

Actividad física y cognición (memoria)



Carlos Yepes Baldó
Tutor: Dr. Alberto García
Máster de Neurorehabilitación 2023/24
6 de junio de 2024

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen	1
2. Antecedentes	1
3. Objetivos	13
4. Hipótesis.....	13
5. Metodología.....	14
5.1. Diseño	14
5.2. Participantes	15
5.3. Instrumentos y variables a medir	15
5.4. Procedimiento.....	17
5.5. Análisis de datos	23
6. Resultados esperados	23
7. Valoración crítica y conclusiones del proceso de aprendizaje.....	24
8. Bibliografía	26
9. Anexos.....	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Almacenamiento de la memoria. (Katz, 2007, p. 158).....	3
Ilustración 2. Procesos de la memoria. Melton, 1963, adapted by Lecturio	4
Ilustración 3. My Smart Band 4 de Xiaomi.....	16
Ilustración 4. Elección de los candidatos	18
Ilustración 5. Hoja de recogida de datos de cada paciente por cada sesión	19
Ilustración 6. Hoja de datos general	20
Ilustración 7. Procedimiento.....	21
Ilustración 8. Cronograma.....	21
Ilustración 9. Modelo bicicleta Keiser	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de la bicicleta estática Keiser®m3.....	22
Tabla 2. Programación de las sesiones por semanas.....	25

1. Resumen

En el S.XXI existe una gran preocupación por la alta incidencia de usuarios que, a nivel mundial, padecen daño cerebral adquirido (ictus y traumatismo craneoencefálico). Esto supone largas estancias hospitalarias y un gasto económico muy elevado. Las secuelas más evidentes y con mayor inversión en el tratamiento rehabilitador son las físicas (dificultades en la marcha, problemas de movilidad de la extremidad superior afecta...), pero cabe destacar que también existen otras no tan visibles como son las secuelas sociales (trabajo, ocio, relaciones interpersonales...), las conductuales (irritabilidad, labilidad, apatía...) y las cognitivas (comunicación y lenguaje, atención, percepción, **memoria**).

La actividad física y, más concretamente, el ejercicio cardiovascular tiene grandes beneficios en la salud de las personas sanas y también en aquellas que han padecido algún daño cerebral adquirido. Pero los beneficios cognitivos que el ejercicio puede aportar para la población con daño cerebral adquirido están mucho menos estudiados. Parece ser que la segregación de proteínas como el BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor) o de neurotransmisores como la dopamina que se produce durante la realización de ejercicio a intensidad moderada puede ayudar a mejorar aspectos como la memoria. Esto se debe al hecho que estos factores ayudan a la supervivencia neuronal, mejoran la plasticidad sináptica y estimulan la neurogénesis (proceso de formación de nuevas neuronas).

Es por ello que con la propuesta de investigación que se plantea en este documento se quiere comprobar si la realización de ejercicio físico moderado previo al entrenamiento de la memoria mediante un programa informático (GNPT®) de telerrehabilitación cognitiva, mejora los resultados obtenidos en este campo en pacientes subagudos con daño cerebral adquirido (ictus o traumatismo craneoencefálico).

2. Antecedentes

El Daño Cerebral Adquirido (DCA) es una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial. Según datos de la Encuesta sobre Discapacidad, Autonomía Personal y Dependencia publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en abril de 2022, en España más de 435.400 personas viven con un daño cerebral adquirido y se produjeron 361.500 nuevos casos en ese mismo año. La causa principal es el ictus, responsable de más del 80% de los casos, precediendo a otras causas como son los traumatismos cerebrales, las anoxias o los tumores cerebrales, entre otras.

El daño cerebral traumático es la segunda causa más común de daño cerebral adquirido, aunque el número de casos ha disminuido significativamente desde 2008. En España, 73.900 personas han adquirido daño cerebral a causa de un traumatismo craneoencefálico. La Encuesta de Morbilidad Hospitalaria¹ proporciona datos anuales sobre nuevos casos de DCA, tomando como referencia las altas por la principal causa (ictus y traumatismo craneoencefálico). En 2021, 106.517 personas fueron dadas de alta del sistema sanitario español por ictus y 25.298 por traumatismo craneoencefálico. El 65,03% de los pacientes con daño cerebral adquirido eran mayores de 65 años, cifra asociada a una mayor incidencia de ictus en este grupo, que en su mayoría es femenina (52%).

El daño cerebral adquirido deja secuelas físicas, pero también otras conductuales, emocionales y cognitivas. Entre ellas destacan las siguientes:

- Apraxia: incapacidad de realizar secuencias de movimientos funcionales, a pesar de no haber un problema motor que lo imposibilite
- Amnesia: afectación de la memoria, en algunos casos con problemas para aprender cosas nuevas o recordar acontecimientos recientes.
- Déficits atencionales: el deterioro en los procesos atencionales, la cual cosa afecta a otros procesos cognitivos.
- Agnosia: dificultad para percibir ciertos estímulos o imágenes (caras, sonidos...) aunque mantengan el oído intacto
- Dificultades en las funciones ejecutivas: entendiendo éstas como aquellas habilidades cognitivas que permiten la planificación, la programación y el inicio de las funciones mentales y llevar a cabo, de manera eficaz, las tareas.
- Afasia: dificultades en la producción o entendimiento del lenguaje o ambas a la vez.
- Trastornos de la conducta: desinhibición, agresividad, hostilidad,
- Trastornos del estado de ánimo: apatía, ansiedad, depresión o trastornos obsesivos pueden ser frecuentes en estos pacientes.

Tal y como afirma Zang², después de sufrir una lesión cerebral traumática, el ejercicio aeróbico promueve la aptitud cardiovascular, la recuperación cognitiva y la reducción de los trastornos del estado de ánimo. El gran reto es saber si, además de los beneficios físicos y psicológicos altamente demostrados que existen en personas con daño cerebral adquirido, también hay beneficios en cuanto a cognición y más en concreto en la mejora de la memoria.

La cognición proviene de la palabra latina "cognoscere". Se traduce como conocer y de esta deriva a conocimiento. Según Davidoff³ la cognición es el proceso mediante el cual adquirimos y empleamos el conocimiento. Morris⁴ lo define como el proceso mediante el cual adquirimos y empleamos el conocimiento. Finalmente, Coon⁵ lo explica como el proceso de pensar o procesar información mentalmente como son los conceptos, las palabras, las reglas, las imágenes o los símbolos.

Los procesos cognitivos son un conjunto de aspectos que sirven para comprender los fundamentos del comportamiento humano y de la actividad mental. Estos procesos cognitivos se basan en aspectos biológicos, en sistemas de recepción, la percepción, el aprendizaje, la memoria y los procesos complejos como son la resolución de problemas y el lenguaje.

Según Jorge Reichmann, "la experiencia se define por su capacidad de transformar al sujeto: es una vivencia que nos modifica"⁶.

El aprendizaje interviene en la adquisición, el mantenimiento o la modificación de diferentes comportamientos, además de participar, también, en los aspectos relacionados con la memoria y el pensamiento. Cosacov⁷ considera el aprendizaje como "un cambio relativamente permanente en la conducta como resultado de la experiencia o práctica; por otro lado, es toda modificación del comportamiento no debido a factores de maduración biológica."

La memoria, por su parte, se define como el medio por el que el organismo retiene información sensorial o interna de manera que podrá ser utilizada (es decir, es la capacidad de retener y localizar las experiencias vividas). Según Cosacov⁷ es la transformación que se hace de la información en función del paso del tiempo y está estrechamente vinculada con el aprendizaje. Otros autores como Coon⁵ la definen como el sistema mental para recibir, codificar, almacenar, organizar, modificar y recuperar la información. Por lo tanto, podríamos decir que es una función intelectual en la que interviene todo el proceso de aprendizaje del ser humano, desde las funciones más elementales hasta las más elaboradas y complejas del comportamiento. Es una de las funciones principales del cerebro. El aprendizaje y las experiencias obtenidas son almacenadas en diferentes partes de la corteza cerebral mediante infinidad de neuronas, todas relacionadas entre sí. Los términos aprendizaje y memoria a menudo se implican el uno al otro, ya que es difícil asegurar que se haya producido aprendizaje si no hay una demostración memorística que lo haga evidente.

Los seres humanos “conocen” y se desarrollan en el mundo que les rodea gracias a tres aspectos básicos como son la percepción, el aprendizaje y la memoria. Así pues, podemos decir que el aprendizaje es el proceso mediante el cual se adquiere un conocimiento a través de la experiencia y la memoria es la capacidad de retener ese aprendizaje. El proceso de memorización se basa en tres funciones básicas: recogida de nueva información, almacenamiento de esta para darle significado y poder recuperarla para cuando sea necesario (codificación, almacenamiento y recuperación).

La codificación (clasificación de la información en base a ideas o significados) implica aprendizaje y se produce en las áreas frontales del cerebro. Podríamos decir, pues, que la codificación se podría definir como la representación mental de los estímulos recibidos por los sentidos. Una vez el cerebro ha codificado la información, ésta pasa al hipocampo (estructura del sistema límbico), allí se almacenan los datos en la memoria para poderlos utilizar en un futuro (Ilustración 1).

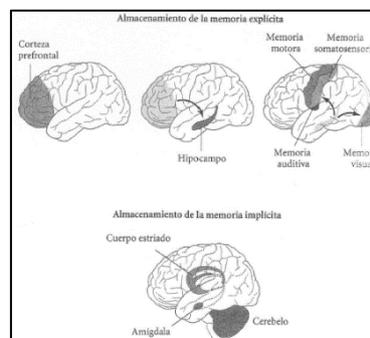


Ilustración 1. Almacenamiento de la memoria. (Katz, 2007, p. 158)

Estos datos almacenados se organizan en unidades de conocimiento que se componen de conceptos, categorías y relaciones, que forman un conjunto de conocimientos en el cerebro para poder ser utilizados a lo largo de la vida. Para que esto sea factible se debe recuperar (recordar) la información, es decir, debemos acceder a la información guardada en la memoria (Ilustración 2)



Ilustración 2. Procesos de la memoria. Melton, 1963, adapted by Lecturio

Existen diferentes modelos para explicar los tipos de memoria en función de los autores que la definen.

1. Modelo Multialmacén de Atkinson y Shifrin⁸. Estos autores dividen la memoria en tres apartados:
 - a. Memoria sensorial: La memoria sensorial o de almacenamiento es el primer nivel en el que se registra la información ya que ésta se extrae de los sentidos más primarios. Su función es la de retener la información mientras es analizada. Se refiere pues a la capacidad de ver, oler, sentir... de manera selectiva dando significado a las cosas percibidas. Los estímulos con ciertas condiciones se comparan con otros de similares ya conocidos para que los reconozcan y deduzcan lo que significan. El sistema es capaz de filtrar diferentes estímulos, centrando la atención en aquello que interesa dejando el resto en un segundo nivel por no contener información relevante en ese momento.
 - b. Memoria a corto plazo: La memoria a corto plazo es aquella que permite tener “imágenes” almacenadas en el cerebro. Cumple con dos grandes objetivos como son el almacenamiento durante cortos periodos de tiempo de nuevos datos y la actuación sobre ellos (almacenando su información en la memoria a largo plazo o desechándola). La memoria a corto plazo implica un proceso de retención activo de la información
 - c. Memoria a largo plazo: es la parte de la memoria más o menos permanente. Se almacena toda la información para poderla utilizar en situaciones parecidas en un futuro. Esta información no necesita ser repasada constantemente y siempre se puede acudir a ella. La memoria a largo plazo puede ser procedimental (realización de acciones) o declarativa (el almacenamiento de hechos, nombres, fechas, lugares o información en general es lo que se llamaría memoria semántica y en cambio la episódica contiene información más personal de cosas que le ocurren a cada individuo).
2. Modelo por niveles de procesamiento de Craik⁹: para estos autores sólo existen dos tipos de procesamiento:
 - a. Tipo I: procesamiento superficial basado en la repetición
 - b. Tipo II: más profundo y basado en el análisis semántico

Hasta ahora se han descrito algunos de los déficits que presentan las personas que han padecido un daño cerebral adquirido centrándose, sobretodo, en los aspectos cognitivos como la memoria (en el que se centrará la investigación propuesta en este trabajo).

El otro gran elemento del planteamiento de este estudio es la actividad física y concretamente el trabajo cardiovascular. Es por ello que a continuación se describirán estos aspectos en relación al estudio, en el que se pretende saber si la actividad física, concretamente el trabajo cardiovascular, mejora los resultados de los pacientes con daño cerebral adquirido en cuanto a memoria.

En la página web de la Organización Mundial de la Salud se define la actividad física como “cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos, con el consiguiente consumo de energía. La actividad física hace referencia a todo movimiento, incluso durante el tiempo de ocio, para desplazarse a determinados lugares y desde ellos, o como parte del trabajo de una persona. La actividad física, tanto moderada como intensa, mejora la salud”¹⁰

Las actividades físicas más habituales son caminar, ir en bicicleta, practicar diferentes deportes, actividades recreativas y juegos. Una actividad física regular ayuda a prevenir enfermedades o patologías como la diabetes, la obesidad, la hipertensión, el ictus, mejora la salud mental, el bienestar y la calidad de vida de los sujetos que la practican (referencia).

Antes de adentrarnos más en esta materia cabe hacer una aclaración sobre los conceptos actividad física, ejercicio físico y deporte, ya que en muchas ocasiones se confunden dichos términos o se usan como sinónimos. Hay que entender que son tres términos diferentes y es la actividad física el que engloba a los dos anteriores, es decir, el ejercicio físico es un tipo de actividad física que corresponde a un movimiento corporal planificado y estructurado con el objetivo de mejorar o mantener la aptitud o la condición física. Por otra parte, se entiende por deporte todo tipo de actividad física que mediante una participación organizada tenga como objetivo la mejora de la condición física, el desarrollo de las relaciones sociales o el logro de resultados en competiciones a todos los niveles. Por lo tanto, hay que destacar que el término actividad física es el más general y engloba tanto ejercicio físico como deporte.

Uno de los aspectos que causa mayor discusión entre los distintos profesionales es la cantidad de actividad física que hay que realizar para que ésta sea saludable y cómo medir la intensidad de la misma.

En cuanto al primer aspecto, es decir, la cantidad de actividad física que hay que realizar, la OMS¹¹ lo diferencia en función de la edad de los sujetos, ya que éste es un factor determinante para ajustar la cantidad de actividad física recomendable.

Los adultos:

- Deben realizar actividades aeróbicas de intensidad moderada de 150 a 300 minutos semanales o actividades intensas de 75 a 150 minutos.
- Deben realizar trabajo de fuerza de todos los grupos musculares de intensidad moderada o vigorosa como mínimo dos veces por semana
- Si se quieren obtener beneficios adicionales para la salud se puede ampliar el número de horas dedicadas a la práctica de ejercicio
- Deben limitar las actividades sedentarias y sustituir éstas, en la medida que sea posible, por actividad física, aunque sea de baja intensidad.

Los adultos con discapacidad:

- Deben realizar actividades físicas aeróbicas moderadas durante 150 minutos, como mínimo u otras de alta intensidad al menos 75 minutos durante la semana.
- Deberían realizar trabajo de fuerza muscular moderada o intensa durante dos o más días a la semana
- Deben limitar el tiempo dedicado a actividades sedentarias y cambiar éstas por ejercicio físico de cualquier intensidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS)¹¹ asegura que la actividad física realizada de manera regular es muy beneficiosa para la salud de quienes la practican. En cambio, la inactividad es uno de los principales riesgos de mortalidad por causas no derivadas de una enfermedad transmisible. Las personas con insuficiente práctica de actividad física tienen entre un 20 y un 30% más de probabilidades de muerte si se comparan con aquella parte de la población que tiene niveles óptimos de práctica motriz.

La actividad física mejora el estado muscular y la capacidad cardiorrespiratoria, mejora la salud ósea, reduce la hipertensión, el riesgo de sufrir cardiopatías coronarias, ictus, diabetes, depresión, ayuda a mantener un peso corporal saludable...

Por contra unos niveles de actividad física bajos comportan una serie de riesgos para la salud de las personas con comportamientos sedentarios. El sedentarismo está asociado a deficiencias de salud como son el aumento de tejido adiposo y del peso, una salud cardiometabólica deficiente, unas aptitudes físicas cada vez peores, comportamientos sociales de peor calidad, dificultades en el sueño, mayor riesgo de mortalidad o de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer o diabetes. Aun sabiendo esto, el estilo de vida está llevando a periodos de inactividad física elevados derivados del uso del transporte motorizado, trabajos sedentarios donde el uso de pantallas es cada vez mayor, un altísimo número de “entretenimientos” que no tienen en cuenta el movimiento (consolas, tabletas, teléfonos inteligentes...).

Ante esta tendencia la Organización Mundial de la Salud¹² puso en marcha en 2018 un nuevo plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030 en el que se detallan cuatro ámbitos de acción en cuanto a políticas que fomenten la práctica de hábitos saludables y veinte recomendaciones y medidas políticas concretas para todos los países asociados a la OMS. En este documento se pide a los gobernantes una respuesta integral del sistema, considerando a todos los sectores que intervienen en este campo y tomando medidas que proporcionen entornos seguros y propicios para que las personas aumenten sus niveles de actividad física. En 2030 se quiere reducir en un 10% la inactividad física. Es por ello que se considera un plan ambicioso para mejorar la calidad de vida de las personas y su estado de salud.

Cabe destacar que para medir la actividad física de los adultos la Organización Mundial de la Salud ha elaborado el Cuestionario Mundial sobre Actividad Física (GPAQ) (anexo 1) que ayuda a los miembros a hacer un seguimiento de la actividad física insuficiente. Para evaluar los niveles entre los escolares se ha desarrollado otro cuestionario llamado Encuesta Mundial de la Salud de los Escolares (GSHS)¹³.

Pero la gran duda que se plantea cuando se habla de práctica de actividad física es saber cómo calcular los niveles de intensidad para que tenga efectos saludables y beneficiosos para el organismo.

Algunos centros como el Hospital Clínic de Barcelona¹⁴ lo definen de la siguiente manera en su página web:

- Actividad leve: es aquella en que el esfuerzo necesario es mínimo y el cuerpo prácticamente no padece cambios fisiológicos mientras se realiza (tareas domésticas, caminar lentamente, pasear, levantarse de una silla...)
- Actividad moderada: es aquella en que la respiración y las pulsaciones son rápidas, pero permiten mantener una conversación mientras se realiza el ejercicio (caminar a paso ligero, es decir a 6 Km/h, jugar de manera activa, montar en bicicleta a ritmo tranquilo, barrer hojas o cortar el césped...)
- Actividad vigorosa: es aquella en la que las pulsaciones aumentan de manera sustancial y la respiración es demasiado fuerte o rápida para poder mantener una conversación mientras dura el ejercicio (correr, subir escaleras, nadar, patinar, realizar deportes competitivos que impliquen desplazamientos continuados, saltar a la cuerda...).

En cambio, encontramos otra definición bastante más específica y detallada en la Conselleria de Salut del Govern de les Illes Balears¹⁵. En este caso se clasifican las actividades en función de la intensidad y la manera de calcularla. Para hacer este cálculo utilizan el consumo calórico valorado en METs (o tasa de equivalente metabólico, en su sigla en inglés), entendiéndolos como el consumo metabólico energético que necesita una persona para mantener su cuerpo en funcionamiento, teniendo como valor de partida que 1 MET es el costo energético de estar en reposo (1Kcal/Kg/h). A partir de este valor se entiende por intensidad ligera aquella en la que el consumo calórico es de 1 a 3 veces mayor que en reposo (1-3 MET), intensidad moderada cuando este consumo es de 4 a 6 METs e intensidad vigorosa cuando el consumo es 6 veces mayor a la situación de reposo.

Finalmente cabe destacar que una forma objetiva y más fácil de determinar la intensidad de un ejercicio es mediante la frecuencia cardíaca (FC). Para poderlo realizar hay que calcular la FC máxima, entendiéndola como el límite superior que el corazón y el sistema vascular, es decir, el sistema cardiovascular, pueden soportar durante la ejecución de una actividad.

Se puede realizar un cálculo de la frecuencia cardíaca máxima multiplicando la edad del usuario por 0,7 y restando el resultado obtenido a 208 (por ejemplo, una persona de 45 años de edad tendrá una FCmax. De 176,5 ppm). Este cálculo es aconsejable para la población deportista. En cambio para los usuarios no entrenados es aconsejable calcular la FCmáx de la siguiente manera:

Población no deportista
Hombres: $FC_{máx} = 220 - \text{edad}$
Mujeres: $FC_{máx} = 226 - \text{edad}$

Una vez conocido este valor se puede determinar la zona de frecuencia cardíaca objetivo que se entiende como el nivel en el que el individuo se ejercita y condiciona su corazón, pero sin llegar a sobrecargarlo.

La Asociación Americana del Corazón¹⁶ suele recomendar estos objetivos de frecuencia cardíaca:

- Ejercicio de intensidad moderada: es aquel en el que se trabaja a un 50-70% de la frecuencia cardíaca máxima.
- Intensidad del ejercicio vigoroso: el nivel de carga asciende hasta el 70-85% aproximadamente de la frecuencia cardíaca máxima.

Para calcular la zona de frecuencia cardíaca objetivo hay que tener en cuenta el método de la frecuencia cardíaca de reserva siguiendo los pasos descritos a continuación (poniendo el ejemplo de querer realizar actividad física moderada con valores que oscilen entre el 50 y el 70% de la frecuencia cardíaca máxima):

1. Restar la edad del usuario a 220 en caso de hombres y a 226 en caso de mujeres para obtener la FCmax.
2. Calcular la frecuencia cardíaca en reposo contando, de manera manual o con dispositivos *wearables*, el número de veces que late en corazón en un minuto (suele oscilar entre 60 y 100 ppm)
3. Para calcular la frecuencia cardíaca de reserva hay que restar las pulsaciones obtenidas en reposo a la FCmax.
4. Límite inferior: Multiplicar la FC de reserva por 0,5 (50%) y sumarle la frecuencia cardíaca de reposo
5. Límite superior: Multiplicar la FC de reserva por 0,7 (70%) y sumar la frecuencia cardíaca de reposo

Los dos valores obtenidos son la zona de frecuencia cardíaca objetivo en actividades de intensidad moderada cuando se utiliza la FC de reserva para calcular la FC objetivo. Hay que tener en cuenta que hay factores que pueden modificar estos parámetros estándar. Algunos medicamentos para bajar la presión arterial pueden reducir también la FCmax y, en consecuencia, la zona de frecuencia cardíaca objetivo. En esos casos es adecuado preguntarle al equipo médico si hay que utilizar una zona más baja para la FC objetivo debido a la medicación.

La mejor manera de trabajar el sistema cardiovascular es mediante la realización de actividades para la mejora de la capacidad aeróbica, entendiendo la resistencia aeróbica como la ejecución de actividades de intensidad moderada, que impliquen la participación de un elevado número de músculos y que el tiempo de práctica sea prolongado.

Cabe recordar que durante el ejercicio aeróbico el corazón bombea sangre rica en oxígeno a los músculos para que estos puedan desempeñar su función. Por el contrario, se habla de resistencia anaeróbica cuando la intensidad es muy elevada y el ejercicio tiene que ser de una duración corta. La resistencia aeróbica tiene grandes implicaciones a nivel cardiorrespiratorio, es por eso que se conoce con varios nombres como pueden ser la resistencia cardiovascular, cardiorrespiratoria, condición física cardiovascular o aptitud cardiorrespiratoria, aunque todas ellas, por definición se refieren a la capacidad de mantener un ejercicio de intensidad moderada durante largos periodos de tiempo.

A pesar de todo lo descrito anteriormente, teniendo en cuenta los beneficios que puede tener la práctica de ejercicio físico, no sólo a nivel motriz sino también a nivel conductual, psicológico y cognitivo, hay pocos estudios que demuestren que en pacientes con daño cerebral adquirido se encuentren mejoras en cuanto a la memoria después de un entrenamiento aeróbico.

Algunos autores como Colcombe¹⁷ aseguran que el ejercicio aeróbico puede ayudar a reducir los efectos negativos del envejecimiento y por otro lado puede promover la plasticidad cortical en zonas relacionadas con la cognición. Stanley¹⁸ concluyó que el ejercicio aeróbico puede mantener la salud cerebral y las funciones cognitivas durante el envejecimiento. Eso sí, en este estudio se habla de personas mayores sin daño cerebral, pero aun así se aporta un dato importante acerca de la relación entre actividad física y salud cerebral.

En otro artículo Fakhoury¹⁹ y su equipo investigaron cómo el ejercicio físico y la dieta afectaban a la plasticidad cerebral debido a la modulación del BDNF (del inglés, Brain Derived Neurotrophic Factor). Se afirma que el ejercicio físico realizado de manera regular puede aumentar la cantidad de BDNF. El factor neurotrófico derivado del cerebro promueve la supervivencia de neuronas, estimula el crecimiento de las dendritas, facilita la formación de nuevas sinapsis entre diferentes neuronas (factor determinante para el aprendizaje y la memoria) y, además, el BDNF juega un papel crucial en la plasticidad sináptica y, por lo tanto, la capacidad de aprendizaje y de memoria. Por ello se puede apreciar como la práctica de actividad física puede ser un buen aliado en cuanto a la recuperación de funciones alteradas después de un daño cerebral, pero vuelve a haber una limitación ya que en el caso de este artículo tampoco se hace referencia a pacientes subagudos que hayan padecido un ictus o un TCE y, es más, en las conclusiones se habla que en la mayoría de casos se ha estudiado con varones jóvenes y, sería necesario poderlo comparar con mujeres y con otros rangos de edad.

En cambio hay algunos estudios en los que sí se habla de lesión cerebral y cognición. Codd²⁰ y su equipo examinaron el efecto del ejercicio en la reversión de los déficits de aprendizaje causados por lesiones en el hipocampo mediante la promoción de la neurogénesis. Los autores investigaron cómo el ejercicio puede influir en la capacidad del cerebro para recuperarse después de una lesión en el hipocampo, una región clave para la memoria y el aprendizaje, en ratas. Realizaron lesiones en el hipocampo en ratas para someterlas después a un programa de ejercicio físico. Pudieron observar cómo se formaban nuevas neuronas en esta región (neurogénesis), la cual cosa produjo una mejora en cuanto al aprendizaje espacial y la memoria en las ratas que realizaban el entrenamiento físico en comparación con las que no lo realizaban. Por otro lado también pudieron observar cómo había una mejora en la conectividad neuronal en el hipocampo y, por lo tanto, pudieron afirmar que el ejercicio físico no sólo ayudaba a la neurogénesis sino que también facilita su integración a las redes neuronales del cerebro. Por lo tanto es un primer estudio en el que parece que la inclusión del entrenamiento aeróbico en pacientes que han padecido un traumatismo craneoencefálico o un ictus favorece la recuperación de funciones cognitivas alteradas por la lesión, a pesar que faltaría ver si lo que ocurre con las ratas es extrapolable al ser humano.

Otro realizado con ratas por Ko²⁶ en el 2019 obtuvo buenos resultados. En este caso se le realizaron lesiones cerebrales traumáticas a los animales y fueron divididas en dos grupos: el primero de ellos realizó ejercicio físico en una cinta sin fin y el segundo grupo fue considerado control y, por lo tanto, no realizaba ningún tipo de entrenamiento físico. Las ratas del primer grupo realizaron 30' de ejercicio durante 28 días, empezando este entrenamiento 21 días después del traumatismo.

Después de este entrenamiento se evaluaron aspectos de memoria (espacial y de reconocimiento) en ambos grupos, también se analizaron los niveles de dopamina en los cerebros de ambos grupos. Los resultados demostraron una mejora significativa en la memoria de las ratas que habían realizado el ejercicio físico en comparación con el grupo control tanto en la memoria espacial como en la de reconocimiento. Por otro lado se pudo comprobar que los niveles de dopamina en el cerebro de las ratas que realizaban ejercicio en la cinta de correr eran superiores a los que no hicieron ejercicio. Cabe recordar que la dopamina es un neurotransmisor que realiza diferentes funciones en el sistema nervioso. Además de regular el estado de ánimo, es fundamental para el control del movimiento y la coordinación muscular y para la regulación de la cognición, la atención y el aprendizaje. Es por estos dos aspectos que el estudio realizado por Ko y su equipo tiene gran importancia en este trabajo ya que, a pesar de ser realizado en ratas, se puede decir que, si fuera extrapolable a los seres humanos, un buen entrenamiento aeróbico mejora las funciones cognitivas.

Hay otros autores que han estudiado esta relación entre actividad cardiovascular y mejora cognitiva en pacientes con daño cerebral adquirido. En el año 2015 Chin²¹ y su equipo examinaron los efectos del entrenamiento aeróbico y la mejora del rendimiento cognitivo en personas con traumatismo craneoencefálico. A pesar de tener una muestra muy pequeña de sujetos (n=7) y que el estudio se realizó con personas crónicas, los datos obtenidos fueron positivos en cuanto a la hipótesis del estudio. Los sujetos estudiados se sometieron a 12 semanas de entrenamiento vigoroso 3 días por semana con una duración de 30' en cinta sin fin. Se realizó un pre test y un post test de rendimiento cognitivo, calidad de sueño y grado de depresión presente. Los resultados obtenidos muestran mejoras en el rendimiento cognitivo, pero no en calidad de sueño y depresión. Aún así se puede afirmar, según este estudio, que el entrenamiento aeróbico puede ser una herramienta eficaz para la mejora de las funciones cognitivas alteradas después del TCE y, por lo tanto, se podría aplicar en procesos rehabilitadores en centros hospitalarios.

Como ya se ha dicho con anterioridad falta mucha bibliografía en este campo de investigación. Dauwan²² así lo demostró en su metanálisis. Se examinaron 122 estudios sobre los beneficios del ejercicio físico en la memoria (N=994). Se encontró un efecto beneficioso, aunque pequeño, en los resultados (sobre todo en el ejercicio aeróbico) de memoria. El 33% de los estudios revisados incluían a sujetos con enfermedades como el Parkinson, el Alzheimer u otras. Otro apartado destacado, y que ya hemos mencionado, es la importancia de la intensidad en la realización de los ejercicios. De los 122 estudios analizados, el 41% no dan datos en este sentido. Del resto el 50% (36 estudios) hablan de ejercicio a baja o moderada intensidad y el 22% (16 estudios) realizaron ejercicios de moderada a alta intensidad.

Otro de los factores importantes de la inactividad a la que, en ocasiones, son sometidos los pacientes con daño cerebral adquirido es la sarcopenia y la relación que esta puede tener con las funciones cognitivas. En este aspecto Scisciola²³ revisa la evidencia sobre el papel de las mioquinas en la función cognitiva y la salud cerebral de las personas mayores. Las mioquinas son proteínas secretadas por el músculo en la contracción y se ha descubierto que tienen efecto en tejidos y órganos, incluido el cerebro. Además pueden estar relacionadas con la neurogénesis y la plasticidad sináptica, como ya se ha visto con el BDNF y, por lo tanto, con procesos de aprendizaje y memoria.

En 2019, Palac²⁴ analizó la eficacia de programas de entrenamiento aeróbico y cognitivo para reducir los síntomas de la conmoción cerebral, teniendo como premisa que el entrenamiento cardiovascular y el cognitivo ayudan a la mejora de las funciones tras sufrir lesiones tras una conmoción cerebral.

En dicho estudio se demostró que los sujetos que realizaban ejercicio cardiovascular y los que hacían trabajo cognitivo mejoraban los resultados en comparación con el grupo control en cuanto a funciones cognitivas, calidad del sueño y estado de ánimo. Por lo tanto se puede afirmar que es eficaz (según la evidencia de este estudio) realizar programas combinados de ejercicio aeróbico y entrenamiento cognitivo para reducir los síntomas de una conmoción cerebral.

En cambio hay otros autores como Shen²⁵ que realizaron un metaanálisis para comprobar si el ejercicio aeróbico ayudaba a mejorar los síntomas en pacientes con un traumatismo craneoencefálico leve o una conmoción cerebral. Se observó que el ejercicio puede reducir significativamente la puntuación de PCSS (Post-Concussion Symptom Scale) y acortaba el tiempo de recuperación en los adolescentes, pero por otro lado señalan resultados contradictorios en cuanto a la recuperación de la función neurocognitiva.

Otro estudio que demuestra los posibles beneficios que el trabajo cardiovascular puede tener sobre la cognición de personas con daño cerebral adquirido es el que realizaron en 2019 el equipo del Dr. Yeh²⁷. En este caso se comparó un grupo de usuarios con ictus que realizaba ejercicio aeróbico durante 30 minutos y a continuación una sesión de entrenamiento cognitivo en el ordenador con un grupo control que recibió 30 minutos de ejercicio físico no aeróbico y 30 minutos de actividades cognitivas no estructuradas. En este estudio también se centraron principalmente en la función cognitiva, incluyendo otras medidas secundarias como la función física, la participación social y la calidad de vida. Los resultados obtenidos fueron que el grupo de ejercicio aeróbico combinado con una sesión de trabajo cognitivo computarizado mostró una mejora significativa en la Evaluación Cognitiva de Montreal y en las puntuaciones de la Escala de Memoria de Wechsler respecto al grupo control. También hubo mejora en cuanto a la prueba de resistencia de los 6 minutos, pero en cambio no hubo significación en las pruebas de participación social ni en el cuestionario de calidad de vida (EuroQol). Por lo tanto concluyeron que el trabajo aeróbico combinado con el entrenamiento cognitivo computarizado tiene mejoras en cuanto al estado funcional cognitivo de los usuarios que han padecido un ictus respecto al grupo control.

El equipo de Debreceni-Nagy²⁸, también en 2019, realizó un estudio sobre estos aspectos, pero en este caso con ejercicio aeróbico a baja intensidad en pacientes con ictus subagudos y crónicos. Se realizó un estudio piloto controlado y aleatorizado para ver cómo afecta el ejercicio a las funciones cognitivas en comparación con un grupo control. Los resultados obtenidos fueron que los pacientes del grupo experimental mejoraron significativamente en cuanto a la velocidad de procesamiento y la atención selectiva respecto al grupo control.

Otro estudio que demuestra que el trabajo aeróbico puede tener beneficios en cuanto a la cognición de pacientes con daño cerebral adquirido fue el realizado por Wender²⁹ y su equipo en 2021. En este caso se examinaron los efectos iniciales del entrenamiento aeróbico a intensidad moderada en la función cognitiva de personas con traumatismo craneoencefálico con problemas de memoria. Cinco sujetos (y esta N tan baja es una de las limitaciones del estudio y hace difícil su generalización) fueron asignados de manera aleatoria al grupo control activo o al experimental (realizaban trabajo cardiovascular moderado y supervisado durante 12 semanas). Para evaluar los efectos del entrenamiento se utilizaron tanto pruebas neuropsicológicas como de neuroimagen (resonancia magnética). Las medidas principales del estudio fueron el aprendizaje verbal auditivo y la velocidad de procesamiento.

Los resultados obtenidos fueron que el grupo experimental obtuvo mejoras significativas en ambas medidas de estudio. Por lo tanto también pudieron afirmar que el ejercicio aeróbico moderado tiene efectos positivos en la función cognitiva de las personas que han padecido un traumatismo craneoencefálico con afectación de la memoria. Aún así ya se ha destacado que la muestra es muy pequeña y que se deberían realizar más estudios en este ámbito.

Por otro lado Chin³⁰, en 2015 publicó un estudio en el que se pretendía evaluar los efectos del entrenamiento aeróbico en la cognición de sujetos con traumatismo craneoencefálico. El grupo experimental realizó un entrenamiento aeróbico supervisado de 12 semanas de duración. Realizaban 3 entrenamientos a la semana en cinta sin fin durante 30 minutos. El grupo control no realizaba ninguna intervención específica. Se utilizaron varias pruebas para analizar la función cognitiva como el TMT (Trail Making Test) y la batería RBANS (Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status), además de la calidad del sueño y cuestionarios sobre depresión. Una vez finalizado el entrenamiento de 12 semanas se observaron mejoras significativas en el grupo experimental respecto al control en cuanto a la función cognitiva. En cambio no hubo cambios significativos en cuanto a la calidad del sueño ni en los niveles de depresión. Cabe destacar que en este estudio, a diferencia de otros citados con anterioridad, se encontró una fuerte correlación entre las mejoras cognitivas y las cardiorrespiratorias derivadas del entrenamiento, lo cual sugiere que la mejoría cognitiva puede estar relacionada con aspectos fisiológicos derivados del ejercicio.

Ya por último hay que destacar un estudio de Binu³¹ de la University of Texas Southwestern Medical Center en el que se centraron en analizar como el ejercicio aeróbico puede influir en la perfusión cerebral en personas con deterioro cognitivo leve. En dicho estudio se reclutaron personas con este tipo de patología para entrar en un programa de ejercicio aeróbico durante 12 meses. La evaluación fue llevada a cabo por resonancia magnética para observar el flujo sanguíneo de los participantes antes y después del entrenamiento. El grupo experimental realizaba en ejercicio con una intensidad moderada/vigorosa personalizada evaluada con la VO₂máx de cada usuario en la cinta sin fin. Empezaron con 25-30 minutos 3 veces por semana a intensidades que oscilaban entre el 75 y el 85% de la FCmáx y fueron aumentando tanto la duración como la frecuencia hasta llegar a sesiones de 30-40 minutos, 5 días a la semana llegando a valores del 85-90% de la FCmáx. Cabe destacar, a pesar de todo, que los sujetos estudiados no tenían un daño cerebral adquirido como el ictus o el TCE sino que eran personas con deterioro cognitivo leve y es por ello que se podía llegar a esos niveles de intensidad que están recogidos en las pautas nacionales de actividad física para adultos mayores de los EEUU.

Los resultados obtenidos demostraron mejoras significativas en diferentes regiones del cerebro después del entrenamiento aeróbico; algunas de estas áreas están asociadas con funciones cognitivas como la memoria o el procesamiento visual. Además pudieron observar una correlación entre las mejoras en cuanto a la perfusión cerebral y los cambios en el rendimiento cognitivo de los usuarios estudiados. Por lo tanto pudieron afirmar que el ejercicio aeróbico prolongado tiene efectos positivos en cuanto al riego sanguíneo cerebral y, en consecuencia, podría ayudar a mejorar la función cognitiva y ralentizar el deterioro de la población. La puntuación obtenida en el test "Learning and Memory" mejoró significativamente en el grupo experimental y en cambio no fue así en el control.

Aunque los sujetos estudiados en esta última investigación no tienen las mismas patologías que las que se proponen en este trabajo (usuarios con deterioro cognitivo leve vs. Pacientes subagudos con daño cerebral adquirido), sí parece que los resultados obtenidos podrían ser extrapolables (o eso es lo que se quiere demostrar) a usuarios con ictus o TCE.

Además, como se ha podido observar durante el repaso bibliográfico anterior, la mayoría de estudios demuestran que el ejercicio cardiovascular puede tener beneficios en aspectos cognitivos, ya sea por el aumento del riego sanguíneo, la segregación de proteínas como el BDNF o neurotransmisores como la dopamina, la plasticidad neuronal u otros factores. A pesar de ello, las principales limitaciones de los estudios previos se basan en el tamaño de las muestras y que en la mayoría de estudios analizados no se trataba de pacientes en fase subaguda sino con patologías consideradas crónicas. Así pues, como la mayoría de artículos sugieren, sería necesario seguir investigando en este ámbito.

3. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es el de investigar si el trabajo cardiovascular (realizado en bicicleta estática) a intensidad moderada (medida en valores medios de frecuencia cardiaca) favorece la recuperación de las funciones cognitivas, en concreto de la memoria, en pacientes subagudos que hayan padecido un daño cerebral adquirido (ictus o traumatismo craneoencefálico). Asimismo, también se quiere estudiar si hay diferencias entre los resultados obtenidos en las dos patologías, en cuanto a sexo (hombre/mujer) y edad, teniendo en cuenta que se utilizará un único protocolo y manera de proceder.

Hay muy poca literatura en este sentido y, por lo tanto, se pretende estudiar si, además de los beneficios físicos y psicológicos que aporta la actividad física, también existen mejoras significativas en cuanto a la memoria.

Se pretende evaluar de manera sistemática y cuantitativa los efectos que el trabajo cardiovascular tiene sobre la mejora en la memoria en pacientes que realizan rehabilitación en un centro hospitalario especializado en el tratamiento de personas con discapacidad de origen neurológico como es el Institut Guttmann de Badalona.

4. Hipótesis

La hipótesis de la investigación planteada será la siguiente:

- La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria mejora los resultados de los pacientes con daño cerebral adquirido
 - H1.1
 - La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria mejora los resultados de los pacientes que han padecido un TCE
 - H1.2
 - La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria mejora los resultados de los pacientes que han padecido un ictus

Se quiere demostrar que los pacientes que realicen el trabajo cardiovascular previo al entrenamiento cognitivo mejorarán su memoria. Esta mejora se podría deber a modificaciones cerebrales asociadas a la plasticidad cerebral, la neurogénesis o el aumento de dopaminas (u otros neurotransmisores) derivadas de la práctica de actividad física. Además, planteamos la hipótesis que el efecto del ejercicio sobre la memoria podría verse moderado por la edad y/o sexo de los pacientes.

5. Metodología

5.1. Diseño

Se propone realizar un estudio prospectivo de medidas repetidas de memoria en un grupo experimental realizando un trabajo aeróbico en bicicleta estática de 30' de duración a una intensidad moderada (en base a porcentajes de frecuencia cardiaca) en sujetos con daño cerebral adquirido (fase subaguda) que realizan rehabilitación en un centro monográfico de neurorehabilitación alta especialización como es el Institut Guttmann de Badalona. Este tipo de estudio es adecuado, según Llobell:

“cuando administramos los tratamientos objeto de nuestra investigación a los mismos sujetos y, en consecuencia, estos reciben más de un tratamiento experimental, disponiendo al menos de una observación por tratamiento y sujeto. Es, por tanto, un diseño intrasujetos o de medidas repetidas”³²

En un estudio con un diseño de medidas repetidas la característica principal es el hecho de incluir diferentes observaciones en cada uno de los sujetos a investigar, cada una de ellas con un tratamiento diferente (condición experimental vs condición control). Es por ello que el cruce entre ambas variables (sujeto y tratamiento) configura medidas repetidas intrasujetos.

Normalmente este tipo de diseño se utiliza para:

1. Evaluar el cambio a lo largo del tiempo
2. Evaluar la actuación de los sujetos a investigar en función del tratamiento recibido
3. Comparar las puntuaciones obtenidas por los diferentes sujetos en diferentes test

Se ha decidido no realizar un grupo control debido a las múltiples variables que se tienen que tener en cuenta y que, de buen seguro, harían que el grupo control y el experimental fueran excesivamente diferentes y que por lo tanto las comparaciones entre ellos no fueran fiables. Por otro lado existe una parte ética, ya que no se puede dejar sin tratamiento a un paciente (en este caso sería sin poder realizar trabajo cardiovascular moderado) cuando ya se conocen los beneficios que este tipo de ejercicio tiene sobre la población con daño cerebral adquirido. Este aspecto se podría haber resuelto permitiendo que los usuarios del grupo control realizaran el ejercicio aeróbico en cualquier momento del día (excepto en la actividad anterior al trabajo de cognición). Pero debido a las dificultades en encontrar un grupo control parejo al experimental se ha optado por realizar un único grupo y analizar aspectos intrapersonales.

En esta propuesta de investigación se analizará en cada sesión de tratamiento (3 días por semana durante 6-8 semanas) la frecuencia cardíaca (FC) del sujeto investigado (en las sesiones que realizará trabajo cardiovascular) y los resultados de memoria en la plataforma de telerrehabilitación GNPT® (plataforma online de rehabilitación cognitiva dirigida a profesionales de la neurorehabilitación que buscan a través de las nuevas tecnologías ofrecer tratamientos personalizados eficaces y eficientes para pacientes que han sufrido alguna afectación neurológica)³³. El hecho de medir la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento aeróbico sirve para verificar que el sujeto realiza el ejercicio a una intensidad moderada.

5.2. Participantes

Criterios de inclusión:

Para el desarrollo de este estudio se seleccionará una muestra de 20 pacientes subagudos con daño cerebral adquirido (10 usuarios que hayan padecido un ictus y 10 con un TCE) que estén realizando rehabilitación en el Hospital de Neurorehabilitación Institut Guttmann.

- Deben tener edades comprendidas entre los 18 y los 65 años de edad.
- Los pacientes de la muestra no deben superar los 6 meses de evolución en el momento del inicio del estudio
- En ambos casos habrá 5 hombres y 5 mujeres para tener más variables a la hora de comparar los diferentes grupos.
- Estos usuarios deben ser capaces de pedalear en una bicicleta estática durante, al menos, 35 minutos.
- Manifestar alteraciones de la memoria objetivados a través de una exploración neuropsicológica.

Criterios de exclusión:

- Todos aquellos pacientes a quienes que su médico responsable desaconseje la práctica de actividad física moderada (50-70% de la FC de reserva)
- Pacientes con una alteración de la comprensión verbal que no les permita entender en qué consiste la tarea o la investigación
- Los usuarios que no cumplan con los criterios mencionados en “criterios de inclusión”.

5.3. Instrumentos y variables a medir

En esta investigación serán necesarios dos instrumentos, el sistema de medición de la frecuencia cardíaca (Mi Smart Band 4 de Xiaomi®) y la plataforma de telerrehabilitación cognitiva Guttmann NeuroPersonalTrainer (GNPT®).

Primero se detallará en qué consiste este programa de rehabilitación cognitiva computarizada desarrollada desde el área de neuropsicología del Institut Guttmann en Badalona. Los pacientes que inician tratamiento con esta herramienta son evaluados inicialmente por un profesional que realiza una serie de pruebas validadas para evaluar diferentes funciones cognitivas (atención, memoria o funciones ejecutivas). De esta manera se puede establecer el perfil cognitivo previo a la intervención teniendo en cuenta la edad y el nivel de estudios del paciente.

Una vez realizada esta primera evaluación el neuropsicólogo define las tareas de rehabilitación de la plataforma GNPT®, configura los parámetros para cada tarea y el nivel de dificultad. Ello permite que el paciente puede iniciar el tratamiento de manera telemática y los resultados son enviados al servidor para que su neuropsicólogo responsable pueda ver el rendimiento del sujeto. El sistema va aumentando el nivel de dificultad de los ejercicios, en función de los resultados obtenidos por el paciente, gracias al algoritmo de inteligencia artificial integrado en la plataforma. A pesar de esta automatización, cabe destacar que el profesional pueda cambiar o modificar cualquiera de estas funciones.

El programa define tres rangos de rendimiento en función de los resultados del paciente en las diferentes tareas:

- *Rango terapéutico*: es aquel en el que la puntuación obtenida se encuentra entre el 65% y el 85% de las respuestas correctas
- *Rango infra-terapéutico*: es aquel en que la puntuación obtenida no supera el 65% de respuestas correctas
- *Rango supra-terapéutico*: es aquél en el que la puntuación del paciente es superior al 85% de respuestas contestadas correctamente.

Como se ha explicado anteriormente el programa, de manera automática, relanza una nueva tarea ajustando el nivel de dificultad al resultado obtenido, ya que lo ideal es que el paciente ejecute el mayor número de tareas en el rango terapéutico.

Al final del tratamiento el neuropsicólogo realiza de nuevo la valoración, como ya se hizo al inicio del tratamiento, para ver las mejoras en el rendimiento cognitivo.

Por otro lado se va a monitorizar a los pacientes del estudio durante su práctica de ejercicio cardiovascular en la bicicleta estática. Para ello se va a utilizar la Mi Smart Band 4 de Xiaomi® (Ilustración. 2) para saber, en todo momento, su frecuencia cardíaca y poder dar inputs sobre si debe aumentar o reducir la intensidad del ejercicio. El dispositivo de Xiaomi® cumple con el objetivo de poder parametrizar la Frecuencia Cardíaca (FC) de los sujetos de investigación durante la realización del ejercicio en la bicicleta estática ya que en sus especificaciones se puede encontrar que tiene 6 modos de entrenamiento (cinta para correr, correr al aire libre, montar en bicicleta, ejercicio, caminar, nadar en la piscina; contar los pasos, la distancia y las calorías quemadas), así como monitoreo de la frecuencia cardíaca, frecuencia cardíaca en reposo, tabla de frecuencia cardíaca...³⁴



Ilustración 3. My Smart Band 4 de Xiaomi

En la propuesta de investigación se van a tener en cuenta diferentes variables para después poderlas contrastar o ver correlaciones entre ellas. Estas variables que se pretenden medir se dividirán en principales y secundarias.

Entre las variables principales del estudio se encuentran:

- Frecuencia cardiaca (FC): cabe recordar que se debe trabajar entre un 50% y un 70% de la FC de reserva de media durante los 30 minutos que dura el ejercicio
- Porcentaje de éxito en la tarea de memoria en el programa de telemedicina GNPT®

Las variables secundarias serán las siguientes:

- Edad: los sujetos del estudio deben de tener edades comprendidas entre los 18 y los 65 años, midiendo ésta en números absolutos en el momento de iniciarse el estudio
- Sexo: hombre o mujer. En este sentido hay que remarcar que no se hace referencia al género del sujeto de investigación si no a su sexo biológico
- Patología: todos los sujetos del estudio deben de haber padecido un daño cerebral adquirido, más concretamente un ictus o un traumatismo craneoencefálico.
- Estudios previos: se recogerá el nivel de estudios previo al momento de la lesión. Sin estudios, estudios primarios, secundarios, universitarios, post universitarios...

5.4. Procedimiento

Antes de iniciar cualquier investigación hay que asegurarse que aquello que se plantea cumple con toda normativa y aspectos éticos³⁵. Es por ello que la propuesta de estudio será enviada al Comité de Ética de Investigación de la Fundació Unió Catalana y al Comité de Investigación e Innovación del Institut Guttmann para que sea analizado y aprobado.

Hay que tener en cuenta que la propuesta de investigación que se plantea en este documento encaja perfectamente en la línea estratégica de investigación número 3 del Institut Guttmann. Esta línea estratégica es la llamada "Rehabilitación neuropsicológica y estimulación cognitiva" y su investigador principal, el Dr. Alberto García, define como grandes objetivos³⁶:

- Avanzar en la validación de los nuevos programas de valoración computarizada de funciones cognitivas, así como estrategias de intervención clínica en el ámbito de la prevención y el envejecimiento activo y saludable.
- Explorar estrategias de intervención clínica con Guttmann NeuroPersonal Trainer® en el ámbito de la prevención y el envejecimiento activo y saludable.

Por otro lado, hay que asegurar la confidencialidad de los datos y su tratamiento. Para ello se cumplirá con lo establecido en el Reglamento General de Protección de Datos (UE) 2016/679³⁷ del Parlamento Europeo en el que se dice que se adoptarán las medidas necesarias para evitar la alteración, la pérdida, el tratamiento o el acceso no autorizado a los datos recogidos en esta investigación.

Una vez superada la aprobación por los diferentes Comités y teniendo el visto bueno de los expertos en la materia se iniciará la búsqueda de los sujetos candidatos a incorporarse al estudio. Esto se realizará de manera conjunta entre el neuropsicólogo y el profesional de educación física quienes, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión de los participantes, detectarán posibles candidatos y éstos serán analizados en cuanto a capacidad motriz y déficit cognitivo (Ilustración 4). Si cumplen los requisitos serán candidatos a participar en el estudio.

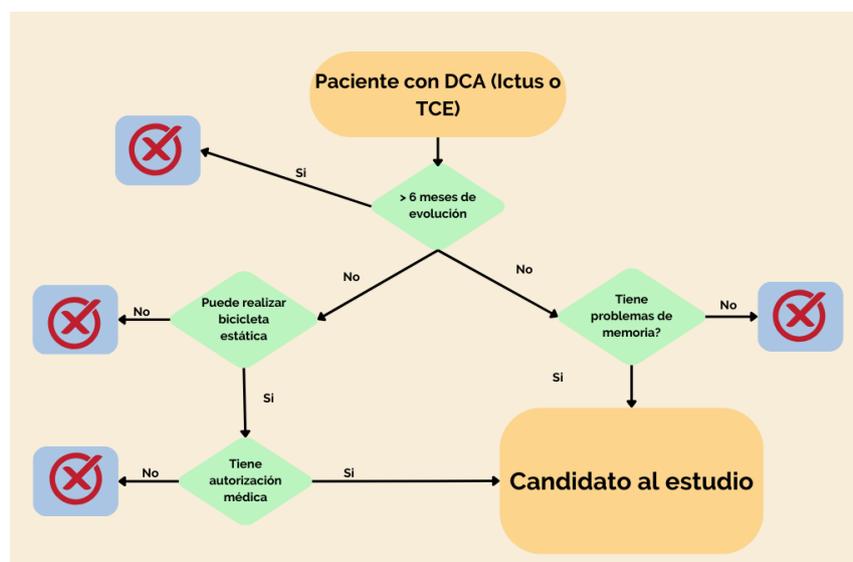


Ilustración 4. Elección de los candidatos

Antes de iniciar el tratamiento se pedirá una autorización, por escrito, al médico responsable del paciente para que éste pueda iniciar las sesiones del estudio. Una vez pasado este trámite se explicará al usuario en qué consiste la investigación y se les dará el “Documento de información para el participante” (anexo 2), el “Consentimiento informado” (anexo 3) y el “Cuestionario del consentimiento informado” (anexo 4) para que lo puedan leer, puedan pensar si quieren o no participar de la investigación y en el caso de ser afirmativo, devuelvan los tres documentos cumplimentados y firmados (sin este paso no se podrá empezar la intervención). En el caso que se considere que el paciente no está capacitado para entender lo que se le está pidiendo en estos documentos, se le explicará al familiar responsable para que sea éste quien autorice o no la participación del paciente en el estudio. Aún así hay que decir que los participantes deben tener un nivel de comprensión que les permita entender la tarea que deben realizar (tanto a nivel físico como cognitivo).

Si el usuario está de acuerdo en formar parte del grupo experimental se procederá al inicio del estudio y del tratamiento. Se le calculará la FC de reserva para fijar unos valores de FC objetivo (estos valores son totalmente individuales y variarán entre sujetos). Los pasos a seguir para realizar este cálculo son los siguientes:

1. Restar la edad del usuario a 220 en caso de hombres y a 226 en caso de mujeres para obtener la FCmax.
2. Calcular la frecuencia cardiaca en reposo contando, de manera manual o con dispositivos *wearables*, el número de veces que late en corazón en un minuto (suele oscilar entre 60 y 100 ppm)
3. Para calcular la frecuencia cardiaca de reserva hay que restar las pulsaciones obtenidas en reposo a la FCmax.
4. Límite inferior: Multiplicar la FC de reserva por 0,5 (50%) y sumarle la frecuencia cardiaca de reposo
5. Límite superior: Multiplicar la FC de reserva por 0,7 (70%) y sumar la frecuencia cardiaca de reposo

Los dos valores obtenidos son la zona de frecuencia cardiaca objetivo en actividades de intensidad moderada cuando se utiliza la FC de reserva para calcular la FC objetivo. Una sesión será considerada como experimental en el caso que el valor medio de la FC durante los 30' que dura el entrenamiento esté entre el 50% y el 70% de la FC de reserva. En este caso se anotará (1) y se dirá que CUMPLE con la condición experimental. En el caso de no realizar el entrenamiento cardiovascular o que el valor medio no llegue al 50% de la FC de reserva se considerará que NO CUMPLE con la condición experimental y se anotará (0). Esto se realizará automáticamente en el documento de Excel con la siguiente fórmula:

$$=SI(Y(casilla\ con\ FC\ media >= a\ la\ FC\ al\ 50\%; A2 <= a\ la\ FC\ al\ 70\%); 1; 0)$$

Por otro lado, el neuropsicólogo realizará la valoración inicial aplicando el protocolo de exploración del área de neuropsicología del Hospital de Neurorehabilitación Institut Guttmann. Este protocolo valora diversas funciones cognitivas (orientación, lenguaje, atención, memoria, velocidad de procesamiento de la información, percepción y funciones ejecutivas). Teniendo en cuenta el objetivo de este estudio, la variable cognitiva de interés es el rendimiento del paciente en el Rey-Auditory Verbal Learning Test (RAVLT). El test RAVLT evalúa la memoria de retención y evocación inmediata, valorando también el aprendizaje verbal de una lista de palabras. Consiste en la presentación de una lista de 15 palabras. Se realizan en total de cinco presentaciones de la serie. Cada una de las presentaciones va seguida de su evocación inmediata por parte del sujeto. Posteriormente se solicita una sexta evocación del recuerdo tras una labor de interferencia no mnésica. En la presente investigación se tomará el valor del resultado en la subprueba del RAVLT de recuerdo diferido.

Cada paciente tendrá una hoja de recogida de datos personal (Ilustración 5) para que sea más sencillo y práctico para el investigador. Estos datos se pasarán después de cada sesión a la hoja general de Excel.

NIP 1			
Sesión	FC Media	Cumple/no cumple (condición experimental)	% éxito
1		=SI(Y(casilla con FC media >= a la FC al 50%; A2 <= a la FC al 70%); 1; 0)	
2			
3			
4			

Ilustración 5. Hoja de recogida de datos de cada paciente por cada sesión

Una vez realizadas estas valoraciones se recogerán, en una base de datos de Excel totalmente cifrada, los datos de los sujetos recategorizados numéricamente (Ilustración 6):

- NHC: número de historia clínica
- Edad
- Sexo: hombre (0) o mujer (1)
- Patología: Ictus (0) o TCE (1)
- Estudios previos: sin estudios (0), primarios (1), Secundarios (2), Universitarios (3), post-universitarios (4)
- Condición experimental de cada sesión: 0 (no cumple el criterio para ser considerada sesión experimental válida) o 1 (sí cumple el criterio).
- % de éxito de la tarea en cuanto a memoria

NIP	NHC	Edad	Sexo	Patología	Estudios previos	Condición experimental sesión 1	% éxito sesión 1	Condición experimental sesión 2	% éxito sesión 2	...	Condición experimental sesión n	% éxito sesión n
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Ilustración 6. Hoja de datos general

En caso necesario, si los análisis a realizar así lo aconsejan, se crearán dos filas para cada participante, incluyendo en una de ellas los valores obtenidos en las pruebas de memoria en la condición experimental y en la otra los valores obtenidos en la condición no válida (no experimental).

En la siguiente imagen (Ilustración 7) se puede ver un resumen del procedimiento a seguir, desde que el paciente es seleccionado como sujeto de estudio hasta la programación del tratamiento.

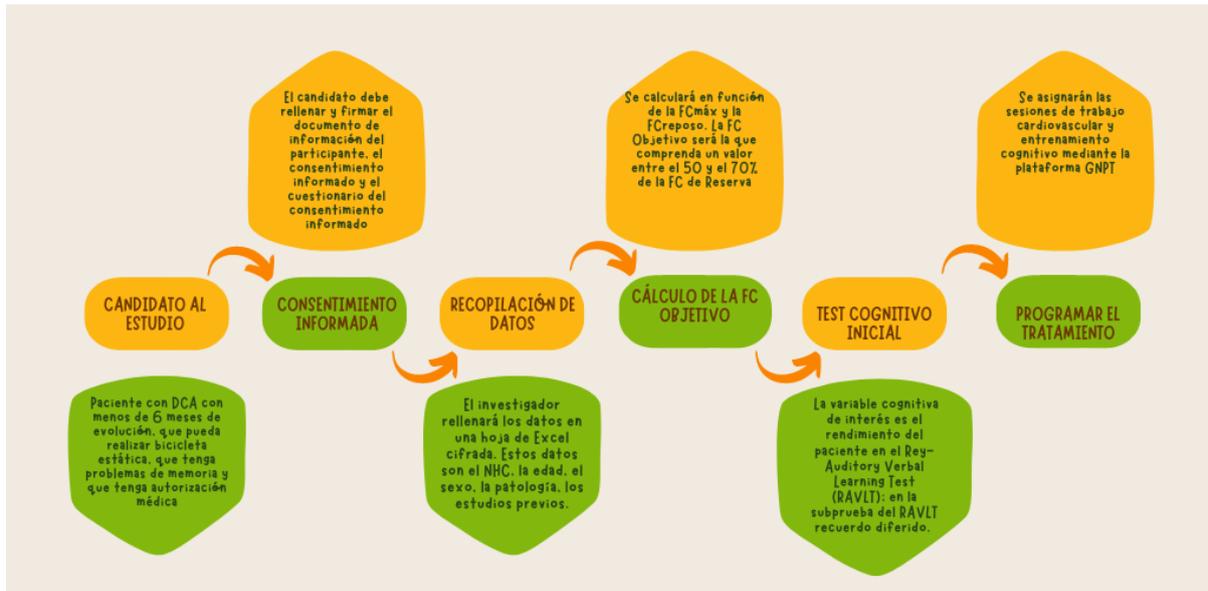


Ilustración 7. Procedimiento

Los pacientes realizarán la intervención durante 18-24 sesiones, es decir, entre un mes y medio y dos meses, ya que de esta manera se asegura que un porcentaje elevado de la muestra pueda finalizar el estudio (este tipo de pacientes reciben el alta hospitalaria aproximadamente a los 3-4 meses del ingreso). Para poder verificar si las mejoras en cuanto a memoria se producen gracias al ejercicio cardiovascular moderado previo al entrenamiento informatizado en la plataforma GNPT®, y ante la ausencia de grupo control, se ha optado por realizar sesiones con tratamiento aeróbico (TA) previo al entrenamiento cognitivo (TC) y otras sesiones sin la práctica motriz (Ilustración. 7). La siguiente secuencia se irá repitiendo hasta la semana final de la intervención, es decir, entre la semana 6 y la 8, para un total de 18-24 sesiones de entrenamiento cognitivo. Las sesiones sin la práctica motriz serán categorizadas como 0 (no cumple las condiciones para ser considerada sesión experimental).



Ilustración 8. Cronograma

La parte de entrenamiento aeróbico tendrá tres fases:

1. Calentamiento: 3 primeros minutos de la sesión
2. Parte principal: 30' de trabajo a intensidad moderada (50-70% de la FC de Reserva)
3. Vuelta a la calma: 2 últimos minutos en los que se deben bajar las pulsaciones llegando casi a la FC de reposo

El paciente estará monitorizado con el dispositivo wereable e irá recibiendo el feedback de la FC a la que está trabajando y por lo tanto se le animará a aumentar la intensidad o reducirla siempre que esté fuera del margen correcto. Una vez finalizado el entrenamiento físico se desplazará hasta el área de neuropsicología para realizar la sesión de GNPT® programada para ese día (se habrá pactado con el neuropsicólogo responsable del paciente que en todas las sesiones haya, como mínimo dos tareas relacionadas con la memoria).

Para realizar el entrenamiento cardiovascular se utilizará una bicicleta estática Keiser®m3 con las siguientes características (Tabla 1):³⁸

Marca	Keiser
Uso	Profesional
Volante	20Kg.
Transmisión	Correa
Freno	Magnético
Sistema interactivo	No
Peso	38.5 Kg.
Peso Máx. Usuario	136 Kg.
Ruedas	Si
Medidas (Largo x Ancho x Alto)	114 x 66 x 124 Cm.

Tabla 1. Características técnicas de la bicicleta estática Keiser®m3

Estas bicicletas (Ilustración 9) permiten un pedaleo suave y dinámico gracias a su sistema inercial y a la resistencia con imán (en lugar de fricción como en muchos otros modelos de bicicleta estática).



Ilustración 9. Modelo bicicleta Keiser

Según las especificaciones de la marca, la Keiser®m3³⁹ dispone de:

- Cuadro en forma de V que permite que la bicicleta M3 simule diferentes tamaños de cuadros, al permitir que el sillín y el manillar se ajusten en altura a cualquier talla de usuario.
- Volante de inercia instalado en la parte posterior para protegerlo del sudor y la corrosión.
- Pedal específico de ciclismo indoor, diseñado para distribuir mejor las cargas y aumentar su durabilidad.
- Sistema de transmisión por correa Poli-V que proporciona un pedaleo silencioso y sin vibraciones a diferencia de la correa dentada.
- Sistema de resistencia por flujo magnético.
- Ligera y fácil de transportar gracias a las ruedas en la base.
- Ajustes rápidos e intuitivos del manillar y el sillín.

- Sillín regulable en cuatro direcciones
- Soporte para cualquier tamaño de botella.

5.5. Análisis de datos

Los datos obtenidos se registrarán, como se ha explicado con anterioridad, en una hoja de Excel debidamente cifrada para su posterior análisis. La propuesta de investigación que se plantea en este documento es un estudio prospectivo de medidas repetidas de memoria en un grupo experimental realizando un trabajo aeróbico en bicicleta estática de 30' de duración a una intensidad moderada en sujetos con daño cerebral adquirido (ictus y/o TCE) que realizan rehabilitación en un centro monográfico de alta especialización (Institut Guttmann de Badalona) y en el que las variables principales serán la frecuencia cardiaca y el porcentaje de memoria en el programa GNPT®.

La manera de poder analizar estadísticamente los datos en un estudio como el que presenta en este documento es mediante una ANOVA de medidas repetidas (para variables con tres o más categorías) o una t-test de medidas repetidas (para variables con dos categorías), ya que estas sirven para comparar grupos de variables dependientes relacionadas que representan diferentes mediciones del mismo atributo⁴⁰. Para ello hay que tener en cuenta que es importante determinar el orden en el que se especifican los factores intra-sujetos, ya que estas serán tomadas en diferentes momentos.

Para realizar el análisis estadístico que ayude a verificar si la hipótesis planteada se cumple o no se utilizará el programa informático Jamovi®. Se han descartado otros programas como el SPSS® o el PSCP®, una por ser de pago y la otra por no tener la opción de ANOVA de medidas repetidas que será necesaria para el análisis estadístico.

En concreto se realizarán los siguientes contrastes:

- ANOVA para la comparación entre las medidas en condición experimental y no experimental (por no haber alcanzado el nivel mínimo establecido de actividad o por no haber realizado la actividad previamente a la prueba de memoria) y franja de edad
- T-test para la comparación por tipo de patología y sexo

Las variables intrasujetos serán siempre cuantitativas (FC y % de memoria en la tarea), mientras que las variables de contraste (condición experimental, sexo, edad y patología) serán de carácter categórico.

6. Resultados esperados

Teniendo en cuenta los diferentes estudios similares a la investigación que se plantea en este documento, cabría esperar que la tanto la hipótesis principal como las secundarias fueran reafirmadas. Cabe recordar que la primera de ellas es:

- La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria en el sistema GNPT mejora los resultados de los pacientes con daño cerebral adquirido

Y las secundarias:

- H1.1
 - La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria en el sistema GNPT mejora los resultados de los pacientes que han padecido un TCE
- H1.2
 - La realización de ejercicio cardiovascular de intensidad moderada previo al entrenamiento de la memoria en el sistema GNPT mejora los resultados de los pacientes que han padecido un ictus

Por un lado hay evidencias que la actividad física promueve cambios a nivel de sistema nervioso central, ya que se ha demostrado que con ejercicio moderado se aumenta la segregación de BDNF y de dopamina, factores que promueven la supervivencia neuronal, estimulan el crecimiento de las dendritas, facilitan la formación de nuevas sinapsis entre diferentes neuronas (factor determinante para el aprendizaje y la memoria) y, además, el BDNF juega un papel crucial en la plasticidad sináptica y, por lo tanto, la capacidad de aprendizaje y de memoria (como se puede apreciar en los estudios de Fakhoury¹⁹ o de Ye²⁷).

Por otro lado también se sabe que esta práctica motriz puede llevar a la formación de nuevas neuronas (neurogénesis). Ahora bien, la mayoría de estudios encontrados en la revisión bibliográfica tienen tamaños muestrales pequeños, o bien están realizados en animales (ratas) o las patologías de estudio no son exactamente las mismas que las que se proponen en esta investigación. Aun así, cabría esperar que los resultados que se obtuvieran en esta investigación validaran la hipótesis planteada.

En cambio, no hay ninguna evidencia que contraste resultados entre las dos patologías de estudio (ictus y TCE), así que habrá que esperar a los resultados obtenidos en la muestra del estudio para ver si hay diferencias significativas entre las dos poblaciones. Tampoco hay evidencias en cuanto al sexo y las mejoras en la variable de memoria. Por lo tanto es otro de las variables a tener en cuenta y otro análisis que hacer para poder comprobar si hombres y mujeres obtienen los mismos resultados en esta investigación o si, por el contrario, los datos revelan que el sexo es importante a la hora de predecir los avances en cuanto a la variable de memoria. Aún así, y según la bibliografía consultada todos los participantes del estudio deberían tener mejoras en los resultados de memoria debido a los beneficios que aporta el trabajo cardiovascular (segregación de BDNF, dopamina...).

7. Valoración crítica y conclusiones del proceso de aprendizaje

Los beneficios del ejercicio aeróbico son ampliamente conocidos:

- Mejora la salud cardiovascular
- Control del peso corporal
- Reduce la presión arterial
- Mejora el metabolismo en cuanto a los niveles de azúcar en sangre
- Aumenta la capacidad pulmonar
- Fortalece el sistema inmunológico
- Reduce la ansiedad y el estrés
- Ayuda a regular el descanso (sueño)
- Aumenta la autoestima y la autoconfianza

- Mejora la percepción de la imagen corporal

En cambio, no son tan conocidos los efectos que el ejercicio físico puede provocar a nivel del sistema nervioso central y la relación de éstos con la cognición y, mucho menos, en sujetos con daño cerebral adquirido, en los que la rehabilitación cognitiva es tan o más importante que la física. Creemos que si se demostrara que el ejercicio físico a intensidad moderada ayuda a mejorar la capacidad de memoria estaríamos ante un gran avance, pudiendo extrapolar este conocimiento a otros ámbitos como podrían ser la educación en las escuelas e institutos (ya que las horas de práctica de actividad física se han visto reducidas en los últimos años).

A pesar de los avances que este estudio podría suponer, su puesta en práctica no está exenta de limitaciones. Por un lado y, como ya se describió en un apartado anterior, este estudio está pensado y desarrollado para poderse realizar de manera real con pacientes subagudos en el Institut Guttmann de Badalona. Es por ello que algunos factores como la duración de la investigación (entre 18 y 24 sesiones), los días de tratamiento (3 veces por semana) y la decisión de no realizar un grupo control son motivados por la casuística de la institución donde se quisiera llevar a cabo. El hecho que más dudas planteó es el de la necesidad o no de crear un grupo control, pero por motivos éticos (dejar sin tratamiento a algunos pacientes) y dificultades para poder encontrar sujetos muy similares a los del grupo experimental se desestimó esta opción. Cuando se habla de “sujetos similares” hay que tener en cuenta el amplio número de variables que se deberían controlar, como por ejemplo:

- Edad: se plantea un abanico de edades bastante amplio
- Sexo
- Niveles de estudio iniciales
- Patología: teniendo en cuenta que las variables citadas anteriormente deben de ser para cada uno de las dos patologías en que se centra el estudio (TCE e ictus)
- Capacidad física previa a la lesión
- Capacidades cognitivas similares al inicio de la intervención.

El hecho de no realizar un grupo control se ha suplido con días de intervención cardiovascular y otros sin ella en el mismo paciente. De esta manera se podrá observar si los días en los que realiza la práctica cognitiva justo después del ejercicio aeróbico obtiene mejores resultados que los días que no se realiza el trabajo cardiovascular.

SEMANA 1			SEMANA 2		
Lunes	Miércoles	Viernes	Lunes	Miércoles	Viernes
TA + TC	TC	TA + TC	TC	TA + TC	TC

Tabla 2. Programación de las sesiones por semanas

Una de las fortalezas del planteamiento que se propone es que es fácilmente ejecutable y no requiere de demasiado personal ni organización. Simplemente con el neuropsicólogo responsable y el profesional de educación física que será el encargado de prescribir el ejercicio, monitorizar al paciente, anotar los datos y analizarlos, será suficiente para el buen funcionamiento del protocolo de intervención. Únicamente habría que programar la sesión de trabajo cardiovascular justo antes de la de trabajo de memoria a los sujetos del grupo experimental.

8. Bibliografía

1. Encuesta de Morbilidad Hospitalaria. Resultados de altas hospitalarias en España en 2021., España: Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social; 2022
2. Zang Y, Huang Z, Xia H, et al. The benefits of exercise for outcome improvement following traumatic brain injury: evidence, pitfalls and future perspectives. *Exp Neurol*. 2022;349:113958.
3. Davidoff RA. The pyramidal tract. *Neurology*. 1990;40(2):332-332.
4. Morris CG. Introducción a la psicología. 9a. ed. Madrid: Prentice Hall Hispanoamericana; 1997.
5. Coon D, Mitterer JO. Introducción a la psicología: el acceso a la mente y la conducta. Cengage; 2010.
6. Riechmann J. El siglo de la gran prueba: ensayos sobre el tiempo presente. Madrid: Ediciones de la Catarata; 2009.
7. Cosacov, Eduardo. Introducción a la psicología. - 6a ed. - Córdoba : Brujas, 2010
8. Atkinson, R.C; Shiffrin. The psychology of learning and motivation, volumen 2, capítulo: Human memory: A proposed system and its control processes. Nova York: Academic Press, 1968
9. Craik FIM, Lockhart RS. Levels of processing: a framework for memory research. *Journal of verbal Learning & verbal behavior*. 1972;11(6):671-84.
10. Actividad física. Organización Mundial de la Salud (OMS). Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>. Acceso: 2 de febrero de 2024.
11. World Health Organization. Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world. Geneva: World Health Organization; 2018.
12. Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030. Más personas activas para un mundo sano. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud; 2019. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponible en https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/50904/9789275320600_spa.pdf. Acceso 12 de marzo de 2024
13. Módulos principales de la Encuesta Mundial de Salud Escolar (GSHS) 2003-2008. Organización Mundial de la Salud (OMS). Disponible en: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/ncds/ncd-surveillance/gshs/core-modules_2003-2008_es.pdf?sfvrsn=6099c588_10&download=true. Acceso: 14 de febrero de 2024.
14. Actividad física y salud. Hospital Clínic de Barcelona. Disponible en: <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/vida-saludable/actividad-fisica-y-salud>. Acceso: 29 de enero de 2024.
15. Tipos de actividad física por intensidad. EinaSalut. Disponible en: <https://einasalut.caib.es/web/ciudadania-activa/tipos-de-actividad-fisica-por-intensidad>. Acceso: 29 de enero de 2024.
16. Ejercicio: Intensidad del ejercicio y cómo medirla. Mayo Clinic. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/fitness/in-depth/exercise-intensity/art-20046887>. Acceso: 2 de mayo de 2024.

17. Colcombe SJ, Kramer AF, Erickson KI, Scalf P, McAuley E, Cohen N, et al. Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. The Beckman Institute, Neuroscience Program, and Departments of Psychology, Kinesiology, and Electrical and Chemical Engineering, University of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, IL 61801
18. Stanley J, Smith A, Brown B, et al. Aerobic exercise maintains brain health and cognitive functions during aging. *Journal of Cognitive Health*. 2020;15(4):123-130.
19. Fakhoury M, Eid F, El Ahmad P, Khoury R, Mezher A, El Masri D, Haddad Z, Zoghbi Y, Ghayad LM, Sleiman SF, Stephan JS. Exercise and Dietary Factors Mediate Neural Plasticity Through Modulation of BDNF Signaling, IOS Press, 2022, *Brain plasticity* 8, 121-128
20. Codd LN, Blackmore DG, Vukovic J, Bartlett PF. Exercise reverses learning deficits induced by hippocampal injury by promoting neurogenesis, *Nature*, 2020
21. Chin LM, Keyser RE, Dsurney J, Chan L. Improved Cognitive Performance Following Aerobic Exercise Training in People With Traumatic Brain Injury, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2015; 96:754-9
22. Dauwan, M., Begemann, M. J. H., Slot, M. I. E., Lee, E. H. M., Scheltens, P., & Sommer, I. E. C. Physical exercise improves quality of life, depressive symptoms, and cognition across chronic brain disorders: a transdiagnostic systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 93(3), 2022, 266-274.
23. Scisciola L, Fontanella RA, Surina, Cataldo V, Paolisso G, Barbieri M. Sarcopenia and Cognitive Function: Role of Myokines in Muscle Brain Cross-Talk. *Kife* 2021, 11, 173
24. Palac DE. The efficacy of an aerobic exercise and cognitive training program on postconcussion symptomology. Doctor of Philosophy in Kinesiology. University of Illinois at Urbana-Champaign; 2019.
25. Shen X. Therapeutic Effect of Aerobic Exercise for Adolescents After Mild Traumatic Brain Injury and Sport-Related Concussion: A Meta-Analysis from Randomized Controlled Trials. *World Neurosurgery*. 2021;146:e22-e29
26. Ko IG. Treadmill exercise improves memory by up-regulating dopamine and down-regulating D2 dopamine receptor in traumatic brain injury rats. *Journal of Exercise Rehabilitation* 2019;15(4):504-511
27. Yeh TT. The Active Ingredient of Cognitive Restoration: A Multicenter Randomized Controlled Trial of Sequential Combination of Aerobic Exercise and Computer-Based Cognitive Training in Stroke Survivors With Cognitive Decline. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019
28. Debreceni-Nagy, D., Molnár, M., Csiba, L., Prókai, Á., Lengyel, C., Fazekas, G., & Horváth, R. The effect of low-intensity aerobic training on cognitive functions of severely deconditioned subacute and chronic stroke patients: a randomized, controlled pilot study. *International Journal of Rehabilitation Research*, 2019, 42(3), 277-280.
29. Wender CLA, Sandroff BM, Krch D, Wylie G, Cirnigliaro CM, Wecht J, et al. The preliminary effects of moderate aerobic training on cognitive function in people with TBI and significant memory impairment: a proof-of-concept randomized controlled trial. *Neurocase* [Internet]. 2021;27(5):430–5.
30. Chin, L. M., et al. Improved Cognitive Performance Following Aerobic Exercise Training in People With Traumatic Brain Injury. *Archives of physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 96, no. 4, 2015, pp. 754-759.

31. Binu T. Brain perfusion change in patients with mild cognitive impairment after 12 months of aerobic exercise training. *J Alzheimers Dis.* 2020;75(2):617-631. DOI: 10.3233/JAD-190977. Accepted 9 March 2020. Published: 19 May 2020.
32. Juan Pascual Llobell, María Dolores Frías Navarro, José Fernando García Pérez. *Manual de Psicología Experimental: Metodología de investigación.* Valencia: Universitat de València; 1996.
33. GNPT. Disponible en: <https://gnpt.es/>. Acceso: 14 de abril de 2024.
34. Mi Smart Band 4 - Especificaciones. Xiaomi. Disponible en: <https://www.mi.com/es/mi-smart-band-4/specs/>. Acceso: 4 de mayo de 2024.
35. Código Ético Institut Guttmann. Institut Guttmann. Disponible en: https://www.guttmann.com/sites/default/files/2021-10/codi_etiic-_cast.pdf. Acceso: 9 de mayo de 2024.
36. Líneas estratégicas. Institut Guttmann. Disponible en: <https://www.guttmann.com/es/lineas-estrategicas>. Acceso: 9 de mayo de 2024
37. BOE.es - DOUE-L-2016-80807 Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos). (n.d.). Boe.es. Disponible en <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2016-80807>. Acceso 20 de mayo de 2024
38. Review Keiser M3: Opinión y análisis. Bicicleta Estática. Disponible en: <https://cicloindoor.bicicletaestatica.info/review-keiser-m3/#especificaciones>. Acceso: 14 de abril de 2024.
39. M3 Lite Indoor Bike. Keiser. Disponible en: <https://keiser.es/keiser-cardio/m3-lite-indoor-bike/>. Acceso: 15 de mayo de 2024
40. Repeated Measures ANOVA. IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=statistics-repeated-measures-anova>. Acceso: 26 de abril de 2024.

9. Anexos

Anexo 1. Cuestionario mundial sobre actividad física

Actividad física			
<p>A continuación voy a preguntarle por el tiempo que pasa realizando diferentes tipos de actividad física. Le ruego que intente contestar a las preguntas aunque no se considere una persona activa.</p> <p>Piense primero en el tiempo que pasa en el trabajo, que se trate de un empleo remunerado o no, de estudiar, de mantener su casa, de cosechar, de pescar, de cazar o de buscar trabajo [inserte otros ejemplos si es necesario]. En estas preguntas, las "actividades físicas intensas" se refieren a aquéllas que implican un esfuerzo físico importante y que causan una gran aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco. Por otra parte, las "actividades físicas de intensidad moderada" son aquéllas que implican un esfuerzo físico moderado y causan una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco.</p>			
Pregunta	Respuesta	Código	
En el trabajo			
49	<p>¿Exige su trabajo una actividad física intensa que implica una aceleración importante de la respiración o del ritmo cardíaco, como [levantar pesos, cavar o trabajos de construcción] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMAGENES)</p> <p>Sí 1</p> <p>No 2 Sí No, Saltar a P 4</p>	P1	
50	En una semana típica, ¿cuántos días realiza usted actividades físicas intensas en su trabajo?	Número de días <input type="text"/>	P2
51	En uno de esos días en los que realiza actividades físicas intensas, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hs mins	P3 (a-b)
52	<p>¿Exige su trabajo una actividad de intensidad moderada que implica una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco, como caminar deprisa [o transportar pesos ligeros] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMAGENES)</p> <p>Sí 1</p> <p>No 2 Sí No, Saltar a P7</p>	P4	
53	En una semana típica, ¿cuántos días realiza usted actividades de intensidad moderada en su trabajo?	Número de días <input type="text"/>	P5
54	En uno de esos días en los que realiza actividades físicas de intensidad moderada, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hs mins	P6 (a-b)
Para desplazarse			
<p>En las siguientes preguntas, dejaremos de lado las actividades físicas en el trabajo, de las que ya hemos tratado. Ahora me gustaría saber cómo se desplaza de un sitio a otro. Por ejemplo, cómo va al trabajo, de compras, al mercado, al lugar de culto [insertar otros ejemplos si es necesario]</p>			
55	<p>¿Camina usted o usa usted una bicicleta al menos 10 minutos consecutivos en sus desplazamientos?</p> <p>Sí 1</p> <p>No 2 Sí No, Saltar a P 10</p>	P7	
56	En una semana típica, ¿cuántos días camina o va en bicicleta al menos 10 minutos consecutivos en sus desplazamientos?	Número de días <input type="text"/>	P8
57	En un día típico, ¿cuánto tiempo pasa caminando o yendo en bicicleta para desplazarse?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hs mins	P9 (a-b)
En el tiempo libre			
<p>Las preguntas que van a continuación excluyen la actividad física en el trabajo y para desplazarse, que ya hemos mencionado. Ahora me gustaría tratar de deportes, fitness u otras actividades físicas que practica en su tiempo libre [inserte otros ejemplos si llega el caso].</p>			
58	<p>¿En su tiempo libre, practica usted deportes/fitness intensos que implican una aceleración importante de la respiración o del ritmo cardíaco como [correr, jugar al fútbol] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMAGENES)</p> <p>Sí 1</p> <p>No 2 Sí No, Saltar a P 13</p>	P10	
59	En una semana típica, ¿cuántos días practica usted deportes/fitness intensos en su tiempo libre?	Número de días <input type="text"/>	P11
60	En uno de esos días en los que practica deportes/fitness intensos, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?	Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/> hs mins	P12 (a-b)

SECCIÓN PRINCIPAL: Actividad física (en el tiempo libre) sigue.		
Pregunta	Respuesta	Código
61	<p>¿En su tiempo libre practica usted alguna actividad de intensidad moderada que implica una ligera aceleración de la respiración o del ritmo cardíaco, como caminar deprisa, [ir en bicicleta, nadar, jugar al volleyball] durante al menos 10 minutos consecutivos? (INSERTAR EJEMPLOS Y UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMAGENES)</p> <p>Sí 1</p> <p>No 2 Sí No, Saltar a P16</p>	P13
62	<p>En una semana típica, ¿cuántos días practica usted actividades físicas de intensidad moderada en su tiempo libre?</p> <p>Número de días <input type="text"/></p>	P14
63	<p>En uno de esos días en los que practica actividades físicas de intensidad moderada, ¿cuánto tiempo suele dedicar a esas actividades?</p> <p>Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>hs mins</p>	P15 (a-b)
Comportamiento sedentario		
<p>La siguiente pregunta se refiere al tiempo que suele pasar sentado o recostado en el trabajo, en casa, en los desplazamientos o con sus amigos. Se incluye el tiempo pasado [ante una mesa de trabajo, sentado con los amigos, viajando en autobús o en tren, jugando a las cartas o viendo la televisión], pero no se incluye el tiempo pasado durmiendo. (INSERTAR EJEMPLOS) (UTILIZAR LAS CARTILLAS DE IMAGENES)</p>		
64	<p>¿Cuánto tiempo suele pasar sentado o recostado en un día típico?</p> <p>Horas : minutos <input type="text"/> : <input type="text"/></p> <p>hs mins</p>	P16 (a-b)



Anexo 2. Documento de información para el participante



INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE			
Tipo de documento		Área de Responsabilidad	
HOJA INFORMATIVA		INVESTIGACIÓN	
CÓDIGO JCI:	CÓDIGO ACH:	Versión: 1	Pág. 31/41

NIP: _____

Título del proyecto: Actividad física y cognición (memoria)

Investigador Principal: Carlos Yepes y Dr. Alberto García

Investigadores: Carlos Yepes y Dr. Alberto García

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE

1.1. LO QUE USTED DEBE SABER

EN QUÉ CONSISTE:

En esta investigación estamos estudiando a personas que han sufrido un daño cerebral adquirido (ictus o traumatismo craneoencefálico con menos de 6 meses de evolución en el momento del inicio del estudio)

El estudio en el que usted va a participar consiste en comprobar si realizando un trabajo cardiovascular (bicicleta estática) a intensidad moderada, mejoran las puntuaciones en cuanto a memoria del GNPT® (programa informático de rehabilitación cognitiva)

En el estudio utilizaremos un reloj para medir la frecuencia cardiaca durante el trabajo aeróbico y justo después se realizará entrenamiento de GNPT®. Deberá pedalear durante 35' (30 de ellos a intensidad moderada) en una bicicleta estática.

Su participación en este estudio es totalmente voluntaria. Si usted decide participar le solicitaremos que firme un documento de consentimiento informado, expresando su deseo de participar. Es muy importante que usted sepa que puede negarse a participar o retirar su consentimiento en cualquier momento posterior a la firma, sin tener que explicar los motivos y sin que esto repercuta de ninguna manera en la asistencia médica que recibe o pueda recibir en un futuro.

Este estudio ha sido evaluado por el **Comité de Investigación e Innovación** del Instituto Guttman, que ha valorado los beneficios esperados en relación a los riesgos previsibles y la adecuación de la propuesta al Código Ético de la Institución. Así mismo, este documento ha sido evaluado por el **Comité de Ética Asistencial** del Instituto Guttman, que ha aprobado la adecuación de la información que contiene.

PARA QUÉ SIRVE:

El objetivo del estudio es poder comprobar si el ejercicio cardiovascular previo al entrenamiento de la memoria aumenta los resultados obtenidos en la plataforma GNPT®. Si esto se demuestra se planteará en el Comité de Dirección para poder protocolizar y sistematizar este tipo de tratamiento.

QUÉ EFECTOS LE PRODUCIRÁ:

En principio no tendrá ningún tipo de efecto negativo en su persona, más allá que el cansancio físico del entrenamiento en la bicicleta estática.

EN QUÉ LE BENEFICIARÁ:

Si usted tiene una alteración de la memoria y acepta participar en este estudio, podría beneficiarse de una mejoría en este problema, aunque esto no se lo podemos garantizar.

Los resultados de este proyecto podrían, así mismo, beneficiar a otras personas con problemas de memoria.

QUÉ RIESGOS TIENE:

Aunque esta técnica, como ya hemos mencionado, no tiene consecuencias negativas que se conozcan, sí que sabemos de algunos riesgos. Nosotros le aplicaremos el entrenamiento diseñado siguiendo las pautas que hemos desarrollado, que minimizan mucho estos riesgos. De todas formas, se los detallamos a continuación para que los conozca:

- LOS MÁS FRECUENTES:
 - Riesgo 1: Cansancio
 - Riesgo 2: Agujetas
 - Riesgo 3: Dolor

- LOS MÁS GRAVES:
 - Riesgo 1: Taquicardia en el momento de realizar el entrenamiento

- EN CASO DE QUE APAREZCAN, APLICARÍAMOS LAS SIGUIENTES MEDIDAS PARA CADA UNO DE LOS MISMOS:
 - Riesgo 1: Parar el entrenamiento físico en esa sesión y si se repite a menudo, consultar al médico y, si fuera necesario, finalizar el estudio para usted.

INFORMACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS DE CARÁCTER PERSONAL

En virtud de lo que dispone la Ley Orgánica 03/2018 de 5 de Diciembre y el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de Abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD), la FUNDACIÓ INSTITUT GUTTMANN (INSTITUT GUTTMANN) pone en su conocimiento que el hecho de firmar el presente documento implica el conocimiento y aceptación por su parte de que la entidad dispone de un procedimiento de tratamiento de datos denominado *INVESTIGACIÓN*.

La finalidad de su creación es la de gestionar los datos necesarios para la investigación que lleva a cabo el INSTITUT GUTTMANN, garantizando el registro y seguimiento de la prestación asistencial que requerirán los usuarios durante el estudio, y obtener información para cumplimentar la Historia Clínica de los usuarios.

Los destinatarios de la información son todos los departamentos en que se organiza el INSTITUT GUTTMANN, así como los estamentos oficiales públicos o privados que, por obligación legal o necesidad material, tengan que acceder a los datos a los efectos del correcto desarrollo del proyecto de investigación, de acuerdo con las buenas prácticas científicas.

El INSTITUT GUTTMANN es responsable del tratamiento de estos datos y se compromete a cumplir con la normativa de protección de datos en vigor. Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código, de manera que no se incluya información que pueda identificarle, y sólo el investigador y los colaboradores podrán relacionar estos datos con usted y con su historia clínica. Por tanto, su identidad no será revelada a ninguna otra persona excepto a las autoridades sanitarias, cuando así lo requieran, o en casos de urgencia médica. Los Comités de Ética de la Investigación, los representantes de la autoridad sanitaria en materia de inspección y el personal investigador autorizado, únicamente podrán acceder para comprobar sus datos personales, los procedimientos del estudio y el cumplimiento de las normas de buena práctica (siempre manteniendo la confidencialidad de la información).

En cualquier momento usted puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión y portabilidad de los datos personales tratados por el INSTITUT GUTTMANN, así como los de oposición y limitación de su tratamiento. Estos derechos podrán ser ejercidos gratuitamente por el interesado, y en su caso por quien lo represente, mediante solicitud escrita y firmada de uno de los formularios disponibles en el apartado "Política de privacidad" de la web institucional del INSTITUT GUTTMANN, acompañada de copia de su DNI o documento equivalente que acredite su identidad, dirigida a:

Por correo electrónico: protecciodades@guttmann.com

Por correo postal: Camí de Can Ruti, s/n 08916 Badalona (Barcelona)

En el caso de representación, se deberá probar mediante documento escrito y adjuntando copia del DNI o documento equivalente que acredite su representación.

Además de los anteriores derechos, el interesado tendrá derecho a retirar el consentimiento otorgado en cualquier momento mediante el procedimiento antes descrito, sin que esta retirada de consentimiento afecte a la licitud del tratamiento anterior a la retirada de este. El INSTITUT

GUTTMANN podrá continuar tratando los datos personales del interesado en la medida que la ley aplicable lo permita o persista cualquier otra legitimación que lo justifique.

El INSTITUT GUTTMANN recuerda al interesado que tiene derecho a presentar una reclamación ante la autoridad de control pertinente (Agencia Española de Protección de Datos).

El investigador está obligado a conservar los datos recogidos para el estudio como mínimo hasta 25 años después de su finalización. Posteriormente, su información personal sólo se conservará por el centro para el cuidado de su salud y para otros fines de investigación científica si usted hubiera otorgado su consentimiento para ello, y si así lo permite la ley y los requisitos éticos aplicables.

Si hiciésemos transferencia de sus datos codificados fuera de la UE a las entidades de nuestro grupo, a prestadores de servicios o investigadores científicos que colaboran con nosotros, los datos del participante quedarán protegidos con salvaguardas como contratos u otros mecanismos por las autoridades de protección de datos. Si el participante quiere saber más sobre este tema, puede contactar al Delegado de Protección de Datos.

Le recordamos que los datos no se pueden eliminar aunque deje de participar en el estudio, para garantizar la validez de la investigación y cumplir con los deberes legales y los requisitos de autorización de medicamentos. Así mismo, tiene derecho a dirigirse a la Agencia de Protección de Datos si no quedara satisfecho.

Si le surge cualquier duda o pregunta sobre el estudio, estamos siempre a su disposición y puede ponerse en contacto directamente con los Investigadores Principales, el Dr. Alberto García y el Sr. Carlos Yepes, en el teléfono 93.497.77.00 o en el correo electrónico agarcia@guttmann.com y cypes@guttmann.com; o con el Delegado de Protección de Datos del Institut Guttmann, en el correo electrónico protecciodades@guttmann.com.

Anexo 3. Consentimiento informado



CONSENTIMIENTO INFORMADO			
Tipo de documento		Área de responsabilidad	
CONSENTIMIENTO INFORMADO		INVESTIGACIÓN	
CÓDIGO JCI:	CÓDIGO ACH:	Versión: 1	Pág. 35/41

NIP:

Título del proyecto: Actividad física y cognición (memoria)

Investigador Principal: Carlos Yepes y Dr. Alberto García

Investigadores: Carlos Yepes y Dr. Alberto García

Este documento sirve para que usted, o quien lo represente, dé su consentimiento para participar en este estudio. Esto significa que nos autoriza a realizar esta intervención.

Usted puede retirar este consentimiento cuando lo desee. Firmarlo no le obliga a participar en el estudio. De su rechazo no se derivará ninguna consecuencia adversa respecto a la calidad del resto de la atención médica recibida. Antes de firmar, es importante que haya leído atentamente la información contenida en la hoja informativa del estudio, que ha recibido junto a este consentimiento.

Si tiene alguna duda o necesita más información no dude en decírnoslo, le atenderemos con mucho gusto.

Consentimiento informado:

(En el caso de incapacidad o presunta incapacidad y/o minoría de edad del/de la paciente será necesario el consentimiento de su representante o tutor/a)

DATOS DEL PACIENTE Y DE SU REPRESENTANTE O TUTOR/A (en caso de ser necesario)

Apellidos y nombre del/de la paciente:

D.N.I.:

Apellidos y nombre del/de la representante o tutor/a del paciente:

D.N.I.:

PROFESIONAL QUE INTERVIENE EN EL PROCESO DE INFORMACIÓN Y/O CONSENTIMIENTO:

Apellidos y nombre:

Firma:

Fecha:

Consentimiento:

Yo, D. /Dña. _____, manifiesto que estoy conforme con el estudio que se me ha propuesto. He leído y comprendido la información contenida en la hoja informativa que se me ha proporcionado. He podido preguntar y aclarar todas mis dudas. Por eso he tomado conscientemente y libremente la decisión de participar. También sé que puedo retirar mi consentimiento cuando lo estime oportuno.

En Badalona, el _____ de _____ de _____

El/La PACIENTE

Consentimiento/visto bueno del/la

REPRESENTANTE o TUTOR/A

Fdo.:

Fdo.:

Revocación del consentimiento:

Yo, D/Dña. _____, de forma consciente y libre he
decidido retirar mi consentimiento a participar en este estudio.

En Badalona, el _____ de _____ de _____

El/la PACIENTE

Consentimiento/visto bueno del/la

REPRESENTANTE o TUTOR/A

Fdo.:

Fdo.:

Anexo 4. Cuestionario del consentimiento informado**Título del proyecto:****Investigadores:**

CUESTIONARIO SOBRE EL CONSENTIMIENTO INFORMADO

1. ¿Entiende que va a someterse a un estudio de investigación que ayudará a conocer más sobre las posibilidades de tratamiento en cuanto a memoria, en pacientes que han sufrido un ictus o un TCE?
Sí No
2. ¿Entiende que aunque los procedimientos se realizan siguiendo todas las recomendaciones y las normas de seguridad conocidas, no están exentos de riesgos?
Sí No
3. ¿Entiende que participando en este estudio no necesariamente obtendrá una mejoría de sus problemas, pero que la información que se obtenga quizá pueda ayudar a entender mejor su enfermedad y ayudar de este modo a usted y a otras personas?
Sí No
4. ¿Entiende que el estudio en el que participa no modifica la posibilidad de recibir ningún otro tipo de tratamiento que usted necesite?
Sí No
5. ¿Entiende que nos comprometemos a que toda la información relacionada con su persona se archivará y procesará de manera que en ningún momento quede comprometida su intimidad?
Sí No
6. ¿Ha entendido todas las posibles complicaciones que pueden relacionarse con el estudio?
¿Ha entendido en qué manera se le prestará atención y ayuda en el caso de que aparezcan?
Sí No

7. ¿Cree que si no participa en el estudio esto afectará de alguna manera a la atención clínica o al tratamiento que recibe en nuestro Hospital?
Sí No
8. ¿Sabe a quién tiene que contactar en caso de necesitar más información sobre cualquier aspecto relacionado con el estudio, o en caso de que tenga cualquier duda a lo largo de su participación en el mismo?
Sí No
9. ¿Entiende que en cualquier momento y por cualquier razón puede decidir no seguir en el estudio?
Sí No

Número identificación Participante:

Nombre:

Firma:

Fecha: __/____/__

Investigador principal:

Nombre:

Firma:

Fecha: __/____/__

Importante: Este documento contiene información confidencial y debe ser custodiado en el archivo de investigación, junto a la información relativa al participante