



**UNIVERSIDAD ABIERTA
INTERAMERICANA**
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**CÓMO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN
DE RESONANCIA MAGNÉTICA
PODEMOS REALIZAR UNA
EXPLORACIÓN NEURONAL EN
DEPORTISTAS DE ALTO
RENDIMIENTO, ANTE SITUACIONES
TRAUMÁTICAS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO ACADÉMICO DE

**LICENCIADO EN PRODUCCIÓN DE
BIOIMAGENES**

ESTUDIANTE:
**GONZALEZ
CONSTANZA**

CARRERA: LIC. EN PRODUCCIÓN DE
BIOIMAGENES

DICIEMBRE 2024

Cómo mediante la utilización de resonancia magnética podemos realizar una exploración neuronal en deportistas de alto rendimiento, ante situaciones traumáticas

Resumen:

Este proyecto explora cómo la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) puede usarse para realizar una exploración neuronal en deportistas de alto rendimiento, especialmente en situaciones traumáticas. Se aborda el papel de la RMN en el análisis de las propiedades estructurales, moleculares y dinámicas del cuerpo humano, con un enfoque en el impacto del estrés físico y psicológico durante el deporte. La investigación se centra en la utilización de la RMN para identificar y comparar los metabolitos en el cerebro de los atletas antes y después de un esfuerzo deportivo, mediante un protocolo de espectroscopia de RMN que detecta metabolitos clave como N-acetil aspartato (NAA), colina (Cho) y creatina (Cr).

El proyecto también destaca el estrés que sufren los deportistas de alto rendimiento, tanto a nivel físico como psicológico, y cómo estos factores afectan su desempeño. A nivel psicológico, trastornos como la ansiedad pueden influir negativamente en su rendimiento, mientras que, a nivel físico, el estrés y el esfuerzo físico pueden alterar los metabolitos cerebrales. La espectroscopia RMN ayuda a visualizar estos cambios y a entender cómo los metabolitos se comportan en diferentes condiciones, proporcionando una herramienta para el diagnóstico y seguimiento de la salud neuronal de los deportistas.

El objetivo es contribuir a un mejor entendimiento de los efectos del estrés deportivo en la salud del cerebro, y cómo la RMN puede ser utilizada tanto en la prevención como en el diagnóstico de posibles alteraciones metabólicas en los deportistas de alto rendimiento.

Palabras claves:

deportistas de alto rendimiento, resonancia magnética nuclear, deporte, evento metabólico

Introducción:

Desde el ámbito y campo profesional de la bioimagen, tenemos acceso y repercusión en la totalidad del ser humano, desde el principio de su vida, como son los recién nacidos, hasta sus últimos tiempos.

Nuestra profesión es de carácter interdisciplinario, pudiéndose aplicar así en distintas circunstancias y necesidades médicas, abarcando en la generalidad el aspecto psicofísico.

La salud tanto física como psicológica pre y post estrés deportivo ha sido uno de los principales temas de debate y exposición en este último tiempo. Podemos verlo reflejado así en los eventos deportivos más recientes como son la copa del mundo Qatar 2022, Juegos Olímpicos Paris 2024, entre muchas mas

Ver al ser humano desde una perspectiva tanto física como psicológica ante un estímulo deportivo, nos abrió grandes puertas, ampliando conocimientos de la salud de los deportistas. Ya que ellos pueden exponer como se sienten, pero mediante la bioimagen podemos analizar, describir y reafirmar cómo se siente su cuerpo y que reacciones a sufrido

Objetivos

En este proyecto de investigación descriptiva, vamos a observar, analizar y estudiar como las herramientas de diagnóstico por imagen como la resonancia magnética, entre otras tantas herramientas de la profesión de bioimagenes, son de real utilidad, tanto en forma diagnostica como preventiva en los temas de salud post estrés deportivo. Si bien

estas no son las principales herramientas o tratamientos para ciertas afecciones, en el futuro resultaran de cada vez mayor utilidad

Para así poder plasmar la creciente y constante utilidad de la bioimagen, en este caso un estudio de resonancia magnética nuclear, ya sea en un ámbito deportivo como no

Objetivo general

Determinar la utilidad de la resonancia magnética nuclear de cráneo, para la investigación y análisis de los eventos metabólicos que suceden en el cuerpo de un deportista

Objetivos específicos

Determinar un protocolo preciso de resonancia magnética nuclear de cráneo, aplicando la herramienta de espectroscopia, teniendo como objetivo cuantificar, registrar, comparar y evaluar los metabolitos que se ven presentes antes y después del enfrentamiento deportivo

Como mencionamos anteriormente el estrés, practica, desarrollo o realización de una actividad deportiva, afecta o modifica la salud del ser humano, tanto en un aspecto físico como psicológico

Primeramente, vamos a exponer las afecciones psicológicas que se pueden presentar en un deportista, para entender un poco más en profundidad cómo se siente, cómo funciona y actúa el cerebro humano frente a estas situaciones o estímulos. Para así posteriormente

centrarnos en las afecciones a nivel fisicoquímico que presenta un deportista de alto rendimiento, y observar las aplicaciones de la resonancia magnética frente a ellos

Y por otra parte vamos a definir o plasmar que es el deporte de alto rendimiento, de que se trata, cuáles son las principales acciones que se realizan, para así comprender un poco más en profundidad lo que vive y percibe una persona que se desarrolla frente a estos tipos de actividades

El deporte de alto rendimiento se refiere a la práctica deportiva interdisciplinaria llevada a cabo en un nivel élite, o el nivel más alto en cada respectivo deporte, donde los atletas/deportistas dedican una cantidad significativa de tiempo, esfuerzo y recursos para alcanzar su máximo potencial y rendimiento deportivo. Este nivel de competencia está marcado por los estándares más superiores de rendimiento y una dedicación extrema al entrenamiento y la preparación tanto física como mental

Cuando se obtiene o se llega al mayor nivel deportivo o al alto rendimiento, el entrenamiento es altamente especializado y adaptado a las demandas específicas de cada disciplina y cada deportista. Estos trabajan en planificaciones y entrenamientos diseñados para mejorar aspectos clave como la fuerza, la velocidad, la resistencia, la flexibilidad y la técnica.

Los encargados de guiar, preparar y acondicionar lo mejor posible a los deportistas, son los entrenadores, preparadores físicos, equipo de psicología deportiva, y equipo médico especializado en deporte.

Exponiendo y basándonos en la problemática principal de nuestro trabajo, podemos definir qué desarrollo en el deporte de alto rendimiento no solo se trata de la capacidad física, sino también de la capacidad y fortaleza mental.

Los atletas trabajan con psicólogos deportivos para desarrollar y reforzar las habilidades psicológicas esenciales para así lograr que su desempeño sea lo más óptimo posible, sobre el desarrollo de cada actividad o deporte, como son la concentración, la gestión del estrés, la visualización y la resiliencia emocional.

La preparación mental es fundamental para afrontar la presión de las competiciones y mantener un rendimiento consistente en situaciones de alto estrés.

Se comprobando que la presencia de trastornos psicológicos, como es la ansiedad, tensión y estrés puede afectar directamente al rendimiento del deportista, plasmando así efectos negativos tanto a nivel físico como psicológico, exponiéndolo a una situación de vulnerabilidad ante una amenaza

A nivel físico y psicológico, el deportista relaciona indirectamente la sensación que le presenta el trastorno de ansiedad, con una incompatibilidad o desigualdad entre las exigencias que soporta, y la capacidad de cumplirlas, llevándolo así a actuar en su rutina con menos fluidez y con mayor tensión

Aunque también se demostró, que, aunque el deportista se encuentre en un estado de tensión y nerviosismo, este lo ayuda a mantenerse alerta, concentrado y enfocado en su propósito.

Por eso hay que saber identificar los trastornos o elementos psicológicos con impactos negativos como positivos

Algunos de los síntomas más reconocidos superficialmente de la ansiedad son los síntomas somáticos como temblor, inquietud, sudoración, palpitaciones, entre otras

Pero a nivel neurológico no los visualizamos a simple vista, por eso mediante el uso de la tecnología, logramos identificar estos trastornos con la utilización de distintos métodos de diagnóstico bioimagenológico

Primeramente, vamos a definir como está conformado el cerebro humano y en donde se dan orígenes estos trastornos

El encéfalo, medula espinal y las neuronas, conforman el sistema nervioso central, dicha estructura es fundamental para la comunicación entre el organismo y el ambiente que lo rodea, captando y controlando así los estímulos que recibe del entorno

Una parte principal es nuestro lóbulo frontal, esta le permite al ser humano la asociación cognitiva, es decir razonar y predecir, desarrollo de funciones de ejecución, como la anticipación, la capacidad de realizar múltiples tareas y movimientos y la memoria

Todas estas acciones y funciones las ponen en práctica rutinariamente los deportistas a la hora de realizar sus rutinas

Por otra parte, las acciones más motrices, como mantener el equilibrio, coordinación y realizar movimientos precisos, son lideradas por el cerebelo, mientras que la captación de estímulos tanto visuales como auditivos son auditadas por el lóbulo occipital

El estado de alerta, atención, frecuencia cardíaca son de suma importancia a la hora de practicar un deporte, y estos puntos son controlados y liderados por el tronco encefálico, que también controla las funciones involuntarias, como reflejos

Para saber cómo afecta el trastorno de ansiedad en el cerebro es importante conocer las zonas cerebrales que gestionan dicho proceso, aunque no existe una región única y específica encargada de la integración de la ansiedad, existe un gran número de centros nerviosos que participan en su producción y modulación en el cerebro.

Estas son, en su mayoría, zonas que forman parte del sistema límbico. Se encuentran en diferentes zonas cerebrales como la amígdala, ínsula, cuerpo estriado ventral, hipotálamo, regiones ventrales de la corteza cingulada anterior y de la corteza prefrontal. Específicamente, la zona ventromedial y corteza orbitofrontal.

Tenemos dos zonas principales donde se ven reflejadas distintas acciones relacionadas a los trastornos, que son la amígdala y el hipocampo.

Esta primera es una estructura localizada en el lóbulo temporal relacionada con la supervivencia y el miedo. Es decir, si nos encontrásemos ante situaciones externas que nos representa una amenaza, la amígdala se activaría para indicarnos que hemos de alejarnos y así, incrementar las posibilidades de supervivencia

Sumado a esto, también estaría relacionada con las respuestas emocionales y el reconocimiento de las expresiones faciales que están relacionados con el miedo, recordando situaciones anteriores

Así mismo, la amígdala recibe la entrada de otras estructuras como el hipotálamo, tálamo e hipocampo. Este último, importante en la consolidación de la memoria y el

aprendizaje, tiene la función de almacenar los sucesos peligrosos en forma de recuerdos para poder evitarlos en situaciones futuras.

Entonces, cuando una persona experimenta ansiedad, su cuerpo activa una serie de respuestas fisiológicas y psicológicas destinadas a protegerla. Estas respuestas incluyen un aumento en la frecuencia cardíaca y la respiración, la liberación de hormonas como el cortisol (la hormona del estrés), y un aumento en la vigilancia y la atención hacia el entorno

[Flores, E. 2024]

Y por otra parte vamos a exponer lo que sucede en el cuerpo o la salud de un deportista a nivel sistemático, con un enfoque químico de lo que sucede en el organismo

El cuerpo de un deportista y su alimentación debe responder y complementar las necesidades nutricionales propias de su edad, sexo, disciplina que practica y estado de salud para cubrir o satisfacer los requerimientos de energía, nutrientes, macronutrientes, vitaminas e hidratación correspondiente, para así poder llevar a cabo con la mayor capacidad su rendimiento deportivo pre y post actividad

El gasto energético (GE) es calculado por la relación entre el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (CO_2) en el aire espirado. Esta relación se denomina coeficiente respiratorio (CR) y se considera un reflejo de lo que sucede en las células en condiciones normales. En función del CR se conoce el equivalente energético para el oxígeno, o cantidad de energía liberada en la combustión de un sustrato al consumirse un litro de oxígeno y que equivale a 4.825 kcal, valor obtenido como media ponderada de 5.05 kcal/L, 4.7 kcal/L y 4.5 kcal/L que se obtienen al oxidar los hidratos de carbono, grasa y proteína respectivamente

Los micronutrientes, vitaminas (Vit) y minerales (Min), juegan un papel importante en muchas rutas metabólicas (producción de energía, síntesis de hemoglobina, mantenimiento de la salud ósea, función inmunológica, protección contra el daño oxidativo, síntesis y reparación del tejido muscular durante la recuperación post ejercicio y lesiones, etc)

Una buena hidratación es condición fundamental para optimizar el rendimiento deportivo. La importancia de los líquidos, el agua y las bebidas para deportistas (bebidas isotónicas y bebidas de recuperación), radica en el restablecimiento de la homeostasis del organismo por la pérdida de agua y electrolitos (iones) provocada por la actividad física por mecanismos como la sudoración. La sudoración es un medio de enfriamiento corporal

Igual de importante que el agua es su composición, siendo los electrolitos fundamentales para la regulación osmótica. Son moléculas que se disocian en fase acuosa formando aniones y cationes, con diferentes funciones, como

- 1) Mantenimiento de la osmolaridad (sodio, cloro, etc)
- 2) Excitabilidad celular (potasio, sodio, cloro, etc)
- 3) Función endócrina (yodo)
- 4) Acción antioxidante (cobre, selenio, manganeso, etc)
- 5) Función inmunológica (zinc, etc)
- 6) Función enzimática (calcio, magnesio, zinc, cromo, Molibdeno, etc)
- 7) Transporte de O₂ y cadena citocromos (hierro)
- 8) Coagulación sanguínea, transmisión potencial de acción, secretora, etc. (calcio)
- 9) Metabolismo óseo y dental (calcio, fósforo, magnesio, flúor)
- 10) Una cuestión tan importante en el deporte como, equilibrio ácido-base (CO₂, H₂O, fósforo, sodio, cloro, NH₄⁺, etc)

[Martínez Sanz, J. M; Urdampilleta O., Aritz; M, J. 2013]

Tabla 1.

Componentes y factores del gasto energético en el deporte

		Factores
Gasto total de energía diaria	Composición corporal	- Masa corporal - Cantidad de masa muscular - Cantidad ósea - Otros tejidos: corazón, cerebro e hígado
	Crecimiento	Desarrollo muscular
	Tasa Metabólica Basal (TMB) (60-70%)	- Genética y hormonas - Edad - Sexo - Peso - Talla
	Ejercicio y Actividad Física Voluntaria (AFV)	- Tipo de ejercicio - Intensidad de ejercicio - Duración del ejercicio
	Actividad Física Espontánea (AFE)	- Genética - Activación hormonal (hormonas simpático-adrenales)
	Efecto Térmico de los Alimentos (ETA) (10-15%)	- Cantidad de alimento y macronutrientes (las proteínas tienen hasta un 30% de ETA).

Nota. [Martínez Sanz, J. M; Urdampilleta O., Aritz; M, J. 2013]

Debemos considerar que estos componentes varían de un individuo a otro, por lo que las necesidades energéticas son diferentes en cada actividad deportiva y entre los individuos de una misma actividad dependiendo del rol de juego

También hay que tener en cuenta el periodo de la temporada y el tipo de entrenamiento que se están realizando. Así esta revisión pretender aportar información para que sea de utilidad para que las unidades de fisiología, nutrición o medicina deportiva, puedan realizar dietas específicas o asesoramiento nutricional a diferentes deportistas

La espectroscopia de RMN fue desarrollada a fines de los años cuarenta para estudiar los núcleos atómicos. En 1951, los químicos descubrieron que la espectroscopia de resonancia magnética nuclear podía ser utilizada para determinar las estructuras de los compuestos orgánicos. Esta técnica espectroscópica puede utilizarse sólo para estudiar núcleos atómicos con un número impar de protones o neutrones (o de ambos). Esta situación se da en los átomos de ^1H , ^{13}C , ^{19}F y ^{31}P . Este tipo de núcleos son magnéticamente activos, es decir poseen espín, igual que los electrones, ya que los núcleos poseen carga positiva y poseen un movimiento de rotación sobre un eje que hace que se comporten como si fueran pequeños imanes

La espectroscopia por resonancia magnética nuclear (RMN) es una técnica analítica utilizada para determinar la estructura molecular y la composición química de una muestra. Actúa analizando la interacción de los núcleos que giran en un fuerte campo magnético. En la espectroscopia mediante RMN, un campo magnético externo estacionario hace que ciertos núcleos de una molécula absorban radiofrecuencias selectivas. La energía absorbida induce una transición en los espines nucleares, que se observa en un espectro de RMN. Estos Núcleos de molécula o metabolitos son:

N-Acetil Aspartato (NAA) marcador neuronal

Co (colina) marcador de membrana celular

Cr (creatina) marcador metabólico

ml (mioinositol)

APLICACIONES DE LA ESPECTROSCOPIA MEDIANTE RMN

La espectroscopia mediante RMN es una técnica no destructiva y no invasiva que se utiliza para determinar la estructura y la dinámica moleculares. Vamos a poder comparar el espectro de metabolitos de diferentes tejidos dentro de una lesión o comparar espectro RMN entre tejido sano y patológico. Las aplicaciones de la RMN son diversas y abarcan las siguientes áreas de investigación e industrias:

En biología, la RMN se aplica al estudio de las macromoléculas, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. ^{13}C , ^1H , ^{15}N , ^{31}P , ^{23}Na , y ^{19}F son los núcleos activos biológicamente más relevantes en RMN utilizados para entender las vías bioquímicas que intervienen en el metabolismo de los aminoácidos, los lípidos y los carbohidratos.

En química, se utiliza mucho para el análisis cualitativo y cuantitativo con el objeto de controlar las reacciones, identificar las estructuras y evaluar la pureza.

En la ciencia de polímeros, para analizar la proporción de monómeros, el peso molecular, la táctica, la secuenciación, la longitud y la ramificación de las cadenas y para determinar los grupos terminales.

En la industria farmacéutica, para determinar la pureza y la cantidad de principios activos, excipientes e impurezas en los productos farmacéuticos.

En la industria del petróleo, para evaluar los hidrocarburos del petróleo crudo y sus productos.

En medicina, el diagnóstico por imagen mediante resonancia magnética (IRM) es una aplicación de la RMN utilizada para el análisis de tejidos blandos con el fin de identificar tejidos dañados o enfermos.

Como cada metabolito tiene una frecuencia de precesión diferente, podemos aprovechar este efecto para obtener un espectro de metabolitos

Lo que la RMN hace es enviar una onda de radio con múltiples frecuencias y el tejido devuelve esa señal con las frecuencias de precesión de los diferentes metabolitos.

En el que podemos observar un espectro de metabolitos, con picos más grandes o más pequeños. Cuanto mayor es el pico de representación de un metabolito, mayor cantidad del mismo se encuentra en el tejido.

Por lo tanto, para en este proyecto de intervención planteamos un protocolo de espectroscopia por resonancia magnética nuclear de la región anatómica del cráneo, que

conste en realizarle el estudio al deportista/atleta antes y después de realizar la actividad de alto esfuerzo o rendimiento

Para así poder visualizar, analizar y comparar desde un protocolo ya establecido de espectroscopia cerebral, los resultados de los distintos eventos metabólicos

Los principales metabolitos de interés clínico detectados en ERM son:

Residuos N- acetilados como el N-acetil aspartato (NAA) que disminuye en caso de daño o pérdida neuronal.

Colina (Cho), cuyo incremento refleja proliferación celular; la creatina (Cr), utilizada como referencia para cocientes metabólicos (ej: NAA/Cr), se relaciona con reserva de fosfatos de alta energía y aumenta en estados de hipometabolismo y viceversa.

Lactato (Lac), que aumenta en estados hipóxicos o anóxicos; mioinositol (mI), relacionado con la transducción de señales y precursor del ácido glucurónico, su elevación se asocia a gliosis y astrocitosis reactiva.

Complejo Glutamato-glutamina-GABA-Aspartato (Glx), metabolitos que resuenan juntos, se comportan como neurotransmisores y pueden verse alterados en patologías metabólicas. El glutamato es el aminoácido más abundante en el encéfalo del ser humano.

Alanina (Ala), asociada de manera característica con los meningiomas.

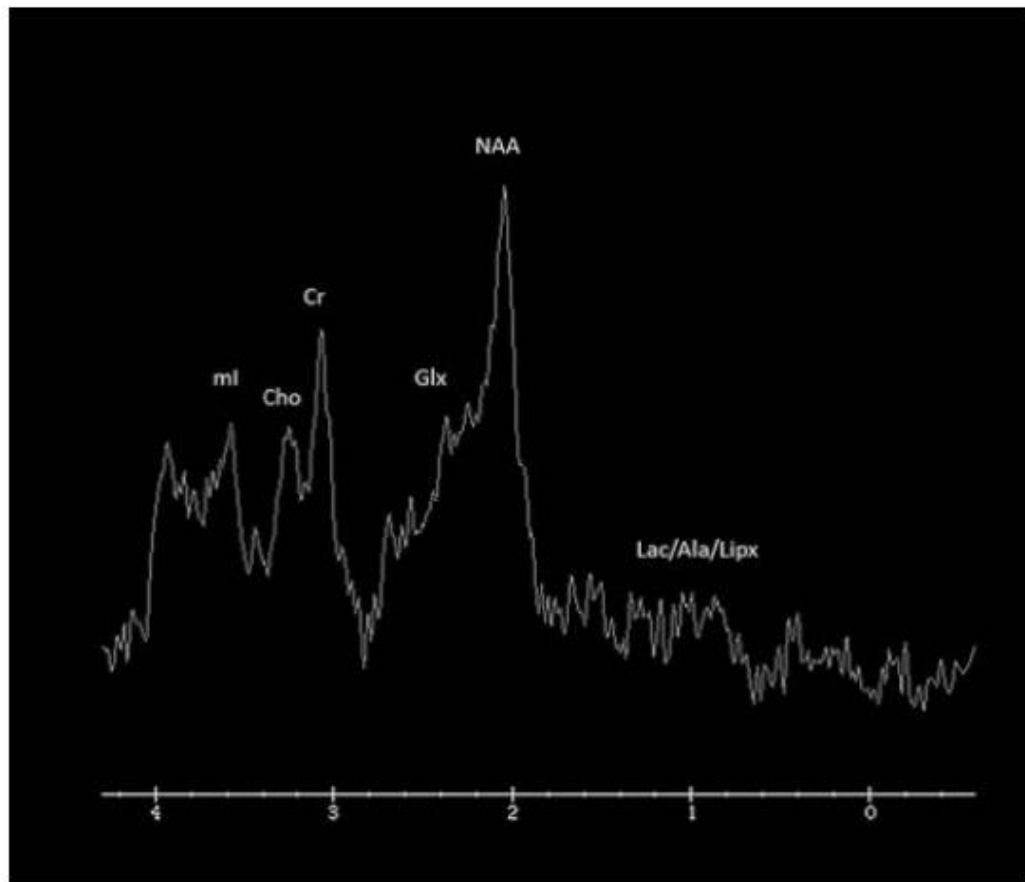
Lípidos (Lipx), cuya presencia es anormal y otros, como acetato, succinato, etc. que se relacionan con enfermedades infecciosas.

Taurina, scilloinositol, glucosa

[Rodriguez Hernandez, M.C, Dominguez, M.G, Mendez Juanes, J.A, et al, 2018, pag 3]

Figura 1

Registro espectroscópico normal, observando concentraciones habituales de los metabolitos de interés médico y su posición en la grafica



ANÁLISIS METABÓLICO

La concentración regional de los metabolitos varía a lo largo del parénquima, detectando diferencias entre cerebelo, cerebro, tronco del encéfalo y estructuras grises profundas y entre la sustancia gris y la sustancia blanca.

Existen diferencias entre distintos individuos, por lo que en muchas ocasiones lo ideal es comparar el espectro del voxel de interés con otro de similar localización en parénquima normal. También conviene destacar que la concentración de metabolitos cambia a lo largo del proceso de envejecimiento normal del cerebro, siendo más abundante la cantidad de mioinositol en los primeros años de vida, la colina en la edad adulta y el NAA en la tercera edad

Algunos de los metabolitos que podemos ver presentes son:

Mioinositol (mI)

En la gráfica de dominio de frecuencias produce su señal predominante a 3.56 ppm, por lo que se identifica en secuencias con TE corto (35ms). Se identifican también altos niveles de mI en los recién nacidos. Se localiza fundamentalmente en la glía.

Se trata de azúcar por lo que funciona como metabolito de reserva y crecimiento celular (almacenamiento de glucosa), además de poseer características de osmorregulador, detoxificante y mensajero

Disminuye en patología tumoral (tumores de alto grado) y en la encefalopatía hepática y aumenta en la enfermedad de Alzheimer, en el complejo demencia-SIDA (CDS) y en otras enfermedades neurodegenerativas y/o daño cerebral, así como en situaciones de hiperosmolaridad.

Glicina (Gly)

Origina una señal en 3,55 ppm que se superpone a la señal del mioinositol, por lo que conviene valorar en secuencias con TE largo para diferenciarlo del anterior. Es un metabolito inhibidor y antioxidante, que presenta niveles elevados en tumores (glioblastoma multiforme) e hiperglicinemia.

Colina (Cho)

Emite su frecuencia de resonancia a 3.02 ppm (FIG 9). Está implicada en la síntesis y destrucción de membranas celulares, por lo que se ve incrementada en estados de hipercelularidad (neoplasias primarias y secundarias) y en patologías que cursan con alteraciones en recambio de membrana (esclerosis múltiple, leucodistrofias). También aumenta en el cerebro en desarrollo. Se encuentra disminuida en los eventos vasculares, la demencia y la enfermedad hepática

Creatina (Cr)

Supone el pico más importante en la espectroscopia, localizando su señal predominante a 3.03 ppm. Al tratarse de un metabolito muy estable, se utiliza como referencia para

establecer ratios o relaciones con el resto de los compuestos, fundamentalmente con la colina y con los residuos N- acetilados. Actúa como marcador de sistemas “energía-dependientes”, ya que la fosfocreatina supone una reserva de adenosin-trifosfato (ATP), presente en cerebro, músculo, sangre, riñón e hígado. Se encuentra a una concentración un 20% mayor en la sustancia gris que en la sustancia blanca, y se observan incrementos de sus niveles en ancianos, traumatismos craneoencefálicos (TCE) y estados hiperosmolares. Debido a su estabilidad su concentración disminuye únicamente si existe gran destrucción tisular, como en las neoplasias con presencia de necrosis extensa, isquemia en accidentes cerebrovasculares (ACV) y en otros estados de hipoxia.

Glutamato –glutamina-GABA-Aspartato (Glx)

El glutamato es el principal neurotransmisor excitador del SNC, por lo que juega un papel fundamental en las vías de conexión de los núcleos basales en el caso concreto de este trabajo. La glutamina es un precursor del glutamato. Ambos, glutamina glutamato, se consideran un complejo (Glx, complejo Glutamato, glutamina, GABA, aspartato) desde el punto de vista de señal en la espectroscopia, originando una serie de señales en las regiones 2,2-2,4 ppm y 3,6-3,8 ppm que se valoran mejor en TE corto, siendo dificultosa su individualización en equipos de RM con campo magnético de 1,5 T. Diversos estudios sugieren que se considere a la glutamina- glutamato como marcador glial. Se localiza en los astrocitos. Un exceso de concentración de estos metabolitos supondría toxicidad y muerte neuronal dado su carácter excitador. Aumentan en estados de isquemia cerebral, en la encefalopatía hepática y en el Síndrome de Rett. La presencia de incremento del complejo Glx también es un hallazgo en los meningiomas.

Residuos N-acetilados: N-acetil aspartato (NAA)

Es un aminoácido libre sintetizado en las mitocondrias neuronales (a través de la enzima N-acetil-L-aspartato-transferasa). Corresponde al pico más prominente en la espectroscopia (2.02 ppm). Supone la mayor concentración de cualquier molécula hidrosoluble. Posee un metabolismo muy activo, con un recambio del 100% en aproximadamente 16 horas, lo que hace que se trate de un compuesto indispensable en el SNC, comportándose como un marcador de densidad y viabilidad neuronal. Actúa como reserva de aspartato, precursor de otros elementos, mensajero y osmorregulador. Su disminución implica daño neuronal, con una reducción de sus niveles en la mayoría

de los casos inespecífica (isquemia, esclerosis múltiple, neoplasias, absceso, encefalitis...) siendo reversible en casos de hipoxia y en el SIDA y permanente en enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer, Pick, neurogliosis, etc).

Alanina (Ala)

Aminoácido con señal predominante a 1.47 ppm en la curva espectral. Se aprecia en secuencias con TE largo dada su localización en la gráfica. Su pico se solapa con el del lactato y con el de los lípidos. Se aprecia aumento de su concentración en algunos meningiomas.

Lactato (Lact)

Su señal predominante se localiza a 1.32 ppm produciendo un doble pico en la gráfica de espectroscopia. Dada su localización cercana al extremo izquierdo de la misma, se identifica en secuencias con TE largo (>136 ms) donde se invierte por debajo de la base de la gráfica. También posee una alta señal a 4.1 ppm, pero no se evalúa dado que generalmente queda suprimida por su cercanía al agua. En condiciones normales sus niveles son indetectables puesto que se encuentra a una baja concentración en el cerebro adulto normal. Su presencia indica que la respiración oxidativa normal está alterada y que los carbohidratos están siendo catabolizados por vía anaerobia. Esta situación se da en lesiones altamente celulares y metabólicas que han crecido por encima de lo que su aporte vascular les permite. Las situaciones de hipoxia condicionan incremento de lactato por activación de la vía anaerobia de degradación de la glucosa. También se encuentran en lesiones quísticas o necróticas. Por tanto, puede ser detectado en áreas de infarto, hipoxia, déficits nutricionales, patología neoplásica (su concentración se eleva en tumores de alto grado), enfermedad desmielinizante, hidrocefalia y errores congénitos del metabolismo/ enfermedades mitocondriales.

Es característica su identificación en abscesos. Coincide con un incremento del flujo sanguíneo cerebral (FSC) en presencia de patología

Lípidos (Lipx)

Originan dos resonancias principales en 0.9 ppm y 1.3 ppm, relativamente anchas, que se deben a los grupos metil y metileno de la cadena de ácidos grasos. Por tanto, se visualiza con TE largo. Pueden originar otras señales menores. Se ha de prestar atención

en su evaluación puesto que se superponen al pico del Lactato. También es importante tener en cuenta posible “contaminación” de su señal en presencia de tejido graso celular subcutáneo o de fenómenos de reemplazamiento graso en médula ósea adyacentes (de ahí la importancia de una adecuada técnica de supresión grasa) dado su componente lipídico. Se encuentran aumentados en astrocitomas y meningiomas. Su identificación espectroscópica se ha relacionado con la presencia de necrosis y se proponen como criterio de malignidad.

La espectroscopia se hace en este caso fundamental, aportando información a la imagen morfológica (lesiones con realce, efecto masa y edema perilesional en ambos casos) detectando presencia de picos elevados de lípidos y lactato asociados a ausencia de señal de metabolitos normales (picos de NAA, Cr y sobre todo Cho)

Taurina, scilloinositol, glucosa.

Estos metabolitos resuenan en el área comprendida entre 3,3 y 3,45 ppm, y su diferenciación resulta dificultosa. La taurina es un aminoácido implicado en la neurotransmisión, el crecimiento y la regulación de la osmolaridad. Se ha detectado incremento de su concentración en el meduloblastoma. El scilloinositol es un isómero del inositol. Su señal de resonancia presenta menor intensidad que el isómero más común (mioinositol). La glucosa es una de las principales fuentes de energía del organismo como ya se sabe; hasta el momento, se le ha encontrado escasa utilidad a su estudio espectroscópico

[Rodriguez Hernandez, M.C, Dominguez, M.G, Mendez Juanes, J.A, et al, 2018, pag 5 a 8]

Luego de conocer los diferentes metabolitos que podemos encontrar en una ERM, es importante que conozcamos los aspectos básicos sobre el protocolo de Resonancia cerebral de rutina.

PROTOCOLO DE RESONANCIA MAGNÉTICA CEREBRAL RUTINA

Es el protocolo más básico y se emplean normalmente en para patologías indefinidas o difusas como por ejemplo Cefaleas, Migrañas, Pérdida de memoria, Pérdida atención, mareos inespecíficos, etc.

Indicaciones:

Posición del paciente: Decúbito Supino, cabeza primero

Bobina: Bobina de cráneo

Centrar: En la señal que trae la bobina, centraremos en la mitad de la bobina como norma general.

Protección: acústica con audífonos especializados o tapones para los oídos

Contraste: si el medico lo indica, gadolinio

Secuencias:

LOC 3 PLANOS

SAG T1 FLAIR

DIFUSIÓN

AXIAL FSE T2

AXIAL FLAIR T2

CORONAL FSE T2

El protocolo puede variar según marca del equipo, año, entre otros factores

Programación del estudio:

Figura 2.

El plano o corte Axial. Programaremos con respecto a los rodetes y rodillas del cuerpo calloso

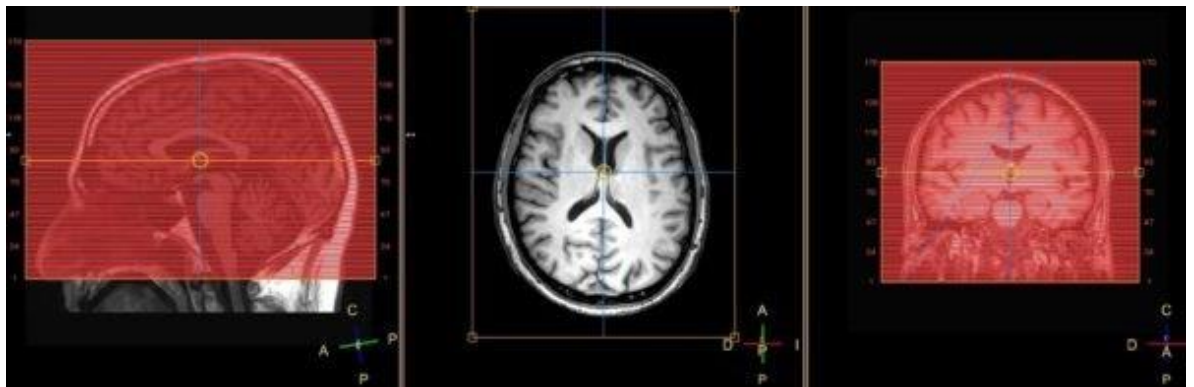


Figura 3.

Plano o corte Coronal. Programaremos tomando la dirección del tronco cefálico



Figura 4.

Plano o corte Sagital. Programaremos tomando como referencia la línea media de ambos hemisferios cerebrales



Parámetros:

Espesor de corte = 5 mm

Gap = 0,5 mm intervalo entre eco y eco

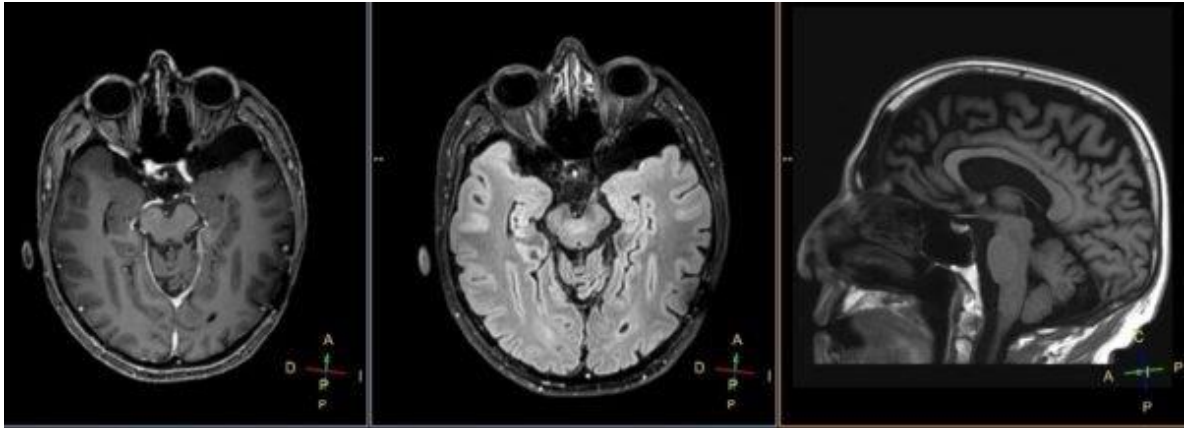
Con dirección de fase: **sagital AP** para evitar el artefacto de flujo del seno venoso, **coronal DI** y **Axial DI**

En la secuencia **difusión (DWI)** axial la dirección de fase debe ser **AP antero posterior** para evitar una posible el euro estimulación.

Adicionalmente y según los casos debe la realizarse y secuencias T1 adicionales para la realización de resonancia magnética cerebral con contraste (gadolinio)

Estas secuencias T1 se realizan en los tres planos, también podemos usar secuencias 3D y realizaremos reconstrucciones en los tres planos.

Figura 5.



Protocolo Espectroscopia por Resonancia Magnética Nuclear de Cráneo

Podemos elegir entre tres tipos de secuencias para realizar el estudio de Espectroscopia.

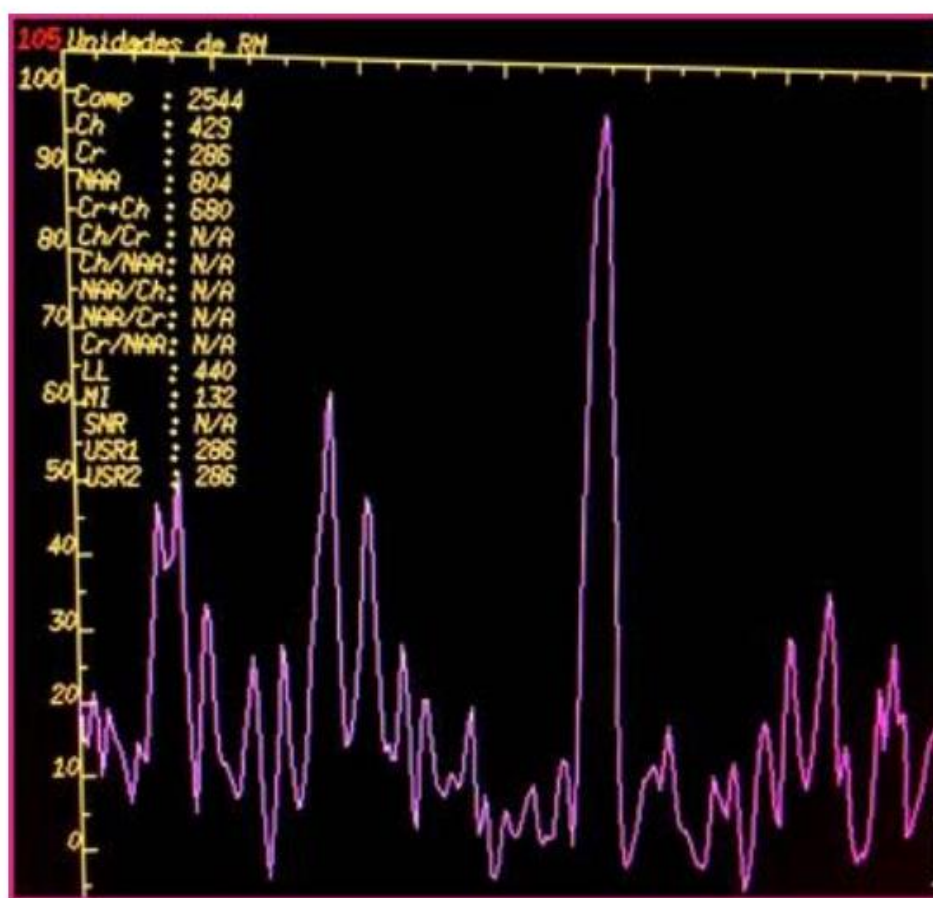
SV = Single Voxel

2D MV = Multivoxel

3D MV = Multivoxel, multicorte

Figura 6.

A partir de la obtención de un mapa de espectroscopia a través de secuencia multivoxel es posible la valoración de cada curva de modo independiente



Las secuencias vienen denominadas por el tipo de adquisición SV o MV y por el tiempo de eco

Figura 7.

Al seleccionar una secuencia nos parece un pequeño Voxel denominado VOI (Voxel Of Interest)



Con TE corto, es decir por debajo de 75 ms escuchamos a más metabolitos

Con TE largo, habitualmente 144 ms o 288 ms, escuchamos menos metabolitos, pero en la gráfica los vemos más diferenciado

Para la programación de la secuencia deberemos tener en cuenta:

El tamaño mínimo de voxel (VOI) es 15 x 15 x 15, un tamaño inferior significa una pérdida de señal y por tanto no saldría bien el espectro (en single voxel).

Al colocar el VOI no tomar ni aire, grasa hueso o LCR, únicamente tejido. Esto puede resultar muy difícil dependiendo la posición del tejido patológico.

Al seleccionar la secuencia aparece una imagen con múltiples REST SLABS o bandas de saturación rodeando la adquisición que tiene forma de círculo.

Solo vamos a obtener información de los voxeles incluidos dentro del círculo de programación. (FOV)

Figura 8.

Se debe ajustar el círculo donde esté la lesión y el tejido sano, además no podemos angular nada en los planos Coronal y Sagital

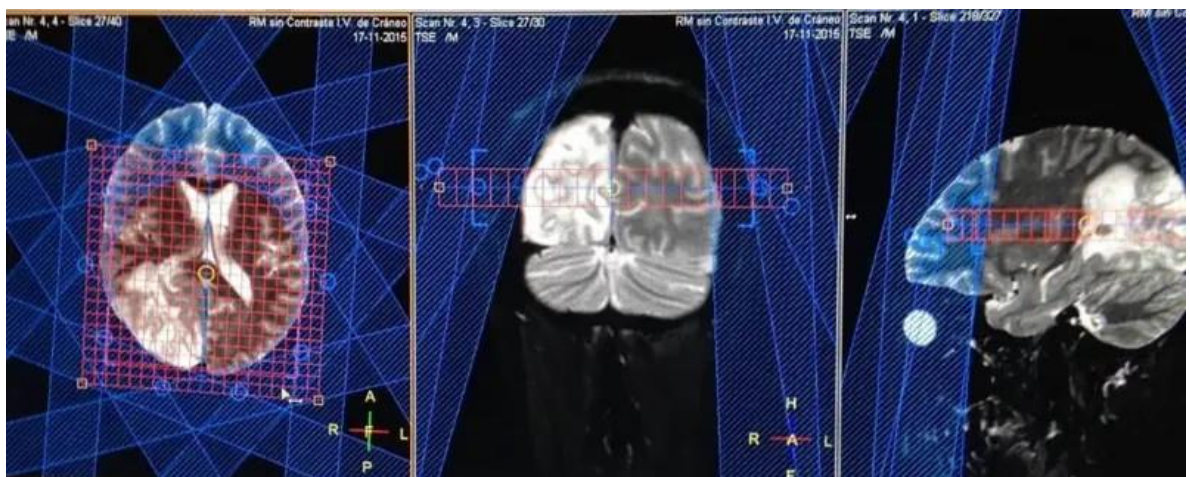


Figura 9.

Las secuencias MV se pueden representar en colores para ayudar en su diagnóstico

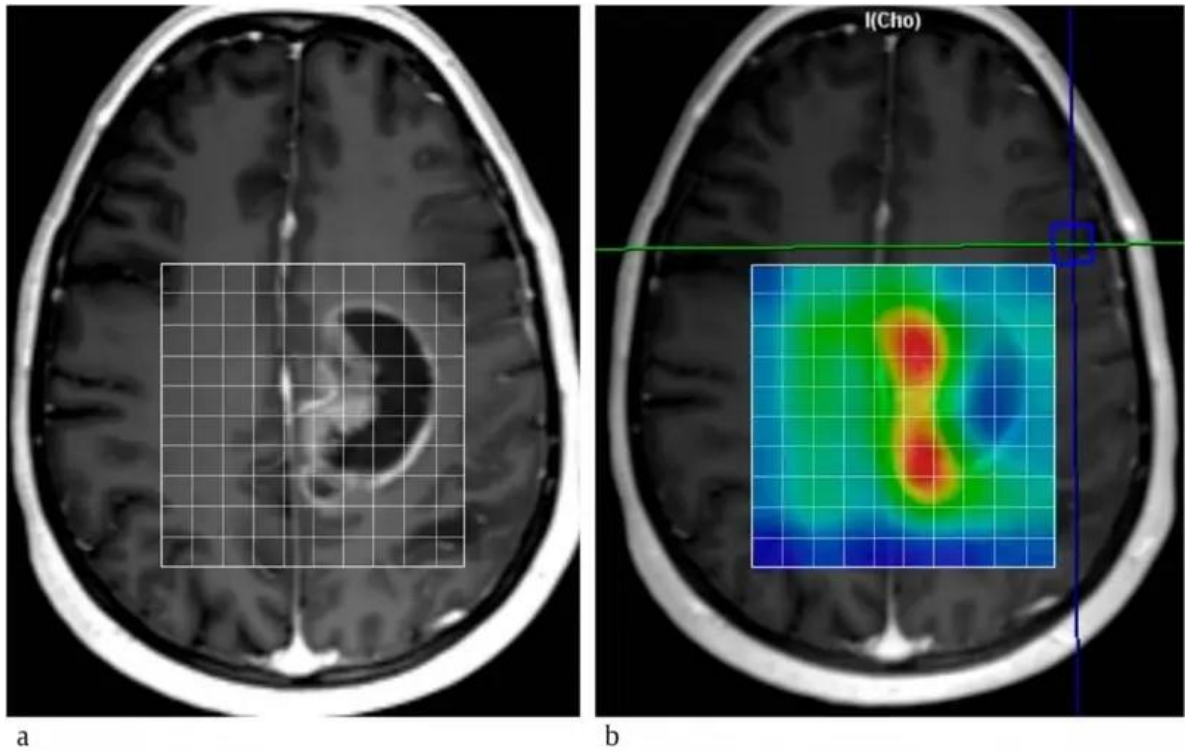


Figura 10.11

Para interpretar una Espectroscopia por Resonancia Magnética Nuclear hay muchos softwares, pero los parámetros principales en todos son

Seleccionar la región anatómica

Seleccionamos si nuestra secuencia es de Tiempo de Eco (TE) Largo o Corto

Indicamos que intensidad de Campo Magnético posee nuestro equipo

Seleccionaremos los metabolitos que deseamos que sean representados (picos)

Por último, seleccionaremos los ratios entre los metabolitos que queramos valorar

Figura 10.

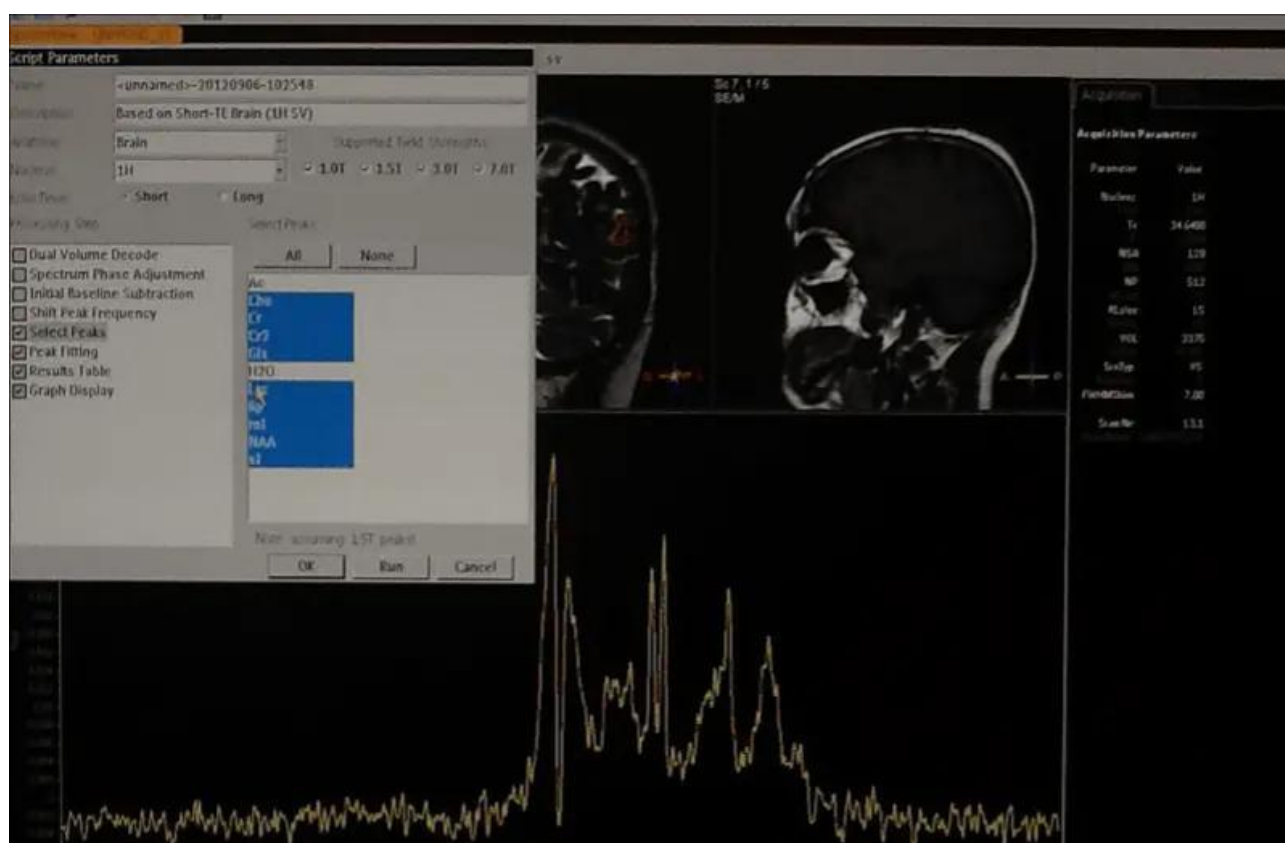


Figura 11.

Metabolite Ratios

	Normal	Abnormal
NAA/Cr	2.0	<1.6
NAA/Cho	1.6	<1.2
Cho/Cr	1.2	>1.5

Material y Método

Participantes (muestra)

Para este trabajo estudiamos el caso de dos deportistas de alto rendimiento, practicantes de disciplinas como son el futbol y gimnasia artística, oriundos de la ciudad de Rosario, Argentina

Ubicados en el rango etario de entre 20 y 40 años de edad

De ambos sexos, femenino y masculino

Diseño y Procedimiento:

Este conjunto de preguntas y cuestionarios, nos llevan a desarrollar un estudio de carácter descriptivo y con un enfoque cuantitativo. Como podremos observar en el análisis de datos y resultados obtenidos

Podemos decir que son resultados de experiencias ya vividas y desarrolladas en su totalidad de los deportistas, ya que ambos se encuentran retirados del alto rendimiento en la actualidad

En el caso de este estudio, ambos participantes debieron firmar y autorizar previamente el uso, redacción, análisis y comparación de sus respuestas. Dando así su consentimiento para utilizar toda información plasmada en este trabajo, pudiendo elegir entre mantener su identidad en el anonimato o poder plasmar sus datos de una manera completa

(consentimiento informado adjuntado en el anexo 1)

Instrumento:

Para la obtención y recopilación de información, fueron contactados previamente para el desarrollo y devolución del cuestionario de elaboración propia de preguntas orientadas a la implementación de las técnicas de bioimágenes (resonancia magnética) en donde se desarrollan distintos ítems en los que se ven identificados a la hora de realizar su actividad y los controles médicos implementados por su equipo médico antes y después de desarrollar su actividad

Este tipo de investigación y estudio, es de carácter descriptivo y cuantitativo, ya que nos permite identificar las acciones y o estudios a los que fue sometido el deportista, tener un registro de la frecuencia de los mismos, mediante una forma numérica, para así analizar y comparar los resultados

Preguntas desarrolladas para esta investigación orientadas a la bioimagen:

(preguntas adjuntadas en el anexo 1)

Resultados

(respuestas y resultados adjuntados en el anexo 2)

En este campo de la salud, como es la bioimagen, que está en constante crecimiento, desarrollo y avances, ya hay presentes estudios de investigación que plasman los cambios a nivel cerebral y metabólico que se presentan en una persona ante distintos estímulos externos

Por ende, se ha probado y confirmado que podemos utilizar métodos de bioimágenes para la comparación y diagnóstico para dichos procesos

Las herramientas de tecnología de imágenes cerebrales para fines de diagnóstico que conocemos y utilizamos actualmente son:

Electroencefalografía (EEG), Potenciales evocados (PE) y potenciales relacionados con eventos (PRE), Magnetoencefalografía (MEG), Imágenes por resonancia magnética (IRM), Espectroscopia por resonancia magnética (ERM), Imágenes ponderadas por difusión (DWI), Imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI), Tomografía por emisión de positrones (PET), Tomografía computarizada por emisión monofotónica (SPECT), Tomografía computarizada (TC), Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)

Según expresa el artículo “Escáneres cerebrales para el diagnóstico de enfermedades mentales: ¿cuándo y cómo se utilizan?” (Choosing Therapy, 2021) Las imágenes cerebrales que obtenemos de estos tratamientos nos pueden ayudar a identificar:

Anormalidades estructurales: la forma más común en que las exploraciones cerebrales identifican la causa de los síntomas de salud mental es identificando las áreas del cerebro afectadas por una enfermedad neurológica, una lesión o una afección congénita, o descartando afecciones neurológicas. La resonancia magnética y la tomografía computarizada se utilizan con mayor frecuencia para evaluar la estructura general del cerebro.

Cambios en la materia gris: La materia gris se refiere al tejido cerebral que se ve plegado y contiene cuerpos celulares, dendritas y terminales axónicas. Los métodos de exploración cerebral como la resonancia magnética y la tomografía computarizada pueden ayudar a medir el volumen, el grosor y la forma de la materia gris, y se han documentado anomalías en algunos de los trastornos de salud mental más comunes, como la depresión, el TDAH y la ansiedad.

Integridad de la sustancia blanca: La sustancia blanca se refiere a los axones a lo largo de los cuales viajan las señales neuronales entre las regiones cerebrales. La DTI puede evaluar estos tractos en cuanto a la densidad de empaquetamiento, la mielinización y el diámetro de los axones, y se han informado anomalías en varios trastornos de salud mental, en particular la esquizofrenia y el trastorno por consumo de sustancias

Ventrículos agrandados: los ventrículos del cerebro son cavidades que producen, almacenan y secretan líquido cefalorraquídeo (LCR), que ayuda a amortiguar el cerebro, eliminar desechos, distribuir nutrientes y mantener la temperatura y la presión intracraneal. Las imágenes por TC y RMN pueden ayudar a diagnosticar anomalías ventriculares (p. ej., hidrocefalia, meningitis) que pueden dar lugar a síntomas de salud mental y han revelado agrandamiento ventricular en la esquizofrenia.

Desequilibrios químicos: las exploraciones cerebrales con PET, MRS o SPECT permiten a los médicos e investigadores evaluar los niveles de neurotransmisores (p. ej., dopamina, glutamina, serotonina, norepinefrina), el metabolismo (p. ej., glucosa, oxígeno, aminoácidos), el flujo y el volumen sanguíneos e incluso la síntesis de ADN en el cerebro. Clínicamente, estos métodos son útiles para el diagnóstico de afecciones neurológicas (p. ej., tumores, demencia, epilepsia, enfermedad de Parkinson, accidente cerebrovascular), pero la investigación exhaustiva con estas herramientas está informando cada vez más el diagnóstico y el tratamiento de trastornos de salud mental como el abuso de sustancias, el estado de ánimo y los trastornos de ansiedad.

Distinciones diagnósticas sutiles: con cierto grado de subjetividad en el diagnóstico de los trastornos de salud mental, las imágenes neurológicas pronto podrán ayudar a los médicos a distinguir entre trastornos con síntomas superpuestos, como el trastorno bipolar y la esquizofrenia, así como diferentes subtipos de un trastorno (p. ej., depresión) o trastornos con líneas diagnósticas ambiguas (p. ej., TDAH). Esta distinción podría ser especialmente importante para orientar el tratamiento, en particular en lo que respecta a la medicación o qué terapia complementaria sería eficaz.

Tratamientos eficaces: las técnicas de neuroimagen pueden ayudar a identificar las regiones cerebrales afectadas por enfermedades mentales, orientando así el desarrollo y la aplicación de intervenciones específicas, como fármacos o estimulación magnética transcraneal (EMT), para combatir mejor los casos resistentes al tratamiento. Las exploraciones cerebrales también pueden tener el potencial futuro de predecir la respuesta de una persona a ciertos tratamientos, orientando así la planificación del

tratamiento de manera más eficiente que el actual método de ensayo por error para el tratamiento farmacológico de trastornos de salud mental como la depresión.

Conclusión:

La resonancia magnética nuclear (RMN) emerge como una herramienta crucial en la exploración y análisis de los efectos físicos y psicológicos en los deportistas de alto rendimiento, especialmente en situaciones traumáticas o de alto estrés. A través de la aplicación de técnicas como la espectroscopia, es posible obtener información valiosa sobre los cambios metabólicos en el cerebro y el cuerpo, antes y después de la actividad deportiva. Esto no solo facilita un diagnóstico más preciso, sino que también abre la puerta a enfoques preventivos que podrían ayudar a mitigar el impacto de los trastornos relacionados con el deporte.

El uso de la RMN, junto con otros avances en bioimagen, permite una comprensión más profunda de las reacciones del cuerpo humano ante el estrés físico y emocional generado por el deporte. A medida que la tecnología y las metodologías de imagen continúan avanzando, su utilidad en el ámbito deportivo y clínico está destinada a crecer, ofreciendo nuevas perspectivas para la mejora de la salud y el bienestar de los atletas. Así, la investigación en bioimágenes tiene un potencial significativo para contribuir al desarrollo de protocolos más efectivos para el cuidado integral de los deportistas, tanto en términos de prevención como de tratamiento.

Bibliografía

Albarral, E, M. 2013 Protocolo de Resonancia Magnética Cerebral. *El Mundo*

Resonancia Magnética <https://resonancia-magnetica.com/profesionales2/protocolos2/protocolo-cerebral/>

Espectroscopia por resonancia magnética <https://resonancia-magnetica.com/profesionales2/protocolos2/espectroscopia/>

Carmona Barceló, L. I. 2014. *Así suena un protón, Manual básico de RM*

https://www.amazon.es/As%C3%AD-suena-prot%C3%B3n-Nacho-Carmona/dp/8461413520?crid=3CCJ7EFGJJKPS&keywords=asi+suena+un+proton&qid=1670329722&s=books&sprefix=asi+suena+un+,stripbooks,140&sr=1-1&linkCode=sl1&tag=resonancianac-21&linkId=806e76ebb85f77a07fd3f788f5c41d72&language=es_ES&ref=as_li_ss_tl

Flores, Garcia E. 2024. Ansiedad y cerebro ¿Cómo afectan?. *Neuro Class*

<https://neuro-class.com/como-afecta-la-ansiedad-en-el-cerebro>

Guerci CC, Correa F. 2024 Innovaciones en Resonancia Magnética: Potencial de la Espectroscopia Multivoxel. *NeuroTarget*.

<https://neurotarget.com/index.php/nt/article/download/455/447>

Martínez Sanz, J. M; Urdampilleta O., Aritz; M, J. 2013 NECESIDADES ENERGÉTICAS, HÍDRICAS Y NUTRICIONALES EN EL DEPORTE *Motricidad. European Journal of Human Movement*

<https://www.redalyc.org/pdf/2742/274228060004.pdf>

“Recuperar Sales Minerales Después del Ejercicio, una clave para los deportistas” 2021.
Kronos Salud Blog <https://kronosalud.es/blog/recuperate-ejercicio-tomando-sales-minerales/?srsltid=AfmBOop0RbvRDV7Q0wsD8LG6YcXtujk-iKdBPGqFoKYAPOXaKHmLmm7X>

Rodriguez Hernandez, M.C; Dominguez, M.G; Mendez Juanes, J.A; et al, 2018.
Espectroscopia. Aplicaciones en RM Cerebral. *Espacio Seram*
<https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/download/2034/1015/2016>

Subías Costa, J; Soria Jerez, J.A, 2021. *Resonancia magnética dirigida a técnicos superiores en imagen para el diagnóstico (2ª ed.)*. El Sevier
https://www.amazon.es/Resonancia-magn%C3%A9tica-dirigida-superiores-diagn%C3%B3stico/dp/8491136460?encoding=UTF8&psc=1&refRID=AGYDF7P02WD1K7WDNHF5&linkCode=sl1&tag=resonancianac-21&linkId=c215d205a0f46d31d8931da0a3112d35&language=es_ES&ref=as_li_ss_tl

Troy, B. 2023 Escáneres cerebrales par el diagnostico de enfermedades metales ¿Cómo y cuándo se utilizan? *Choosing Therapy* <https://www.choosingtherapy.com/brain-scan-for-mental-illness/#:~:text=While%20brain%20scans%20can%20be,mental%20illness%20on%20their%20own>

Imágenes extraídas [figura 1-11] por Protocolo resonancia magnética por espectroscopia, 2013. *El mundo de la resonancia magnética*
<https://resonancia-magnetica.com/profesionales2/protocolos2/protocolo-cerebral/>
<https://resonancia-magnetica.com/profesionales2/protocolos2/espectroscopia/>

Anexo

1. Consentimiento informado y preguntas

<https://1drv.ms/w/c/5ec8d556df7d0a45/EfCRoswUXnFDgi6JYVHk2xYBicgqVFc1pAtrrofIJfkQzw?e=CdWLNf>

2. Respuestas

Primer deportista:

<https://1drv.ms/w/c/5ec8d556df7d0a45/EUc6SrlRCAFMnKzGFvgLTQ8BopO19sCXMz9buJRA0hev5w?e=aFLSql>

Segundo deportista:

https://1drv.ms/w/c/5ec8d556df7d0a45/EdtNCYyGgf1PqFZbccq5v4oBBLqB_qeuZwNm-P8x_1k4jQ?e=zq1nJ9