it has not been possible to carry out the planned study.

However, there are limitations that make it difficult to validate the results of the study such as the amount of population involved in the study. Data analysis is done with data from only 10 healthy subjects. Therefore, the results cannot be generalized to all people, much less to stroke patients. However, there are differences in the results of using and not using music that need to be studied in more detail, and some improvements are proposed for future studies.



# Taula de Continguts

<b>1 INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 QUÈ ÉS UN BRAIN-COMPUTER INTERFACE?</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 ELECTROENCEFALOGRAFIA (EEG)</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 Sistema 10/5 de posició dels elèctrodes.....	4
<b>1.3 BCI PER REHABILITACIÓ</b> .....	<b>5</b>
1.3.1 Imaginació motora (MI) .....	6
<b>1.4 recoveriX PRO</b> .....	<b>7</b>
1.4.1 Possibles efectes secundaris / beneficis de recoveriX PRO .....	11
<b>1.5 LDA (LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS)</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJECTIUS</b> .....	<b>12</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 APROVACIÓ DEL COMITÈ D'ÈTICA DE LA RECERCA</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 L'EFECTE DE MÚSICA SOBRE EL RENDIMENT DE TASQUES</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3 SELECCIÓ DELS PARTICIPANTS</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4 OBTENCIÓ DE DADES AMB recoveriX</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5 ANÀLISI DE DADES</b> .....	<b>21</b>
3.5.1 T Test .....	21
3.5.2 Shapiro-Wilk Test.....	22
<b>4 RESULTATS</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1 T Test PER COMPARAR EL ACCURACY</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2 COMPARACIÓ DE L'EDAT I ACCURACY</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3 COMPARACIÓ DEL SEXE I ACCURACY</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4 COMPARACIÓ DEL TIPUS DE TEST I ACCURACY</b> .....	<b>29</b>
<b>4.5 COMPARACIÓ DEL RENDIMENT I ACCURACY</b> .....	<b>30</b>
<b>4.6 COMPARACIÓ DE SATISFACCIÓ I ACCURACY</b> .....	<b>31</b>
<b>4.7 COMPARACIÓ DE MOTIVACIÓ I ACCURACY</b> .....	<b>31</b>
<b>5 DISCUSIONS</b> .....	<b>33</b>
<b>6 CONCLUSIONS</b> .....	<b>35</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>35</b>
<b>8 ANNEX</b> .....	<b>41</b>

# 1 INTRODUCCIÓ

---

Sovint observem gent que prefereix realitzar determinades tasques escoltant música i per altra banda, aquelles persones que no poden concentrar-se amb el mínim de soroll. Per determinades tasques es refereix a activitats com estudiar, conduir, activitat física, ... Tot i que existeixen molts estudis sobre l'efecte de música en el rendiment de diferents tasques realitzades [1] pels humans falta evidència de la seva efectivitat durant sessions de rehabilitació. Per exemple, en els estudis [2], [3] es compara l'efecte de música durant les sessions de rehabilitació sobre els pacients que han patit ictus. No obstant, es tracta de rehabilitació amb mètodes convencionals per exercici físic. Per altra banda, també existeixen mètodes [4], [5] que utilitzen la realitat virtual com l'eina principal en la rehabilitació de pacients amb ictus. Però, als nostres coneixements no hi ha cap estudi que avaluï l'efecte de música sobre el rendiment d'un sistema BCI (*Brain-computer interface*) utilitzat per la rehabilitació de pacients post-ictus.

És per això que en el present estudi es vol avaluar l'efecte de música mentre una persona intenta realitzar les tasques de dorsiflexió del canell i turmell, específicament, estudiant els resultats d'*accuracy* obtinguts a partir d'un sistema BCI. A més, es vol observar les diferències de l'efecte de música entre els pacients amb ictus i subjectes sans. Aquest estudi es realitza amb el sistema BCI anomenat *recoveriX PRO* desenvolupat per *g.tec medical engineering GmbH* que ajuda a la rehabilitació dels pacients amb ictus. També es vol estudiar l'efecte de música sobre la satisfacció i motivació dels pacients i subjectes sans durant les sessions de rehabilitació.

Per tant, es realitzen tres sessions de recollida de dades en total amb *recoveriX*. Dos d'aquests són amb música i una sense música. Es realitza només una sessió sense música perquè el sistema *recoveriX* ja ha estat utilitzat sense la incorporació de música anteriorment per tant, se sap de la seva efectivitat. A més, com que cada sessió dura aproximadament 1 hora, tenint en compte els qüestionaris, s'estalvia molt temps.

## 1.1 QUÈ ÉS UN BRAIN-COMPUTER INTERFACE?

*Brain-computer interfaces* (BCIs), interfícies cervell-ordinador en català, adquireixen senyals cerebrals, les analitzen i tradueixen en ordres que es retransmeten als dispositius de sortida que realitzen les accions desitjades per tant, no s'utilitzen les vies habituals de sortida dels nervis perifèrics i músculs. Aquesta definició limita estrictament el terme BCI als sistemes que mesuren i utilitzen els senyals produïts pel sistema nerviós central (CNS). [6]

En el camp de la medicina l'objectiu principal de BCI és substituir o restaurar les funcions principals en persones inhabilitades per trastorns neuromusculars com esclerosi lateral amiotròfica, paràlisi cerebral, ictus o lesió de la medul·la espinal. No obstant, un sistema BCI també es pot utilitzar per controlar personatges en videojocs, aparells domèstics, ... És a dir, per interactuar amb el món.

Existeixen diverses tècniques per adquirir senyals cerebrals com la imatge de ressonància magnètica funcional (fMRI), la magnetoencefalografia (MEG) i l'electroencefalografia (EEG). D'aquests tres mètodes, l'EEG és el més versàtil i rendible. [7]

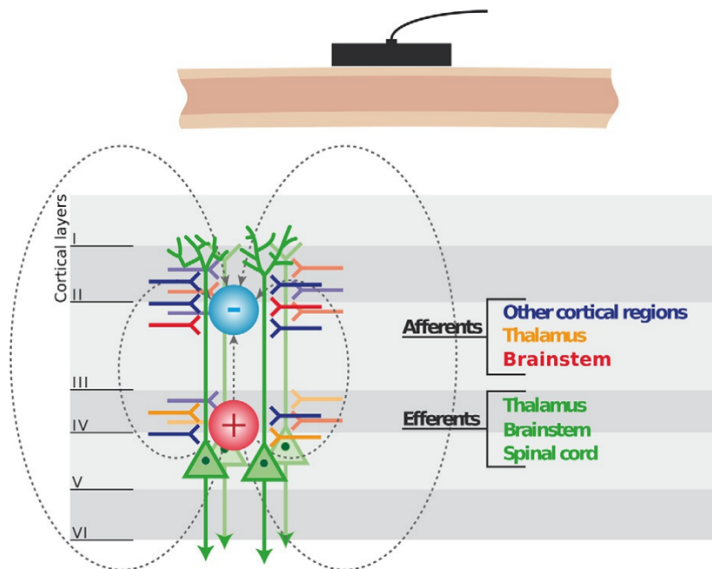
## 1.2 ELECTROENCEFALOGRAFIA (EEG)

S'estima que el cervell humà comprèn 100.000 milions de neurones, i cada neurona forma aproximadament 10.000 connexions amb altres neurones. Aquesta enorme xarxa neuronal activa elèctricament es pot dividir en moltes subxarxes. Corrents iònics presents en aquestes subxarxes causen canvis de potencial extracel·lular local. La superposició d'aquestes diferències de potencials s'anomena potencial de camp local (LFP). L'espectre de freqüència dels LFP és força ampli que comença de CC (corrent continu) fins a diversos centenars d'Hertz. Els principals fonts de LFP són les transmissions sinàptiques i els potencials d'acció (AP) [8]. [9]

L'EEG, fins ara, és el mètode no invasiu més comú per mesurar l'activitat elèctrica del cervell. Pot mesurar els potencials cerebrals a través de diversos tipus d'elèctrodes, que es munten sobre el cuir cabellut normalment amb l'ajuda d'una gorra. No obstant, els potencials mesurats són una versió modificada dels LFPs ([10]). Aquesta modificació té com a mínim dues causes. El primer, el camp elèctric decau amb el quadrat de la distància



de la font (d'on prové el senyal), per tant, el LFP s'atenua substancialment quan arriba als elèctrodes del cuir cabellut. El segon, la conductància del volum dels teixits del cap (principalment cervell, fluid cerebral, crani i cuir cabellut) provoca *smoothing* espacial sobre una àrea d'uns 10 cm<sup>2</sup> [10]. [9]



*Figura 1. Representació de les fonts del senyal per BCI. I – VI marquen les capes corticals. Les cèl·lules piramidals de les capes corticals 5 i 6 es ressalten en verd. Les seves sinapsis apicals i basals estan codificades per colors. La integració dendrítica espacial i temporal de la transmissió sinàptica condueix a la formació de dipols. Si milions de neurones reben transmissions sinàptiques basals o apicals síncrones, el camp elèctric resultant es propaga a grans distàncies i fins i tot es pot detectar al cuir cabellut on s'anomena EEG. [9]*

Degut a la atenuació i *smoothing* només es pot capturar l'activitat cerebral sincronitzada (per exemple, l'activitat cerebral sumada d'una àrea del cervell) a nivell del cuir cabellut. Els components de freqüència baixa dels LFP són causats principalment per transmissions sinàptiques correlacionades i es poden veure com dipols neuronals en cèl·lules piràmides paral·leles [10] (figura 1). Atès que només els AP (potencials d'acció) aferents condueixen a les transmissions sinàptiques, també es pot suposar que la contribució principal a LFP a freqüències més baixes prové d'aquestes AP aferents a les capes 1-4 de l'escorça (figura 1). Com més gran la població de cèl·lules actives sincrònicament, més gran és la deflexió potencial, és a dir, amplitud en l'EEG. [9]

### 1.2.1 Sistema 10/5 de posició dels elèctrodes

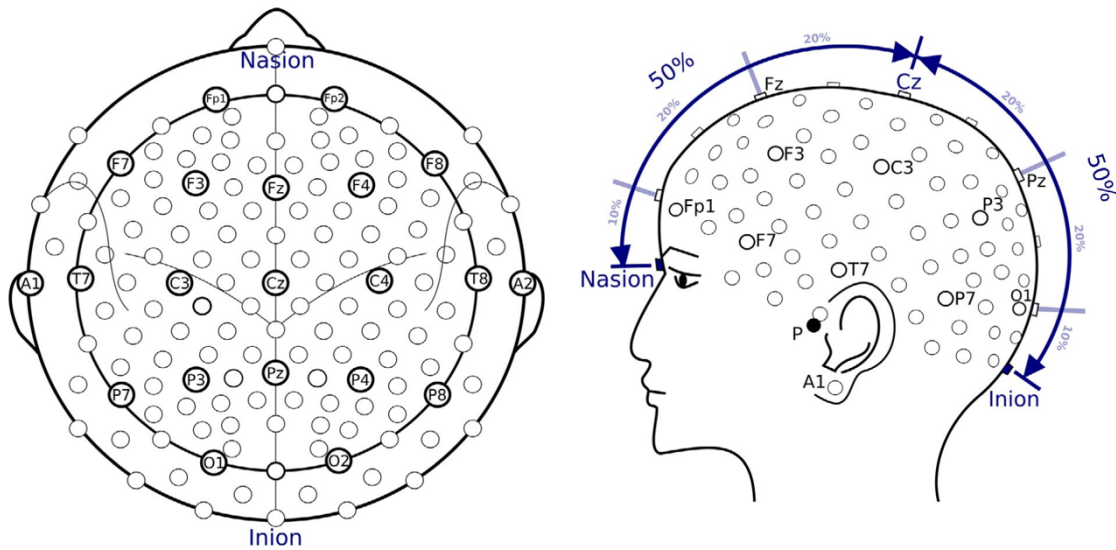


Figura 2. En la imatge a esquerre es veu la posició dels elèctrodes segons el sistema 10/5 vist des de la perspectiva superior i a la dreta s'observa la posició d'aquests des de la perspectiva lateral. A1 és el lòbul de l'orella i P és el punt preauricular. [9]

Tot i que per l'explicació del muntatge de cas s'utilitza una imatge amb el sistema internacional 10/5, el recoveriX PRO utilitza el sistema 10/10. La diferència entre els dos sistemes és la densitat d'elèctrodes, en el 10/5 les distàncies entre els elèctrodes són més petites per tant, es poden col·locar més elèctrodes. Les imatges en la figura 2 ens ajuden a entendre com es col·loca un casc o gorra per la lectura dels senyals EEG. És a dir, la distància dels seus elèctrodes a la inion (correspon al punt més prominent de la protuberància occipital externa a la base del crani) i la nasion (es troba en la intersecció o unió de la sutura frontonasal amb la sutura internasal). [11]

Per la convenció de noms existents mostrats a la Figura 2 s'apliquen les següents normes:

(1) El primer caràcter fa referència a la zona cortical (F = àrea frontal, C = àrea central, P = àrea parietal, T = àrea temporal i O = àrea occipital). Els elèctrodes entre aquestes àrees s'etiqueten amb dos caràcters (per exemple, FC = frontal – central).

(2) Un número (per exemple, P3) o un altre caràcter (per exemple, Cz) segueix després de la primera lletra. Els números senars indiquen llocs de l'hemisferi esquerre i nombres parells indiquen els llocs de l'hemisferi dret. Elèctrodes de la línia central (per exemple,

a la línia virtual que connecta la nasion i la inion, on el vèrtex correspon al seu longitud mitja) tenen com a indicador la "z". A més, els números augmenten a mesura que augmenta la distància a la línia central (vegeu, per exemple, Fz, F3, F7 a la figura 2).

### **1.3 BCI PER REHABILITACIÓ**

BCI per neuro-rehabilitació implica el registre i la descodificació de senyals cerebrals locals generades pel pacient quan aquest intenta realitzar una tasca particular (encara que sigui imperfecta) o durant una tasca mental per imaginació. L'objectiu principal d'aquests mètodes és promoure el reclutament de determinades àrees cerebrals implicades i facilitar la plasticitat neuronal. El senyal gravat es pot utilitzar de diferents maneres: (i) per enfortir l'entrenament basat en imaginació motora, proporcionant al pacient retroalimentació sobre la tasca motora imaginada, per exemple, en un entorn virtual; (ii) generar una tasca motora desitjada mitjançant estimulació elèctrica funcional o ortesis robòtiques rehabilitadores unides a l'extremitat del pacient, fomentant i optimitzant l'execució de la tasca, així com "tancant" el bucle sensoriomotor interromput donant al pacient la retroalimentació sensorial adequada; (iii) comprendre les reorganitzacions cerebrals després de la lesió, per tal d'influir o fins i tot quantificar els canvis induïts per la plasticitat a les xarxes cerebrals. [12]

El mètode principal de rehabilitació que utilitza el sistema recoveriX PRO (explicació detallada a l'apartat 1.4) és la imaginació motora. A més, és un sistema que proporciona retroalimentació i també utilitza la realitat virtual per promoure la plasticitat neuronal. Diferents estudis demostren l'efecte positiu de les tasques realitzades per imaginació motora durant la rehabilitació en pacients que han patit ictus [13], [14].

El terme plasticitat neuronal s'aplica a la capacitat del cervell per adaptar-se i canviar en resposta a experiències noves. La plasticitat neuronal inclou no només canvis a nivell morfològic, sinó també adaptacions bioquímiques i farmacològiques (vies intracel·lulars, receptors, proteïnes sinàptiques), alteracions de les xarxes neuronals (canvis en la connectivitat, remodelació dendrítica i nombre i morfologia de les espines dendrítiques), així com la generació de noves neurones (és a dir, neurogènesis per a adults). [15]

Un altre terme important que cal tenir en compte durant la rehabilitació de pacients post-ictus és el de neurones mirall. Durant l'execució o observació d'accions motores s'indueixen canvis a la zona penombra cortical adjacent. A més, estudis amb imaginació motora han demostrat eficàcia en tractar pacients post-ictus. La hipòtesis que es treu d'això és que les neurones miralls s'han activat durant aquest tipus d'activitats. Els investigadors suggereixen que aquestes neurones són part del sistema neuronal on l'observació d'una acció activa l'àrea cortical del cervell de l'observador. Això demostra l'eficàcia de la imaginació motora (explicació detallada a continuació) per promoure la reorganització cortical i la recuperació funcional en pacients post-ictus. [16]

### **1.3.1 Imaginació motora (MI)**

La imaginació motora es basa en la imaginació de moviment d'una part del cos per exemple, el braç, la cama, la llengua, ... Per tant, no s'executa el moviment com en execució motora (ME) sinó que simplement cal imaginar aquest moviment. Quan els humans executem o imaginem el moviment de les extremitats unilaterals, la potència dels ritmes mu (8-12 Hz) i beta (12-32 Hz) disminuirà o augmentarà a la zona sensoriomotora de l'hemisferi contralateral i l'hemisferi ipsilateral, respectivament. El primer cas s'anomena desincronització relacionada amb esdeveniments (ERD, *event-related desynchronization* en anglès) i el segon, sincronització relacionada amb esdeveniments (ERS, *event-related synchronization* en anglès). Per tant, l'activitat d'ERD/ERS és mesurada sobretot en els elèctrodes centrals (C3, CZ i C4). [17]

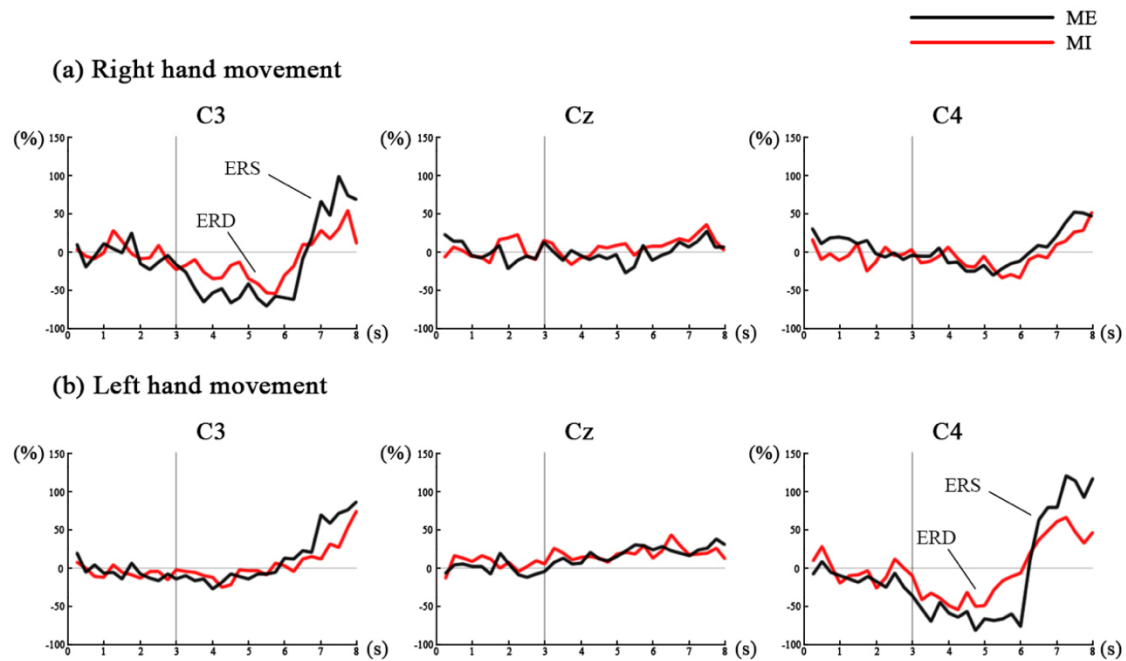


Figura 3. Representació d'ERD i ERS durant la imaginació (MI, vermell) i execució (ME, negre) de la mà esquerra i dreta, en els elèctrodes centrals. [17]

En la figura 3 podem observar que el senyal és semblant durant la MI i ME i que l'ERD i l'ERS es donen a la part oposada, és a dir, hi ha activitat a l'elèctrode C4 quan s'imagina el moviment d'una extremitat esquerra i al C3 quan s'imagina a la dreta. El senyal que s'hi observa és la potència EEG de la banda mu (8-12 Hz) on es fa la mitjana dels 3 segons pre-trial fins a 5 segons post-trial (marcat amb la línia vertical als 3 segons), i es mostra relatiu (com a percentatge) a la mateixa potència EEG. [17]

#### 1.4 recoveriX PRO

recoveriX PRO és un sistema de rehabilitació desenvolupat per l'empresa g.tec medical engineering GmbH. De fet, és el primer sistema de rehabilitació pels pacients d'ictus que combina l'activitat mental amb retroalimentació. Mentre el pacient realitza exercicis rep retroalimentació visual i tàctil en temps-real. Les sessions de rehabilitació consisteixen de tres 3 etapes (*runs* en anglès), la primera conta de calibratge i les últimes dues són d'entrenament. Durant l'entrenament es rep la retroalimentació visual i tàctil només quan



Figura 4. Sistema recoveriX PRO amb tots els seus components durant una estimulació del braç esquerre i cama dreta. [18]

- 1) **recoveriX HUB:** els dos accessoris amb interfície USB (el hardlock dongle i el g.ESTIM FES Right) es connecten a recoveriX HUB. A més, el HUB ha d'anar connectat al corrent i l'endoll micro USB -B es connecta al HUB. L'endoll USB-C es connecta amb l'ordinador que conté recoveriX.

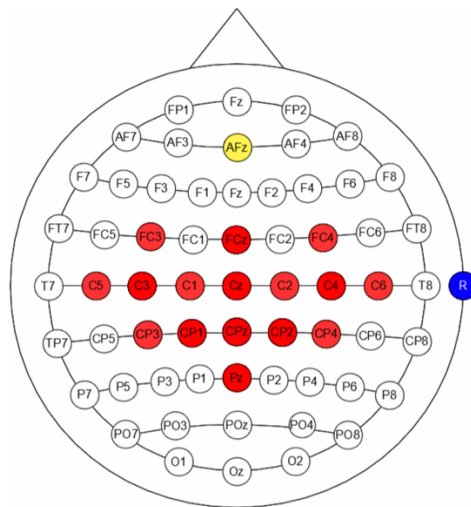


Figura 5. Posició dels elèctrodes, indicats amb color vermell, sobre g.GAMMACAP NAUTIULIUS, segons el sistema internacional 10/10. [imatge extreta del manual de recoveriX PRO proporcionat per g.tec Medical engineering GmbH]

- 2) **Hardlock USB dongle:** aquest inclou la llicència per córrer el software recoveriX PRO.
- 3) **Monitor del pacient:** el monitor serveix bàsicament per mostrar al pacient una interfície amb els moviments que imagina el pacient. En aquest estudi s'ha realitzat la dorsiflexió del canell i turmell.
- 4) **g.ESTIM FES:** el sistema recoveriX PRO ve amb dos estimuladors g.Estím FES que serveixen per estimular els músculs realitzant la dorsiflexió del canell i turmell. Aquests estimuladors es connecten als elèctrodes que es col·loquen a

l'avantbraç i la part inferior del turmell a través d'un cable negre (càtode) i vermell (ànode).

A continuació es presenta una altra imatge que ajuda a aclarir el funcionament del sistema recoveriX.

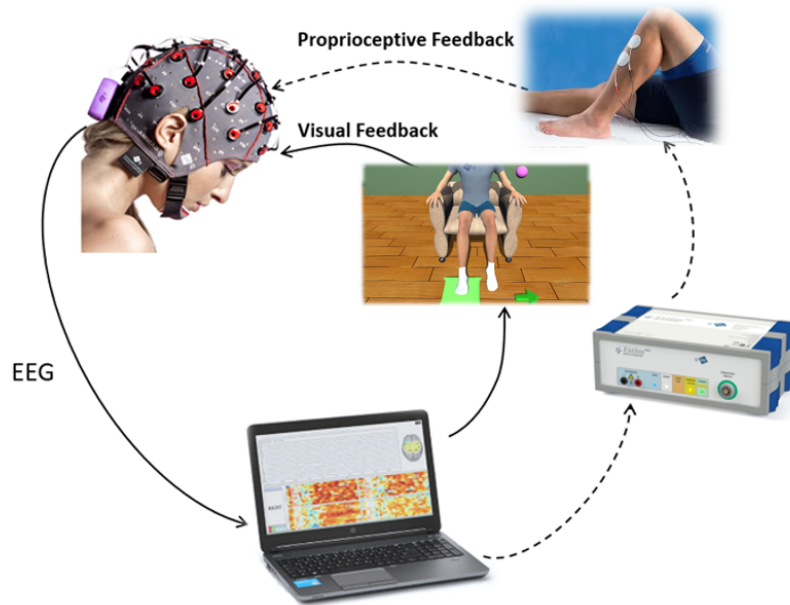


Figura 6. Representació del sistema recoveriX. [19]

En la figura 6 podem observar que les dades d'EEG es reben a l'ordinador i són tractats i classificats pel software recoveriX PRO. La classificació de les dades es fa amb l'algoritme LDA (*Linear discriminant analysis*). Durant el calibratge l'algoritme estudia l'EEG quan el subjecte pensa en la dorsiflexió del canell o turmell és a dir, n'estudia els patrons. Durant l'entrenament quan el subjecte imagina els mateixos moviments el classificador intenta classificar-los en dos moviments: de la banda esquerre i dreta. Mentre que durant el calibratge el subjecte rep retroalimentació visual, observa el moviment d'un dibuix a la pantalla, i tàctil, estimulació elèctrica dels músculs del braç o la cama, durant l'entrenament la retroalimentació és rebuda només quan els moviments són classificats correctament. O bé, podem dir que l'estimulació té lloc només quan el subjecte els imagina correctament.



### **1.4.1 Possibles efectes secundaris / beneficis de recoveriX PRO**

Els dispositius FES que s'utilitzen al sistema de recoveriX estan certificats segons la Llei de Dispositius Mèdics, tot i que s'han de complir alguns criteris d'exclusió. Els terapeutes estaran presents durant les sessions en tot moment. Cal dir que el sistema recoveriX ja s'ha utilitzat prèviament en estudis sobre pacient post-ictus [20].

Els beneficis de la teràpia amb recoveriX PRO incloent el potencial de millora de la qualitat de vida del pacient, permetent-los esdevenir més actiu, caminar millor i ésser més independents a l'hora de realitzar qualsevol activitat en la vida diària. Això es pot aconseguir amb la millora del moviment de les seves extremitats (cama o braç) que intervenen en la majoria de les tasques quotidianes.

Tot i que, com s'ha explicat en l'apartat d'imaginació motora aquesta tècnica permet la recuperació de pacients que han patit ictus no es pot garantir aquesta millora, com és habitual en els estudis mèdics. No obstant això, aquest estudi en el món real permetrà estudiar diferents factors que poden millorar els sistemes BCIs en futur i així millorar la qualitat de vida dels pacients.

La pell s'ha d'inspeccionar correctament abans d'aplicar els elèctrodes. S'ha d'avaluar el to i el color de la pell per detectar indicis de deteriorament circulatori i fragilitat que puguin provocar una degradació o danys als teixits. L'estimulació no s'ha d'aplicar sobre zones inflamades o infectades d'erupcions cutànies o ferides obertes (èczema, psoriasi, acne, dermatitis, infecció). No obstant això, els participants han d'estar exclosos d'acord amb els criteris d'exclusió de la secció 3.3.

Doncs, pel que se sap no hi ha riscos per als participants. L'adquisició d'EEG es realitza amb un amplificador de senyal biològic per l'electroestimulació certificada per CE com també l'estimulació dels músculs. Tot i així, és possible que els participants que tinguin trastorns de la sensació a les zones on s'aplica FES no puguin jutjar bé la seva tolerància o la sensació de dolor fort i s'hauran d'excloure d'aquest estudi.

## 1.5 LDA (LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS)

Anàlisi discriminant lineal (LDA) és una generalització de la discriminant lineal de Fisher, un mètode utilitzat en estadística, reconeixement de patrons i machine learning per trobar una combinació lineal de característiques (*features*) que caracteritzen o separen dues o més classes d'objectes. Aquest mètode projecta les dades a un espai de dimensió menor que ajuda a separar les classes entre elles. El resultat d'això es pot utilitzar per reduir la dimensió i posteriorment aplicar-hi un altre classificador per classificar les dades o bé, els resultats obtinguts es poden utilitzar com a un classificador lineal. En principi l'algoritme va ser descrit per problemes de 2 classes però després va ser modificat per a ser utilitzat en Anàlisi discriminant múltiple. [21]

El que LDA fa és maximitzar la distància entre les mitjanes (*means*) de les dues classes i minimitzar la variació entre cada classe. Per tant, el que vol aconseguir és el que es mostra a la figura següent.

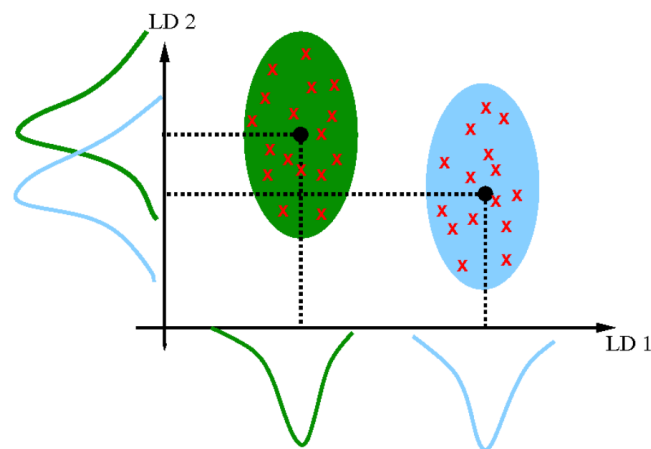


Figura 7. Separació de dues classes sobre els eixos calculats amb l'algoritme LDA.[21]

## 2 OBJECTIUS

---

Els objectius d'aquest treball es poden dividir en l'aprenentatge del sistema recoveriX PRO per registrar les dades, el registre de les dades de pacients amb ictus i subjectes sans i l'anàlisi d'aquestes. Cal tenir en compte que és millor com més subjectes sans i pacients

post-ictus tinguem per fer l'estudi ja que a tenir una població petita no es podran generalitzar els resultats obtinguts. Per tant, aconseguir la participació del màxim de persones possibles és un objectiu important de l'estudi. Una altra limitació que tenim és el temps per realitzar l'estudi perquè es disposa d'una 3 mesos per treballar amb els dispositius proporcionats per l'empresa g-tec. Específicament, els objectius de l'estudi són:

- 1) **Aprendre a utilitzar el sistema recoveriX PRO.** És el sistema amb qual es recullen les dades. Tot i que és un sistema molt segur i ja s'ha utilitzat en estudis prèviament cal fer-ne un ús amb precaució perquè una part de l'estudi inclou l'estimulació elèctrica de les extremitats.
- 2) **Selecció de la música que s'utilitzarà durant les sessions.** Cal triar una música adequada per maximitzar el rendiment del sistema BCI.
- 3) **Preparació de les enquestes per avaluar la satisfacció, motivació i avaluar la música.** Seran utilitzades per fer l'estudi analític.
- 4) **Utilitzar recoveriX PRO per registrar dades de pacients amb ictus.**
- 5) **Utilitzar recoveriX PRO per registrar dades de subjectes sans.**
- 6) **Fer l'anàlisi per observar l'efecte de música sobre el rendiment de recoveriX en els pacients i subjectes sans.**
- 7) **Fer l'anàlisi per comparar els resultats obtinguts dels pacients i els subjectes sans, quan aquests realitzen les tasques de dorsiflexió del canell i turmell mentre escolten música i sense escoltar música.**

### 3 METODOLOGIA

---

S'ha decidit gravar 3 sessions en total dels quals 2 seran amb música i 1 sense música perquè com s'ha explicat anteriorment existeixen més dades d'aquest tipus de tasques sense música per tant, 1 sessió sense música és suficient per valorar l'*accuracy* obtingut. Durant les sessions amb música totes les condicions són iguals a quan es fa sense música amb l'única diferència que el subjecte ha d'estar escoltant música mentre realitzar la tasca de dorsiflexió del canell i turmell.

El primer objectiu d'aquest treball és triar la música que s'utilitzarà durant les sessions. Es presentaran 3 opcions al subjecte per valorar segons el nivell d'excitació i *valence* i depenent dels resultats es triarà un dels tres músics. En total s'agafen dades de 14 persones, 10 dels quals són subjectes sans i 4 són pacients que han patit ictus. A final de l'estudi es fa una anàlisi per observar si el resultat (*accuracy*) del sistema BCI es veu afectada per música o altres factors com l'edat, sexe, ... amb els subjectes sans perquè per normes de protecció de dades no permeten tractar les dades dels pacients fora de l'empresa.

Per l'anàlisi de dades s'utilitzen el t-test i Shapiro-Wilk test. Per altra banda, també s'observen les correlacions de les variables com el rendiment, motivació i satisfacció amb l'*accuracy* obtingut durant les diferents sessions. A més, el construeixen els *scatter plots* per observar les relacions entre aquests.

### **3.1 APROVACIÓ DEL COMITÈ D'ÈTICA DE LA RECERCA**

Aquesta investigació es durà a terme segons les directrius següents:

- Declaració d'Hèlsinki 2004.
- ISO 14155-1 i ISO 14155-2 2003.
- Directiva del Consell relativa als dispositius mèdics 93/42 / CEE de 1993.
- Directiva de privadesa de dades de la UE 95/46 / CEE de 1995 pautes.

El present estudi ha set aprovat pel Comitè d'Ètica de la Recerca (CER) de la Universitat de Vic. L'aprovació és important perquè l'estudi inclou recollida de dades personals com de les persones que formen part de l'estudi. A més, cal que aquestes persones firmin un consentiment conforme es poden utilitzar les dades personals i d'EEG recollides a fi de recerca. També ha calgut demostrar que l'ús de diferents dispositius utilitzats per la recollida de dades no suposen un risc a la salut de les persones que intervenen en l'estudi.

### 3.2 L'EFECTE DE MÚSICA SOBRE EL RENDIMENT DE TASQUES

S'han dut a terme moltes investigacions en el camp de música i emoció, i els components estructurals de música que afecten l'emoció [22]. Dins d'aquest camp, algunes investigacions s'han centrat en com la música afecta el rendiment de les tasques [23], [24]. Pel que fa al pla d'excitació i *valence* presentat en la figura 8, s'ha demostrat que perquè la música augmenti el rendiment durant una tasca aquesta ha de tenir el *valence* neutra-positiva i l'excitació neutra [25], [26]. Aquesta consideració està en línia amb la teoria de Csikszentmihalyi sobre l'anomenat 'estat de flux' [27] en el qual es diu que existeix un rendiment òptim entre estats de relaxació i estrès [28].

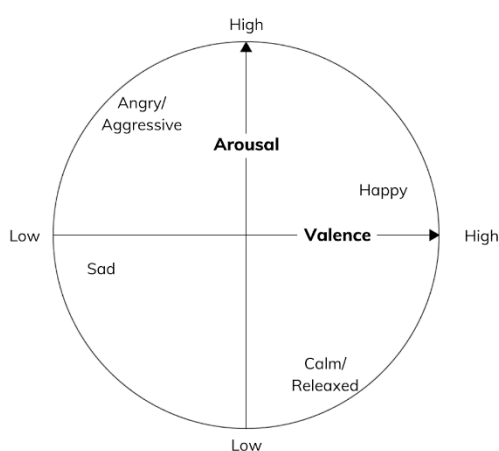


Figura 8. Relació de "Valence" i "Arousal" (excitació) amb emocions.[29]

Flux, *flow* en anglès, és un estat subjectiu en qual es troba una persona quan està completament involucrat en alguna cosa fins al punt d'oblidar el temps, la fatiga i qualsevol altra cosa i concentrar-se només en la pròpia activitat. Per tant, tota l'atenció d'una persona està invertida en la tasca que té a mà i la persona funciona a la seva capacitat total. [30]

Per tant, s'utilitzarà el *valence* i l'excitació per decidir la música que una persona escoltarà durant la sessió. Alguns estudis mostren l'efecte positiu de música clàssica sobre l'estat d'ànima [31] com també sobre la productivitat [32], en l'últim cas amb la música barroca. Per altra banda, una altra estudi demostra l'efecte negatiu de música amb lletres sobre l'atenció i concentració [33]. És per això que per aquest estudi es va optar per triar una música clàssica sense lletres. De fet, s'han triat 3 àudios de 3 diferents músics que es

poden trobar a YouTube amb els següents noms: (1) [Vivaldi Concerto for Lute in D Major RV 93](#), (2) [Brian Eno - Ambient 1: Music for Airports \[Full Album\]](#) i (3) [SimCity Soundtrack \(Full\)](#). L'usuari avaluarà el *valence* i l'excitació dels àudios amb una escala de 1-5, essent 1 el més baix i 5 el més alt.

Doncs, per triar la música es tindrà en compte el que s'ha explicat anteriorment: la música ha de tenir el *valence* neutra-positiva i l'excitació neutra. És a dir, es valorarà positivament si la puntuació de *valence* és superior al d'excitació, un bon exemple en són 4 punts de *valence* i 3 d'excitació, o bé si la puntuació dels dos és neutra (3-3), En cas que dos àudios tinguin una puntuació igual per exemple 3 pel *valence* i l'excitació doncs, el subjecte podrà triar la música segons la seva preferència.

### 3.3 SELECCIÓ DELS PARTICIPANTS

A continuació podem trobar amb els criteris de selecció dels participants que estan dividits en dos grups: els pacients post-ictus i subjectes sans. En l'estudi participen un total de 10 subjectes sans i 4 pacients. Els pacients van ser seleccionats per l'empresa, 1 home i 3 dones. Tot i que, per fer l'estudi era millor com més participants tinguem en l'estudi només hi van participar 10 pacients sans per la limitació de temps. D'aquests 6 són homes i 4 dones, d'edat entre 23-49 anys. Cal dir que a principi es van recollir dades de 8 subjectes sans però les seves dades es van rebutjar perquè contenien molts artefactes.

#### **Subjectes sans:**

##### Criteris d'inclusió:

- Major a 18 anys.
- Capaç d'entendre les instruccions i disposat a signar el consentiment informat.
- Ser capaç físicament i mentalment per dur a terme les tasques explicades.

##### Criteris d'exclusió:

- Pèrdua auditiva o visual greu.

- Ossificació, contracció o rigidesa del canell o articulació del turmell.
- Metall (per exemple, joies, pírcings, sivelles, grapes superficials quirúrgiques) a la zona d'estimulació objectiu.
- Participants amb dèficits visuals o auditiu forts, cosa que impossibilita el seguiment de les tasques.
- El participant ha patit un ictus cerebral.
- El participant no pot tolerar l'estimulació elèctrica cutània.
- Dispositius mèdics implantats com ara marcapassos.
- Lesions cerebrals.
- Historial d'ictus múltiple.
- Pressió intracraneal elevada.
- Hemi-descuit pronunciat.
- Epilèpsia o convulsions incontrolades.
- Sota la influència de l'anestèsia o medicaments similars.
- Amb fractures o lesions a les extremitats estimulades.
- Malalties pulmonars greus, infeccions, insuficiència renal, danys hepàtics o malalties del cor.
- Síndrome d'empenyedors sever.
- Trastorns circulatoris importants de les extremitats estimulades.
- Incapacitat per mantenir la posició assegurada de forma independent (sense ajuda) durant uns 60 minuts.
- Trastorns sensorials que poden afectar significativament la capacitat del participant de sentir dolor i de reaccionar davant d'estímuls propioceptius inadequats.
- Malalties del sistema nerviós perifèric que afecten les extremitats.

- Tractament amb toxina botulínica del membre parètic inferior durant l'estudi.
- Amb alteracions cognitives, de manera que no s'entengui la tasca indicada (MOCA  $\leq 22$ ).

## **Pacients:**

### Criteris d'inclusió:

- Majors a 18 anys.
- Capaç d'entendre les instruccions escrites i parlades.
- Com a mínim 10 dies després de l'aparició de l'ictus.
- Estat neurològic estable.
- Disposat a participar en l'estudi i a entendre i signar el consentiment informat.
- Pot assistir a reunions.
- Avaluació cognitiva de Montreal (MOCA)  $> 22$ .

### Criteris d'exclusió:

- Rang de pèrdues auditives (dB HL) per sota de 70 dB.
- Osificació, contracció o rigidesa del canell o articulació del turmell.
- Metall (per exemple, joies, pírcings, sivelles, grapes superficials quirúrgiques) a la zona d'estimulació objectiu.
- Pacients amb dèficits visuals o auditiu forts, cosa que impossibilita el seguiment de les tasques.
- El pacient ha patit ictus de tija cerebral.
- El pacient no pot tolerar l'estimulació elèctrica cutània.
- Dispositius mèdics implantats com ara marcapassos.



- Lesions cerebrals.
- Historial d'ictus múltiple.
- Pressió intracraneal elevada.
- Hemi-descuit pronunciat.
- Epilèpsia o convulsions incontrolades.
- Sota la influència de l'anestèsia o medicaments similars.
- Amb fractures o lesions a les extremitats estimulades.
- Malalties pulmonars greus, infeccions, insuficiència renal, danys hepàtics o malalties del cor.
- Síndrome d'empenyedador sever.
- Trastorns circulatoris importants de les extremitats estimulades.
- Incapacitat per mantenir la posició asseguda de forma independent (sense ajuda) durant uns 60 minuts.
- Trastorns sensorials que poden afectar significativament la capacitat del pacient de sentir dolor i de reaccionar davant d'estímuls propioceptius inadequats.
- Malalties del sistema nerviós perifèric que afecten les extremitats.
- Tractament amb toxina botulínica del membre parètic inferior durant l'estudi.
- Amb alteracions cognitives, de manera que no s'entengui la tasca indicada (MOCA  $\leq$  22).

### 3.4 OBTENCIÓ DE DADES AMB recoveriX



Figura 9. Un tros del “Report” generat per recoveriX després de cada “run” d’una sessió.

En la figura 9 podem observar un tros de l’informe generat després de cada sessió. Per tant, d’un total de 240 *trials* (moviments). Podem observar que els artefactes durant la sessió són 6 que són un 2,5% del total de 240 moviments. Perquè l’algoritme, LDA (*Linear Discriminant Analysis*), pugui classificar correctament el valor màxim permès dels artefactes és de 20%. Per tant, cal anar amb molt de compte per assegurar que els resultats obtinguts són correctes és a dir, no s’han obtingut amb més de 20% d’artefactes. És a dir, s’ha de descartar totes les sessions que superin aquest percentatge i repetir-les.

Els artefactes *wireless* són bàsicament aquells incorporats degut a interferències entre el casc i el *base station* (encarregat de rebre les dades d’EEG i emetre-les a l’ordinador). Altres artefactes són principalment causats per soroll que pot provenir del medi intern a l’hora de capturar l’activitat cerebral, acústic, Wi-Fi, ... Per tant, per evitar que hi hagi artefactes durant l’estudi els subjectes van ser aïllats a una habitació tancada sense dispositius electrònics o amb el mode d’avió.

Una sessió de recoveriX conté 3 *runs*, on el primer és de calibratge i els últims dos són per l’entrenament. Durant el calibratge i entrenament el subjecte realitza la tasca d’imaginar la dorsiflexió del braç o cama durant uns 6 segons, tal i com s’indica en la figura 10.

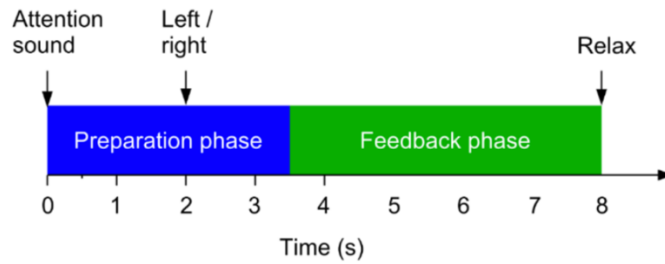


Figura 10. Temps per imaginar el moviment de dorsiflexió i relaxació. [Imatge extreta del manual de recoveriX]

Cada *run* consisteix de 80 moviments de dorsiflexió que es presenten al subjecte de manera aleatòria i en total hi ha 40 moviments de dorsiflexió del canell i 40 del turmell. Després de 40 moviments hi ha un descans de 2 minuts. Una sessió dura aproximadament 52 minuts i conté 240 moviments.

### 3.5 ANÀLISI DE DADES

Per l'anàlisi de dades s'utilitza principalment el T-Test. Primer es comprova si les variables de l'anàlisi tenen una distribució normal per qual s'utilitza el Shapiro-Wilk Test. Això es fa per les dades d'*accuracy*, sexe i tipus de test. A més, es realitzen estudis de correlacions de les variables com l'edat, motivació, satisfacció i rendiment amb l'*accuracy*. Per visualitzar aquests resultats s'utilitzen els *scatter plot*.

#### 3.5.1 T Test

El terme t-test descrit per William Sealy Gosset és la relació que quantifica com de significant és la diferència entre la 'mitjana' de dos grups tenint en compte la variància o la distribució d'aquests [34]. T-test s'utilitza com una eina per provar la hipòtesis, que ens permet provar una suposició aplicable a una població [35]. Per fer aquesta prova s'utilitza la funció *ttest2()* de MATLAB. Un dels valors que aquesta retorna és el *p-value* que és la mesura de la probabilitat que una diferència observada pot haver ocorregut per casualitat [36]. Doncs, com més baix sigui el valor p-value més gran serà el significat estadístic de la diferència observada, és a dir, més probable que el resultat no s'ha donat per casualitat.

En aquest cas s'utilitza el p-value per saber si la diferència d'*accuracy* obtingut en diferents sessions és significativa o és per casualitat que s'han obtingut aquests resultats. No obstant, el t-test suposa que les dades segueixen una distribució normal. Per comprovar que les dades segueixen una distribució normal es realitza el Shapiro-Wilk Test.

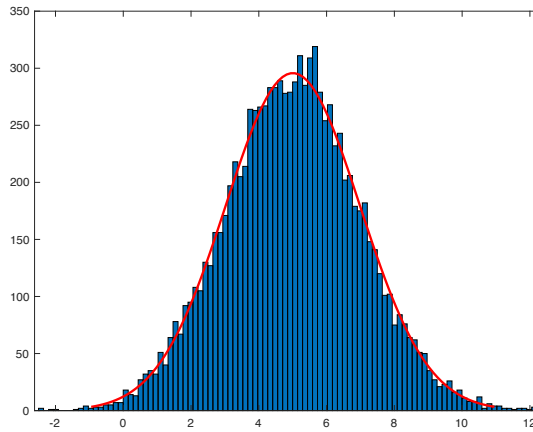


Figura 11. Representació de dades amb distribució normal. Generat a MATLAB.

### 3.5.2 Shapiro-Wilk Test

La prova Shapiro-Wilk bàsicament indica si una mostra aleatòria prové d'una distribució normal. En la formula a continuació s'ha indicat el resultat amb la lletra  $p$  perquè és com s'ha utilitzat en el codi però aquest valor s'indica amb la lletra  $W$ . [37]

$$p = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$x_i$  són els valors de mostres aleatoris ordenats.  $a_i$  són les constants generats a partir de la covariància, variància i la mitjana de la mostra (mida  $n$ ) d'una mostra amb distribució normal.  $\bar{x}$  és la mitjana de les mostres.  $x_{(i)}$  és el valor més petit fins a  $i$ .

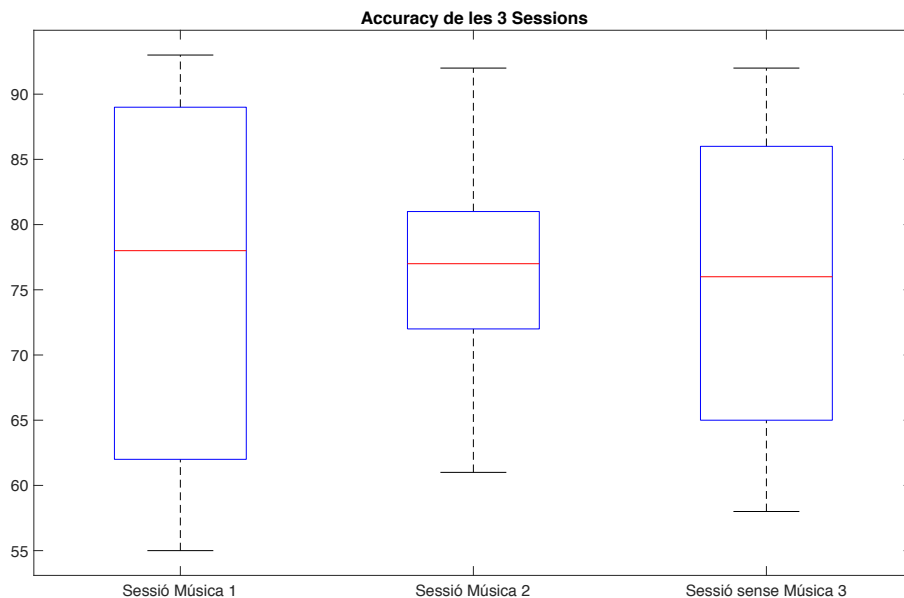
Si el valor de  $p$  és més petit a un llindar (en aquest estudi el llindar utilitzat és el 0.05) doncs, es pot rebutjar la hipòtesis nul·la que les dades segueixen una distribució és normal. Per tant, si és major a aquest valor hi ha evidència a favor de la hipòtesis nul·la. [38]

## 4 RESULTATS

---

A continuació es presenten taules amb els resultats de les 3 sessions. Cal dir que les sessions es van realitzar aleatòriament per cada subjecte, és a dir, no tots els subjectes van fer les sessions de música i la de sense música en el mateix ordre. Per fer l'anàlisi amb aquestes dades es comparen els resultats de la sessió sense música i les dues amb música. A continuació es mostren tres taules (taula 1, 2 i 3) amb els resultats obtinguts en els qüestionaris i a partir de l'informe generat per recoveriX PRO.

Cal anotar que per tema de protecció de dades l'empresa g.tec no ha permès treballar amb les dels pacients per tant, no s'han pogut comparar els resultats dels pacients amb els subjectes sans sinó que, només s'ha comparat l'efecte de música amb diferents variables com l'edat, sexe, tipus de prova, ... en els subjectes sans.



*Figura 12. Boxplot de l'accuracy de les 3 sessions.*

ID Subjecte	Sexe	Lateralitat	Edat	Música	Artefactes	Artefactes <i>Wireless</i>	<i>Accuracy</i>	Tipus de Prova	Volum	Rendiment	Satisfacció	<i>Motivació</i>	<i>Valence</i>	<i>Arousal</i>
H1	Male	Right	23	3	21	5	89	Left Wrist	6	4	2	1	4	3
H2	Male	Right	28	1	32	6	68	Left Wrist	6	3	4	2	3	3
H3	Male	Right	44		34	12	86	Right Wrist		5	5	4		
H5	Male	Right	24	3	6	0	62	Right Wrist	8	4	3	3	3	3
H6	Female	Right	49	3	48	0	55	Left Wrist	4	3	2	2	3	3
H08	Female	Right	21		32	6	58	Right Wrist		4	4	4		
H9	Female	Right	39	3	12	4	88	Left Wrist	6	5	5	5	5	5
H10	Male	Right	45		14	8	88	Right Wrist		4	4	4		
H11	Female	Left	24	1	29	5	73	Left Wrist	6	3	4	4	3	3
H12	Male	Right	30		20	0	80	Right Wrist		5	5	4		

*Taula 1. Resultats obtinguts a la sessió 1.*

ID Subjecte	Sexe	Lateralitat	Edat	Música	Artefactes	Artefactes Wireless	Accuracy	Tipus de Prova	Volum	Rendiment	Satisfacció	Motivació	Valence	Arousal
H1	Male	Right	23		25	3	92	Left Wrist		4	2	1		
H2	Male	Right	28	3	30	0	76	Left Wrist	16	4	3	2	4	3
H3	Male	Right	44	2	23	9	91	Right Wrist	4	5	4	4	4	3
H5	Male	Right	24	3	20	4	61	Right Wrist	8	4	3	3	3	3
H6	Female	Right	49		38	10	67	Left Wrist		3	1	1		
H08	Female	Right	21	2	16	0	60	Right Wrist	10	5	5	4	5	4
H9	Female	Right	39		19	5	81	Left Wrist		4	4	3		
H10	Male	Right	45	1	6	8	93	Right Wrist	6	4	3	3	2	2
H11	Female	Left	24		8	0	72	Left Wrist		3	4	4		
H12	Male	Right	30	3	34	0	83	Right Wrist	10	5	5	5	4	4

Taula 2. Resultats obtinguts a la sessió 2.

ID Subjecte	Sexe	Lateralitat	Edat	Música	Artefactes	Artefactes <i>Wireless</i>	<i>Accuracy</i>	Tipus de Prova	Volum	Rendiment	Satisfacció	<i>Motivació</i>	<i>Valence</i>	<i>Arousal</i>
H1	Male	Right	23	3	18	0	92	Left Wrist	6	4	2	1	4	3
H2	Male	Right	28		35	5	63	Left Wrist		3	3	2		
H3	Male	Right	44	1	21	1	83	Right Wrist	2	5	4	4	4	4
H5	Male	Right	24		41	15	65	Right Wrist		4	4	3		
H6	Female	Right	49	1	2	0	77	Left Wrist	2	4	3	2	3	3
H08	Female	Right	21	1	26	4	61	Right Wrist	8	4	4	4	5	5
H9	Female	Right	39	1	4	6	79	Left Wrist	6	4	3	2	4	5
H10	Male	Right	45	3	35	1	72	Right Wrist	2	4	3	3	2	2
H11	Female	Left	24	2	10	0	77	Left Wrist	6	4	5	4	3	4
H12	Male	Right	30	1	13	3	81	Right Wrist	10	5	5	4	3	3

*Taula 3. Resultats obtinguts a la sessió 3.*



#### 4.1 T Test PER COMPARAR L'ACCURACY

Els resultats mostrats a les taules anteriors es recullen en fulles d'Excel i s'importen a MATLAB per fer l'anàlisi. El resultat de comparar l'*accuracy* de les 3 sessions demostren una petita diferència entre els valors. La mitjana d'*accuracy* de la sessió 1 amb música és 76,2000%, de la sessió 2 és 75,9000% i de la sessió 3 sense música és 75,2000%. A la figura 12 es mostra el boxplot de l'*accuracy* en les 3 sessions. Doncs, la diferència entre l'*accuracy* és molt petita però observem que els valors de les sessions amb música són lleugerament superiors.

Els resultats d'aplicar el t test sobre l'*accuracy* no indiquen una diferència estadísticament significativa entre els valors d'*accuracy* de diferents sessions. Després de comprovar que les dades tenen una distribució normal, utilitzant el Shapiro-Wilk Test, es realitza el t test amb d'hipòtesis nul·la que les dades són iguals. El *p-value* retornat per la prova és 0,866, quan es compara l'*accuracy* de la sessió 1 amb la 3, per tant, sembla haver-hi evidència a favor de la hipòtesis nul·la. El *p-value* com a resultat de comparar l'*accuracy* de la sessió 2 amb la 3 és 0,885 i si es compara el vector de dades ajuntant els valors de les dues sessions amb música amb la tercera sense música contenint la meitat de valors (10), el *p-value* és 0,854. Per tant, sembla ser que la diferència d'*accuracy* no és significativa. No obstant això, cal tenir present la limitació que imposa la quantitat dels participants (10 en total). Per validar aquests resultats es necessitaria una població molt més gran.

#### 4.2 COMPARACIÓ DE L'EDAT I ACCURACY

Per observar si existeix una relació entre l'edat i *accuracy* s'han obtingut els gràfics que es mostren a continuació. A més s'ha calculat el valor de correlació, indicat amb la lletra R en els gràfics. La correlació és positiva en les 3 sessions que a més, es pot observar amb la línia vermella creixent en els gràfics. Tot i que no hi ha valors de correlació molt alts (0,25 en la sessió 1, 0,21 en la sessió 2 i 0,34 en la sessió 3) sembla ser que l'*accuracy* incrementa amb l'edat. Però això no és cert per totes les persones perquè hi ha casos joves (fins a 30 anys) que tenen valors d'*accuracy* més alts comparats amb d'altres d'aquests edat. També hi ha casos de la gent gran amb *accuracy* més baix.

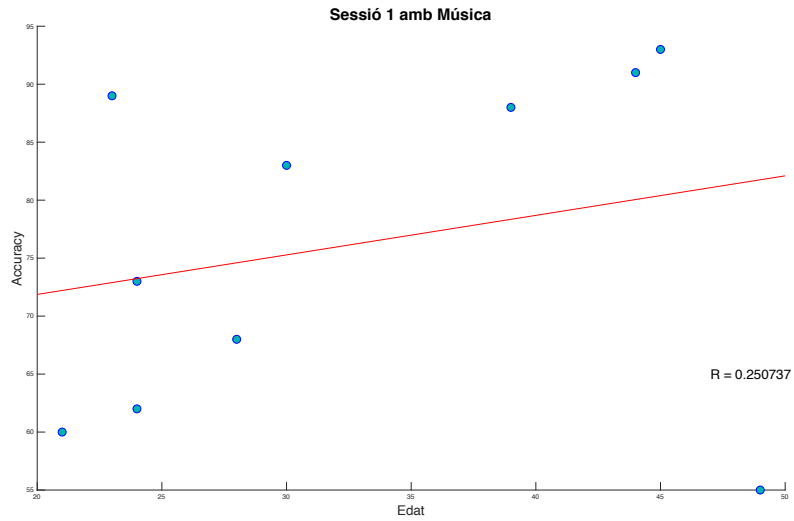


Figura 13. Relació entre “accuracy” i edat dels subjectes, sessió 1 amb música.

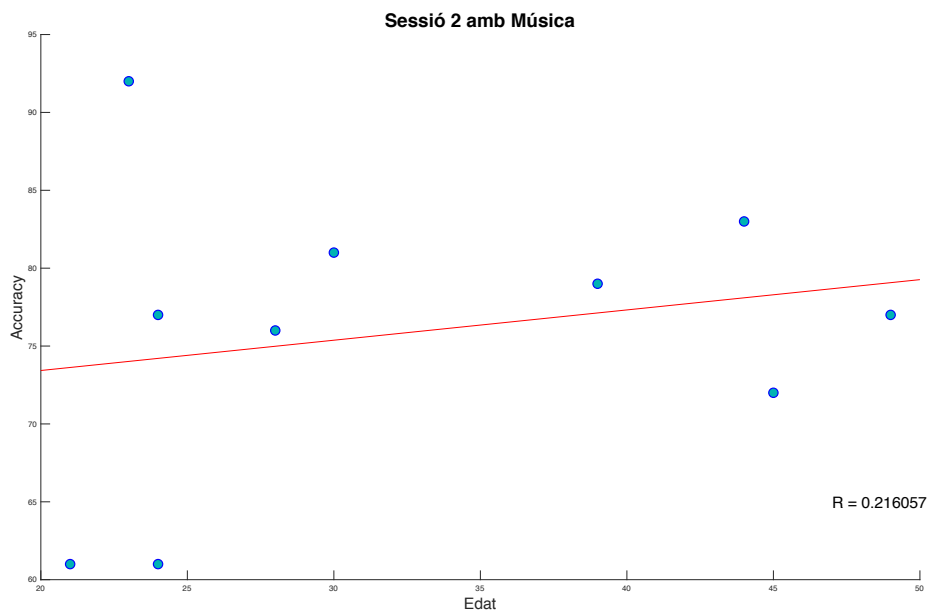


Figura 14. Relació entre “accuracy” i edat dels subjectes, sessió 2 amb música.

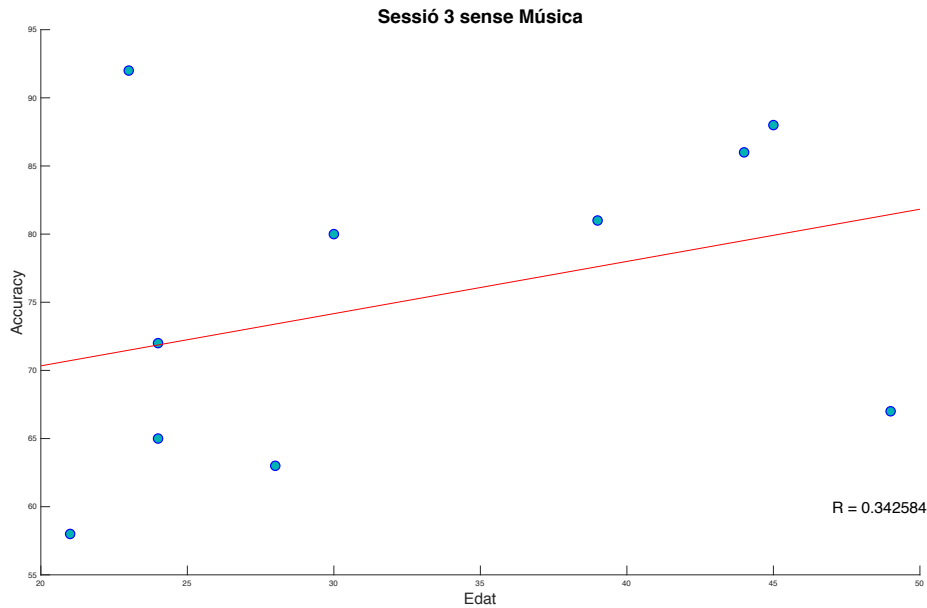


Figura 15. Relació entre “accuracy” i edat dels subjectes, sessió 3 sense música.

### 4.3 COMPARACIÓ DEL SEXE I ACCURACY

Per fer la prova d’observar relació entre el sexe i *accuracy* també es fa la prova de Shapiro-Wilk per observar que les dades tinguin una distribució normal i els resultats de *p-value* són majors a 0,05 indicant evidència a favor de la hipòtesis nul·la és a dir, les dades tenen una distribució normal. Els resultats de *p-value* en la sessió 1, 2 i 3 són les següents respectivament: 0,2111, 0,5449 i 0,2306. És adir, la prova t test indica evidència a favor de la igualtat entre les dades per tant, no sembla haver-hi diferència entre l’*accuracy* entre homes i dones. Cal dir que en aquest cas tenim 6 subjectes homes i 4 dones.

### 4.4 COMPARACIÓ DEL TIPUS DE TEST I ACCURACY

En la prova de comparar el tipus de test i *accuracy* es segueixen els mateixos passos que l’apartat anterior. Hi ha dos tipus de test, en un cas la prova es basa en la dorsiflexió del braç esquerre contra la cama dreta i en l’altre de la cama esquerre contra el braç dret. Quan es van recollir les dades es va utilitzar cada tipus de prova amb 5 subjectes. S’utilitza

la prova Shapiro-Wilk per observar la normalitat de les dades i s'obtenen resultats superior a 0,05 en tots els casos. Els valors de *p-value* de la sessió 1, 2 i 3 són els següents respectivament: 0,7456, 0,1616 i 0,9608. En aquest el t test també indica que no hi ha diferència entre en l'*accuracy* segons el tipus de test.

#### 4.5 COMPARACIÓ DEL RENDIMENT I ACCURACY

En la figura 16 observem els gràfics de correlació entre el rendiment i *accuracy* de les 3 sessions. El rendiment és un de les 3 variables valorats pels subjectes després de cada sessió, apart de la motivació i satisfacció. Observant els valors de correlació es pot dir que les dues variables estan positivament correlacionats. Però si s'observen els gràfics sembla ser que aquests valors siguin causats pels pocs valors que es troben als extrems, sobretot en la sessió 2 i 3. Si es calcula la correlació de les dues sessions de música junts el valor d'aquesta és 0,4110 per rendiment.

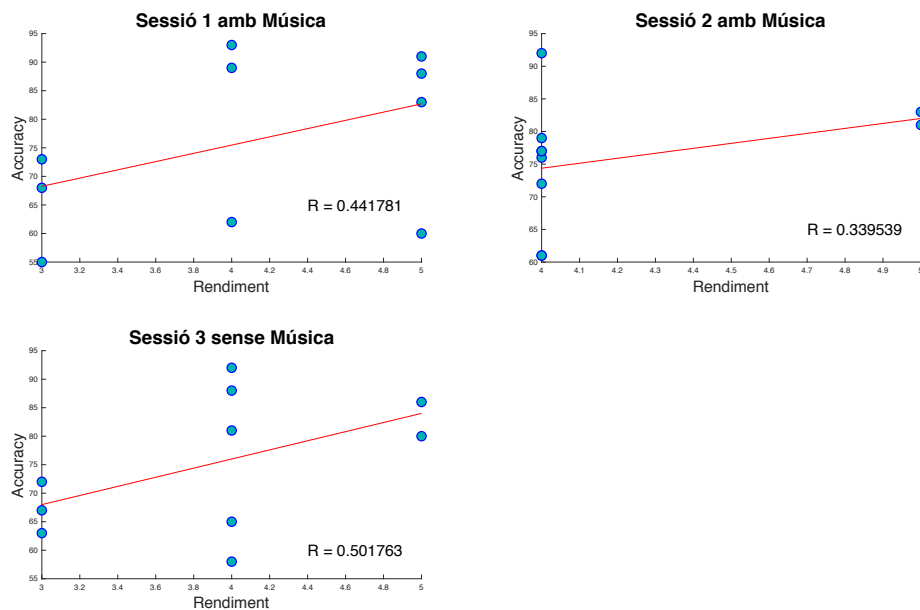


Figura 16. Correlació entre el rendiment i "accuracy".

## 4.6 COMPARACIÓ DE SATISFACCIÓ I ACCURACY

En els gràfics de la figura 17 observem una correlació negativa en el gràfic de la sessió 2 i positiva en la sessió 1 i 3. Les correlacions tenen valors bastant petits, 0.11 en la sessió 1, -0,13 en la 2 i 0,14 en la 3. Per tant, sembla ser que la satisfacció no té relació amb l'*accuracy*.

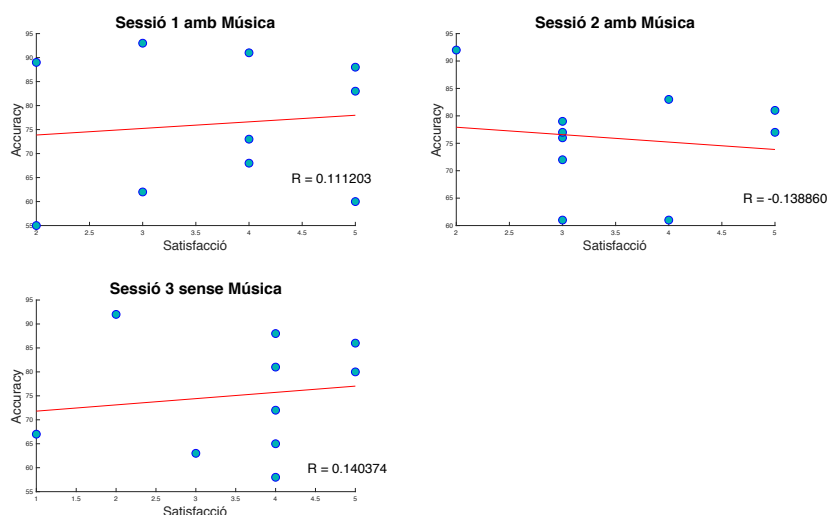
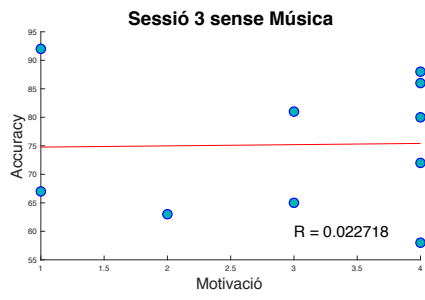
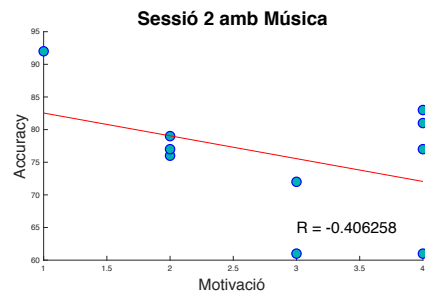
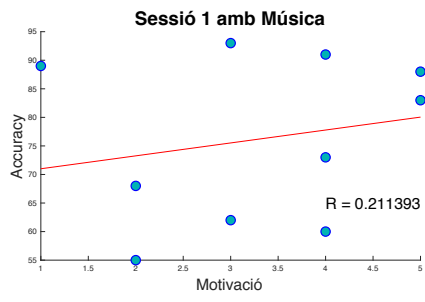


Figura 17. Correlació entre satisfacció i "accuracy".

Si es calcula la correlació de les dues sessions de música junts el valor d'aquesta és 0,0230 per satisfacció, indicant que quasi bé no hi ha relació entre les dues variables.

## 4.7 COMPARACIÓ DE MOTIVACIÓ I ACCURACY

Amb la motivació passa algú semblant a la satisfacció. Els valors de correlació en la sessió 1, 2 i 3 són els següents respectivament: 0,21, -0,40 i 0,02. A ser valors tant diferents en les tres sessions és difícil interpretar els resultats i sembla ser que la motivació no té una correlació positiva amb l'*accuracy*. Si es calcula la correlació de les dues sessions de música junts el valor d'aquesta és -0.0041 per motivació, indicant que quasi bé no hi ha relació entre les dues variables. Els resultats per cada sessió es mostren en la figura 18.



*Figura 18. Correlació entre motivació i “accuracy”.*

## 5 DISCUSIONS

---

Els resultats obtinguts no han demostrat una relació de millora d'*accuracy* amb l'ús de música tot i que, observant la mitjana d'*accuracy* de les 3 sessions un podria deduir que hi ha una diferència en els resultats obtinguts amb la música, indicant valors d'*accuracy* lleugerament superiors. Les proves fetes a continuació, bàsicament t test, no han demostrat aquests resultats com estadísticament importants. Tampoc s'han trobat correlacions importants amb els factors com la motivació i la satisfacció tot i que, l'estudi [39] fet amb 14 subjectes demostra que motivació millora el rendiment del seu sistema BCI. Cal tenir en compte que a analitzar els resultats de només els subjectes sans que no tenien un factor de motivació important per exemple, l'estudi no els generava cap benefici és difícil estudiar l'efecte de motivació, que és algú important com ho demostra la teoria de flux.

El rendiment valorat pels subjectes després de cada sessió és el variable que millor correlació positiva ha demostrat amb l'*accuracy* i, la millor correlació (0,50) ha set en la sessió sense música. L'edat també sembla tenir una correlació positiva amb l'*accuracy*. Per tant, sembla ser que la gent a una edat major és capaç de concentrar-se millor durant les sessions que duren uns 40 minuts sense els descansos i altres problemes que poden ocórrer, com amb la bateria de la gorra i els FES, augment de resistència a les regions d'estimulació, ... El tipus de test i sexe tampoc indiquen evidència contra la hipòtesis nul·la que assumeix igualtat entre aquestes variables.

### 5.1 LIMITACIONS

Com ja s'ha explicat anteriorment només s'han pogut utilitzar dades dels 10 subjectes sans i degut a les normes de protecció de dades no s'ha pogut treballar amb les dades dels pacients. Tot i que, hagués set interessant comparar les dades dels pacients amb les dels subjectes sans això no hagués permès tenir una població de participants suficientment gran per generalitzar els resultats obtinguts. El mínim número dels estudis és a voltants de 100 mentre que el màxim és 1000 [40]. Per tant, en aquest cas la població ha set 10 vegades més petita.

Un altre factor a tenir en compte és el temps de durada de l'estudi (3 mesos) que ha dificultat la participació de més persones en l'estudi. Com que l'empresa g.tec només disposava dels 4 pacients es va invertir un temps considerable en aconseguir els subjectes sans a més, aquestes persones no tenien disponibilitat per anar a l'empresa i per això la recollida de dades es va fer a Vic. També cal tenir en compte que es van haver de rebutjar les dades dels primers 8 subjectes degut als artefactes. Cal dir que les 3 sessions es van realitzar durant dies diferents perquè els subjectes tinguin temps per descansar i siguin capaços de concentrar-se bé sobre la tasca.

## **5.2 POSSIBLES MILLORES i APLICACIONS**

Considerant les limitacions del present estudi un factor de millor seria aconseguir dades d'una població més gran, si és possible com a mínim de 100 subjectes sans i si es vol fer una comparació amb els pacients d'ictus doncs, aconseguir 100 participants més perquè la població sigui distribuïda en la mateixa quantitat. És clar, això consumirà més recursos i temps que en alguns casos no es poden permetre. Amb els resultats obtinguts sembla ser que la música no té un efecte positiu sobre el rendiment del recoveriX PRO però tampoc s'ha vist efecte negatiu d'aquest. Per tant, cal estudiar aquest tema amb més detall per saber-ne si la música es pot aplicar per millorar el rendiment dels sistemes BCI.

Com a opinió personal es va observar que algunes persones van indicar que concentraven millor sense música o al revés i això es veia reflectit en els seus resultats. Per tant, un possible canvi en l'estudi podria ser observar l'efecte de música sobre el rendiment dels sistemes BCI amb les persones que els agrada música i poden concentrar-se millor amb la música. És a dir, no es proposa utilitzar música amb les persones que no els agrada aquest tipus de música o bé, en general concentren millor sense música. També es va observar que en alguns casos la gent va millorar els resultats amb l'entrenament.



## 6 CONCLUSIONS

---

Durant aquest estudi s'han pogut complir tots els objectius al de comparar els resultats dels pacients d'ictus amb els subjectes sans. Els resultats no han demostrat una significança important de la música sobre el rendiment del sistema BCI i sembla ser que no tingui afecte sobre els resultats. Però com s'ha explicat en l'apartat de discussions s'observen millores individuals per alguns casos amb l'ús de música com també hi ha gent que prefereix fer-ho sense música. També hi ha casos que no els afecta si s'utilitza música o no a nivell de concentració. No obstant això, a tenir una població de 10 persones els resultats no es poden generalitzar tots els subjectes i molt menys pels pacients d'ictus. Per tant, cal estudiar amb detall l'efecte de música tenint més subjectes sans i pacients per tal d'arribar a conclusions més fiables. Tot i així, sembla ser que a algunes persones realment els agrada fer les sessions amb música i a més, es millora el seu rendiment BCI per tant, és un camp que cal estudiar més detalladament pels beneficis que aquest pot produir en la rehabilitació dels pacients. També es proposa utilitzar diferents tipus de música segons els gustos de cadascú i observar els efectes que això pot tenir en el seu rendiment.

## 7 BIBLIOGRAFIA

---

- [1] R. W. Schwartz, K. M. Ayres, and K. H. Douglas, "Effects of music on task performance, engagement, and behavior: A literature review," *Psychology of Music*, vol. 45, no. 5. SAGE PublicationsSage UK: London, England, pp. 611–627, 01-Feb-2017, doi: 10.1177/0305735617691118.
- [2] F. G and K. P, "The Value of Exercise Rehabilitation Program Accompanied by Experiential Music for Recovery of Cognitive and Motor Skills in Stroke Patients," *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.*, vol. 27, no. 11, pp. 2932–2939, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.JSTROKECEREBROVASDIS.2018.06.025.

- [3] M.-C. E, S.-M. CS, S.-M. JM, and S.-M. F, “Neurologic music therapy in upper-limb rehabilitation in children with severe bilateral cerebral palsy: a randomized controlled trial,” *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.*, vol. 54, no. 6, pp. 866–872, Dec. 2018, doi: 10.23736/S1973-9087.18.04996-1.
- [4] H. Egermann, N. Fernando, L. Chuen, and S. McAdams, “Music induces universal emotion-related psychophysiological responses: comparing Canadian listeners to Congolese Pygmies,” *Front. Psychol.*, vol. 5, p. 1341, Jan. 2015, doi: 10.3389/fpsyg.2014.01341.
- [5] C. YH and P. NJ, “Mobile Game-based Virtual Reality Program for Upper Extremity Stroke Rehabilitation,” *J. Vis. Exp.*, vol. 2018, no. 133, Mar. 2018, doi: 10.3791/56241.
- [6] J. J. Shih, D. J. Krusienski, and J. R. Wolpaw, “Brain-computer interfaces in medicine,” *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 87, no. 3. Elsevier Ltd, pp. 268–279, 2012, doi: 10.1016/j.mayocp.2011.12.008.
- [7] “iMotions.” [Online]. Available: <https://imotions.com/blog/top-3-devices-measuring-brain-activity/>. [Accessed: 07-Aug-2021].
- [8] E. GT, K. C, L. NK, and P. S, “Modelling and analysis of local field potentials for studying the function of cortical circuits,” *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 14, no. 11, pp. 770–785, Nov. 2013, doi: 10.1038/NRN3599.
- [9] G. R. Müller-Putz, “Electroencephalography,” in *Handbook of Clinical Neurology*, vol. 168, Handb Clin Neurol, 2020, pp. 249–262.
- [10] G. Buzsáki, C. A. Anastassiou, and C. Koch, “The origin of extracellular fields and currents-EEG, ECoG, LFP and spikes,” *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 13, no. 6. Nat Rev Neurosci, pp. 407–420, Jun-2012, doi: 10.1038/nrn3241.
- [11] “Puntos craneométricos: ubicación y diámetros del cráneo.” [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/puntos-craneometricos/>. [Accessed: 08-Aug-2021].
- [12] L. E. H. van Dokkum, T. Ward, and I. Laffont, “Brain computer interfaces for neurorehabilitation – its current status as a rehabilitation strategy post-stroke,” *Ann. Phys. Rehabil. Med.*, vol. 58, no. 1, pp. 3–8, Feb. 2015, doi:

10.1016/J.REHAB.2014.09.016.

- [13] C. Dettmers, N. Braun, I. Büsching, T. Hassa, S. Debener, and J. Liepert, “Neurofeedback-gestütztes Bewegungsvorstellungstraining zur Rehabilitation nach einem Schlaganfall,” *Nervenarzt*, vol. 87, no. 10, pp. 1074–1081, Oct. 2016, doi: 10.1007/s00115-016-0185-y.
- [14] N. Sharma, J. C. Baron, and J. B. Rowe, “Motor imagery after stroke: Relating outcome to motor network connectivity,” *Ann. Neurol.*, vol. 66, no. 5, pp. 604–616, 2009, doi: 10.1002/ana.21810.
- [15] R. M. W. de Oliveira, “Neuroplasticity,” *Journal of Chemical Neuroanatomy*, vol. 108. J Chem Neuroanat, 01-Oct-2020, doi: 10.1016/j.jchemneu.2020.101822.
- [16] D. Carvalho *et al.*, “The mirror neuron system in post-stroke rehabilitation,” *International Archives of Medicine*, vol. 6, no. 1. BioMed Central, p. 41, 2013, doi: 10.1186/1755-7682-6-41.
- [17] Z. Tang, S. Sun, S. Zhang, Y. Chen, C. Li, and S. Chen, “A brain-machine interface based on ERD/ERS for an upper-limb exoskeleton control,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 12, Dec. 2016, doi: 10.3390/s16122050.
- [18] M. Sebastián-Romagosa *et al.*, “EEG Biomarkers Related With the Functional State of Stroke Patients,” *Front. Neurosci.*, vol. 14, Jul. 2020, doi: 10.3389/fnins.2020.00582.
- [19] “Schematic view of the single-tube fixed-bed reactor | Download Scientific Diagram.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-view-of-the-recoveriX-system\\_fig3\\_320020692](https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-view-of-the-recoveriX-system_fig3_320020692). [Accessed: 01-Sep-2021].
- [20] D. Irimia *et al.*, “O174 Preliminary results of testing the recoveriX system on stroke patients,” *Clin. Neurophysiol.*, vol. 128, no. 9, pp. e234–e235, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.clinph.2017.07.184.
- [21] J. Gonzalez, “Using Linear Discriminant Analysis (LDA) for data Explore: Step by Step.” 2017.
- [22] S. DROIT-VOLET, danilo Ramos, L. J. Bueno, and E. Bigand, “Music, emotion,

- and time perception: the influence of subjective emotional valence and arousal?,” *Front. Psychol.*, vol. 0, no. JUL, p. 417, 2013, doi: 10.3389/FPSYG.2013.00417.
- [23] A. LA, P. DJ, and E. GC, “Background music and cognitive performance,” *Percept. Mot. Skills*, vol. 110, no. 3 Pt 2, pp. 1059–1064, Jun. 2010, doi: 10.2466/PMS.110.C.1059-1064.
- [24] L. T, “The effect of preferred music on mood and performance in a high-cognitive demand occupation,” *J. Music Ther.*, vol. 47, no. 2, pp. 137–154, 2010, doi: 10.1093/JMT/47.2.137.
- [25] J. G. Fox and E. D. Embrey, “Music — an aid to productivity,” *Appl. Ergon.*, vol. 3, no. 4, pp. 202–205, Dec. 1972, doi: 10.1016/0003-6870(72)90101-9.
- [26] G. MF and A. JR, “More than meets the ear: Investigating how music affects cognitive task performance,” *J. Exp. Psychol. Appl.*, vol. 25, no. 3, pp. 431–444, Sep. 2019, doi: 10.1037/XAP0000202.
- [27] M. Csikszentmihalyi, “Attention and the holistic approach to behavior,” in *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi*, Springer Netherlands, 2014, pp. 1–20.
- [28] M. M, C. P, B. A, V. M, and R. G, “Why is Facebook so successful? Psychophysiological measures describe a core flow state while using Facebook,” *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw.*, vol. 14, no. 12, pp. 723–731, Dec. 2011, doi: 10.1089/CYBER.2010.0377.
- [29] C. Tsiourti, A. Weiss, K. Wac, and M. Vincze, “Multimodal Integration of Emotional Signals from Voice, Body, and Context: Effects of (In)Congruence on Emotion Recognition and Attitudes Towards Robots,” *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 11, no. 4, pp. 555–573, Aug. 2019, doi: 10.1007/S12369-019-00524-Z.
- [30] “Flow. - PsycNET.” [Online]. Available: <https://psycnet.apa.org/record/2005-08058-032>. [Accessed: 10-Aug-2021].
- [31] C. Lapham, “Is there a Mozart Effect? The Effects of Listening to Music on Cognitive Processing Ability. | Christs College Cambridge,” *Christ’s College, Cambridge*. [Online]. Available: <https://www.christs.cam.ac.uk/there-mozart->

- effect-effects-listening-music-cognitive-processing-ability. [Accessed: 12-Aug-2021].
- [32] “Baroque Classical Music In The Reading Room May Improve Mood And Productivity -- ScienceDaily,” *American Roentgen Ray Society*, 2009. [Online]. Available: <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090423132615.htm>. [Accessed: 12-Aug-2021].
- [33] Y. N. Shih, R. H. Huang, and H. Y. Chiang, “Background music: Effects on attention performance,” *Work*, vol. 42, no. 4, pp. 573–578, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-1410.
- [34] S. Brown and L. Melamed, “T Test,” in *Experimental Design and Analysis*, SAGE Publications, Inc., 2012, pp. 10–12.
- [35] A. Hayes, “T-Test Definition,” *Investopedia*, 2021. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/t/t-test.asp>. [Accessed: 30-Aug-2021].
- [36] B. Beers, “P-Value Definition,” *Investopedia*, 2019. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/p/p-value.asp>. [Accessed: 30-Aug-2021].
- [37] “Shapiro-Wilk Test: What it is and How to Run it - Statistics How To.” [Online]. Available: <https://www.statisticshowto.com/shapiro-wilk-test/>. [Accessed: 31-Aug-2021].
- [38] S. McLeod, “P-Value and Statistical Significance | Simply Psychology,” *Simply Psychology*, 2019. [Online]. Available: <https://www.simplypsychology.org/p-value.html>. [Accessed: 31-Aug-2021].
- [39] “(PDF) The Effect of Task Based Motivation on BCI Performance: a Preliminary Outlook.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/260943565\\_The\\_Effect\\_of\\_Task\\_Based\\_Motivation\\_on\\_BCI\\_Performance\\_a\\_Preliminary\\_Outlook](https://www.researchgate.net/publication/260943565_The_Effect_of_Task_Based_Motivation_on_BCI_Performance_a_Preliminary_Outlook). [Accessed: 03-Sep-2021].
- [40] P. Bisits, “How to choose a sample size (for the statistically challenged) \_tools4dev,” pp. 1–4, 2015.

---

## 8 ANNEX

---

### ANNEX A – DICTAMEN FAVORABLE CER



**Informe dictamen favorable**  
Projecte d'investigació  
Codi intern: 156/2021  
31 de maig de 2021

---

Dra. Ester Busquets Alibés  
Secretària tècnica del Comitè d'Ètica de la Recerca de la UVic-UCC

#### CERTIFICA

Que el CER de la UVic-UCC en la seva reunió del dia 31 de maig de 2021, ha avaluat el projecte de recerca:

Títol: *L'impacte de la música en les emocions i les tasques cognitives.*  
Codi Intern: 156/2021.  
IP: Jordi Solé i Casals.

Considera que:

- Es compleixen els requisits necessaris d'idoneïtat en relació amb els objectius i el disseny metodològic.
- Es compleixen els requisits ètics, tant en l'obtenció del consentiment informat com en els aspectes vinculats a la confidencialitat.
- La competència de les IP i els mitjans disponibles són apropiats per a desenvolupar l'estudi.

Per la qual cosa el CER emet un **DICTAMEN FAVORABLE**<sup>1</sup>.

31/05/2021

Signatura de la secretària tècnica

---

<sup>1</sup> Un dictamen favorable comporta per l'investigador principal les següents obligacions:

- a) Presentar, si escau, el projecte a convocatòries externes (competitives o no) amb els mateixos elements essencials que han estat avaluats favorablement pel CER.
- b) Desenvolupar, si escau, el projecte amb els mateixos elements essencials que han estat avaluats favorablement pel CER.

## ANNEX B – CODI

### 1. Obtain Data

```
clear all; clc;

addpath('/Users/kritrim/Desktop/gTec');
cd '/Users/kritrim/Desktop/gTec'
data = {};
files_name = {'new_healthy_data_s1.xlsx', 'new_healthy_data_s2.xlsx', ...
    'new_healthy_data_s3.xlsx'};
for k=1:3
    data.(files_name{k}(1:19))=readtable(files_name{k});
end

session_1 = data.(files_name{1}(1:19));
session_2 = data.(files_name{2}(1:19));
session_3 = data.(files_name{3}(1:19));
```

### 2. Rearrange Accuracy Data

```
%The accuracy data is obtained from 3 sessions (2 with music and 1 without)
and saved into the variable acc_all from the variables acc_mus and acc_nonmus.

acc_mus_nonmus = [session_1.Accuracy(1:10), ...
    session_2.Accuracy(1:10), session_3.Accuracy(1:10)];
music_val = [session_1.Music(1:10), ...
    session_2.Music(1:10), session_3.Music(1:10)];

with_music = ~isnan(music_val);
without_music = isnan(music_val);
acc_nonmus = acc_mus_nonmus.*without_music;
acc_mus = acc_mus_nonmus.*with_music;

for i = 1:10
    if acc_mus(i,1) == 0
        acc_mus(i,:) = circshift(acc_mus(i,:),-1);

    elseif acc_mus(i,2) == 0
        acc_mus(i,:) = acc_mus(i,[1 3 2]);
    end

    if acc_nonmus(i,1) ~= 0
        acc_nonmus(i,:) = circshift(acc_nonmus(i,:),-1);

    elseif acc_nonmus(i,2) ~= 0
        acc_nonmus(i,:) = acc_nonmus(i,[1 3 2]);
```



```
end
```

```
end
```

## 2.1 Performance, Motivation and Satisfaction Data Rearrangement

```
per_mus_nonmus = [session_1.Performance(1:10), ...
    session_2.Performance(1:10), session_3.Performance(1:10)];
per_nonmus = per_mus_nonmus.*without_music;
per_mus = per_mus_nonmus.*with_music;

[per_mus, per_nonmus] = rearrange_data(per_mus, per_nonmus);
per_all = per_mus + per_nonmus;

sat_mus_nonmus = [session_1.Satisfaction(1:10), ...
    session_2.Satisfaction(1:10), session_3.Satisfaction(1:10)];
sat_nonmus = sat_mus_nonmus.*without_music;
sat_mus = sat_mus_nonmus.*with_music;

[sat_mus, sat_nonmus] = rearrange_data(sat_mus, sat_nonmus);
sat_all = sat_mus + sat_nonmus;

mot_mus_nonmus = [session_1.Motivation(1:10), ...
    session_2.Motivation(1:10), session_3.Motivation(1:10)];
mot_nonmus = mot_mus_nonmus.*without_music;
mot_mus = mot_mus_nonmus.*with_music;

[mot_mus, mot_nonmus] = rearrange_data(mot_mus, mot_nonmus);
mot_all = mot_mus + mot_nonmus;
```

## 3. Accuracy Boxplots

```
acc_all = acc_mus + acc_nonmus;
mean_mus1 = mean(acc_all(:,1))
mean_mus2 = mean(acc_all(:,2))
mean_nonmus = mean(acc_all(:,3))

figure,
boxplot(acc_all)
set(gca, 'XTickLabel', {'Sessió Música 1', 'Sessió Música 2', ...
    'Sessió sense Música 3'}, 'FontSize', 20)

title("Accuracy de les 3 Sessions", 'FontSize', 24)
2.2 Generating a random distribution histogram

rng('default'); % For reproducibility
pd = makedist('Lognormal', 'mu', 5, 'sigma', 2)
x = random(pd, 10000, 1);
```

```

logx = log(x);

m = mean(logx)
histfit(logx)

```

#### 4. SWTEST and TTEST

```

%First we do the Shapiro-Wilk Test ('swtest') to find out whether the
accuracy, in the first session with music and without music music in the third
session, is normally distributed. In case it's true (p > 0.05) we proceed with
the

[H, p1, W] = swtest(acc_all(:,1), 0.05);
[H2, p2, W2] = swtest(acc_all(:,2), 0.05);
[H3, p3, W3] = swtest(acc_all(:,3), 0.05);

if p1>0.05 & p2>0.05 & p3>0.05
    norm = 1;
    [H,p,ci,stats] = ttest2([acc_all(:,1);acc_all(:,2)]
,acc_all(:,3),0.05,'both','equal');
    if p < 0.05
        fprintf(['Normality can be assumed using Shapiro-Wilk Test, ' ...
                'unpaired t-test is used.\nNo equal baseline assumption. P =
%.3f'], p)
    else
        fprintf(['Normality can be assumed using Shapiro-Wilk Test, ' ...
                'unpaired t-test is used. Equal baseline assumption. P = %.3f'],
p)
    end
else
    norm = 0;
    [p,H,stats] = ranksum(acc_all(:,1),acc_all(:,3),0.05);
    if p < 0.05
        fprintf(['Normality cannot be assumed using Shapiro-Wilk Test, ' ...
                'Mann-Whitney U test is used.\nNo equal baseline assumption. P =
%.3f'], p)
    else
        fprintf(['Normality cannot be assumed using Shapiro-Wilk Test, ' ...
                'Mann-Whitney U test is used. \nEqual baseline assumption. P =
%.3f'], p)
    end
end
end

```

##### 4.1 Gender

```

%SWTEST is done with female and male population separately and then ttest is
applied to the same session population.

gender = table2array(session_1(1:10,'Sex'));

```

```

gender_Bin = grp2idx(gender);
idx_Fem = gender_Bin == 2;
idx_Male = gender_Bin == 1;

[~, p1F, ~] = swtest(acc_all(idx_Fem,1), 0.05)
[~, p1M, ~] = swtest(acc_all(idx_Male,1), 0.05)
[~, p2F, ~] = swtest(acc_all(idx_Fem,2), 0.05)
[~, p2M, ~] = swtest(acc_all(idx_Male,2), 0.05)
[~, p3F, ~] = swtest(acc_all(idx_Fem,3), 0.05)
[~, p3M, ~] = swtest(acc_all(idx_Male,3), 0.05)

[HG1,pG1,ciG1,statsG1] = ttest2(acc_all(idx_Fem,1)
,acc_all(idx_Male,1),0.05,'both','equal')
[HG2,pG2,ciG2,statsG2] = ttest2(acc_all(idx_Fem,2)
,acc_all(idx_Male,2),0.05,'both','equal')
[HG3,pG3,ciG3,statsG3] = ttest2(acc_all(idx_Fem,3)
,acc_all(idx_Male,3),0.05,'both','equal')

```

## 4.2 Test Type

```

test_type = table2array(session_1(1:10, 'TestType'));
tt_Bin = grp2idx(test_type);
idx_Right = tt_Bin == 2;
idx_Left = tt_Bin == 1;

[~, p1R, ~] = swtest(acc_all(idx_Right,1), 0.05)
[~, p1L, ~] = swtest(acc_all(idx_Left,1), 0.05)
[~, p2R, ~] = swtest(acc_all(idx_Right,2), 0.05)
[~, p2L, ~] = swtest(acc_all(idx_Left,2), 0.05)
[~, p3R, ~] = swtest(acc_all(idx_Right,3), 0.05)
[~, p3L, ~] = swtest(acc_all(idx_Left,3), 0.05)

[Htt1,ptt1,citt1,statstt1] = ttest2(acc_all(idx_Right,1)
,acc_all(idx_Left,1),0.05,'both','equal')
[Htt2,ptt2,citt2,statstt2] = ttest2(acc_all(idx_Right,2)
,acc_all(idx_Left,2),0.05,'both','equal')
[Htt3,ptt3,citt3,statstt3] = ttest2(acc_all(idx_Right,3)
,acc_all(idx_Left,3),0.05,'both','equal')

```

## 4.3 Performace, Motivation and Satisfaction

```

%Primer es calcula la correlació entre dels variables: rendiment, satisfacció
i motivació amb l'accuracy. Després es construeixen els scatter plot.

[rhop1,~] = corr(per_all(:,1), acc_all(:,1), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

[rhop2,~] = corr(per_all(:,2), acc_all(:,2), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

```

```

[rhop3,~] = corr(per_all(:,3), acc_all(:,3), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

strp1 = sprintf('R = %f',rhop1);
strp2 = sprintf('R = %f',rhop2);
strp3 = sprintf('R = %f',rhop3);

figure,
subplot(2,2,1)
scatter(per_all(:,1), acc_all(:,1), 140, 'MarkerEdgeColor', 'b',...
'MarkerFaceColor', [0 .7 .7] , 'LineWidth',1.5)
h1 = lsline;
h1.LineWidth = 1; h1.Color = 'r';
text(4.4, 65, strp1, 'FontSize', 20)

xlabel('Rendiment', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 1 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,2)
scatter(per_all(:,2), acc_all(:,2), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h2 = lsline;
h2.LineWidth = 1; h2.Color = 'r';
text(4.7, 65, strp2, 'FontSize', 20)

xlabel('Rendiment', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 2 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,3)
scatter(per_all(:,3), acc_all(:,3), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h3 = lsline;
h3.LineWidth = 1; h3.Color = 'r';
text(4.4, 60, strp3, 'FontSize', 20)

xlabel('Rendiment', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 3 sense Música', 'FontSize', 24)

[rhos1,~] = corr(sat_all(:,1), acc_all(:,1), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

[rhos2,~] = corr(sat_all(:,2), acc_all(:,2), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

[rhos3,~] = corr(sat_all(:,3), acc_all(:,3), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

strs1 = sprintf('R = %f',rhos1);
strs2 = sprintf('R = %f',rhos2);

```

```

strs3 = sprintf('R = %f',rhos3);

figure,
subplot(2,2,1)
scatter(sat_all(:,1), acc_all(:,1), 140, 'MarkerEdgeColor', 'b',...
        'MarkerFaceColor', [0 .7 .7] , 'LineWidth',1.5)
h1 = lsline;
h1.LineWidth = 1; h1.Color = 'r';
text(4.4, 65, strs1, 'FontSize', 20)

xlabel('Satisfacció', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 1 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,2)
scatter(sat_all(:,2), acc_all(:,2), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
        'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h2 = lsline;
h2.LineWidth = 1; h2.Color = 'r';
text(4.7, 65, strs2, 'FontSize', 20)

xlabel('Satisfacció', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 2 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,3)
scatter(sat_all(:,3), acc_all(:,3), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
        'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h3 = lsline;
h3.LineWidth = 1; h3.Color = 'r';
text(4.4, 60, strs3, 'FontSize', 20)

xlabel('Satisfacció', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 3 sense Música', 'FontSize', 24)

[rhom1,~] = corr(mot_all(:,1), acc_all(:,1), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

[rhom2,~] = corr(mot_all(:,2), acc_all(:,2), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

[rhom3,~] = corr(mot_all(:,3), acc_all(:,3), 'type', 'Pearson',
'rows','complete');

strm1 = sprintf('R = %f',rhom1);
strm2 = sprintf('R = %f',rhom2);
strm3 = sprintf('R = %f',rhom3);

figure,
subplot(2,2,1)

```

```

scatter(mot_all(:,1), acc_all(:,1), 140, 'MarkerEdgeColor', 'b',...
        'MarkerFaceColor', [0 .7 .7] , 'LineWidth',1.5)
h1 = lsline;
h1.LineWidth = 1; h1.Color = 'r';
text(4, 65, strml, 'FontSize', 20)

xlabel('Motivació', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 1 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,2)
scatter(mot_all(:,2), acc_all(:,2), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
        'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h2 = lsline;
h2.LineWidth = 1; h2.Color = 'r';
text(3, 65, strm2, 'FontSize', 20)

xlabel('Motivació', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 2 amb Música', 'FontSize', 24)

subplot(2,2,3)
scatter(mot_all(:,3), acc_all(:,3), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
        'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h3 = lsline;
h3.LineWidth = 1; h3.Color = 'r';
text(3, 60, strm3, 'FontSize', 20)

xlabel('Motivació', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 3 sense Música', 'FontSize', 24)

```

#### 4.4 Correlation for all music data

```

[rhop12,~] = corr([per_all(:,1); per_all(:,2)], [acc_all(:,1); acc_all(:,2)]
...
, 'type', 'Pearson', 'rows','complete')
[rhom12,~] = corr([mot_all(:,1); mot_all(:,2)], [acc_all(:,1); acc_all(:,2)]
...
, 'type', 'Pearson', 'rows','complete')
[rhos12,~] = corr([sat_all(:,1); sat_all(:,2)], [acc_all(:,1); acc_all(:,2)]
...
, 'type', 'Pearson', 'rows','complete')

```

#### 4.5 Age vs Accuracy

```

% Age vs Accuracy (with music)
Age = table2array(session_1(1:10,'Age'));
[rho1,pval] = corr(Age, acc_all(:,1), 'type', 'Pearson', 'rows','complete');
if pval < 0.05

```

```

        fprintf(['There is no significant correlation between the Age and
Accuracy.\nPearson test: ' ...
                'rho = %.3f, P = %.3f.'], rho, pval)
end

[rho2,pva2] = corr(Age, acc_all(:,2), 'type', 'Pearson', 'rows','complete');

[rho3,pva3] = corr(Age, acc_all(:,3), 'type', 'Pearson', 'rows','complete');

str1 = sprintf('R = %f',rho1);
str2 = sprintf('R = %f',rho2);
str3 = sprintf('R = %f',rho3);

figure, scatter(Age, acc_all(:,1), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
                'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)
h1 = lsline;
h1.LineWidth = 1; h1.Color = 'r';
text(47, 65, str1, 'FontSize', 20)

xlabel('Edat', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 1 amb Música', 'FontSize', 24)

figure, scatter(Age, acc_all(:,2), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
                'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h2 = lsline;
h2.LineWidth = 1; h2.Color = 'r';
text(47, 65, str2, 'FontSize', 20)

xlabel('Edat', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 2 amb Música', 'FontSize', 24)

figure, scatter(Age, acc_all(:,3), 140, 'MarkerEdgeColor','b',...
                'MarkerFaceColor',[0 .7 .7], 'LineWidth',1.5)

h3 = lsline;
h3.LineWidth = 1; h3.Color = 'r';
text(47, 60, str3, 'FontSize', 20)

xlabel('Edat', 'FontSize', 20), ylabel('Accuracy', 'FontSize', 20),
title('Sessió 3 sense Música', 'FontSize', 24)

```

Published with MATLAB® R2020b

## ANNEX C – QUESTIONARIS

## Condicció Prèvia A Qüestionari

Amb música

\* Obligatòria

Número d'identificació del participant? \*

Estímul #1

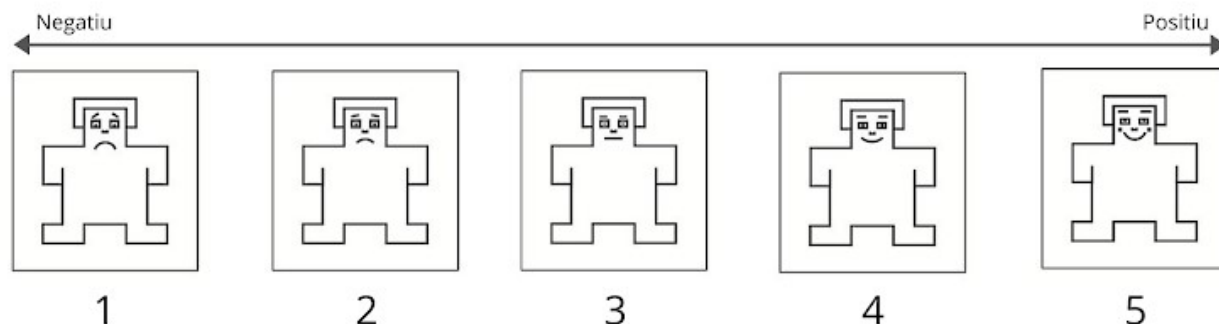


Stimulus #1



<http://youtube.com/watch?v=rLFwbJA6pYo>

1. El grau de valència\* que segons vostè l'estímul #1 conté: \*



Maqueu només un oval.

1 2 3 4 5

\* La valència és l'aversion intrínseca / dolenta (valència negativa) o l'atractiu / bona (valència positiva) d'alguna cosa. Trist és valència negativa mentre que feliç és valència positiva. Podeu

Extremadament Negatiu

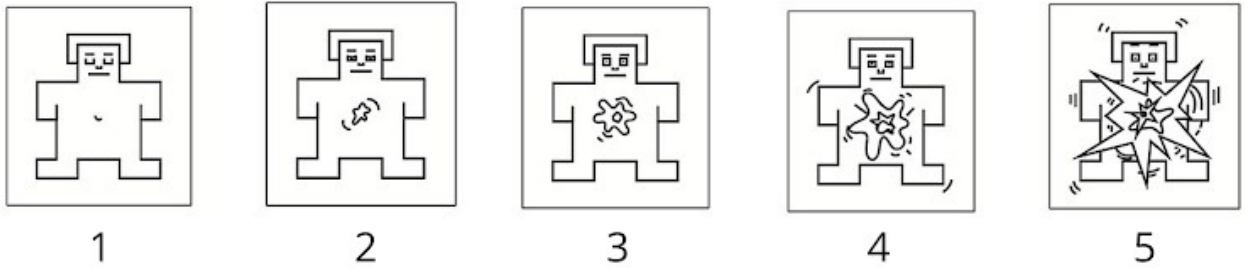
Extremadament Positiu

considerar que és sinònim d'agradabilitat, per la qual cosa veure una pel·lícula molt trista que us va fer plorar es qualificaria com 'Molt negativa' (encara que us hagués agradat la pel·lícula),



veure un veí que veieu cada dia es qualificaria com 'Neutre' i veure un membre de la família proper que no heu vist en molt de temps es classificaria com a 'Extremadament positiu'.

2. El grau d'excitació (energia) que segons vostè l'estímul #1 conté: \*



Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

Estímul #2

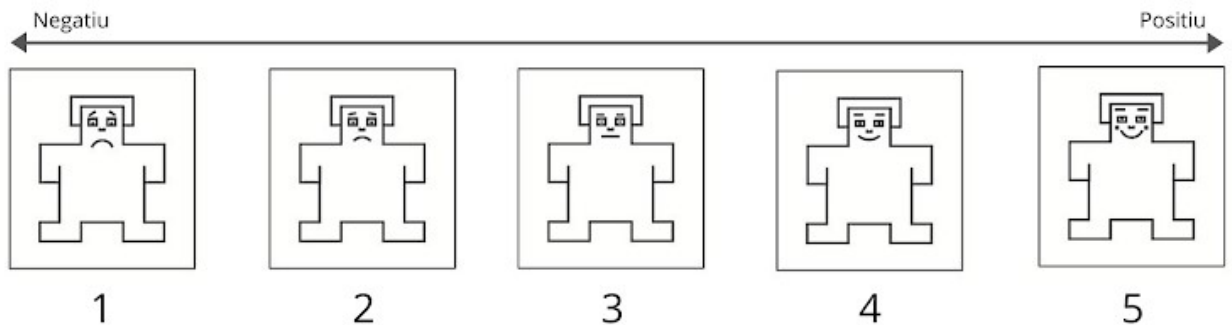


Stimulus #2



<http://youtube.com/watch?v=hz7X8P3jJQc>

3. El grau de valència\* que segons vostè l'estímul #2 conté: \*

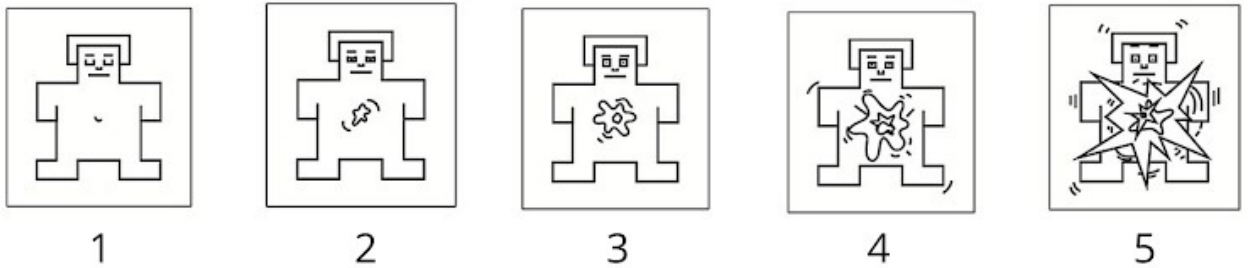


Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Extremadament Negatiu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament Positiu

\* La valència és l'aversió intrínseca / dolenta (valència negativa) o l'atractiu / bona (valència positiva) d'alguna cosa. Trist és valencià negativa mentre que feliç és valencià positiva. Podeu considerar que és sinònim d'agradabilitat, per la qual cosa veure una pel·lícula molt trista que us va fer plorar es qualificaria com 'Molt negativa' (encara que us hagués agradat la pel·lícula), veure un veí que veieu cada dia es qualificaria com 'Neutre' i veure un membre de la família proper que no heu vist en molt de temps es classificaria com a 'Extremadament positiu'.

4. El grau d'excitació (energia) que segons vostè l'estímul #2 conté: \*



*Maqueu només un oval.*

	1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

Estímul #3

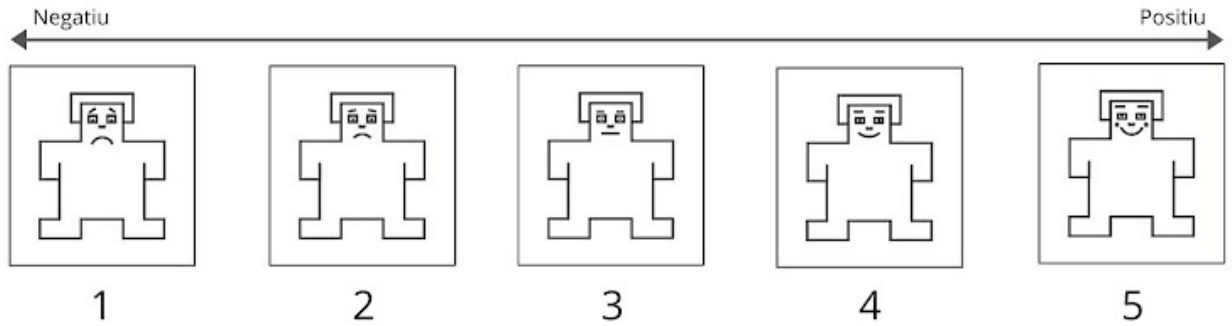


Stimulus #3



<http://youtube.com/watch?v=UjiZOq6cx0Y>

5. El grau de valència\* que segons vostè l'estímul #2 conté: \*

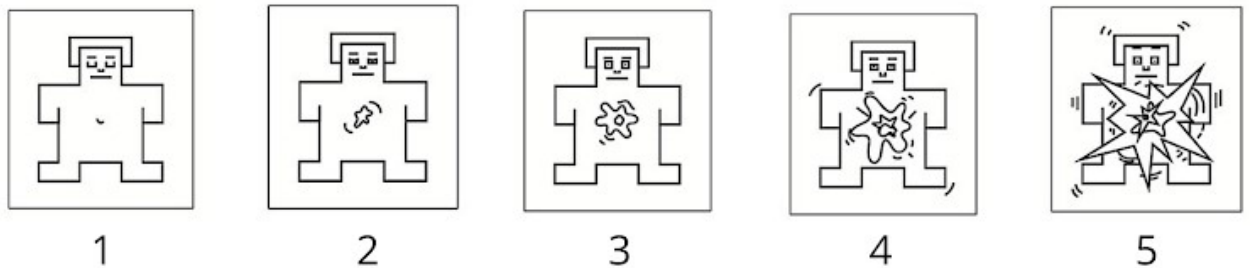


Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Extremadament Negatiu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament Positiu

\* La valència és l'aversió intrínseca / dolenta (valència negativa) o l'atractiu / bona (valència positiva) d'alguna cosa. Trist és valencià negativa mentre que feliç és valencià positiva. Podeu considerar que és sinònim d'agradabilitat, per la qual cosa veure una pel·lícula molt trista que us va fer plorar es qualificaria com 'Molt negativa' (encara que us hagués agradat la pel·lícula), veure un veí que veieu cada dia es qualificaria com 'Neutre' i veure un membre de la família proper que no heu vist en molt de temps es classificaria com a 'Extremadament positiu'.

6. El grau d'excitació (energia) que segons vostè l'estímul #3 conté: \*



Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

## Post Condició A Qüestionari

Amb Música

**\* Obligatòria**

Número d'identificació del pacient? \*

---

1. Rendiment de la sessió percebuda (Com descriuríeu el vostre rendiment a la sessió?):

\*

*Maqueu només un oval.*

	1	2	3	4	5	
Molt baixa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molt bona

2. Satisfacció de la sessió (Què tan agradable ha set fer aquesta sessió?): \*

*Maqueu només un oval.*

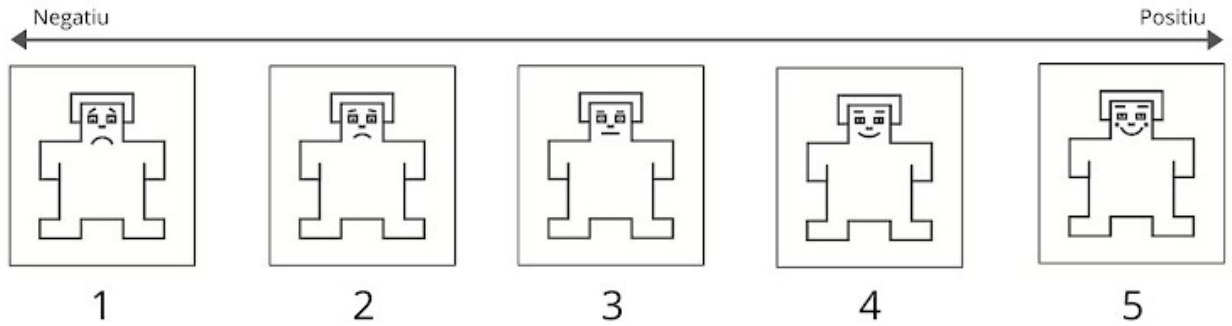
	1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

3. Motivació de la sessió (Com de motivat has estat durant la sessió?): \*

*Maqueu només un oval.*

	2	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

4. El grau de valència\* que segons vostè aquest tros de música conté:

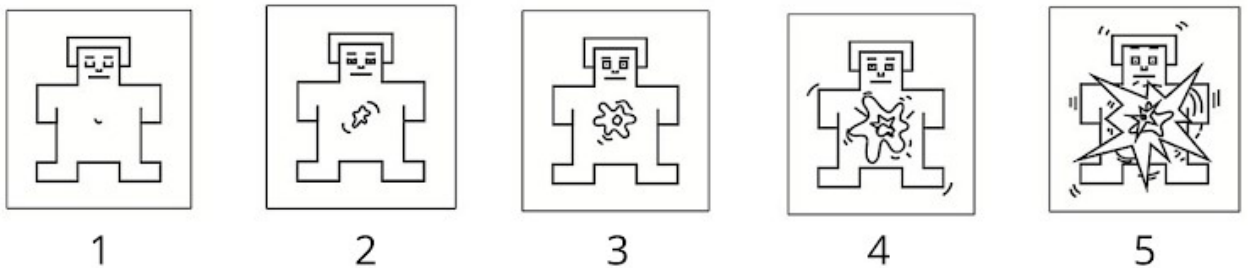


Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Extremadament Negatiu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament Positiu

\* La valència és l'aversió intrínseca / dolenta (valència negativa) o l'atractiu / bona (valència positiva) d'alguna cosa. Trist és valencià negativa mentre que feliç és valencià positiva. Podeu considerar que és sinònim d'agradabilitat, per la qual cosa veure una pel·lícula molt trista que us va fer plorar es qualificaria com 'Molt negativa' (encara que us hagués agradat la pel·lícula), veure un veí que veieu cada dia es qualificaria com 'Neutre' i veure un membre de la família proper que no heu vist en molt de temps es classificaria com a 'Extremadament positiu'.

5. El grau d'excitació (energia) que segons vostè aquest tros de música conté:



Maqueu només un oval.

	1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament

## Post Condició B Qüestionari

Sense Música

**\* Obligatòria**

Número d'identificació del pacient? \*

---

1. Rendiment de la sessió percebuda (Com descriuríeu el vostre rendiment a la sessió?): \*

*Maqueu només un oval.*

		1	2	3	4	5	
Molt baixa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Molt bona	

2. Satisfacció de la sessió (Què tan agradable ha set fer aquesta sessió?): \*

*Maqueu només un oval.*

		1	2	3	4	5	
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Extremadament	

3. Motivació de la sessió (Com de motivat has estat durant la sessió?): \*

*Maqueu només un oval.*

	1	2	3	4	5
Gens	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
					Extremadament

---

## Qüestionari Post Sessió

**\* Obligatòria**

1. Número d'identificació del pacient? \*

---

2. Data de naixement \*

---

*Exemple: 7 de gener de 2019*

3. Sexe \*

*Maqueu només un oval.*

- Home
- Dona
- Prefereix no dir-ho

4. Lateralitat/preferència de mans? \*

*Maqueu només un oval.*

- Dretà
- Esquerrà
- Ambidextre

5. Nivell musical que té?\* \*

*Maqueu només un oval.*

- Bàsic
- Mitjà
- Expert

\* Nivell bàsic (sense formació - poca formació), secundari / mitjà (més de 6 anys de formació) i expert (Títol Superior - músic professional)

6. Informació de contacte (e-mail o número mòbil)? \*

---

---

2/2